

# **DIE MINERALISCHEN ROHSTOFFE DER SCHWEIZ**

**PDF-Version des Buches «Die mineralischen Rohstoffe der Schweiz»**

**Vorwort**

**Kapitelübersicht**

**Inhaltsverzeichnis**

**Exit**

**Schweizerische Geotechnische Kommission SGTK**







# **DIE MINERALISCHEN ROHSTOFFE DER SCHWEIZ**

**SCHWEIZERISCHE GEOTECHNISCHE KOMMISSION**



Herausgeber: Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

Redaktionskomitee: Dr. Rainer Kündig, Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH-Zentrum, 8092 Zürich (Projektleitung)  
 Dr. Thomas Mumenthaler, ZZ Ziegeleien, Postfach, 8045 Zürich  
 Dr. Peter Eckardt, Eckardt Natursteine AG, Seefeldstrasse 198, 8034 Zürich  
 Dr. Hans Rudolf Keusen, Geotest AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen  
 Prof. Dr. Conrad Schindler, Schwerzstrasse, 8618 Oetwil am See  
 Dr. Franz Hofmann, Rosenbergstrasse 103, 8212 Neuhausen  
 Dr. Rudolf Vogler, Zeigergässli 10, 6078 Lungern  
 Dr. Peter Guntli, Lürlibadstrasse 33, 7000 Chur

Autoren: siehe Kapitel-Impressum der einzelnen Buchkapitel

Kurztitel: Die mineralischen Rohstoffe der Schweiz  
 Schweizerische Geotechnische Kommission

Redaktion/DTP: Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

Gestaltung: Createam, Masanserstrasse 14, 7000 Chur, Ramun Spescha und Reto Sommerau

Lithoherstellung: Interlitho AG, Rautistrasse 71, 8048 Zürich

Lektorat: Karl Beisbardt, Druckerei Flawil AG, Burgauerstrasse 50, 9230 Flawil

Druck: Vontobel Druck AG, Haldenstrasse 28, 8620 Wetzikon

Papier: Phoenolith matt 115g/m<sup>2</sup> (holz-/chlorfrei)

Auflage: 4000 Exemplare

Fotonachweis: siehe Kapitel-Impressum der einzelnen Buchkapitel  
 Umschlagbild: Peter Schuler, Geotest AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen

Finanzierung/Dank: siehe Seite 5ff und Gönnerverzeichnis im Anhang (Seite 518ff)

Copyright: © Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH-Zentrum, 8092 Zürich  
 Reproduktionen nur mit Erlaubnis des Herausgebers.

ISBN 3-907997-00-X

**Umschlagbild: Sandstein-Tonschiefer Wechselfolge im intensiv deformierten Niesenflysch (Ladholzgraben BE). Die ein bis zwei Kilometer mächtige Flyschserie bildet die jüngste Einheit (Oberkreide-Eozän) der Niesendecke.**

**Im Engstligental zwischen Frutigen und Adelboden wurden von 1840 bis 1978 in vielen kleinen Stollen Schiefer gewonnen, hauptsächlich zur Herstellung von Schreibtäfelchen (siehe Seiten 202/203). Auch die für hervorragende technische Eigen-**

**schaften bekannten Flyschsandsteine waren in der Region Bern gesuchte Bausteine (Pflastersteine). Heute werden in der Schweiz verschiedene Flyschsandsteine abgebaut (z.B. Guber Sandstein, Seite 242; Flyschsandstein von Attinghausen, Seite 275).**

**Die Aufnahme versinnbildlicht die dynamischen geologischen Prozesse, welche zur Bildung der mineralischen Rohstoffe der Schweiz beigetragen haben.**



**VORWORT DER  
SCHWEIZERISCHEN  
GEOTECHNISCHEN KOMMISSION**

Die Förderung der genauen Kenntnis des Bodens der Schweiz in bezug auf die Verwertung seiner Mineralien und Gesteine ist eine der Hauptaufgaben der Schweizerischen Geotechnischen Kommission. Es ist höchst erfreulich, dass wir uns zu diesem umfassenden Thema mit einem jahrelang erarbeiteten Fachbuch unter dem Titel «Die mineralischen Rohstoffe der Schweiz» an eine breite Öffentlichkeit wenden können. Unter der Leitung der Geotechnischen Kommission haben zahlreiche Autoren ihr Wissen zu einem vielseitigen und spannenden Werk vereinigt, das neben gezielter Fachinformation auch die grösseren Zusammenhänge in bezug auf Abbau, Nutzung und technischer Verwertung von mineralischen Rohstoffen aufzeigt. Zahlreiche, meist mehrfarbige Illustrationen und ausführliche Schlagwortverzeichnisse machen das Buch sowohl für Spezialisten interessant wie auch für eine breite, wissenschaftlich am Thema interessierte Öffentlichkeit verständlich.

Im Unterschied zu früheren, vergleichbaren Publikationen (insbesondere das Buch «Die nutzbaren Gesteine der Schweiz» von Francis de Quervain, 1969) werden in diesem Buch nicht nur die geologischen Vorkommen der mineralischen Rohstoffe behandelt, sondern auch deren Gewinnung, die technische Verarbeitung und die hergestellten Produkte in die Thematik einbezogen – dies deswegen, weil viele der ursprünglichen Materialien bei den heutigen Technologien massiv aufbereitet, vorbehandelt und mit fremdem Material gemischt werden. Da die Abschnitte in sich abgeschlossen verfasst sind, kann das Buch ohne Nachteile für das Verständnis auch kapitelweise benutzt werden. Bei der Gesamtlektüre kann eine gewisse Heterogenität in der Sprache auffallen. Dies war infolge der Vielzahl von Autoren mit verschiedenem fachlichem und beruflichem Hintergrund kaum zu vermeiden, widerspiegelt aber die Entstehung des Buches als Teamwork von freiwilligen, von ihrer Aufgabe begeisterten Verfassern.

Es wurde durchwegs versucht, den wissenschaftlichen Massstäben gerecht zu werden und die neuesten Entwicklungen in der Rohstoffverwertung mitzubetrachten. Neben der Ausrichtung auf die heutigen, sich rasch verändernden

Bedingungen darf in diesem Buch aber die nähere Vergangenheit nicht fehlen. Damals wurde dem Untergrund der Schweiz noch eine viel breitere Palette von Produkten entnommen, so beispielsweise Sande für die Giessereien oder Glasherstellung, Schieferplatten oder eine erstaunliche Vielfalt von Bau- und Ziersteinen.

Im Buch nur untergeordnet erwähnt sind Rohstoffe wie Kohlen, Torf oder die vielfältigen Erzvorkommen, welche noch im Zweiten Weltkrieg sehr bedeutsam waren. In der Vergangenheit hat die Kommission zahlreiche Beiträge zu solchen Themen veröffentlicht, beispielsweise zusammenfassende Rohstoffkarten im Massstab 1:200'000 oder Monographien zu wichtigen metallischen Vererzungen in der Schweiz. Der wichtigste unserer Rohstoffe, das Grundwasser, wird im Buch ebenfalls nur randlich berücksichtigt. Es sei aber auf die Serie hydrogeologischer Karten der Schweiz im Massstab 1:100'000 hingewiesen, die unter der Leitung der Schweizerischen Geotechnischen Kommission veröffentlicht werden, wobei die meisten Blätter des Mittellandes und des Juras bereits vorliegen oder im Druck sind.

Diese Publikation fällt durch die Vielfalt an meist farbigen Fotos und graphischen Darstellungen auf. Das Werk soll möglichst anschaulich sein, damit es leicht beim Unterricht, für Vorträge aller Art oder durch die Behörden eingesetzt werden kann. Das ehrgeizige Buchprojekt überstieg bei weitem die finanziellen und auch die personellen Möglichkeiten der Kommission, weshalb es auf eine grosszügige Unterstützung durch die Industrie, private Büros, Ämter und weiterer Interessierter angewiesen war. Rückblickend steht fest, dass unsere optimistischen Annahmen von der Wirklichkeit teilweise sogar übertroffen wurden – dies trotz des zur Zeit vorherrschenden Pessimismus und den Zweifeln an der wirtschaftlichen Zukunft unseres Landes. Für diesen Lichtblick sei allen Autoren, Spendern und Beteiligten im Namen der Kommission herzlich gedankt. Besonders erwähnt sei der gewaltige Arbeitseinsatz unseres Büros unter der Leitung von Dr. Rainer Kündig mit seinem zähen Willen, zwar nicht Perfektion, aber doch das optimal Mögliche zu erreichen.

Für den Inhalt der Textbeiträge und Figuren sind die Autoren verantwortlich.

Zürich, im August 1997

*Prof. Dr. Conrad Schindler*



**INHALT**

<b>VORWORT</b>	<b>III</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>V</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
Mineralische Rohstoffe – Begriff	
Mineralische Rohstoffe der Schweiz – ein Rückblick	3
Das Projekt und die Autoren	4
Finanzierung und Dank	5
Hinweise zum «Gebrauch» des Buches	6
Kontaktadresse	6
<b>2 GEOLOGISCHE ÜBERSICHT</b>	<b>7</b>
Übersicht	9
<b>2.1 Jura</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Mittelland</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Alpen</b>	<b>15</b>
2.3.1 Zentralmassive	15
2.3.2 Helvetikum	17
2.3.3 Penninikum	17
2.3.4 Ostalpin	17
2.3.5 Junge Intrusiva	19
2.3.6 Südalpen	19
<b>2.4 Quartäre Bildungen</b>	<b>21</b>
<b>3 ROHSTOFFE FÜR DIE ZIEGEL- INDUSTRIE</b>	<b>23</b>
Übersicht	25
<b>3.1 Produkte und Produktionsverfahren</b>	<b>27</b>
3.1.1 Zur Geschichte der Ziegelprodukte	27
3.1.2 Produkte	29
3.1.3 Ziegelproduktion in der Schweiz	29
3.1.4 Fabrikations- und Qualitätskontrolle	29
3.1.5 Fabrikationsprozess	31

<b>3.2 Anforderungen an die Rohstoffvorkommen</b>	<b>32</b>
3.2.1 Qualitative Anforderungen	33
3.2.1.1 Minerale der Ziegeleirohstoffe	33
3.2.1.2 Anforderungen für Backsteine	36
3.2.1.3 Anforderungen für Sichtbacksteine	36
3.2.1.4 Anforderungen für Tondachziegel	37
3.2.2 Quantitative Anforderungen (Vorräte)	37
3.2.3 Wirtschaftliche Anforderungen	38
3.2.4 Umweltbedingte Anforderungen	38
<b>3.3 Rohstoffressourcen und ihre regionale Nutzung</b>	<b>39</b>
3.3.1 Rohstoffversorgung	39
3.3.1.1 Historische Entwicklung	39
3.3.1.2 Rohstoffbedarf und -reserven	41
3.3.1.3 Abbauvolumen und Verwendung der Rohmaterialien	41
3.3.2 Rohstoffvorkommen	43
3.3.2.1 Zur Entstehung der Rohstoffe und Lagerstätten	43
3.3.2.2 Keupermergel (Oberer Keuper)	45
3.3.2.3 Obtususton (Unterer Lias)	45
3.3.2.4 Opalinuston (Unterer Dogger)	45
3.3.2.5 Mergel des Albien (Untere Kreide)	46
3.3.2.6 Boluston (Kreide – Tertiär/Eozän)	47
3.3.2.7 Septarienton (Tertiär/Oligozän)	47
3.3.2.8 Grisiger Mergel (Tertiär/Oligozän)	49
3.3.2.9 Mergel und Sandsteine der unteren Süsswassermolasse (Tertiär/Miozän)	49
3.3.2.10 Mergel und Sandsteine der oberen Süsswassermolasse (Tertiär/Miozän)	51
3.3.2.11 Glimmersand (Tertiär/Miozän)	51
3.3.2.12 Bänderton (Quartär/Interglazial)	53
3.3.2.13 Lösslehm (Quartär)	53
3.3.2.14 Gehängelehm und Schwemmléhm (Quartär/oft Postglazial)	53
3.3.2.15 Einsatz von Kiesschlamm	55
3.3.3 Tonimporte	55
3.3.4 Evaluation und Abbau von Tonlagerstätten	55
3.3.5 Folgenutzung der Abbaustellen	57
3.3.5.1 Erhaltung von naturnahen Flächen	57
3.3.5.2 Deponiestandorte	59
<b>3.4 Rohstoffzusammensetzung und Rohstoff- eigenschaften</b>	<b>59</b>
3.4.1 Frühere Angaben	59
3.4.2 Neuere Daten (ab 1969)	59
<b>3.5 Tendenzen und Entwicklungen</b>	<b>63</b>



<b>4</b>	<b>TONE, SANDE UND GESTEINE FÜR SPEZIELLE ANWENDUNGEN</b>	<b>65</b>
	Übersicht	67
<b>4.1</b>	<b>Giessereiformstoffe</b>	<b>69</b>
4.1.1	Grundlagen zur Technologie der Giesserei- formstoffe (Sande und Bindetone)	69
4.1.2	Die körnige Grundmasse der Giesserei- formstoffe	69
4.1.2.1	Anforderungen an die körnigen Giesserei- Formgrundstoffe (Sande im engeren Sinne)	69
4.1.2.2	Einflüsse der Kornform und der Korn- struktur auf den Binderbedarf	70
4.1.2.3	Einflüsse der Sandbeschaffenheit auf das thermische Verhalten	70
4.1.2.4	Entwicklung der Verwendung einheimi- scher Giessereisande	71
4.1.2.5	Einheimische Vorkommen	71
	– Tonhaltige Formsande	71
	– Gewaschene Sande (Quarzsande/quarz- reiche Sande)	71
	– Olivinsande	74
4.1.2.6	Qualitäts- und Wirtschaftlichkeits- beurteilung schweizerischer Giessereisande	74
4.1.2.7	Aussichten	75
4.1.3	Bindetone für Giessereisande	75
4.1.3.1	Einheimische Bentonite	75
4.1.3.2	Alternative Bindetone	76
4.1.4	Formmaterial zur Herstellung von Giesserei- Modellplatten	76
4.1.5	Kupolofen-Stampfmassen	76
<b>4.2</b>	<b>Gesteine für verschiedene Anwendungen</b>	<b>77</b>
4.2.1	Kalksteine für die eisenverarbeitende Industrie	77
4.2.2	Kalksteine für die Herstellung von Kalziumkarbid	77
4.2.3	Dolomit zur Erzeugung von Magnesium- Metall	77
4.2.4	Dolomit als Feuerfestauskleidung für Lichtbogenöfen	77
4.2.5	Rohstoffe für die Glasindustrie	77
4.2.5.1	Glassande (Rhätsand, Siderolithische Quarzsande)	77
4.2.5.2	Molassesande	77

4.2.5.3	Kalk und Dolomit für die Glasfabrikation	78
4.2.6	Gesteine für Dünge Zwecke	79
4.2.6.1	Phosphatgesteine	79
4.2.6.2	Sonstige Gesteine für Dünge Zwecke	79
4.2.7	Rohmaterial für die Herstellung von Steinwolle	79
4.2.8	Polymerbeton für Maschinenteile	79
4.2.9	Polymergebundene Mörtel-, Zement- und Klebsysteme	81
4.2.10	Quarzgesteine für verschiedene Anwendungen	81
4.2.11	Malmkalke für Lithographie-Steine	81
<b>4.3</b>	<b>Sande für hydrothermalgehärtete Baustoffe (Kalksandstein, Porenbeton)</b>	<b>83</b>
4.3.1	Produkte und Produktionsverfahren	83
4.3.2	Prinzip der hydrothermalen Härtung	83
4.3.3	Rohstoffe	85
<b>4.4</b>	<b>Rohstoffe für Blähton</b>	<b>87</b>
4.4.1	Produkte und Produktionsverfahren	87
4.4.2	Anforderungen an die Rohstoffe	87
4.4.3	Rohstoffressourcen und ihre Nutzung	87
<b>4.5</b>	<b>Rohstoffe für keramische Erzeugnisse</b>	<b>89</b>
4.5.1	Definition	89
4.5.2	Werkstoffe	89
4.5.3	Rohstoffe	89
4.5.3.1	Feuerfeste Tone	91
4.5.3.2	Tone für Irdengut und Töpferwaren	93
4.5.4	Fabrikation	93
4.5.5	Aussichten	94
<b>4.6</b>	<b>Dichtungstone</b>	<b>94</b>
4.6.1	Für Abdichtungen geeignete Materialien	94
4.6.1.1	Natürlich vorkommende Dichtungstone	94
4.6.1.2	Kieswaschschlämme	95
4.6.1.3	Künstliche Gemische	95
4.6.2	Verarbeitung der mineralischen Dichtungs- materialien	96
4.6.2.1	Mischanlagen	96
4.6.2.2	Einbautechnik von Dichtungstonen	96
4.6.3	Anwendungsbeispiele	96
4.6.3.1	Staudamm Göscheneralp (UR)	96
4.6.3.2	Deponie Sass Grand (GR)	96
4.6.3.3	Inertstoffdeponie Ufhusen LU (Möhrenhof)	96

<b>5</b>	<b>KIES UND SAND</b>	<b>97</b>	<b>5.3</b>	<b>Ausgewählte Beispiele von Kies- entnahmestellen</b>	<b>135</b>
	Übersicht	99	5.3.1	Rafzerfeld (ZH)	135
<b>5.1</b>	Die Rohstoffe und ihre Genese	101	5.3.2	Menzingen/Neuheim (ZG)	139
5.1.1	Lockergesteine und wenig bis mässig zementierte Nagelfluh	101	5.3.3	Zell und Gettnau, Lutherntal (LU)	143
	– Spät- und postglaziale fluviale Ablagerungen	101	5.3.4	Bioley–Orjulaz (VD)	145
	– Jungquartäre Schuttbildungen	103	5.3.5	Reichenau (GR)	148
	– Fluvioglaziale Ablagerungen, eiszeitliche Stauschotter	105	<b>5.4</b>	<b>Kiesabbau: Planung, Methoden</b>	<b>151</b>
	– Glaziale Ablagerungen	106	5.4.1	Voruntersuchungen	151
	– Altquartäre fluvioglaziale Ablagerungen (Deckenschotter)	107	5.4.2	Gesetzliche Grundlagen für den Kies- abbau	153
	– Wenig bis mässig zementierte Nagelfluh der mittelländischen Molasse	107	5.4.3	Anlagen und Abbaumethoden	155
5.1.2	Rohstoffgewinnung einst und jetzt	109	<b>5.5</b>	<b>Kies und Sand: Eigenschaften und Anforderungen</b>	<b>159</b>
<b>5.2</b>	<b>Rohstoffsituation und Entnahmestellen in den Kantonen</b>	<b>111</b>	5.5.1	Geometrische Eigenschaften	159
	– Aargau	111	5.5.2	Physikalische Eigenschaften	163
	– Appenzell (AI, AR)	112	5.5.3	Chemische Eigenschaften	165
	– Bern	112	5.5.4	Anforderungen an Zuschlagstoffe	166
	– Basel (BS, BL)	114	<b>5.6</b>	<b>Statistische Angaben zur Kies- und Sand- produktion in der Schweiz</b>	<b>166</b>
	– Freiburg	114	<b>6</b>	<b>FESTGESTEINE FÜR BAUZWECKE</b>	<b>169</b>
	– Genf	114		Übersicht	171
	– Glarus	115	<b>6.1</b>	<b>Historische Bausteine der Schweiz</b>	<b>175</b>
	– Graubünden	115	6.1.1	Vorbemerkungen und Hommage an Francis de Quervain	175
	– Jura	116	6.1.2	Steingewinnung und -anwendung im Lauf der Zeiten	176
	– Luzern	117	6.1.3	Wichtige historische Bausteine der Schweiz	182
	– Neuenburg	117	6.1.3.1	Sandsteine der Trias	182
	– Nidwalden	117	6.1.3.2	Sandsteine des Tertiärs	183
	– Obwalden	118	6.1.3.3	Muschelkalksteine der Molasse	185
	– Schaffhausen	118	6.1.3.4	Kalksteine des Jura gebirges	187
	– Schwyz	119	6.1.3.5	Alpine Kalksteine und Marmore	189
	– Solothurn	119		– Schwarzmarmore	190
	– St. Gallen	120		– Buntmarmore	191
	– Tessin	121	6.1.3.6	Tessiner Marmore (Arzo und Castione)	195
	– Thurgau	121	6.1.3.7	Tessiner Gneise	197
	– Uri	122	6.1.3.8	Granit	197
	– Waadt	122	6.1.3.9	Lavezstein (Giltstein, Speckstein, Ofenstein) und Serpentin	198
	– Wallis	123			
	– Zug	124			
	– Zürich	125			
5.2.1	Tabelle und Karte der wichtigsten Kiesabbaustellen	127			



Inhalt

6.1.3.10	Spezielle Gesteinsarten und -vorkommen . . . .	198
	– Findlingsgesteine . . . . .	198
	– Kalktuff . . . . .	200
	– Schiefer . . . . .	202
	– Alabaster . . . . .	204
<b>6.2</b>	Abbau und Prüfung von Festgestein . . . . .	205
6.2.1	Abbauverfahren im Steinbruch . . . . .	205
6.2.2	Steinbruchtypen . . . . .	209
6.2.3	Prüfverfahren . . . . .	209
6.2.3.1	Festigkeitsprüfungen . . . . .	210
6.2.3.2	Weitere physikalische Kennwerte . . . . .	211
6.2.3.3	Beständigkeitsprüfungen . . . . .	211
6.2.3.4	Prüfungen an gebrochenem Festgestein . . . . .	212
6.2.3.5	Normenverzeichnis . . . . .	212
<b>6.3</b>	Schweizerische Naturbausteine . . . . .	213
6.3.1	Natursteinverarbeitung . . . . .	215
6.3.2	Natursteinprodukte . . . . .	220
6.3.3	Anforderungen und Eigenschaften . . . . .	222
6.3.3.1	Gesteinseigenschaften . . . . .	222
6.3.3.2	Gesteinsbeständigkeit . . . . .	223
6.3.3.3	Einwirkungen bei verschiedenen Anwendungen	225
6.3.4	Natursteine des Jura . . . . .	227
6.3.4.1	Kalksteine . . . . .	227
6.3.4.2	Sandsteine . . . . .	228
6.3.5	Natursteine des Mittellandes (Molasse) . . . . .	229
6.3.5.1	Granitische Sandsteine . . . . .	229
6.3.5.2	Plattensandsteine . . . . .	231
6.3.5.3	Berner-/Freiburger Sandsteine . . . . .	231
6.3.5.4	Muschelkalke . . . . .	231
6.3.5.5	Weitere Gesteine der Molasse . . . . .	231
6.3.6	Natursteine der Alpen . . . . .	232
6.3.6.1	Östliche Alpen . . . . .	233
	– Bündner Gneise, Granite und Serpentin . . . . .	233
	– Verrucano des Helvetikums . . . . .	234
6.3.6.2	Zentralalpen/Tessin . . . . .	234
	– Gneise der Tessinertäler und des . . . . .	
	Calancatales . . . . .	235
	– Marmore von Castione und Val Peccia . . . . .	239
	– Buntmarmore von Arzo . . . . .	240
	– Granite des Reuss- und Aaretales . . . . .	241
	– Kalksteine und Flyschsandsteine des	
	zentralen Helvetikums . . . . .	241
	– Serpentine und Specksteine der Rhein–	
	Rhoneinie . . . . .	242

6.3.6.3	Westliche Alpen . . . . .	243
	– Konglomerate und Grüngesteine . . . . .	243
	– Gneise und Quarzite . . . . .	243
	– Kieselkalke und Kalkschiefer . . . . .	245
6.3.7	Karten und Tabellen zu schweizerischen	
	Steinbrüchen – Technische Werte von	
	schweizerischen Gesteinen . . . . .	246
	– Tabelle der in Betrieb stehenden	
	Steinbrüche 1993/96 . . . . .	248
	– Karte der 1993/96 in Betrieb stehenden	
	Steinbrüche . . . . .	250
	– Tabelle der technischen Werte der	
	1993/96 abgebauten Gesteine . . . . .	252
	– Technische Kennwerte von Mauer-	
	steinen (Aufstellung der um 1945	
	aktiven Steinbrüche) . . . . .	254
	– Tabelle der technischen Richtwerte	
	verschiedener Gesteine . . . . .	255
	– Tabelle alter Steinbrüche nach	
	Francis de Quervain (1969) . . . . .	256
	– Tabelle der Steinbrüche für gebrochene	
	Produkte . . . . .	263
<b>6.4</b>	Gebrochene Festgesteine . . . . .	265
6.4.1	Definition . . . . .	265
6.4.2	Produkte und Verfahren . . . . .	265
6.4.3	Anforderungen und Eigenschaften . . . . .	267
6.4.4	Produktion gebrochener Gesteine . . . . .	270
6.4.4.1	Gebrochene Gesteine aus dem Jura . . . . .	271
6.4.4.2	Gebrochene Gesteine aus den Alpen . . . . .	272
	– Mittelharte Kalke und Dolomite des	
	Helvetikums . . . . .	273
	– Kalke und Dolomite der Präalpen und	
	des Penninikums . . . . .	273
	– Dolomite der südalpiner Trias . . . . .	273
	– Kalke und Dolomite der Ostalpen . . . . .	274
	– Kieselkalke . . . . .	274
	– Alpine Sandsteine, Brekzien und	
	Konglomerate . . . . .	274
	– Flyschsandsteine des Tertiärs . . . . .	275
	– Ablagerungen der Molasse	
	(Grès des carrières) . . . . .	275
	– Magmatische Gesteine . . . . .	275
	– Metamorphe Gesteine . . . . .	275

<b>6.5</b>	<b>Verwitterung und Erhaltung von Naturstein an Bauwerken und Kunstdenkmälern</b> . . . . .	276
6.5.1	<i>Steine an Altbauten und Denkmälern</i> . . . . .	277
6.5.2	<i>Verwitterung von Bau- und Kunstwerken aus Stein</i> . . . . .	278
6.5.3	<i>Verwitterungsvorgänge</i> . . . . .	279
	– <i>Physikalische Verwitterung</i> . . . . .	279
	– <i>Chemische Verwitterung</i> . . . . .	279
	– <i>Biologische Verwitterung</i> . . . . .	280
6.5.3.1	<i>Luftverschmutzung</i> . . . . .	280
6.5.3.2	<i>Verwitterung durch Salze</i> . . . . .	282
6.5.3.3	<i>Alkalische Baustoffe</i> . . . . .	285
6.5.4	<i>Auswirkungen der Verwitterung</i> . . . . .	287
6.5.4.1	<i>Schadenformen</i> . . . . .	287
6.5.4.2	<i>Schadensituationen</i> . . . . .	289
6.5.5	<i>Verwitterung als Geschehen</i> . . . . .	289
6.5.6	<i>Steinkonservierung in der Denkmalpflege</i> . . .	291
6.5.6.1	<i>Beurteilung der Gefährdung</i> . . . . .	291
6.5.6.2	<i>Erhaltungsmassnahmen</i> . . . . .	293
<b>6.6</b>	<b>Zukünftige Entwicklung und Aussichten</b> . . . .	295
<b>7</b>	<b>KALKE UND MERGEL FÜR DIE BINDEMITELEINDUSTRIE</b> . . . . .	297
	<i>Übersicht</i> . . . . .	299
<b>7.1</b>	<b>Zementindustrie</b> . . . . .	301
7.1.1	<i>Produkte und Produktionsverfahren</i> . . . . .	301
7.1.1.1	<i>Definition und Mineralogie des Zementes</i> . . .	301
7.1.1.2	<i>Herstellungsprozess</i> . . . . .	303
7.1.1.3	<i>Zementproduktion in der Schweiz</i> . . . . .	305
7.1.2	<i>Rohstoffe der Zementindustrie</i> . . . . .	307
7.1.2.1	<i>Anforderungen an die Rohmischung</i> . . . . .	307
7.1.2.2	<i>Anforderungen an die Rohstoffe</i> . . . . .	307
7.1.3	<i>Schweizerische Zementindustrie</i> . . . . .	308
7.1.3.1	<i>Geologische Voraussetzungen</i> . . . . .	308
7.1.3.2	<i>Beschreibung der einzelnen Zementwerke</i> . . .	311
	– <i>Untervaz</i> . . . . .	311
	– <i>Thayngen</i> . . . . .	311
	– <i>Rekingen</i> . . . . .	313
	– <i>Siggenthal</i> . . . . .	313
	– <i>Wildeggen</i> . . . . .	315
	– <i>Brunnen</i> . . . . .	316
	– <i>Olten</i> . . . . .	318
	– <i>Reuchenette</i> . . . . .	319
	– <i>Cornaux</i> . . . . .	319
	– <i>Eclépens</i> . . . . .	320
	– <i>Roche</i> . . . . .	322
<b>7.2</b>	<b>Kalkindustrie</b> . . . . .	324
7.2.1	<i>Hydraulischer Kalk</i> . . . . .	324
7.2.1.1	<i>Definition</i> . . . . .	324
7.2.1.2	<i>Herstellungsprozess</i> . . . . .	324
7.2.1.3	<i>Anwendung</i> . . . . .	325
7.2.1.4	<i>Rohstoffsituation in der Schweiz</i> . . . . .	326
7.2.2	<i>Branntkalk und Kalkhydrat</i> . . . . .	326
7.2.2.1	<i>Definition</i> . . . . .	326
7.2.2.2	<i>Herstellungsprozess</i> . . . . .	328
	– <i>Branntkalk</i> . . . . .	328
	– <i>Kalkhydrat</i> . . . . .	329
7.2.2.3	<i>Anwendung</i> . . . . .	330
7.2.2.4	<i>Rohstoffsituation und Produktion in der Schweiz</i> . . . . .	331
	– <i>Kalkfabrik Netstal</i> . . . . .	332
	– <i>Kalkfabrik St. Ursanne</i> . . . . .	333
7.2.2.5	<i>Produktionsmengen und Verwendung</i> . . . . .	333
<b>8</b>	<b>GIPS UND SALZ</b> . . . . .	335
	<i>Übersicht</i> . . . . .	337
<b>8.1</b>	<b>Gipsindustrie</b> . . . . .	339
8.1.1	<i>Einführung</i> . . . . .	339
8.1.2	<i>Grundlegende Begriffe der Gipsfabrikation</i> . . .	339
8.1.3	<i>Abbinden des Gipses</i> . . . . .	341
8.1.4	<i>Merkmale und Eigenschaften der Gipse</i> . . . .	342
8.1.5	<i>Verwendung</i> . . . . .	343
8.1.5.1	<i>Gips als Baustoff</i> . . . . .	343
8.1.5.2	<i>Spezialgipse</i> . . . . .	344
8.1.5.3	<i>Gips in der Zementindustrie</i> . . . . .	344
8.1.5.4	<i>Produktionszahlen</i> . . . . .	345
8.1.6	<i>Anforderungen an das Rohmaterial</i> . . . . .	345
8.1.6.1	<i>Naturgips</i> . . . . .	345
8.1.6.2	<i>Industriegips</i> . . . . .	347
8.1.7	<i>Natürliche Rohmaterialressourcen und ihre Nutzung</i> . . . . .	347
8.1.7.1	<i>Gipsvorkommen im Jura</i> . . . . .	348
8.1.7.2	<i>Gipsvorkommen in den Alpen</i> . . . . .	349
	– <i>Nördliche Kalkalpenzone</i> . . . . .	349
	– <i>Innere und südliche Alpengebiete</i> . . . . .	349
	– <i>Aufschlussverhältnisse</i> . . . . .	349

Inhalt

8.1.7.3

Beschreibung der einzelnen Vorkommen . . . .

351

– Leissigen-Krattigen . . . . .

351

– Bex . . . . .

352

– Kerns/Melbach . . . . .

353

– Granges . . . . .

353

– Zeglingen . . . . .

355

8.2

Salzlagerstätten . . . . .

357

8.2.1

Einführung . . . . .

357

8.2.2

Geologie der Salzvorkommen . . . . .

357

8.2.2.1

Steinsalz des Mittleren Muschelkalks –  
Geologie der Rheinsalinen . . . . .

357

8.2.2.2

Salzlager des Keupers . . . . .

359

8.2.2.3

Salzvorkommen im Ultrahelvetikum –  
Geologie der Minen von Bex . . . . .

359

– Lithologische Charakterisierung (Bex) . . . . .

359

– Tektonische Verhältnisse (Bex) . . . . .

361

8.2.3

Nutzung der schweizerischen  
Salzvorkommen . . . . .

362

8.2.3.1

Geschichte der Mines et Salines de Bex . . . . .

362

– Produktion (Bex) . . . . .

363

8.2.3.2

Geschichte der Nutzung der Salzvorkommen  
am Hochrhein . . . . .

364

8.2.4

Technik der Salzgewinnung . . . . .

367

8.2.4.1

Solegewinnung . . . . .

367

8.2.4.2

Salzproduktion . . . . .

369

8.2.5

Verwendung des Salzes . . . . .

370

9

SEKUNDÄRROHSTOFFE AUS ABFÄLLEN . . . . .

371

Übersicht . . . . .

373

9.1

Definitionen, Anforderungen, Bedeutung . . . .

375

9.1.1

Definition von Abfall . . . . .

375

9.1.2

Qualitätsanforderungen an die Sekundär-  
baustoffe . . . . .

375

9.1.3

Wichtigste zu Sekundärbaustoffen  
aufbereitbare Abfälle . . . . .

375

9.1.4

Anfallende Mengen . . . . .

375

9.2

Stoffgruppe A: Gesteine . . . . .

376

9.2.1

Tunnelausbruchmaterial . . . . .

376

9.2.1.1

Einleitung . . . . .

376

9.2.1.2

Eigenschaften des Ausbruchmaterials . . . . .

377

9.2.1.3

Verwertung von Tunnelausbruchmaterial . . . .

379

9.2.1.4	Zusammenfassung . . . . .	384
9.2.2	Kieswaschschlamm (Kiesschlamm) . . . . .	384
9.2.2.1	Zusammensetzung schweizerischer Kiesschlämme . . . . .	385
9.2.2.2	Verwertungsmöglichkeiten . . . . .	386
<b>9.3</b>	Stoffgruppe B: Bauabfälle . . . . .	387
9.3.1	Verwertung von Bauschutt . . . . .	387
9.3.2	Ausbauasphalt . . . . .	388
9.3.3	Strassenaufbruch . . . . .	389
9.3.4	Betonabbruch . . . . .	391
9.3.5	Mischabbruch . . . . .	392
9.3.6	Recyclingbeton . . . . .	393
9.3.6.1	Klassifizierter Recyclingbeton . . . . .	393
9.3.6.2	Nichtklassifizierter Recyclingbeton . . . . .	394
9.3.7	Schadstoffbelastung von Bauabfällen . . . . .	394
<b>9.4</b>	Stoffgruppe C: Altschotter von Bahngleisen . . .	397
9.4.1	Der Begriff Altschotter . . . . .	397
9.4.2	Zusammensetzung der Altschotter . . . . .	397
9.4.3	Wiederverwertung von Altschottern . . . . .	399
<b>9.5</b>	Stoffgruppe D: Industrieabfälle . . . . .	399
9.5.1	Elektroofenschlacke . . . . .	399
9.5.2	Kehrichtschlacke . . . . .	400
9.5.3	Altglas . . . . .	400
9.5.4	Giessereisande . . . . .	400
<b>9.6</b>	Verwertung von wenig belasteten mineralischen Abfällen in Baustoffen . . . . .	401
<b>10</b>	<b>ERZE, INDUSTRIEMINERALE UND ENERGIEROHSTOFFE . . . . .</b>	<b>403</b>
	Übersicht . . . . .	405
<b>10.1</b>	Geschichtliche Entwicklung, Abbauperioden .	407
<b>10.2</b>	Erze und Erzlagerstätten . . . . .	409
10.2.1	Eisen- und Mangan . . . . .	409
10.2.2	Blei-Zink (z.T. mit Silber) . . . . .	411
10.2.3	Kupfer (z.T. mit Wismut und Arsen) . . . . .	411
10.2.4	Nickel-Chrom, Kobalt . . . . .	411
10.2.5	Antimon . . . . .	411
10.2.6	Molybdän und Wolfram . . . . .	411
10.2.7	Gold . . . . .	412



10.2.8	Übrige Minerale/Industrieminerale . . . . .	412	11.2.3	Sammler- und Strahler-Vereinigungen, Börsen, Publikationen . . . . .	435
<b>10.3</b>	Energierohstoffe . . . . .	412	11.2.4	Bestimmungen über das Mineraliensammeln in der Schweiz . . . . .	437
10.3.1	Uran . . . . .	413	11.2.5	Verarbeitung von Mineralien . . . . .	437
10.3.2	Bitumen (Asphalt) . . . . .	413			
10.3.3	Gas und Öl (Kohlenwasserstoffe) . . . . .	413			
10.3.4	Kohlen und Torf . . . . .	414			
<b>10.4</b>	Wirtschaftlichkeit, Import/Export . . . . .	415	<b>12</b>	<b>GESETZLICHE GRUNDLAGEN FÜR DIE ROHSTOFFNUTZUNG UND FÜR AN- DERE GEOLOGISCHE AKTIVITÄTEN . . . .</b>	<b>439</b>
10.4.1	Bergbau, Wirtschaftlichkeit . . . . .	415			
10.4.2	Versorgung mit eigenen Erzen! . . . . .	415			
<b>11</b>	<b>MINERALIEN . . . . .</b>	<b>417</b>	<b>12.1</b>	Bergrechtliche Grundfragen . . . . .	441
	Übersicht . . . . .	419	<b>12.2</b>	Bergrechtliche Grundlagen . . . . .	442
<b>11.1</b>	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Be- deutung der sammelwürdigen Mineralien . . . .	421	12.2.1	Die Schweizerische Bundesverfassung (BV) . . .	442
11.1.1	Alpine Zerrkluftminerale . . . . .	421	12.2.2	Das Schweizerische Zivilgesetzbuch (ZGB) . . .	442
11.1.1.1	Definition . . . . .	421	12.2.3	Bergrechtliche Grundlagen in den Kantonen . . .	443
11.1.1.2	Die Lage der Mineralkluft im Gestein . . . . .	421	<b>12.3</b>	Andere gesetzliche Grundlagen . . . . .	443
11.1.1.3	Hydrothermale Alteration . . . . .	421	12.3.1	Gesetzliche Grundlagen des Bundes . . . . .	443
11.1.1.4	Fluide Einschlüsse . . . . .	423	12.3.2	Rechtliche Bestimmungen für den Schutz von Geotopen . . . . .	445
11.1.1.5	Herkunft der Kluftlösungen . . . . .	425	12.3.3	Gesetzliche Grundlagen der Kantone . . . . .	446
11.1.1.6	Kristallwachstum in der Kluft . . . . .	425	<b>12.4</b>	Rechtsgrundlagen für die Tätigkeit des beratenden Geologen . . . . .	446
11.1.1.7	Zerrkluftminerale als Sammelobjekte . . . . .	427	<b>12.5</b>	Schlussbetrachtungen über das «Geologierecht» . . . . .	446
11.1.2	Pegmatite . . . . .	427	<b>13</b>	<b>ABBAU- UND REKULTIVIERUNGS- PLANUNG UVB / UVP . . . . .</b>	<b>447</b>
11.1.3	Gesteinsbildende Mineralien . . . . .	428		Übersicht . . . . .	449
11.1.3.1	Mineralbildungen der Amphibolitfazies . . . . .	429	<b>13.1</b>	Gesetzliche Grundlagen des Bundes . . . . .	450
11.1.3.2	Mineralbildungen der Hochdruckmeta- morphose . . . . .	429	13.1.1	Prinzipien . . . . .	450
11.1.4	Erzvorkommen . . . . .	429	13.1.2	Die wichtigsten gesetzlichen Grundlagen . . . .	451
11.1.4.1	Mangan-Erzlagerstätte Falotta (und ent- sprechende Manganvorkommen) . . . . .	429	<b>13.2</b>	Bewilligungsverfahren für Abbauvorhaben . . .	452
11.1.4.2	Arsensulfid-Vererzung im Lengenbach, Binntal . . . . .	431	13.2.1	Planerlassverfahren . . . . .	452
<b>11.2</b>	Ausbeutung – Sammeltätigkeit – Handel – Verarbeitung . . . . .	433	13.2.2	Baubewilligungsverfahren . . . . .	453
11.2.1	Historische Anmerkungen . . . . .	433	13.2.3	Umweltverträglichkeitsprüfung UVP . . . . .	453
11.2.2	Strahlerzentren der Schweiz . . . . .	433			
	– Tavetsch (Surselva GR) . . . . .	433			
	– Bristen (Maderanertal UR) . . . . .	434			
	– Guttannen (Oberhasli BE) . . . . .	435			
	– Binn (Binntal VS) . . . . .	435			

Inhalt

13.2.4	Einbettung der UVP in das massgebliche Verfahren .....	457
13.3	Landschafts- und Abbauplanung .....	457
13.3.1	Regionale Standortbeurteilung, Rohstoffversorgungskonzepte .....	457
13.3.2	Planung .....	459
13.4	Geotope – Geotopschutz .....	463
13.4.1	Definition .....	463
13.4.2	Gesetzliche Grundlagen .....	464
13.4.3	Geotopschutz und Materialabbau .....	465
14	GEOINFORMATIK IM BEREICH «MINERALISCHE ROHSTOFFE» UND «NUTZBARE GESTEINE» .....	467
	Übersicht .....	469
14.1	Einsatzmöglichkeiten von geographischen Informationssystemen .....	470
14.1.1	Was ist ein GIS .....	470
14.1.2	Einsatzmöglichkeiten von GIS bei der regionalen Planung .....	471
14.1.3	Geologisch-geotechnische Anwendungen von GIS-Programmen .....	473
14.1.4	Rohstoffbewirtschaftungsprogramme .....	476
	LITERATUR .....	479
	ORTSREGISTER .....	491
	SACHREGISTER .....	500
	ANHANG	
	Museen .....	513
	Fachverbände .....	516
	Gönnerverzeichnis .....	518

# Kapitelübersicht

Vorwort

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

2 Geologische Übersicht

3 Rohstoffe für die Ziegelindustrie

4 Tone, Sande und Gesteine für spezielle Anwendungen

5 Kies und Sand

6 Festgesteine für Bauzwecke

7 Kalke und Mergel für die Bindemittelindustrie

8 Gips und Salz

9 Sekundärrohstoffe aus Abfällen

10 Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe

11 Mineralien

12 Gesetzliche Grundlagen für die Rohstoffnutzung und für andere geologische Aktivitäten

13 Abbau- und Rekultivierungsplanung UVB / UVP

14 Geoinformation im Bereich «Mineralische Rohstoffe» und «Nutzbare Gesteine»

Literatur

Ortsregister

Sachregister

[zurück zur Startseite](#)



**[zurück zur Startseite](#)**

**[nächstes Kapitel](#)**

**[vorangehendes Kapitel](#)**

Mineralische Rohstoffe – Begriff

*Mineralische Rohstoffe der Schweiz – ein Rückblick*

*Das Projekt und die Autoren*

*Finanzierung und Dank*

*Hinweise zum «Gebrauch» des Buches*

*Kontaktadresse*

---



# 1 EINLEITUNG

**Kapitelinhalt**



Autoren: Dr. Rainer Kündig, Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

Foto: Heinz Leuenberger, DESAIR AG, Wermatswil (Titelbild)

---

**Abbildung auf Vorderseite: Blick über das Zementwerk Rekingen in den Aargauer Jura. Oberhalb der Bildmitte rechts ist der Steinbruch Musital sichtbar, wo Mergel und Kalkstein für die Zementproduktion gewonnen werden. Im Hintergrund**

**ist in der bewaldeten Flanke des Villiger Geissberges der Steinbruch Gabenkopf erkennbar, wo für das Zementwerk Siggenthal Rohstoffe gewonnen werden ([siehe Seiten 313-315](#)). Die Aufnahme des Zementwerkes Rekingen am Rhein,**

**in der Nähe von Zurzach AG, verdeutlicht den engen räumlichen Zusammenhang zwischen geologischen Ressourcen, Energiepotential und verkehrsgünstigem Standort.**



## MINERALISCHE ROHSTOFFE - BEGRIFF

Die mineralischen Rohstoffe der Schweiz – mit diesem weitgespannten Titel wird ein Thema angeschnitten, das vorerst einer Präzisierung bedarf.

Als mineralische Rohstoffe werden in diesem Buch Materialien bezeichnet, die sich im Laufe der Erdgeschichte durch geologische Prozesse anreicherten und sich auch nur in geologischen Zeiträumen (Jahrmillionen) erneuern. Zudem werden aber auch die heute vermehrt eingesetzten sekundären Rohstoffe – Stoffe, die aus einem technischen Prozess oder bei grossen Bauvorhaben als Abfall anfallen – einbezogen. Im weiteren Sinn wird die erste Gruppe oft auch als Bodenschätze bezeichnet. Darunter fallen beispielsweise Steine und Erden (Kies, Kalk, Mergel, Bausteine), Industriemineralien (beispielsweise Quarz), Energierohstoffe (Erdöl, Erdgas, Kohle, Uran, zum Teil auch Erdwärme) und Erze (metallische mineralische Rohstoffe). In der Schweiz sind heute von den einheimischen mineralischen Rohstoffen vorwiegend die nichtmetallischen von wirtschaftlichem Interesse, wogegen der einst verbreitete Abbau metallischer Erze nur noch historische Bedeutung hat. Der Umfang der einzelnen Kapitel im Buch widerspiegelt die heutige Bedeutung.

Mengen- und umsatzmässig bilden mineralische Rohstoffe bedeutende Märkte und beschäftigen direkt oder indirekt sehr viele Arbeitskräfte. Volumenmässig und marktwirtschaftlich entfällt der grösste Anteil auf den Bausektor (Kies, Sand, Natursteine, Gips, Zement, Betonprodukte, Mörtel und Putze, Ziegeleiprodukte). Aber auch als Hilfs- und Zuschlagstoffe in vielen anderen Industrien werden mineralische Rohstoffe eingesetzt, beispielsweise in der Eisen- und Stahlindustrie (Giesereisenerz), in der Landwirtschaft (Dünge- und Futterzusätze), in der Papierindustrie (Füllstoffe) und in der chemischen Industrie. Eine bedeutende und auch historisch wichtige Rolle in der Schweiz spielt die Salzgewinnung.

Viele Rohstoffe aus der Gruppe der «Steine und Erden» sind Massengüter, die lokal konzentriert und in grossen Kubaturen abgebaut werden. Für einen potentiellen Abbau und bei der Nutzung spielen heute mehrheitlich technisch-physikalische nebst wirtschaftlichen Parametern die entscheidende Rolle. In der Industrie der Steine und Erden gelten Rohstoffe dann als abbauwürdig, wenn der Abbau mit heutiger Technologie möglich ist und die Verwertung unter tragbarem finanziellem und zeitlichem Aufwand realisierbar ist. Zudem darf deren Nut-

zung nicht mit anderen Interessen kollidieren. Eng mit dem Rohstoffabbau und mit der industriellen Nutzung verknüpft sind daher Richtlinien, Vorschriften und gesetzliche Auflagen, insbesondere in bezug auf die verschiedenen Bereiche des Umweltschutzes. Aus diesem Grund sind neben diesbezüglichen Hinweisen in den einzelnen Rohstoffkapiteln auch spezielle Kapitel zu den gesetzlichen Grundlagen und zur Umweltverträglichkeit integriert.

Zum besseren Verständnis der zahlreichen im Buch erwähnten geologischen Angaben verschiedenster einheimischer Rohstoffvorkommen wurde den Rohstoffkapiteln eine kurze geologische Übersicht vorangestellt. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass in einem kleinen, geologisch und tektonisch derart abwechslungsreich aufgebauten Land wie der Schweiz selten Abbauorte für sich allein betrachtet werden können. Es wurde versucht, die Thematik des Buches sehr weit zu fassen und damit dem Leser manchen Einblick in benachbarte Fachgebiete zu ermöglichen.

### Mineralische Rohstoffe der Schweiz – ein Rückblick

Im Volksbewusstsein kam der Begriff der mineralischen Rohstoffe in der Schweiz anlässlich der Landesausstellungen um die Jahrhundertwende, 1883 in Zürich, 1896 in Genf und 1914 in Bern auf. Damals war es üblich, auf besondere Anlässe hin zusammenfassend die Rohstoffsituation in der Schweiz wissenschaftlich darzustellen. Eine Übersichtskarte mit dem Titel «Karte der Fundorte von Rohprodukten in der Schweiz» im Massstab 1:500'000 entstand unter der Leitung von Ingenieur J. Weber und Oberförster A. Brosi 1883 auf Veranlassung des Schweizerischen Handels- und Landwirtschaftsdepartementes. Karten und Exponate, aber auch kurze Erläuterungstexte stiessen auf grosses Interesse und förderten den öffentlichen Bekanntheitsgrad einheimischer mineralischer Rohstoffe.

Zwei Stellen haben sich in der Schweiz immer wieder um die Veröffentlichung von Gesamtwerken in diesem Themenbereich gekümmert: die Schweizerische Geologische Kommission (gegründet 1860) und die Schweizerische Geotechnische Kommission (gegründet 1899). Letztere hat in ihren Statuten von 1900 den expliziten Bundesauftrag, unter anderem «Untersuchungen, welche eine genauere Kenntnis des Bodens der Schweiz bezüglich einer industriellen Verwertung seiner Mineralien und Gesteine bezwecken» durchzuführen. In den letzten 100 Jahren sind seither zahlreiche Publikationen zu diesem Themenbereich entstanden. Einige wichtige Veröf-

fentlichungen sind im Textkasten unten rechts zusammengestellt. Grosse Bedeutung erlangten die drei Ausgaben des Buches «*Die nutzbaren Gesteine der Schweiz*», herausgegeben 1934, 1949 und letztmals 1969 unter Francis de Quervain, dem damaligen Professor für technische Petrographie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich. Zusammen mit dem 1967 ebenfalls von Francis de Quervain verfassten Buch «*Technische Petrographie*» und dem 1953 zusammen mit E. Kündig publizierten Werk «*Fundstellen mineralischer Rohstoffe in der Schweiz*» gelten sie bis heute als wichtige Nachschlagewerke für technisch orientierte und anwendungsspezifische Fragen bezüglich nutzbarer Gesteine in der Schweiz. In den letzten zwanzig Jahren haben sich jedoch die Anforderungen an die Rohstoffe, die Abbautechniken und auch die Umweltschutzgesetze dermassen stark geändert, dass diese Bücher den heutigen Bedürfnissen nicht mehr genügen. Eine vollständige Neubearbeitung des Themas wurde unumgänglich – die Zeit für die Herausgabe eines neuen Buches war reif.

### Das Projekt und die Autoren

Nach vielen Vorabklärungen fassten 1991 ein paar Idealisten den mutigen Entschluss, dieses neue, auf die heutige Zeit und auf die heutigen Probleme zugeschnittene Buch in Angriff zu nehmen. Die Idee war, eine Zusammenarbeit von Spezialisten aus Industrie, Hochschule und Praxis zu erreichen. Mit dabei im Redaktionskomitee waren neben den Initiatoren *Rainer Kündig*, *Thomas Mumenthaler* und *Franz Hofmann* auch *Conrad Schindler*, *Peter Eckardt*, *Hans Rudolf Keusen*, *Rudolf Vogler* und *Peter Guntli*. Es zeigte sich bald, dass dieses Projekt bei den angesprochenen Fachleuten auf grosses Interesse stiess und dass verschiedene unter ihnen auch spontan zur Mitarbeit bereit waren. Als Hauptproblem stellte sich erwartungsgemäss die Geldbeschaffung heraus (siehe [Abschnitt Finanzierung](#)). Trotzdem konnte an der Jahressitzung der Schweizerischen Geotechnischen Kommission im Januar 1992 dem Projekt grünes Licht gegeben werden.

Mehr als dreissig Autoren aus den verschiedenen, im Buch angesprochenen Fachbereichen erklärten sich bereit, zu einem symbolischen «Lohn» an diesem Werk mitzuwirken. Das ganze Werk hat eine lange Entstehungsgeschichte hinter sich, und alle Kapitel wurden immer wieder von verschiedenen Fachleuten ergänzt und überarbeitet. Es erscheint als Kollektivwerk unter dem Namen der Schweizerischen Geotechnischen Kommission, die auch die Gesamtleitung und die Re-

daktion übernahm. Die Verfasser der einzelnen Kapitel und Teilkapitel sowie weitere Personen, welchen wir grössere Textbeiträge verdanken, sind jeweils auf der Innenseite der farbigen Kapiteltitelblätter namentlich erwähnt – ihnen allen gebührt ein herzlicher Dank für die sorgfältige und oft sehr zeitintensive Mitarbeit.

Die grosse Anzahl der Autoren, aber auch die ständig erweiterte Thematik des Buches warfen den ursprünglichen, wohl zu optimistisch gefassten Zeitplan schon bald aus der Bahn. Mehrmals verzögerte sich in der Folge die Herausgabe des Buches, immer wurde dadurch aber eine bedeutende qualitative Verbesserung des Werkes erreicht. Leider konnten dadurch zwei Mitautoren die Herausgabe nicht mehr erleben: Es sei an dieser Stelle an die verstorbenen Geologen Prof. Dr. Heinrich Jäckli und Dr. Franz-Josef Gsell erinnert.

### Mineralische Rohstoffe in der Schweiz

(einige wichtigere Übersichtswerke)

- Weber, J. & Brosi, A. (1883): Karte der Fundorte von Rohprodukten in der Schweiz, 1:500'000, mit Text «Rohprodukte und deren Fundorte in der Schweiz» von H. Streng 1884. – Zeitschrift für Schweizerische Statistik, Bern.
- Duparc, M. L. (1896): Notice sur les exploitations minérales de la Suisse. – Edition Philippe Dürr, Genf.
- Letsch, E. (1899): Die schweizerischen Molassekohlen östlich der Reuss, und Kissling, E. (1903): Die schweizerischen Molassekohlen westlich der Reuss. – Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 1 und 2.
- Letsch, E., Zschokke, B., Rollier, L. & Moser, R. (1907): Die schweizerischen Tonlager; mit Karte der schweizerischen Tonlager und Ziegeleien 1:530'000. – Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 4.
- Schmidt, C. (1910): Die Eisenerzvorräte der Schweiz – Sonderdruck aus «The iron ore resources of the world», Geologischer Kongress, Stockholm.
- Niggli, P., Grubenmann, U., Jeannet, A. & Moser, R. (1915): Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz; mit Karte der schweizerischen Steinbrüche. – Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 5.
- Schmidt, C. (1917): Erläuterungen zur Karte der Fundorte von Mineralischen Rohstoffen in der Schweiz, mit Karte 1:500'000. – Verlag A. Francke, Bern.
- Schmidt, C. (1920): Texte explicatif de la carte des matières premières minérales de la Suisse. – Birkhäuser & Cie., Basel.
- Fehlmann, H. (1919): Der schweizerische Bergbau während des Weltkrieges. – Schweizerisches Volkswirtschaftsdepartement, Büro für Bergbau. Kümmerly & Frey, Bern.
- Fehlmann, H. (1947): Der schweizerische Bergbau während des II. Weltkrieges. – Büro für Bergbau des Eidgenössischen Kriegs-, Industrie- und Arbeitsamtes (nicht veröffentlicht).
- Kündig, E. & de Quervain, F. (1941, 1953): Fundstellen mineralischer Rohstoffe in der Schweiz (erweiterte Neuauflage 1953); mit Karte 1:600'000. – Kümmerly & Frey, Bern. (Es handelt sich um eine Neufassung des Werkes von Schmidt [1920], siehe oben)
- de Quervain, F. (1967): Technische Gesteinskunde. – Birkhäuser Verlag, Basel.
- de Quervain, F. (1934, 1949, 1969): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. – Schweizerische Geotechnische Kommission.

## Finanzierung und Dank

Dank der finanziellen Unterstützung durch das Bundesamt für Bildung und Wissenschaft (BBW, bis 1995), das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL, ab 1996) sowie durch die Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften (SANW) kann das Büro der Schweizerischen Geotechnischen Kommission bestehen und arbeiten – dies ist eine Grundbedingung dafür, dass das Buch überhaupt entstehen konnte. Da die zur Verfügung gestellten Arbeitskredite für die Realisierung dieses Projekts und insbesondere für den Druck des Buches aber niemals genügen konnten, musste eine alternative Finanzierungsart gesucht werden. Eine für die Kommission unkonventionelle Lösung – ein Gönneraufruf an Industrie, Privatwirtschaft und Privatpersonen mit der Möglichkeit, sich finanziell an diesem Projekt zu beteiligen – brachte in erstaunlich kurzer Zeit Erfolg. Dies gab dem Redaktionskomitee die Gewissheit, dass das Projekt realisierbar war, und zeigte gleichzeitig das grosse Interesse am Thema wie auch das Vertrauen in das gewählte Autorenkollektiv. Damit hat sich die Schweizerische Geotechnische Kommission einmal mehr in der Tradition bestätigt, trotz relativ kleinem Jahresbudget grössere wissenschaftliche Arbeiten veröffentlichen zu können – eine Kunst, die sie seit der Gründung beibehalten hat und die schon damals, 1899, im ersten Band der geotechnischen Serie der «Beiträge zur Geologie der Schweiz» vom Präsidenten Albert Heim mit folgenden schönen Worten umschrieben wurde: «*Wir teilen den Pessimismus derjenigen nicht, welche meinen, bei so geringen Mitteln sei es überhaupt gar nicht angezeigt, die Sache an die Hand zu nehmen. Wir wollen das Gebotene nicht wegweisen, sondern versuchen, was wir damit in ehrlichem Streben erreichen können...*». Diese Formulierung ist auch auf das heutige, schwierige wirtschaftliche Umfeld übertragbar. In diesem Sinne hoffen wir, mit dem vorliegenden Buch die Erwartungen der Leserschaft und der Gönner zu erfüllen.

Allen Gönnern, aber auch allen unbekannten und im Hintergrund tätigen Sponsoren sei an dieser Stelle ganz herzlich für ihre wertvollen Beiträge gedankt (die stattliche [Gönnerliste](#), geordnet nach Branchen, befindet sich ganz am Schluss im Anhang des Buches auf den [Seiten 518–522](#)). Auch an die Industrie, an viele privatwirtschaftliche Büros und an öffentliche Ämter geht ein spezieller Dank; sie stellten Archive und interne Berichte zur Verfügung, und aus ihrem Kreis stammen auch verschiedene der Autoren.

**Weiterer Dank:** Neben den Autoren und dem Redaktionskomitee haben viele Personen direkt oder indirekt zur Realisierung dieses Werkes beigetragen. Es ist hier nicht möglich, allen Mitwirkenden in der ihnen zustehenden Art und Weise zu danken. Wir möchten deshalb unser herzlichstes «Danke-schön» an alle Personen, Institutionen und Stellen richten, die an diesem Werk in irgendeiner Form mitgewirkt haben.

Namentlich verdankt seien nachfolgend diejenigen Beteiligten, welche ausserhalb der Erwähnung auf den Kapitelübersichten und in der Gönnerliste entweder für das Gesamtwerk oder für einzelne Kapitel besonderen Einsatz geboten haben.

**Infrastruktur:** Die Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich, wo die Schweizerische Geotechnische Kommission ein Gastrecht am Institut für Mineralogie und Petrographie genießt, hat durch die Zurverfügungstellung von infrastrukturellen Mitteln wesentlich zum Gelingen des Buches beigetragen. Besonderer Dank gilt dem Support durch den Computerdienst der ETH. Die kollegiale Hilfe, die uns von allen Mitarbeitern des Departementes der Erdwissenschaften und speziell des Institutes für Mineralogie und Petrographie zugute kam, verdient ebenfalls ganz besondere Erwähnung.

**Gestaltung und Desktop-Publishing:** Dass ein von Geologen im Desktop-Publishing-Verfahren hergestelltes Buch gewisse ästhetische und typografische Richtlinien einhält, dafür schulden wir dem Gestaltungsbüro «createam» in Chur, insbesondere Ramun Spescha und Reto Sommerau grossen Dank.

**Computer-Grafiken, Tabellen:** Zur Entlastung der «regulären Besatzung» der Geotechnischen Kommission wurden verschiedentlich temporäre Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen beigezogen. Doris Reber, Dominique Ballarin Dolfen, Daniela Vavrecka-Sidler und Monika Weiss sowie Dominique Egli, Timo Widmer, Pius Bissig, Marcel Pfiffner und Christoph Zwicky unterstützten das geotechnische Team tatkräftig und haben manche Verbesserung einfließen lassen.

**Übersetzungen:** Für die deutsche Übersetzung verschiedener, in französischer Sprache abgelieferter Originaltexte war Emil Witzig gewissenhaft besorgt.

**Vorversionen/Korrekturen:** Verschiedene Personen ausserhalb des Redaktionskomitees haben sich immer wieder bereit erklärt, das entstehende Werk in seiner Gesamtheit oder einzelne Kapitel davon gründlich durchzulesen. Viele Verbesserungen konnten dadurch erreicht werden. Besonderen Dank schulden wir Walter Oberholzer, Emil Witzig, Markus Weidmann, Filippo Bianconi und Christine Gerber Kündig. Kontraste im Stil und in der Art der Darstellung liessen sich angesichts der Streubreite der behandelten Themata und der

Vielfalt der Autoren nicht vermeiden. Für den wissenschaftlichen Inhalt seines Beitrages ist aber jeder Autor selbst verantwortlich.

*Luftbilder, Bilder:* Abbaustellen mineralischer Rohstoffe sind meistens schwierig zu fotografieren und oft nur aus der Luft gesamtheitlich dokumentierbar. Dank der grossen Unterstützung durch Heinz Leuenberger (DESAIR AG, Wermatswil), der spontan und unentgeltlich sein reichhaltiges Archiv von qualitativ hochstehenden Luftaufnahmen zur Verfügung stellte, war es möglich, den Lesern manchen unkonventionellen «Einblick» in den Rohstoffabbau der Schweiz zu gewähren. Das Buch hat durch diese aktuelle Dokumentation inhaltlich und ästhetisch sehr viel gewonnen.

*Druck und Lithoherstellung:* Die Druckerei Vontobel in Wetzikon war für den sorgfältigen Druck dieses Buches besorgt. Ganz besonders hat sich der ehemalige Mitarbeiter Walter Vochezer immer wieder um dieses Werk gekümmert und uns nicht nur mit transparenten Offerten und Offenlegung der Hintergrundkosten, sondern auch mit freundschaftlichem Rat geholfen. Für die Qualität der zahlreichen farbigen Abbildungen war die Interlitho AG in Zürich zuständig. Auch hier haben wir in Mike Spöri und Milan Saric eine grosse Unterstützung gefunden.

*Gönnerverwaltung, Administration, Rechnungswesen:* Bei der umfangreichen administrativen Korrespondenz, bei der Gönnerverwaltung und -information und bei der Finanzkontrolle war Margrit Oertle-Mock eine grosse Hilfe.

Allen Anrufern, die sich immer wieder telefonisch nach dem Stand und nach dem Erscheinungsdatum des Buches erkundigten, danken wir für das uns entgegengebrachte Verständnis und die Geduld.

### **Hinweise zum «Gebrauch» des Buches**

*Index:* Am Schluss des Buches befindet sich ein umfangreicher [Orts-Index](#) sowie ein [Sach-Index](#). Alle erwähnten Ortsnamen wurden darin aufgenommen. Das breitgefächerte Sachwortverzeichnis erleichtert den Quereinstieg in ein Thema.

*Literaturverzeichnis:* Das [Literaturverzeichnis](#) wurde kapitelweise geordnet in den Anhang gestellt. Im Text wurde manchmal aus Gründen der Lesbarkeit darauf verzichtet, benutzte Literaturquellen wiederholt zu erwähnen oder allgemein nur schwer zugängliche Quellen zu zitieren. Umgekehrt sind dem Literaturverzeichnis auch allgemeine Werke beige-

fügt, die zum besseren Verständnis bei der Lektüre eines Kapitels empfohlen werden.

*Grafische Darstellungen:* Die meisten Grafiken wurden auf speziellen Illustrationsprogrammen durch die Schweizerische Geotechnische Kommission hergestellt. Da das vorliegende Buch «Die mineralischen Rohstoffe der Schweiz» auch für den Lehreinsatz an Mittel- und Hochschulen konzipiert wurde, besteht die Möglichkeit, Folien einzelner Seiten beim Herausgeber zu beziehen (siehe [Kontaktadresse](#)).

*Ergänzungen:* Das Buch stellt eine Zusammenfassung des Kenntnisstandes zwischen 1990 und 1996 dar. Bis kurz vor Druckbeginn (Sommer 1997) wurden immer wieder aktuelle Daten eingefügt. Die wechselhafte Wirtschaftslage, aber auch die aus verschiedenen Gründen oft schnell ändernden Abbaustellen führen dazu, dass bereits zum Zeitpunkt des Erscheinens gewisse Zahlen überholt sein können. Die Schweizerische Geotechnische Kommission nimmt gerne Hinweise und Aktualisierungen entgegen und wird sie im Hinblick auf allfällige Neuauflagen sammeln.

### **Kontaktadresse**

Schweizerische Geotechnische Kommission  
ETH-Zentrum  
8092 Zürich





## **2 GEOLOGISCHE ÜBERSICHT**

**Kapitelinhalt**



Autoren: Dr. Rainer Kündig, Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH-Zentrum, 8092 Zürich  
Dr. Rudolf Vogler, Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

mit Beiträgen von: Dr. Hanspeter Funk, Geologisches Institut, ETH-Zentrum, 8092 Zürich  
Thomas Gubler, Geologisches Institut, ETH-Zentrum, 8092 Zürich  
Peter Nievergelt, Institut für Mineralogie und Petrographie, ETH-Zentrum, 8092 Zürich  
Prof. Dr. Conrad Schindler, Schwerzstrasse, 8618 Oetwil am See

Fotos: Heinz Leuenberger, DESAIR AG, Wermatswil (Titelbild, 2.3, 2.4, 2.7, 2.10-2.12, 2.16, 2.17)

---

**Abbildung auf Vorderseite: Blick über den Blackenstock zum Urirotstock. In der Südwand des Blackenstockes ist eine flach liegende Antiklinale in der Axendecke (Helvetikum) erkennbar. Die Gesteinsserien im Faltenkern gehören zum Lias,**

**die umgebenden Gesteine zum Dogger und Malm. An der Basis der Felswände, verborgen im Gehängeschutt, verläuft die Überschiebungsfläche der Axendecke auf eine süd-helvetische Flyschzone und parautochthone und autochthone**

**tertiäre Einheiten der nördlichen Bedeckung des Aarmassivs. Im Mittelgrund sichtbar ist die helvetische Drusbergdecke mit dem Oberbauenstock (rechts vom Urirotstock), darüber im Hintergrund der Anrissrand des Goldauer Berg-**

**sturzes (1806) am Rossberg. Ganz im Hintergrund links erkennbar ist die Rigi Hochfluh mit schräggestellter subalpiner Molasse.**

## ÜBERSICHT

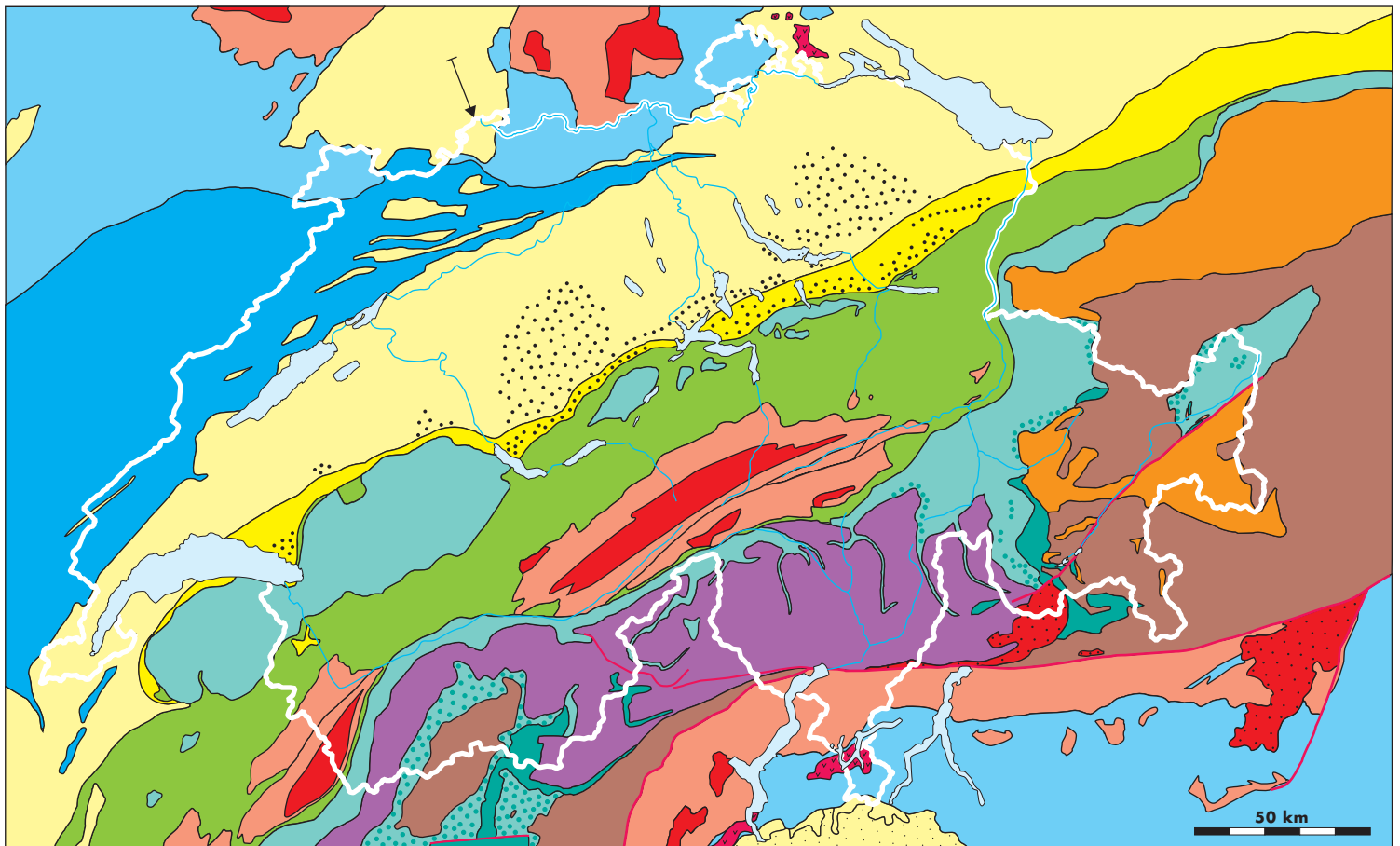
---

Die kurze Einführung in die Geologie der Schweiz soll einen allgemeinen Überblick geben und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie dient zur Hauptsache dem Zweck, einer geologisch weniger versierten Leserschaft das Verständnis zu den Kapiteln 3 bis 14 zu erleichtern und die darin beschriebenen Rohstoffvorkommen in den erdgeschichtlichen Bau der Schweiz einzugliedern. Aus diesem Grund enthält sie nebst einer vereinfachten geologisch-tektonischen Karte mit Profil ([Abbildung 2.1](#)) auch eine geologische Zeittabelle ([Abbildung 2.2](#)). Auf die technische Nutzung einzelner Formationen wird in den schematischen stratigraphischen Profilen eingegangen ([Abbildungen 2.5, 2.6, 2.8, 2.9, 2.13, 2.14 und 2.15](#)). Die Faziesverhältnisse, das heisst die regional verschiedenen Ablagerungsbedingungen und darausfolgend die verschiedene Gesteinszusammensetzung und Ablagerungsmächtigkeit sind in den verschiedenen tektonischen Einheiten so komplex, dass eine detaillierte Darstellung den Rahmen des vorliegenden Werkes übersteigen würde. Deshalb werden hier nur einige ausgewählte Profile vorgestellt, die nur einen beschränkten Bereich der entsprechenden Einheit repräsentieren. Bei der Benennung der Schichten ist zu beachten, dass einerseits die Namen regional wechseln können und dass andererseits ältere Bezeichnungen häufig geändert worden sind, weshalb ein scheinbarer Widerspruch zwischen den hier gegebenen Profilen und der Literatur oder den geologischen Karten auftreten kann. Für detaillierte Angaben zur Geologie der Schweiz sei auf grössere Übersichtswerke verwiesen, die im Literaturverzeichnis aufgeführt sind.

Bereits beim Studium topographischer Karten fällt die natürliche Dreiteilung der Schweiz in Jura, Mittelland und Alpen auf. Diese Dreiteilung entspricht auch der geologischen Gliederung, die durch die alpine Gebirgsbildung bedingt ist. Bei der alpinen Gebirgsbildung sind mesozoische Sedimente und das darunterliegende Kristallin, das seinerseits bereits eine komplexe Vorgeschichte erlebt hat, überschoben und miteinander verfaltet worden und bilden heute in ihrer Gesamtheit die eigentlichen Alpen. Der zweite Gebirgszug der Schweiz, der Jura, besteht aus einer Auffaltung von Sedimenten des Mesozoikums. Das dazwischenliegende Mittelland wird von klastischen Sedimenten der jungen Molasseablagerungen eingenommen, die, bis auf eine schmale Zone entlang des Alpenran-

des, flach liegen. Die heutige Topographie ist durch die seit Beginn der Alpenfaltung wirkende Erosionstätigkeit des Wassers und der Gletscher entstanden.

Die Beschreibung der Geologie der Schweiz beginnt im Norden, im Jura mit seinen Falten und Platten, um dann über das tektonisch einfach aufgebaute Molassebecken in die Alpen mit ihrem komplexen Deckenbau zu gelangen. Diese geologische Dreiteilung bezieht sich auf den eigentlichen Felsuntergrund; die jüngsten, quartären Ablagerungen, die grösstenteils als Lockergesteine vorliegen, bilden meist nur eine geringmächtige Deckschicht. Sie werden am Schluss dieser Ausführungen kurz gestreift.



# LEGENDE

## Sedimente des Tertiärs

- Molasse (Jura, Mittelland, Südalpen), Rheingraben; Quartär der Poebene
- Nagelfluh
- Subalpine Molasse (überschoben)

## Jura, Helvetikum

- Tafeljura: Perm und Mesozoikum
- Faltenjura: Mesozoikum
- Helvetische Decken, Autochthon: Paläozoikum, Mesozoikum und Tertiär
- Kristallines Grundgebirge: Zentralmassive, Schwarzwald, Vogesen mit Permokarbon-Trögen

## Penninikum

- Sedimente: (Paläozoikum), Mesozoikum und Tertiär mit Ophiolithen
- Ophiolithmassen: Serpentin, basische Gesteine (Basalt, Gabbro)
- Kristallines Grundgebirge

## Profilinie

## Ostalpin

- Sedimente: Perm und Mesozoikum
- Kristallines Grundgebirge

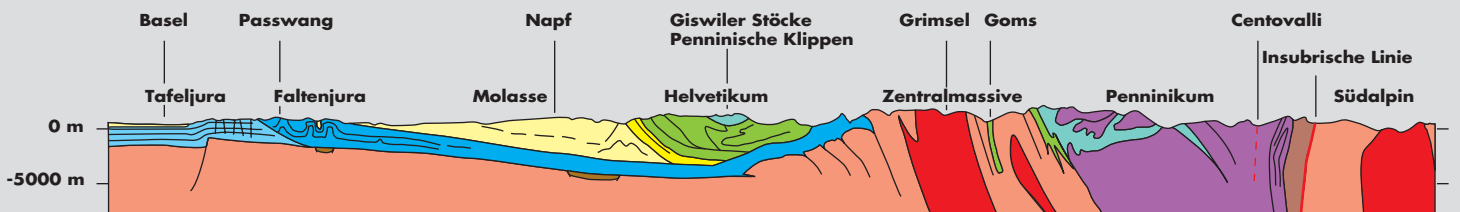
## Südalpin

- Sedimente: Perm und Mesozoikum
- Kristallines Grundgebirge (Insubrisches Kristallin)

- Granitische Gesteine: Tertiär: Adamello, Bergell, Sondrio; Herzynisch: Mt. Blanc-, Aar- und Gotthardmassiv; Baveno, Schwarzwald, Vogesen

- Vulkanite Miozän: Hegau; Perm: Südtessin

- Grössere alpine Störungen: Insubrische Linie, Simplon-Linie, Engadiner Linie, Giudicarie-Linie, Centovalli-Linie



2.1

Abbildung 2.1: Geologisch-tektonische Karte der Schweiz mit einem schematischen Nord-Süd-Profil.



ZEITALTER	SYSTEM	ABTEILUNG	STUFE	MIO. JAHRE (Untergrenze)	GEOLOGISCHES UMFELD	OROGENESEN
Känozoikum	Quartär	Holozän Pleistozän	Calabrien	0.01 1.7	Weitere Hebung der Alpen Mehrere Vergletscherungszyklen	Alpine Gebirgsbildung
				Tertiär	Pliozän	
	Miozän	Messinien	7			
		Tortonien	11			
		Serravallien	15			
		Langhien	16			
		Burdigalien	20			
		Aquitanien	23			
	Oligozän	Chattien	28		Intrusion des Bergeller Granits Deckenbildung im Penninikum und Ostalpin	
		Rupélien	34			
	Eozän	Priabonien	37		Einengung und Subduktion im Penninikum	
		Bartonien	40			
Lutétien		46				
Yprésien		53				
Paläozän	Thanétien	59				
	Danien	65				
Mesozoikum	Kreide	obere Kreide	Maastrichtien	96		Öffnung des Urmittelmeeres Tethys zwischen Europa und Afrika
			Campanien			
	Santonien					
	Coniacien					
	Turonien					
	untere Kreide	Albien	135			
		Aptien				
		Barrémien				
		Hauterivien				
		Valanginien				
	Jura	Malm	Portlandien	154	Zerfall des Urkontinents Pangäa	
			Kimmeridgien			
Oxfordien						
Dogger		Callovien	175			
		Bathonien				
Bajocien						
Lias	Aalénien	203				
	Toarcien					
Trias	Keuper	Pliensbachien	230			
		Sinemurien				
		Hettangien				
	Muschelkalk	Ladinien		240		
		Anisien				
Buntsandstein	Skythien	250				
Paläozoikum	Perm			295	Kontinentale Verwitterung, Wüstenklima Sedimentation in Becken, Magmatismus	Variszische Gebirgsbildung
	Karbon			355	Kontinentale Sedimentation, üppige Vegetation Magmatismus	
	Devon			408	Entstehung des altkristallinen Grundgebirges während mehrerer Gebirgsbildungsphasen mit Faltung, Magmatismus, Metamorphose, Hebung, Abtragung, Sedimentation	
	Silur			435		
	Ordovizium			500		
	Kambrium			540		
Prä-kambrium	Proterozoikum			2500		
	Archaikum					

## 2.1 JURA

Der Jura erreicht maximale Gipfelhöhen zwischen 1600 und 1700 m ü.M. und ist somit als typisches Mittelgebirge zu bezeichnen. Dieser Gebirgszug bildet die nordwestliche Grenze der Schweiz. Geographisch-sedimentologisch gesehen eine Einheit bildend, ist der Jura auf Schweizer Gebiet vom geologisch-tektonischen Standpunkt her in einen Falten- und einen Tafeljura zu unterteilen. Der Faltenjura zweigt in Savoyen in Form einer von Südwesten gegen Nordosten verlaufenden Faltenchar als Seitenast von den Alpen ab. Er besteht aus vielen, einander ablösenden Falten, deren Achsen mehr oder weniger parallel zum gesamten Gebirgszug verlaufen. Die Falten werden häufig durch querverlaufende Störungszonen um unterschiedliche Beträge seitlich versetzt. Die Gesteine sind infolge grosser Kompetenzunterschiede disharmonisch verfaltet, was zu oft komplex aufgebauten Faltenkernen geführt hat (als kompetent werden Lagen in Schichtpaketen bezeichnet, die sich bei Deformationen relativ starr verhalten, beispielsweise Kalke oder Sandsteine). Dagegen lassen sich inkompetente Gesteine leicht plastisch deformieren (Tone, Evaporite). Die Breite des Faltenjuras nimmt von Westen gegen Osten stark ab, von 30 Kilometer bei der Vallée de Joux auf 1.5 Kilometer in der Lägern, wo eine letzte, einzelne Falte ostwärts unter die Sedimente der Molasse abtaucht. Das ganze Faltengebilde ist, im Zusammenhang mit dem letzten Vorstossen der helvetischen Decken in den Alpen, auf den Evaporiten der Trias (Steinsalz/Anhydrit) abgesichert worden und weist nur einen geringen Tiefgang von ein bis maximal zwei Kilometern auf. Im Gegensatz zum Faltenjura ist der Tafeljura aus Schollen flachliegender Sedimente aufgebaut, die durch schmale, steilstehende Bewegungszonen voneinander getrennt sind. Er bildet die Sedimentbedeckung des flach gegen Süden abtauchenden Schwarzwaldkristallins. Als im Zusammenhang mit der Bildung des Rheintalgrabens im Oligozän das Kristallin in einzelne Schollen zerbrach, wurden auch die darüberliegenden Sedimente zerrissen. Der Übergang zwischen Tafel- und Faltenjura vollzieht sich in einem für den Jura atypischen Schuppenbau, was auf eine Überschiebung des Faltenjuras auf den Tafeljura von Süden her um bis zu fünf Kilometer zurückzuführen ist.

Die ältesten Sedimente des Juras gehören zum Karbon, das Paläozoikum ist aber nirgends aufgeschlossen. Während des Mesozoikums war das ganze Gebiet von einem tropischen Flachmeer (Nordrand der Tethys) mit untiefen Becken und



2.3

seichten Schwellen bedeckt. Hier sedimentierte während fast 200 Millionen Jahren eine 1000 bis 1500 Meter mächtige Abfolge von Kalken, Mergeln und Tonen mit untergeordnet Dolomit, Sandstein, Anhydrit und Steinsalz. Die Kalke weisen eine sehr variable Zusammensetzung auf, wie überhaupt im Jura, bedingt durch das komplex aufgebaute Meeresbecken, häufig zeitgleiche Sedimente in unterschiedlicher Fazies entwickelt wurden. Kreidesedimente sind nur westlich von Biel zu finden, weiter östlich wurden sie entweder nie abgelagert oder dann bereits vor dem Tertiär wieder erodiert. Im Eozän lag der Jura über dem Meeresspiegel. Die Spalten der dabei entstehenden Karstoberfläche wurden mit Verwitterungsrückständen wie rotem Lehm, Bohnerz oder Quarzsand gefüllt ([Kapitel 4](#)).

Die heutige Oberfläche des Juras weist nur eine spärliche Überdeckung durch eiszeitliche Ablagerungen auf. Auffällig ist, dass das Relief hauptsächlich durch den geologischen Aufbau bestimmt wird. Die Höhenzüge des Kettenjuras sind an Antiklinalen gebunden, während die Synklinalen durch Täler und Becken markiert sind. Die Flussläufe folgen grösstenteils den Längstätern und durchbrechen die Falten in einzelnen schluchtartigen Klusen, wodurch oftmals ein wunderbarer Einblick in den Faltenbau gewährt wird ([Abbildung 2.2](#)). Bedingt durch das morphologische Heraustreten wirken Kalkschichten eher dominant, die weichen Sedimente, wie Mergelschichten oder Tone, sind dagegen meist durch üppige Vegetation verdeckt. Das mengenmässige Überwiegen der Kalkschichten beweisen auch die zahlreichen Karsterscheinungen, beispielsweise Dolinen. Die Niederschläge versickern dadurch schnell und treten erst weit entfernt, oft in

**Abbildung 2.3: Geologie im Jura.** Blick gegen Nordosten in die Klus von Moutier. Im Kern aufgeschlossen ist ein Band aus Kalken des mittleren Oxfordien, die Krete gegen die sogenannte «Combe du Pont» bilden Kalke des oberen Ox-

fordien. Darüber, im scharfen Kamm (Arête du Raimeux) in der oberen Bildmitte sind Kalke des Kimmeridgien sichtbar (Reuchenette-Formation). Im Hintergrund links ist noch schwach die Vellerat-Antiklinale erkennbar.

grossen Karstquellen wieder an die Oberfläche, was den ganzen Jura relativ trocken macht.

Die Jurakalksteine unterscheiden sich von denjenigen der Alpen oft durch ihre hellere Färbung und ihre zumeist höhere Porosität. In vielen Kalksteinbrüchen werden Gesteine für Hoch-, Tief- und Strassenbau sowie Rohstoffe für die metallurgische und die chemische Industrie gewonnen ([Kapitel 4 und 6](#)). Der Jura liefert auch viele Rohstoffe für die Kalk-, Zement- und Gipsfabrikation ([Kapitel 7 und 8](#)). Daneben werden oder wurden Tone für die Keramikherstellung und Sande für Spezialzwecke abgebaut ([Kapitel 3 und 4](#)). Nur noch historische Bedeutung kommt den zahlreichen Vorkommen von Bohnerz und Huppererde zu ([Kapitel 4 und 10](#)).

## 2.2 MITTELLAND

Der Untergrund des schweizerischen Mittellandes besteht aus der sogenannten Molasse, jungen Sedimenten, die während der Alpenfaltung als Abtragungsschutt des sich hebenden Gebirges in mariner und terrestrischer Umgebung abgelagert wurden. Die Mächtigkeit des ganzen Sedimentpaketes beträgt am Alpenrand sechs Kilometer und nimmt gegen Norden bis auf wenige hundert Meter ab. Dies und die Tatsache, dass in einem bestimmten Schichtkomplex die mittlere Korngrösse von Süden gegen Norden meist massiv abnimmt, weisen darauf hin, dass die Sedimente vorwiegend von Süden her geschüttet wurden.

Die Entstehungsgeschichte der mittelländischen Molasse kann wie folgt skizziert werden: Im Oligozän bildete sich eine Vorlandsenke im Gefolge der alpinen Orogenese. Das kristalline Grundgebirge mit seinen permokarbonischen Sedimenttrögen senkte sich zusammen mit den darüberliegenden mesozoischen Sedimenten, wie Kalk, Mergel, Ton, Anhydrit und Steinsalz (vom Nordrand der Tethys) zu einem Becken, in dem sich in den folgenden 30 Millionen Jahren der Schutt aus den sich hebenden Alpen ablagerte. Ein durch variierende Sedimentationsraten im sich absenkenden Molassebecken bedingtes, zweimaliges Vordringen und Zurückweichen des Meeres verursachte unterschiedliche Sedimentationsbedingungen, was zu einer Unterteilung der Molasse in Untere Meeresmolasse (UMM), Untere Süsswassermolasse (USM), Obere Meeresmolasse (OMM) und Obere Süsswassermolasse



2.4

(OSM) führt. Als erstes sedimentierten in einem Restmeer (Flyschmeer) feinkörnige Sande, Tone und Mergel auf die verkarstete mesozoische Oberfläche (UMM). Durch Auffüllung kam das Molassebecken in mehr terrestrisches Milieu zu liegen und die Sedimentation der USM begann, charakterisiert durch die Bildung der ersten Nagelfluh-Schuttfächer. Bedingt durch kräftige Hebungen im Alpenraum führten die Flüsse reiche Sedimentfracht. Die grobe Fraktion lagerten sie alpennah in Form riesiger Schuttfächer (USM/OSM) oder flachmariner Deltas (OMM) ab, während der Feinanteil durch Flusssysteme oder Meeresströmungen weiter gegen Norden und auch in der Längsachse des Molassebeckens oft über grosse Distanzen weitertransportiert wurde. Die OSM bildete den letzten Sedimentationszyklus der Molasse. Sie enthält als besonderes Merkmal Lagen von vulkanischem Tuff des zu dieser Zeit aktiven Hegau-Vulkanismus und Bentonitlagen unbekannter Herkunft. Am Alpenrand wurde die Molasse anschliessend durch das kontinuierliche Vorstossen der helvetischen Decken überfahren. An der Überschiebungsfront wurden dabei die Molassesedimente in Form von grossen Schollen nordwärts überschoben und teilweise zusätzlich verfaultet. Die Verkürzung in diesem Bereich der sogenannten subalpinen Molasse beträgt rund 15 bis 25 Kilometer. In der flachliegenden Molasse äussert sich das gleiche Ereignis nur als leichte Wellung und Brüche, obwohl dabei das gesamte Sedimentpaket inklusive Mesozoikum um einige Kilometer gegen Nordwesten verschoben wurde, was zur Auffaltung des Jura gebirges führte.

Das heutige Relief des Mittellandes ist teilweise durch das letzte tektonische Ereignis geprägt, teilweise aber auch auf die

**Abbildung 2.4:** Schweizerisches Mittelland, Blick von Solothurn über das Aaretal gegen Flumenthal (Kiesgrube), Wiedlisbach und gegen Oensingen, Olten. Typisch für das mittelländische Molassebecken ist

die sanfte Topographie mit den bewaldeten Hügeln.



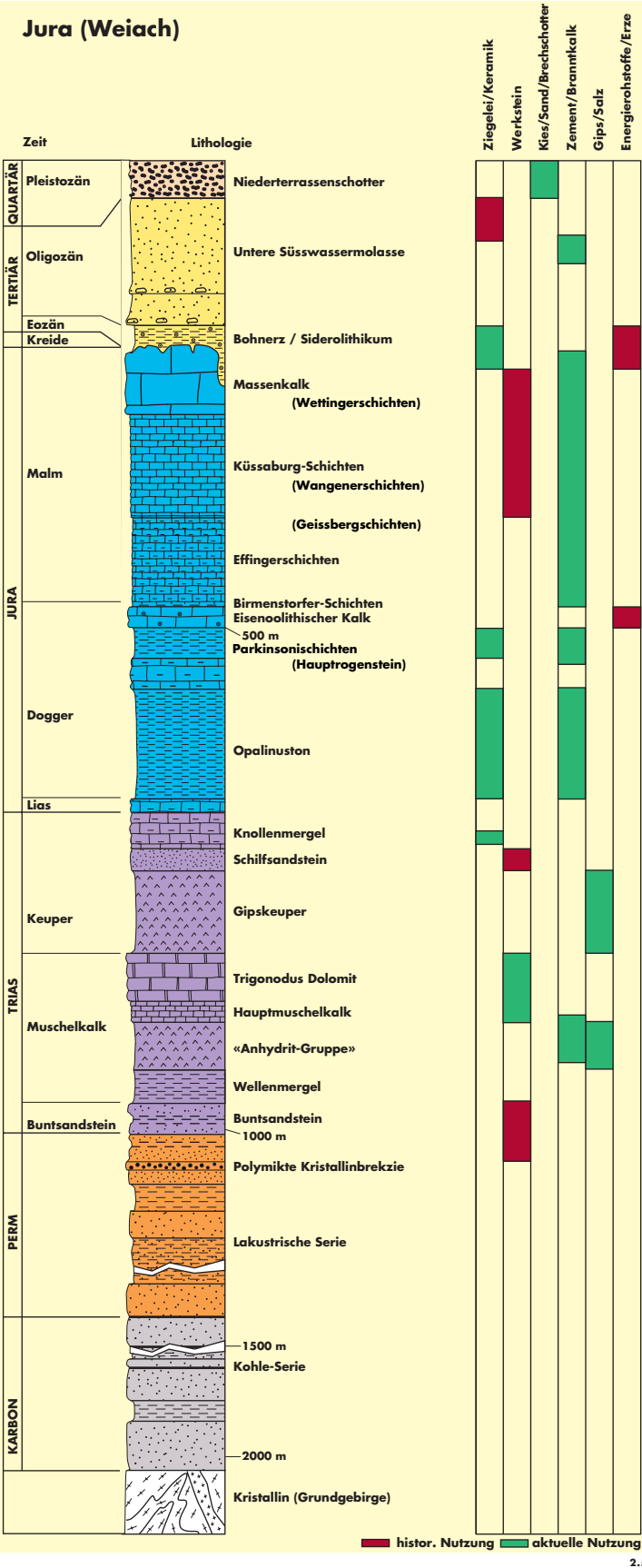


Abbildung 2.5: Stratigraphisches Profil des Juras der zentralen Nordschweiz gemäss den Erkenntnissen aus der Bohrung Weiach (Nagra, NTB 88-08). In Klammern erwähnt sind entsprechende stratigraphische Einheiten aus dem Aargauer Jura [nach Müller et al., 1984].

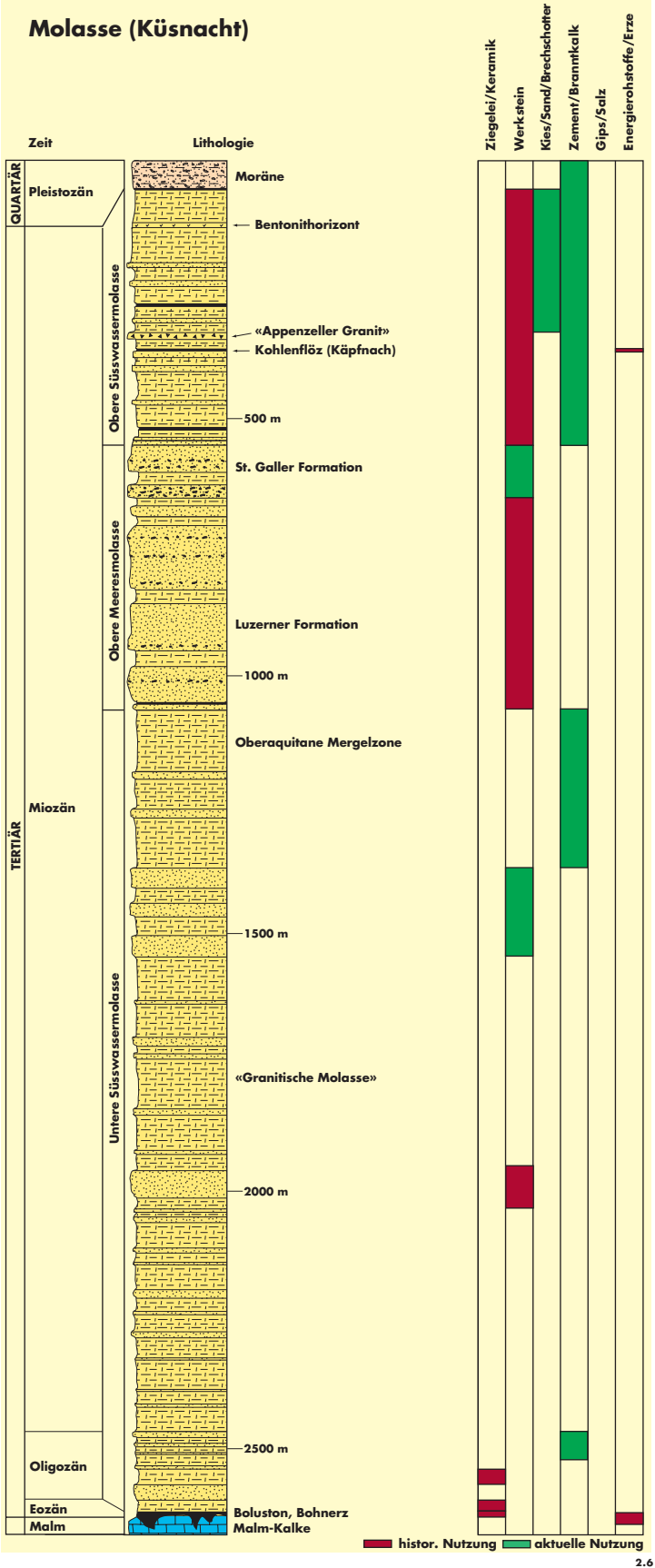


Abbildung 2.6: Stratigraphisches Profil der ost- bis zentralschweizerischen Molasse bei Küsnacht ZH [nach Büchi et al., 1965 (Erdöltiefbohrung) und Gubler, 1987].



Erosionswirkung der eiszeitlichen Gletscher und Flüsse zurückführen. Im westlichen Teil griff die Erosion viel tiefer als im Osten. Das führte dazu, dass von Osten nach Westen immer ältere Molasseserien an der Oberfläche aufgeschlossen sind.

Der Nutzung der Molassegesteine für vielfältige Anwendungen kommt grosse Bedeutung zu. Sandsteine und Muschelkalksteine werden in zahlreichen Brüchen seit Jahrhunderten als Bausteine genutzt (Kapitel 6). Die Nagelfluhgerölle dienen und dienen immer noch zur Strassenschotterung oder als Zuschlagstoff für Beton und Schwarzbeläge (Kapitel 5, 6 und 11). Viele Sande wurden als Glas-, Form-, Schleif- und Streusande (Kapitel 4) sowie für die Bauindustrie abgebaut (Kapitel 5). Molassemergel und -tone finden Verwendung in der Ziegelindustrie (Kapitel 3).

## 2.3 ALPEN

Die Schweizer Alpen bilden den zentralen und höchsten Sektor des Alpenbogens. Durch die Kollision der afrikanischen mit der eurasischen Kontinentalplatte wurde die Lithosphäre in Nordsüdrichtung eingeeignet und dadurch das Ozeanbecken der Tethys verfaultet; ursprünglich nebeneinander liegende Gesteinskomplexe kamen dadurch als Falten, Decken und Schuppen übereinander zu liegen. Die Kollision führte zu einem komplizierten Gebilde aus Massiven und mächtigen Falten- und Deckensystemen.

### 2.3.1 ZENTRALMASSIVE

Als Massive werden Teile des alten europäischen Grundgebirges bezeichnet, wie sie in den schweizerischen Zentralalpen, aber auch im Schwarzwald und in den Vogesen auftreten. Alle haben eine lange, sehr komplexe Bildungsgeschichte erlebt und weisen Relikte der verschiedenen älteren europäischen Gebirgsbildungsphasen auf. Lithologisch sind sie aus verschiedenen metamorphen Gesteinen (Altkristallin) und jüngeren magmatischen Gesteinen (oft granitisch) sowie deren vulkanischen Äquivalenten aufgebaut. Bei der alpinen Orogenese wurden sie zur Hauptsache zusammengestaucht (steilste-



2.7

hende Strukturen), aber auch nach Norden überschoben, wie neueste Erkenntnisse über die Tiefenstrukturen zeigen.

Im Bereich der Zentralmassive sind vier Komplexe unterscheidbar; es sind dies Aar-, Gotthard-, Mont Blanc-Massiv und Aiguilles Rouges-Massiv (vergleiche Abbildung 2.1, geologische Karte). Das Aarmassiv bildet die grösste Einheit und besteht im Kern aus Graniten, die von Schiefer- und Gneiszonen mit Amphiboliten umgeben sind. Im südlichsten Teil sind einige noch heute aktive Bruchzonen. Das weiter südlich liegende Gotthardmassiv weist neben verschiedenen Gneisen mit Amphiboliteinlagerungen und Serpentin vereinzelt Granitstöcke auf. Auf beiden Massiven sind Teile der mesozoischen Sedimentbedeckung erhalten geblieben. Die Trennung zwischen den beiden Massiven bilden das Tavetscher Zwischenmassiv, eine intensiv gestörte Serie von Gneisen, Schiefern und Phylliten, und die Urserenzone mit mesozoischen Sedimenten. Weiter im Westen liegen das Mont Blanc- und das Aiguilles Rouges-Massiv, die durch eine schmale Mulde voneinander getrennt sind. Das Mont Blanc-Massiv ist aus einer zentralen Granitzone mit Schiefern und Gneisen sowie amphibolitischen Einlagerungen und Quarzporphyren aufgebaut, das Aiguilles Rouges-Massiv weist alpin wenig metamorphe Granite, Gneise, Hornfelse und Glimmerschiefer auf.

Durch die schnelle Hebung und die damit verbundene starke Erosion bildete sich das typische Relief eines jungen Hochgebirges heraus, mit grossen Höhenunterschieden und markanten Berggestalten.

Als nutzbare Gesteine sind in den Zentralmassiven vor allem Granite und untergeordnet verschiedene Gneise und Ofensteine von Bedeutung (Kapitel 6.2).

**Abbildung 2.7:** Gipfel der Jungfrau, vom Gletscherhorn aus gesehen. Das Kristallin der Jungfrau gehört zum Aarmassiv (Lauterbrunner-Innertkirchner Kristallin). Der Gipfelaufbau ist bei der alpinen Gebirgsbildung über das basale Kristallin

mit seiner autochthonen Sedimentserie überschoben worden. Der überfahrene «Sedimentkeil» des Malmkalks ist links im Bild knapp über dem Schneeegrat erkennbar.

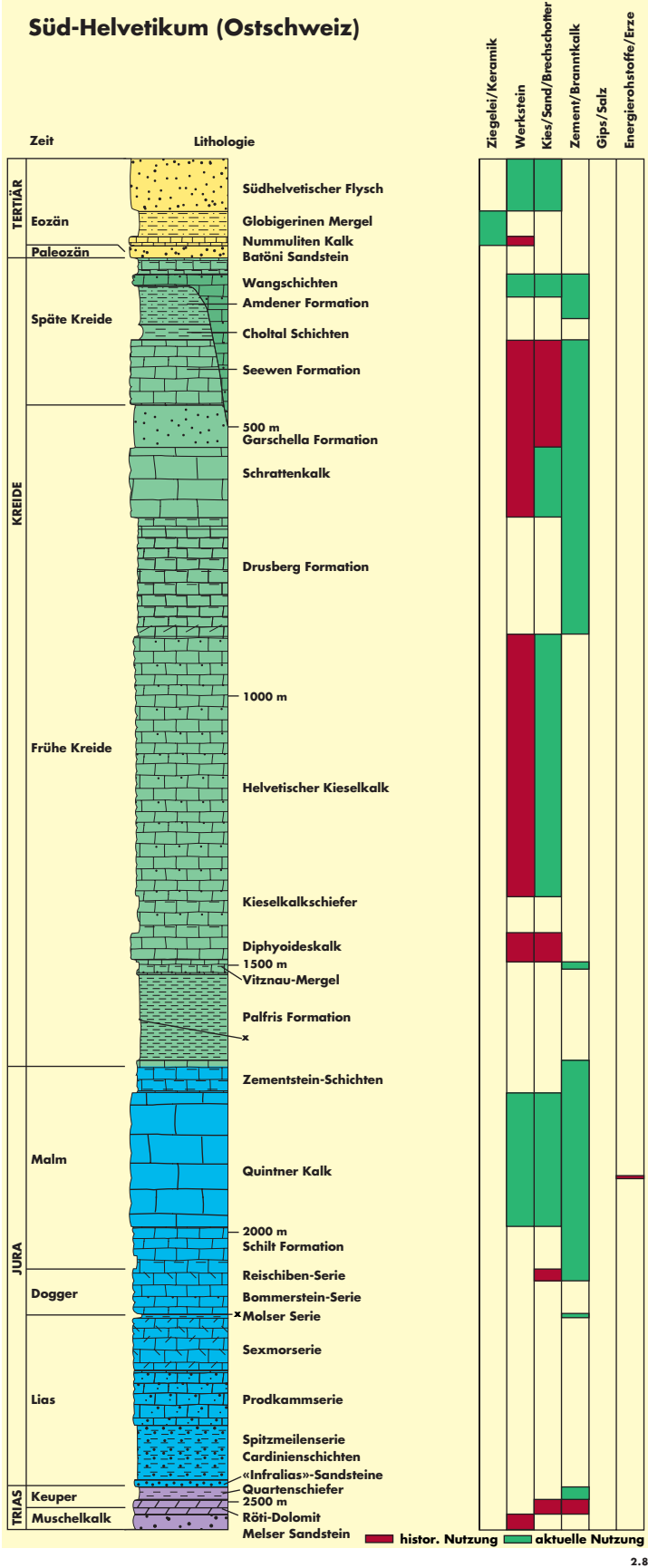


Abbildung 2.8: Stratigraphisches Profil des Südhelvetikums der Ostschweiz [nach Funk, 1989].

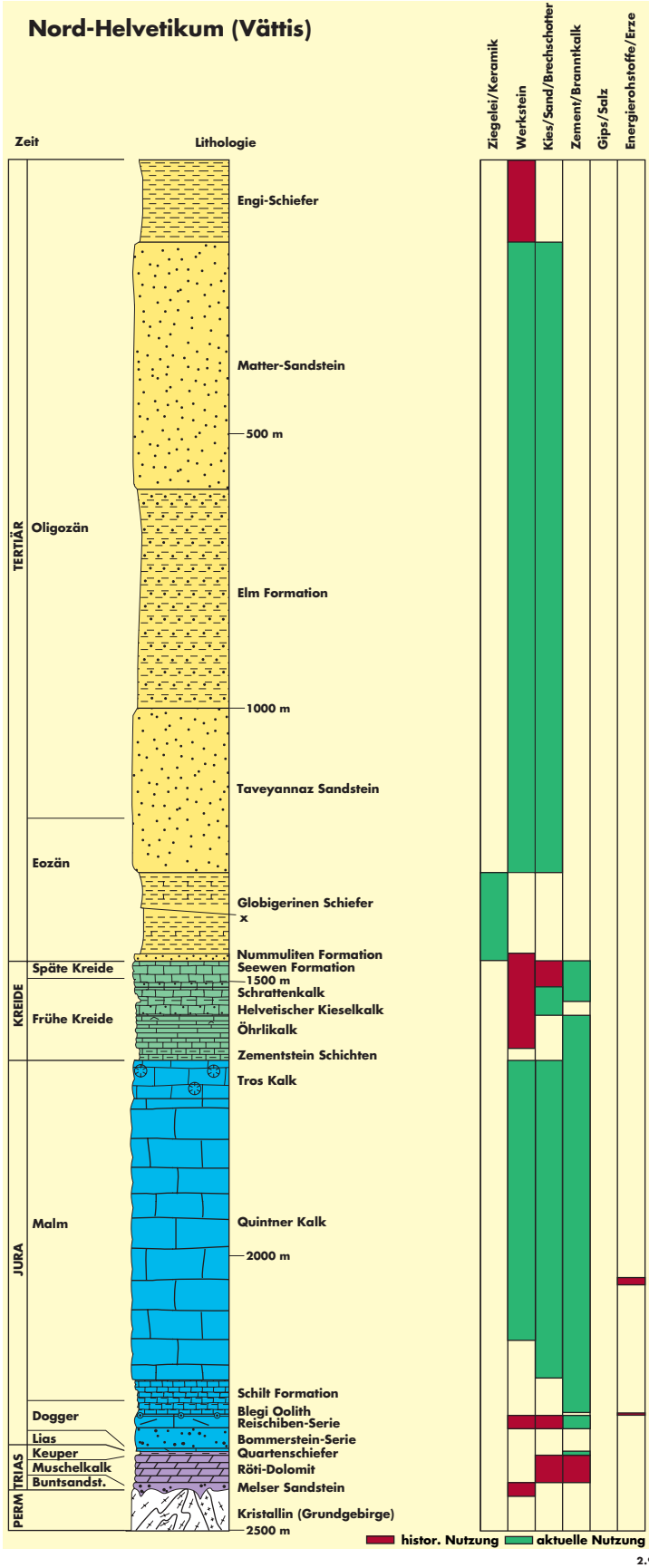


Abbildung 2.9: Stratigraphisches Profil des Nordhelvetikums in der Gegend von Vättis SG [nach Funk, 1989].

## 2.3.2 HELVETIKUM

Ein grosses zusammenhängendes Gebiet nordwestlich der Zentralmasse wird von den helvetischen Decken eingenommen. Sie enthalten Sedimente mesozoischen, tertiären und – im Osten – permischen Alters, die auf dem Schelf am Nordrand der Tethys abgelagert wurden, somit also unter ähnlichen Bedingungen wie die Gesteine des Juras und des Mittellandes (unter der Molasse) entstanden. Der südlichste, ton- und mergelreichste Teil der helvetischen Sedimente wird als Ultrahelvetikum bezeichnet.

Die helvetischen Decken sind als späalpiner Abscherungsdecken um 30 bis 50 Kilometer gegen Nordwesten verschoben worden und haben am Schluss ihrer Dislokation alpennahe Teile der Molasse überfahren (subalpine Molasse). Das Ultrahelvetikum gelangte in einer frühen Phase der Gebirgsbildung auf das noch unverfaltete Helvetikum und wurde anschliessend zusammen mit diesem verfault, wobei seine inkompetenten Sedimente oft als Gleitschicht in Abscher- und Überschiebungshorizonten dienten. Teile der helvetischen Sedimente verblieben direkt auf den Massiven (sogenanntes Autochthon) oder wurden nur wenig abgeschert (Parautochthon). Im ganzen Deckensystem bildeten die kompetenten Schichten der Kreide- und Jurakalke das Gerüst der Falten, während die inkompetenteren Mergel und Tonschiefer als Füllung dienten oder als Schmiermittel zu deckeninternen Deformationen führten. Die Faltung im Helvetikum war infolge der grösseren Überlagerung (durch höhere Decken) plastischer als in vergleichbaren Gesteinen des Juras, was im südlichen Teil sogar zu einer schwachen Metamorphose führte.

Im Gebiet der helvetischen Decken ist die Morphologie vor allem charakterisiert durch die markanten Falten der Schratzen- und Malmkalke.

Technische und wirtschaftliche Bedeutung haben die Gesteine des Helvetikums hauptsächlich im Tiefbau als hochwertige Strassenbaumaterialien ([Kapitel 5 und 6](#)) sowie als Rohmaterial für die Kalk-, Zement- und Gipsfabrikation und in der chemischen Industrie ([Kapitel 3, 7 und 8](#)). Ein bedeutender Teil des hochwertigen Kieses im Mittelland stammt ursprünglich ebenfalls aus den helvetischen Decken.

## 2.3.3 PENNINIKUM

Die penninischen Decken bilden die Walliser Alpen südlich der Rhone, die Tessiner Berge und den Westteil Graubündens sowie das Engadiner Fenster. Sie stammen ursprünglich aus den kontinentfernen Teilen sowie den ozeanischen und paraoceanischen Becken der Tethys.

Im Gegensatz zum Helvetikum erfassen Faltung und Deckenbildung im Penninikum auch den kristallinen Untergrund. Da die Sedimente grossenteils vom Untergrund abgeschert und bis zu 50 Kilometer gegen Norden verfrachtet wurden, bevor die Deckenbildung auch das Kristallin mit den verbleibenden Sedimentresten ergriff, kam es zu einer Auftrennung mit Sedimentdecken mehr im Norden und Kristallindecken mehr im Süden. Die Kristallindecken bestehen aus kilometermächtigen Gneispaketen in Form von nach Norden überkippten Deckfalten oder von Schuppen, voneinander getrennt durch dünne Sedimentzüge. Im Gegensatz zu den Massiven liegen hier die Strukturelemente (Gneisbänderung und -schieferung) mehrheitlich flach. Lithologisch bestehen die Sedimente des Penninikums hauptsächlich aus mächtigen, mesozoischen Bündnerschiefermassen und Radiolariten sowie Ophiolithen. Vor allem die tieferen Decken haben eine starke alpine Metamorphose mit durchgreifender Neukristallisation erfahren. Die Südenden der penninischen und auch der ostalpinen Decken tauchen gegen die insubrische Linie hin, in der sogenannten Wurzelzone, steil ab.

Das Relief im Gebiet des Penninikums ist stark durch die Aufteilung in Sediment- und Kristallindecken geprägt. Es umfasst neben oft sanften Formen in den Bündnerschiefern unter anderem auch imposante Gneis-Gipfel.

Vor allem die granitartigen und plattigen Gneise des Penninikums haben eine sehr grosse Bedeutung als Naturbausteine. Daneben werden aber auch Quarzite, Marmore, Dolomite, Serpentine, Gipslager sowie Schiefer und Sandsteine der Bündnerschiefer und des Flysches genutzt ([Kapitel 6](#)).

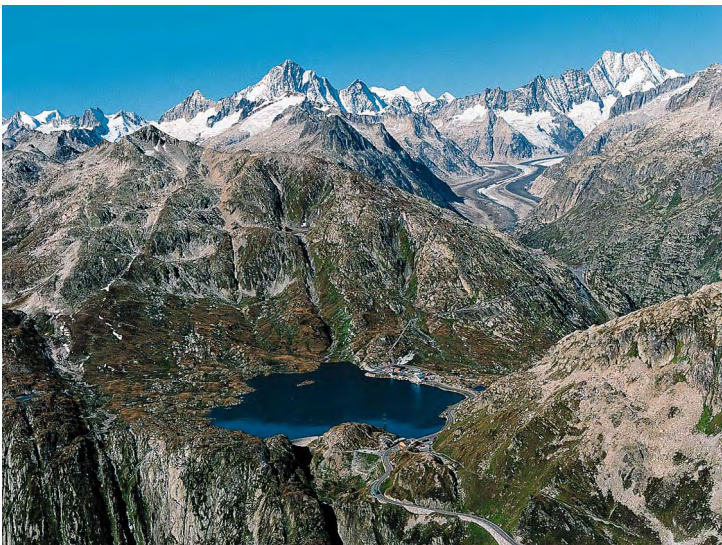
## 2.3.4 OSTALPIN

Die ostalpinen Decken bilden die tektonisch höchsten Bauelemente der Alpen. Sie umfassen Kristallin- und Sedimentdecken mit teilweise sehr komplexem Aufbau. Die Sedimente stammen vom südöstlichen Kontinentalrand der Tethys und vom afrikanischen Schelf. Die ostalpinen Decken, die teilweise um mehr als 100 Kilometer überschoben wurden,





2.10



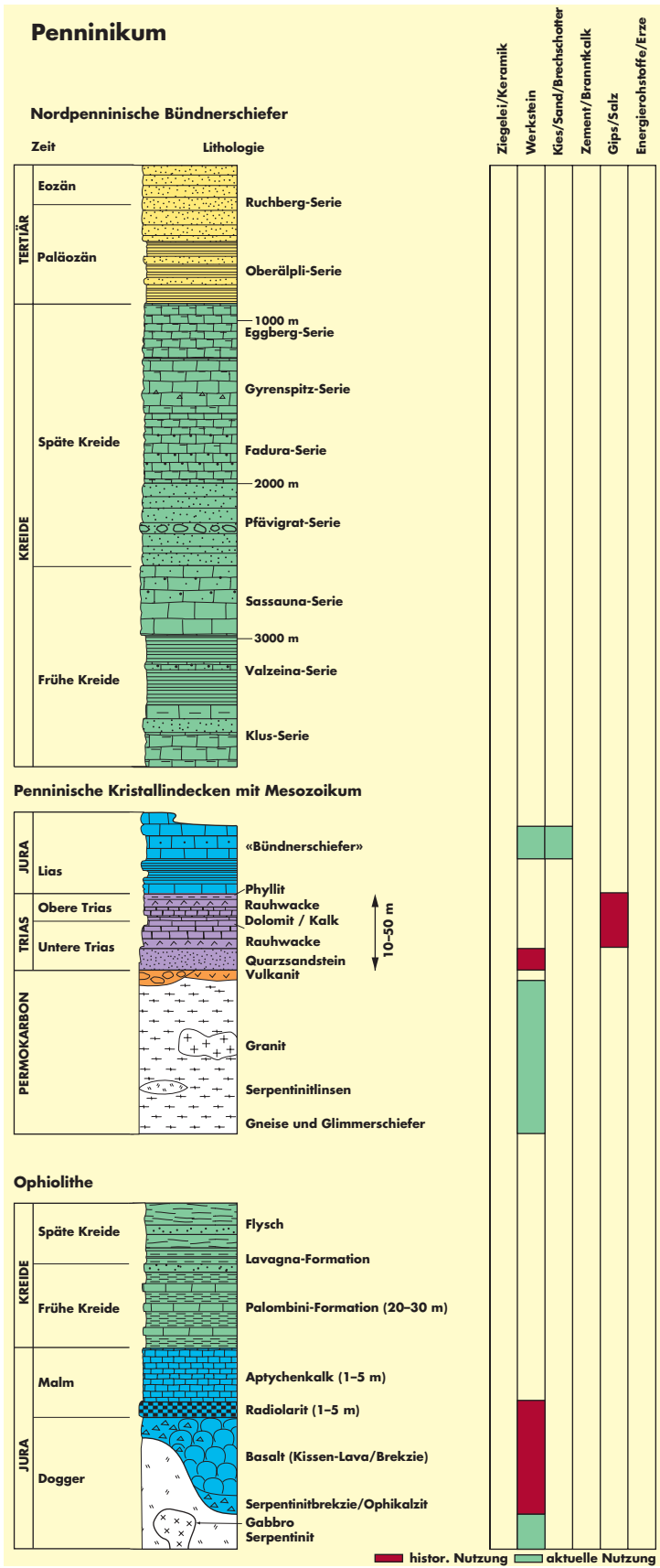
2.11



2.12

Abbildung 2.10: Helvetikum. Blick über den Mürtschenstock (Mürtschen-decke) mit mehrheitlich Malmkalken (Quintnerkalk) in Richtung Nordost zu den Churfürsten (Mittelgrund) und zum Säntismassiv mit Kreidekalken (vorwiegend Schrattekalk) der Axen- resp. Säntisdecke.

Abbildung 2.11: Alpine Geologie im Grimselgebiet. Blick Richtung Westen über die Grimselpasshöhe 2126 m zum Finsteraarhorn (links) und Lauteraarhorn (rechts), dazwischen der Unteraargletscher. Typisch für diesen Teil des zentralen Aaregranites ist die gletscherüber-



2.13

prägte, rundhöckerartig ausgebildete Topographie.

Abbildung 2.12: Penninikum in Graubünden; Blick von der Alp Flix gegen Norden. In der Bildmitte Serpentinmassen vom Nordrand der Plattadecke, dahinter unterostalpine,

kalkige Serien am Pza. Grossa (Err-decke). Im Hintergrund Karbonatwände (Hauptdolomit) der Eladecke.

Abbildung 2.13: Stratigraphische Profile aus verschiedenen penninischen Decken (nach verschiedenen Quellenangaben).

können in drei Einheiten zusammengefasst werden: Unter-, Mittel- und Oberostalpin. Die Decken des Unterostalpins sind gekennzeichnet durch Kerne aus kristallinem Grundgebirge, die oft in stratigraphischem Kontakt mit ihrer Sedimentbedeckung stehen. Grundgebirgsschuppen mit mesozoischer Bedeckung sind charakteristisch für das Mittelostalpin, während die Decken des Oberostalpin, respektive der nördlichen Kalkalpen, nur aus mesozoischen Sedimenten bestehen. Die Sedimente werden lithologisch dominiert von einer gut ausgebildeten Trias mit mehreren Kilometer mächtigen Flachwasserkarbonaten, die durch langsames Absinken der Plattform entstehen konnten. Die Kristallineinheiten bestehen aus einer grossen Vielfalt metamorpher Sedimente sowie Plutoniten und Vulkaniten unterschiedlicher Zusammensetzung. Durch ihre hohe Lage im Deckenstapel erfuhren die Gesteine, ausser ganz im Süden, nur eine leichte alpine Metamorphose, was dazu führte, dass die Kristallindecken beim Transport zwar in einzelne Späne und Schollen zerlegt wurden, intern aber noch alte Grundgebirgsstrukturen zeigen. Die zwischengelagerten Sedimente sind dagegen intensiv deformiert. Ein auffälliges Merkmal in der Landschaft der ostalpinen Decken sind die oft spektakulären Kalk- und Dolomitwände (Hauptdolomit).

Die Gesteine der ostalpinen Decken haben nur eine untergeordnete praktische Bedeutung.

### 2.3.5 JUNGE INTRUSIVA

Als einziger Komplex junger Intrusiva auf Schweizer Gebiet ist das Bergell mit den im Tertiär (etwa 30 Millionen Jahre) intrudierten Gesteinen zu erwähnen. Im Norden umfassen diese Gesteine vor allem Granite, die gegen Süden in Tonalit übergehen. Sie sind jünger als die benachbarten Decken, was daraus abgeleitet werden kann, dass sie die umgebenden penninischen Deckenstrukturen durchbrechen und darin eine Kontaktmetamorphose erzeugen.

Die durch eine rasche Hebung bedingte starke Erosion führt zu einem sehr ausgeprägten Relief mit hohen steilen Bergflanken und engen tiefen Tälern.

Bedingt durch die ungünstige geographische Lage haben die jungen Intrusiva auf Schweizer Gebiet praktisch keine wirtschaftliche Bedeutung, auf italienischem Staatsgebiet werden sie jedoch intensiv abgebaut, beispielsweise bei Novate nördlich des Comersees.

### 2.3.6 SÜDALPEN

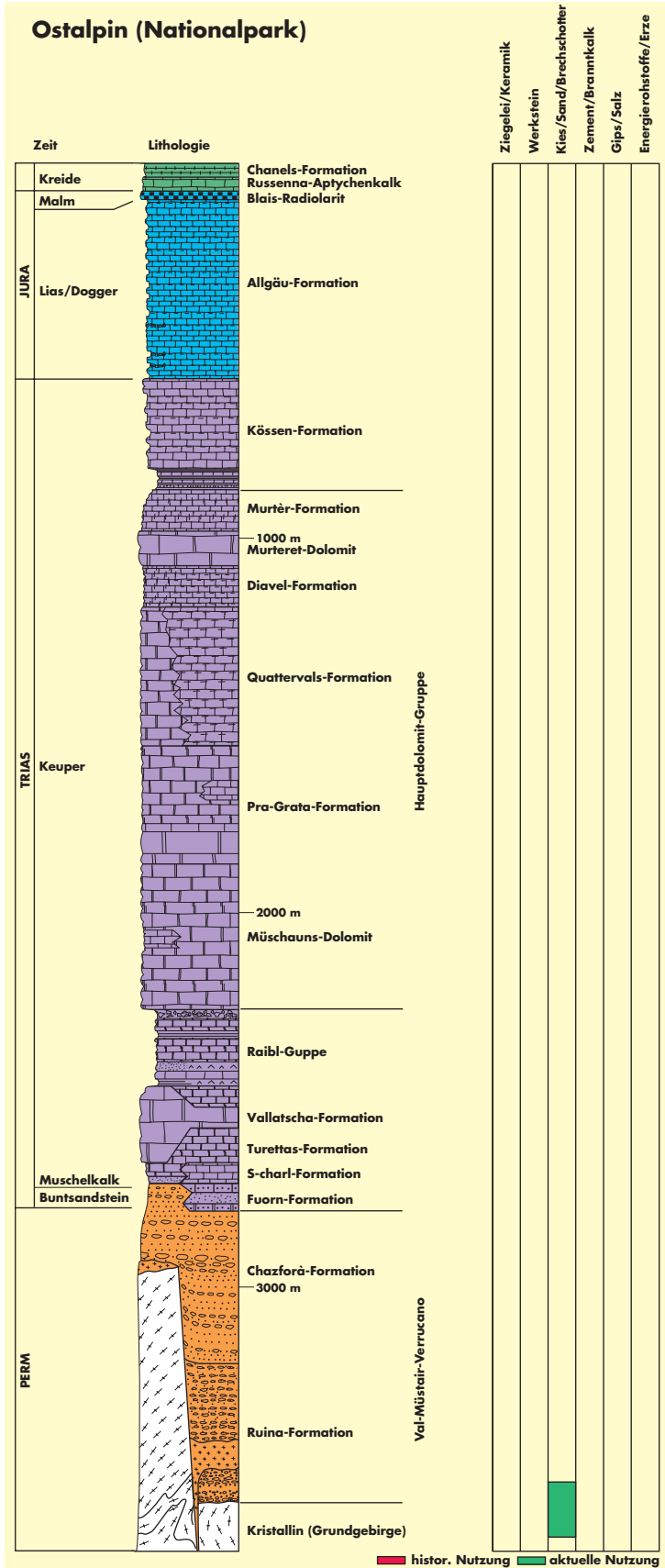
Die auf Schweizer Gebiet nur auf kleiner Fläche aufgeschlossenen Südalpen sind durch die Insubrische Linie von den Zentralalpen getrennt. An dieser wichtigen, heute nicht mehr aktiven, grosstektonischen Linie wurden die Zentralalpen gegenüber den Südalpen um etwa 60 bis 70 Kilometer nach Osten verschoben und um rund 15 Kilometer gehoben.

Das kristalline Grundgebirge der Südalpen wird von permischen Vulkaniten durchbrochen und ist von mesozoischen Sedimenten bedeckt. Die Gesteine wurden von der alpinen Metamorphose nicht erfasst, hingegen wurden sie in der letzten Phase der alpinen Gebirgsbildung in einen Stapel von südwärts übereinandergeschobenen Schuppen zerlegt (keine eigentliche Deckenbildung). Das Grundgebirge besteht aus zwei grossräumigen Einheiten, der Strona-Ceneri-Zone und der Ivrea-Zone, die beide kaledonisch und herzynisch, jedoch nicht alpin metamorph überprägt sind. Die Gesteine der Strona-Ceneri-Zone stammen aus Teilen der oberen bis mittleren Erdkruste und bestehen aus Gneisen, Amphiboliten und Glimmerschiefern mit Einschaltungen von Marmor, Quarzit und Kalksilikatfels. Die Ivrea-Zone stammt aus der unteren Kruste und besteht aus amphibolit- und granulitfaziellen (Hochdruck-Hochtemperatur-Metamorphose) sauren und übergeordnet basischen Gesteinen mit grösseren und kleineren ultrabasischen Linsen. Im Gebiet des Luganersees wird das Grundgebirge von bis zu 1000 Meter mächtigen permischen Vulkaniten überlagert, darüber folgen mesozoische Sedimente. Die sogenannte Luganeser Schwelle enthält als Flachwassersedimente die bekannte Brekzie von Arzo.

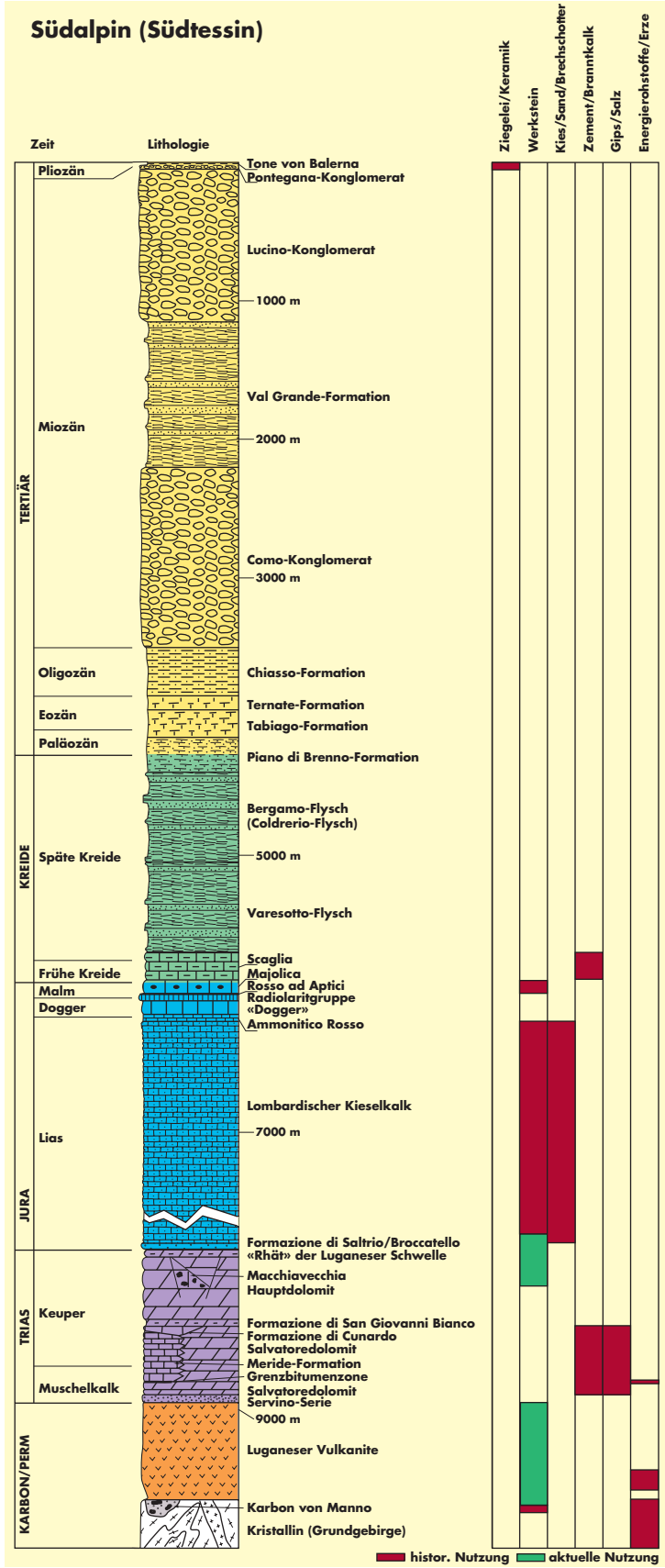
Die Morphologie ist entsprechend der unterschiedlichen Lithologien sehr abwechslungsreich.

Praktische und wirtschaftliche Bedeutung, vor allem als Baustoffe, haben Porphyrite, Dolomite sowie verschiedene Kalksteine und Mergel ([Kapitel 6.3](#)).





2.14



2.15

Abbildung 2.14: Stratigraphisches Profil der Ostalpen aus dem Gebiet des schweizerischen Nationalparks [nach Dössegger et al., 1982 und Furrer et al., 1992].

Abbildung 2.15: Stratigraphisches Profil der Südalpen im südlichen Tessin [nach Vonderschmitt, 1941].



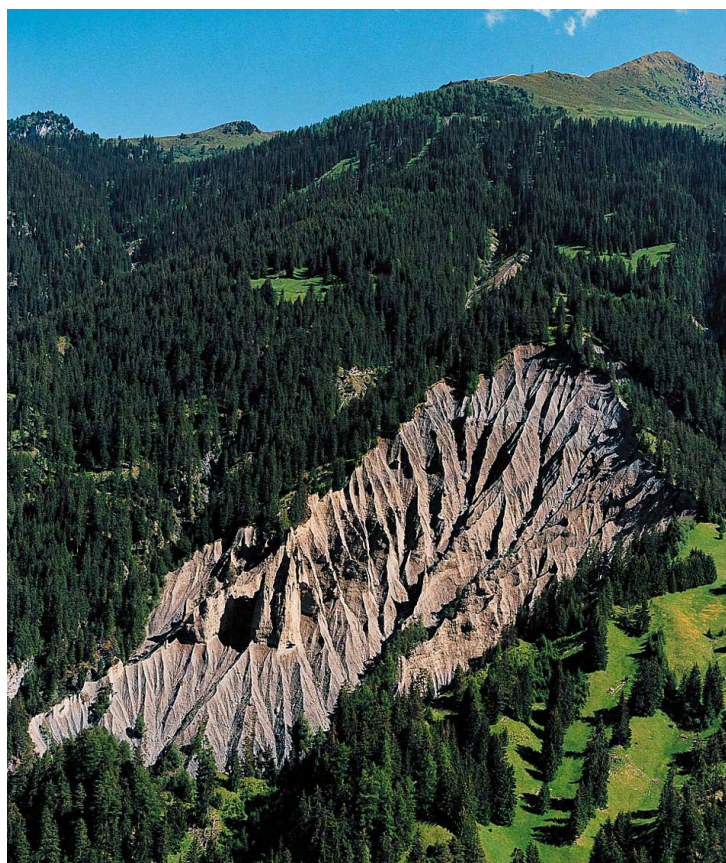
## 2.4 QUARTÄRE BILDUNGEN

Die heutige Morphologie der Schweiz ist das Produkt aus dem Zusammenspiel von tektonischen Vorgängen (Hebung) und Erosion durch Wasser und Eis. Die pleistozänen Gletscher haben dabei die Hauptarbeit verrichtet. Ein grosser Teil vor allem des Mittellandes ist von Moränen, Schottern und Sanden bedeckt, deren Material von den Gletschern geliefert wurde. Es sind verschiedene Eiszeiten mit jeweils mehreren Gletschervorstössen und -rückzügen bekannt. Die Vergletscherungen gingen grösstenteils von den Alpen aus und bedeckten wesentliche Teile, kurzfristig auch die Gesamtheit des Mittellandes sowie teilweise den Jura. Für die vorliegende Arbeit reicht sicher die klassische Einteilung in Günz-, Mindel-, Riss- und Würm-Eiszeit aus, auch wenn der Ablauf nach heutigen Erkenntnissen bedeutend komplexer war. Nach der Schüttung der hochliegenden, teilweise verkitteten Deckenschotter der Günz- und Mindelvereisung, die nur durch eine kurze Erosionsphase voneinander getrennt sind, setzte eine lange Epoche mit starker Erosion ein, in der die heutigen Flusstäler und



2.17

Seebecken angelegt wurden, welche aber nur wenige Lockergesteine hinterliess. Die grösste Vereisung, die Risseiszeit, bedeckte einen Grossteil der Schweiz mit Eis und hinterliess nebst Rinnenschottern die sogenannten Hochterrassenschotter, etwas über die heutigen Talsohlen hinaufgreifende Schotterterrassen. Nach einer Erosionsphase wurde sie durch die viel bescheidenere Würmvergletscherung abgelöst, in deren Sedimente, die Niederterrassenschotter, sich die heutigen Flüsse nur wenig eingegraben haben, oder die die heutigen Talböden bilden. Als Sedimente aus dieser Zeit sind neben den bereits erwähnten glazialen Schottern, Seeablagerungen und Moränen auch erratische Blöcke (Findlinge) zu nennen, die quasi als Visitenkarten der verschiedenen Gletscher im ganzen Mittelland anzutreffen sind. Im unvergletscherten Vorland kam es stellenweise zur Ablagerung von Löss (Windsediment). Vor allem aus kühlen Zwischenperioden (Interstadialen), aber auch aus der ausgehenden letzten Eiszeit stammen Seeboden- und Gehängelehme sowie teilweise zu Schieferkohle gepresste Torfablagerungen, während die warmen Interglaziale nur wenig Sedimente hinterliessen. Wichtige nacheiszeitliche Sedimente sind Flussablagerungen sowie Seesedimente, Kalktuffe, Gehängeschutt- und Bergsturzablagerungen. Letztere können unter Umständen in kurzer Zeit ganz beträchtliche Landschaftsveränderungen hervorrufen, wie es beispielsweise durch die beiden letzten grösseren Bergstürze von Randa VS (1991) und vom Zuetribistock im Tödigebiet GL (1996) eindrücklich demonstriert wurde ([Abbildung 2.17](#)). Im Fall von Randa waren in zahlreichen Teilstürzen total 30 Milli-



2.16

**Abbildung 2.16:** Rungser Rüfi bei Molinis im Schanfigg GR (zwischen Chur und Langwies/Arosa). Flugaufnahme vom Juni 1993. Die Erosion hat mächtige Lockergesteinsmassen aufgeschlossen, welche unter den heutigen Talböden greifen. Sie sind wechselhaft aufgebaut und

bestehen teils aus Ablagerungen der Plessur und von Seitenbächen, teils aus Moräne von Lokalgletscher und aus periglazial entstandenen Sedimenten. Während der letzten Eiszeit blockierte der gewaltige Rheingletscher das Seitental, was zur Akkumulation von Lockerge-

stein und zur Hebung der Talsohle führte. Als die Eismassen abschmolzen, setzte intensive Erosion ein, welche bis heute anhält.

**Abbildung 2.17:** Bergsturzmaterial aus der Ostflanke des Zuetribi-

stocks (3. März 1996) auf die Sandalp (Tödigebiet GL). Etwa 1.8 Millionen Kubikmeter Fels bilden im Talweg des Sandbaches einen rund 700 m breiten Riegel, dessen Kulminationspunkt ungefähr 20 m über der ehemaligen Talsohle liegt. Flugaufnahme vom 30. Mai 1996.

onen Kubikmeter Gesteinsmaterial ins Tal der Vispa gestürzt, beim Bergsturz im Glarnerland waren es in zwei Stürzen insgesamt etwa 1.8 Millionen Kubikmeter Felsmaterial. Trotz relativ bescheidener Kubatur entstand im Tödigebiet eine klassische Bergsturzablagerung ([Abbildung 2.17](#)), wobei die von rechts her niederbrechende Trümmermasse den Talboden überschüttete und den Gegenhang erreichte. Im Gegensatz zu dieser weit aufgefächerten Schuttdecke bildete sich bei Randa nur ein gewaltiger Schuttkegel aus grobem Trümmermaterial, da dort die Teilstürze eine geringere Dynamik entwickelten. In beiden Fällen aber wurde das Tal blockiert und versickerte vorerst das zurückgestaute Bachwasser im Schutt. Allmählich bildete sich aber ein See, weshalb ein katastrophaler Ausbruch der Wassermassen befürchtet wurde und eine künstliche Abflussrinne erstellt wurde. Mehrere Seen in der Schweiz sind durch Bergstürze gestaut worden, so beispielsweise der Klöntalersee und der Obersee im Glarnerland oder der Oeschinensee im Kandertal BE. In anderen Fällen löste eine massive Schuttzufuhr durch Bäche oder Flüsse quer zum Haupttal einen Rückstau bereits bestehender Seen aus, so zum Beispiel beim Sarnersee durch die Grosse Schliere und die Grosse Melchaa oder beim Walensee durch die Linth. Die meisten unserer Seen allerdings entstanden in der heutigen Form in der ausgehenden letzten Eiszeit, wobei die Gletscher einerseits vorgängig die Talsohle der Täler erodiert hatten, andererseits vor ihrer Front stauende Lockergesteinsmassen hinterliessen (beim Maximalstand oder bei längeren Haltephasen während des Rückzugs). Die ehemals sehr ausgedehnten Seeflächen wurden seither durch Alluvionen stark reduziert.

Die Bedeutung der quartären Ablagerungen, also der Lockergesteine, als nutzbare Rohstoffe ist in der Schweiz heute sehr gross und übersteigt jene der Festgesteine. So werden enorme Kubaturen von Kies und Sand aufbereitet und als Betonzuschlag, zum Strassenbau oder für andere Zwecke verwendet, nicht aufbereitete Flussablagerungen oder Moräne dienen oft als Schüttungsmaterial ([Kapitel 5](#)). Gehängelehme und Seebodenlehme finden, meist gemischt mit Rohstoffen anderer Herkunft, Anwendung in der Ziegelindustrie ([Kapitel 3](#)).



An aerial photograph of a rural landscape. In the center, a large, light-colored sand pit or quarry is visible, with a small pond at its base. To the left, there are several rows of vineyards. The background is dominated by a large, densely forested hill. A road and a railway line run through the middle ground. In the bottom right corner, there is a yellow box with the text 'Kapitelinhalt'.

# **3 ROHSTOFFE FÜR DIE ZIEGELINDUSTRIE**

**Kapitelinhalt**



Autoren: Dr. Thomas Mumenthaler, ZZ Ziegeleien, 8045 Zürich  
Dr. Christoph Meyer, Tonwerke Keller AG, 5070 Frick  
Dr. Jean Sigg, ch. Joli-Clos, 1530 Payerne

Fotos: Archéodunum SA, Gollion (3.1), DESAIR AG, Heinz Leuenberger, Wermatswil (Titelbild, 3.15, 3.19, 3.22, 3.25), Musée romain d'Avenches (3.2), Benoît Renevey, Belmont (3.32/links), Beat Keller, Luzern (3.21), Tonwerke Keller AG, Frick (3.11, 3.16, 3.18, 3.27, 3.28, 3.31), Sauriermuseum Frick, gezeichnet von B. Sheffold (3.12), VSZ, Verband schweizerische Ziegelindustrie (3.3, 3.5), Ziegelei Rapperswil BE (3.30), ZZ Ziegeleien, Zürich (3.4, 3.8, 3.26, 3.32/rechts).

---

**Abbildung auf Vorderseite:**  
**Opalinustongrube Eriwies in Schinznach-Dorf (unten Abbauzone mit Wasserrückhaltebecken, Mitte Roh-**

**materialdeponie und Aufladestelle mit Grubenbahn/Bahntransport bis Bahnhof Schinznach-Dorf, oben alter Grubenteil mit Biotopen).**

## ÜBERSICHT

---

Die schweizerische Ziegelindustrie deckt mit 27 Werken nahezu den gesamten Bedarf der Schweiz an grobkeramischen Produkten, hauptsächlich Backsteine und Dachziegel. Dabei spielt, wie bei den meisten anderen Baustoffen, die Rohmaterialverfügbarkeit eine wesentliche Rolle. Sie bestimmt weitgehend die Lokalisierung der Produktionsstätten, die Art, Menge und Qualität der Produkte sowie die Absatzgebiete.

Archäologische und historische Zeugen belegen die Bedeutung der schweizerischen Ziegeleirohstoffe und die zahlreichen Rohstoffquellen. Früher wurde der lokale Bedarf durch unzählige Kleinstbetriebe gedeckt, die Vorkommen von mehr oder weniger stark entkalkten, plastischen Oberflächentönen nutzten. Die beschränkten Ressourcen und die zunehmende Mechanisierung führten zu einer drastischen Reduktion der Anzahl Produktionsstätten und Abbaustellen, wo heute dank moderner Anlagen auch stärker verfestigte Rohstoffe wie Mergel und Tonschiefer verwendet werden. Bedingt durch die geologischen Voraussetzungen liegen die tonreichen Rohstoffvorkommen in dichtbesiedelten Gebieten des Mittellandes und der Nordschweiz. Dies hat die heutige Struktur der schweizerischen Ziegelindustrie geprägt, die durch eine ausgewogene, dezentrale Verteilung der Produktionszentren gekennzeichnet ist. Diese Dezentralisierung ist auch dadurch bedingt, dass es sich um schwere Produkte mit beschränkter Wertschöpfung handelt, weshalb die Transportkosten niedrig gehalten werden müssen. Andererseits stellt die enge Verflechtung von Siedlungsraum mit Rohstoffabbaustellen hohe Anforderung an die Umweltverträglichkeit (vergleiche auch [Kapitel 13](#)). Die breite Rohmaterialbasis, die sich grösstenteils im Besitz der verschiedenen Ziegeleien befindet, ermöglicht dabei ein vielfältiges Produkteangebot.

Nachfolgend werden, ausgehend von den Produkten und Produktionsverfahren, zuerst die Anforderungen an die Rohstoffe definiert. Die geologische Beschreibung der Rohmaterialvorkommen und deren chemisch-mineralogische Zusammensetzung bildet den Hauptteil des Kapitels. Zum Schluss werden die verschiedenen Folgenutzungen der Tongruben sowie weitere Aspekte, wie Rohstoffimporte und zukünftige Entwicklungen, kurz behandelt.





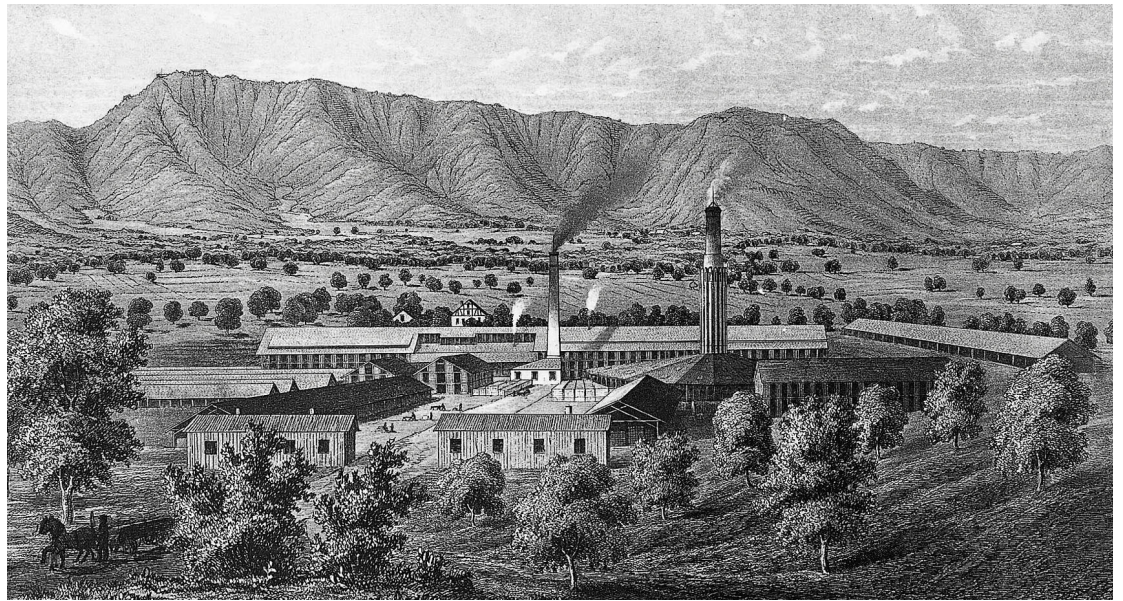
3.1



3.2



3.3



3.4

**Abbildung 3.1:** Avenches, En Châpoux. Blick von Südosten auf die Reste eines Ziegelbrennofens, vermutlich aus dem zweiten Jahrhundert nach Christus.

**Abbildung 3.2:** Römerzeitliche Ziegeleiprodukte (1./2. Jahrhundert n. Chr.): Verschiedene Typen von Dachziegeln, Platten zum Aufbau von Hypokaustsäulen, hohler Wandziegel (Heizungselement), Tonröhre, Fussbodenplättchen, gestempelte Dachziegel.

**Abbildung 3.3:** «Feierabendziegel» aus dem Jahr 1641. Auf solchen Ziegeln wurden vom Ziegler oft Datum, Name, Muster, Symbole oder Zeichnungen wichtiger Tagesereignisse eingraviert.

**Abbildung 3.4:** Mechanische Backsteinfabrik Zürich, Werk Binz um 1865.



### 3.1 PRODUKTE UND PRODUKTIONSVERFAHREN

#### 3.1.1 ZUR GESCHICHTE DER ZIEGELPRODUKTE

Gebrannter Ton ist eng mit der Geschichte der Zivilisation verbunden. Die ältesten Objekte, meist rituelle Figuren in Tier- oder Menschengestalt sowie Gefässkeramik, sind viele Jahrtausende alt und bilden unentbehrliche Dokumente zur Frühgeschichte der Menschheit. Baustoffe aus gebranntem Ton sind seit dem 4. Jahrtausend v. Chr. aus dem Vorderen Orient bekannt (Mesopotamien). Noch älter sind isolierte Funde von gebrannten Backsteinen aus der ersten Hälfte des 5. Jahrtausends v. Chr. von Knossos (Kreta). Im Indus wurde die riesige Stadt von Mohenjo-Daro (2300–1700 v. Chr.) aus Backsteinen gebaut. Zu berücksichtigen ist, dass gebrannte Ziegel (Backsteine) damals die Ausnahmen bildeten. Vorherrschend waren ungebrannte, an der Sonne getrocknete, oft mit Fasern (Gras, Schilf) verstärkte Lehmziegel, die heute noch in Drittweltländern eingesetzt werden. Ganz aus gebrannten Ziegeln bestehende Hochbauten kamen erst in der Römerzeit auf. Der Ziegelbau wurde, vom 2. Jahrhundert n. Chr. an, in Rom und dessen Provinzen vorherrschend. Dachziegel aus gebranntem Ton, eine griechische Erfindung, sind dort von der Mitte des 7. Jahrhunderts v. Chr., in Rom vom frühen 4. Jahrhundert an nachweisbar. Die Ziegeltechnologie setzt sich in den gallo-römischen Städten zwischen dem 1. und 4. Jahrhundert n. Chr. durch. Wichtigste Ziegeleiprodukte waren der römische Flachdachziegel mit hochgezogenen Seitenrändern (Tegula) kombiniert mit schmalen, im Querschnitt halbrunden Dachziegeln (Imbrex), die über den Fugen zweier aneinanderstossender Flachziegel verlegt waren, Heizkanalelemente (Tubuli), Backsteine verschiedener Formate, Tonbodenplatten und Tonröhren. In unseren Regionen waren Dächer aus römischen Ziegeln sehr häufig, mit Schwerpunkten in Genf, Avenches und Strassburg ([Abbildungen 3.1 und 3.2](#)).

Nach dem Ende der römischen Herrschaft nördlich der Alpen ging die Kunst des Zieglers in der Schweiz bis zum 11. Jahrhundert weitgehend verloren. Im Hochmittelalter wurden gewöhnliche Bauten vorwiegend aus Holz gebaut. Erst mit der Gründung von Klöstern im Verlauf des 11. und 12. Jahrhunderts und der damit verbundenen Bautätigkeit erlebte das Zieglergewerbe einen neuen Anfang. In Klosterziegeleien wurden gewölbte Dachziegel produziert, auch Mönch- und Nonnenziegel genannt, welche von der arabischen Baukunst übernommen wurden (Klöster von Fraubrunnen, Beromünster und

Sankt Urban). Auch in Schlössern wurden Tondachziegel und Backsteine mehr und mehr eingesetzt (Estavayer-le-Lac, Grandson und Vufflens).

Die markante Entwicklung der mittelalterlichen Städte trug zur Verbreitung des Tondachziegels entscheidend bei. Verheerende Brände, begünstigt durch immer dichtere Bauweise der Holzbauten, sowie Dächer aus Schindeln, manchmal sogar aus Stroh und Schilf, verlangten nach drastischen Massnahmen zur Eindämmung dieser Katastrophen. Verordnungen wurden erlassen, dass bei Neubauten mindestens der unterste Stock aus Stein und die Bedachung aus Tonziegeln zu erstellen seien. Bereits im 14. Jahrhundert, unter dem Einfluss der zisterziensischen Mönche, verdrängten in der Schweiz Biberschwanzziegel (Burgunder Flachziegel) mehr und mehr die traditionellen Klosterziegel, weil sie für steile Dächer besser geeignet waren. Bis zur Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden Tondachziegel von Hand geformt. Typisch für Biberschwanzziegel war das Nachziehen der Wasserrillen mit den Fingern sowie Variationen in den Grössen und Schnitten, was das individuelle Aussehen der Handziegel prägte. Bedeutend seltener, aber umso wertvoller, sind Feierabendziegel, auf welchen der Ziegler, oft als Abschluss des Arbeitstages z.B. Datum, Name, diverse Muster und Symbole, Zeichnungen über wichtige Ereignisse eingraviert hat ([Abbildung 3.3](#)). Dort wo Lehmvorkommen bekannt waren, entstanden oft kleine Handziegeleien, welche Ziegel im Holzfeuer brannten. So hatte eine Vielzahl von Dörfern und Städten ihre eigene Ziegelei.

Ab Mitte des letzten Jahrhunderts wurden Tondachziegel und Backsteine mehr und mehr maschinell hergestellt. Begünstigt durch die Erfindung von dampfbetriebenen Maschinen für die Formgebung (Pressen und Schneideeinrichtungen), sowie neuen Trocknungs- und Brenntechniken wurde eine enorme Steigerung der Produktion erreicht ([Abbildung 3.4](#)). In der Schweiz wurde zwischen 1890 und 1896 zum Beispiel eine Produktionserhöhung von 60% registriert. Entwickelt wurden auch neue, komplexere Dachziegelformen, die den Biberschwanzziegel verdrängten. Am Anfang des 20. Jahrhunderts waren in der Schweiz etwa 350 Ziegeleien in Betrieb.

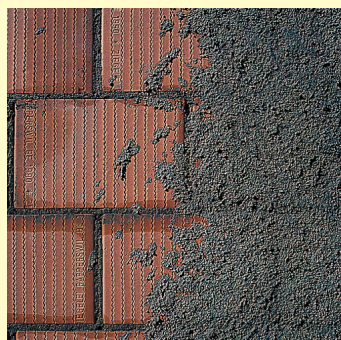
Ab 1960 wurden die schweizerischen Ziegeleien zunehmend automatisiert und rationalisiert, begünstigt durch die Einführung des Tunnelofens, der eine kontinuierliche Brennweise erlaubt. Eine Tendenz, die ab 1975 durch den Einsatz von computergesteuerten Regelsystemen noch verstärkt wurde. Heute zählt die schweizerische Ziegelindustrie mit 34 Werken, darunter 7 Tondachziegelwerke, und einer jährlichen Produktion von etwa 1.4 Millionen Tonnen, zu den modernsten Europas.

## Ziegeleiprodukte in der Schweiz

### Definition

Ziegeleiprodukte sind Baustoffe aus gebranntem Ton. Unterschieden wird dabei zwischen dichten (z.B. Klinkerstein) und porösen Baustoffen. In der Schweiz werden beinahe nur poröse Produkte hergestellt (Wasseraufnahme über 5 Gew.%). Backsteine und Tondachziegel bilden bei weitem die Hauptprodukte der schweizerischen Ziegelindustrie.

### Mauersteine (Backsteine/Sichtbacksteine)



Backsteinwand, z.T. verputzt



Wand aus Sichtbackstein



#### Backsteine:

Hauptprodukt der Ziegelindustrie. Wird verputzt. Wichtigste physikalische Eigenschaften sind die Druckfestigkeit und die Wärmedämmung, die durch die Lochung (Lochanteil und Lochanordnung) beeinflusst werden. Ebenfalls von Bedeutung ist das von der Scherbenporosität abhängige Wasserausvermögen ( $\text{g/dm}^2\cdot\text{Min}$ ) des Backsteines, das bei der Vermauerung eine grosse Rolle spielt. Die Druckfestigkeit und das Wasserausvermögen werden vor allem durch die Zusammensetzung der Rohstoffmischung bestimmt.

#### Sichtbacksteine:

Neben den üblichen physikalischen Eigenschaften wie z.B. Druckfestigkeit, müssen Sichtbacksteine vor allem hohe ästhetische Kriterien (Farbe, Struktur der Oberfläche) erfüllen, sowie eine sehr gute Witterungsbeständigkeit aufweisen (Frostwiderstandsfähigkeit). Um dies zu erreichen, sind in der Regel komplexe Rohmaterialmischungen mit Zusatztonen und mineralischen Farbpigmenten notwendig.

Massive Backsteinwand mit erhöhter Wärmespeicherkapazität und Wärmedämmung

### Produktgruppen

- Mauersteine: Backsteine und Sichtbacksteine
- Bedachungselemente: Tondachziegel
- Spezielle Tonprodukte: Bodenplatten, Deckensteine, Drainröhren, Verkleideplatten

### Tondachziegel (Biberschwanzziegel/Doppelfalzziegel)

#### Tondachziegel:

Der Tondachziegel ist das meistverwendete Bedachungsmaterial in der Schweiz. Die zu erfüllenden Qualitätskriterien sind vielfältig und können in ästhetische (Farbe und Form) und physikalische (Festigkeit, Dichtigkeit, Frostwiderstandsfähigkeit) Kriterien unterteilt werden. Bei der Farbgebung wird zwischen nichtengobierten und engobierten<sup>1)</sup> Tondachziegeln unterschieden.

Biberschwanzziegel sind flache, im Strangverfahren hergestellte Tondachziegel, die sich besonders für steile oder runde Dächer eignen. Zu erwähnen in dieser Kategorie sind sogenannte «antike» Biberschwanzziegel, eine mechanische Nachahmung der alten, handgeformten Tondachziegel.

Doppelfalzziegel, die im Pressverfahren hergestellt werden, bilden die zweite Dachziegelgruppe mit verschiedenen Formen, die eher in weniger geneigten grossen Dächern eingesetzt werden.



Bedachung mit Biberschwanzziegel



Pfannenziegel (Doppelfalzziegel)



Bedachung mit Pfannenziegel

3.5

Abbildung 3.5: Die wichtigsten in der Schweiz hergestellten Ziegeleiprodukte.

<sup>1)</sup> Engobierung: Färbung des Tondachziegels durch Auftragung (Spritzverfahren) einer sehr dünnen Engobeschicht (Dicke etwa 0.1 mm) auf nassen oder getrockneten Dachziegelrohlingen. Die Engobe ist eine wässrige Suspension aus Tonkom-

ponenten und mineralischen Pigmenten, meist Eisen- und Mangan-oxide.

## 3.1.2 PRODUKTE

In der Schweiz wird eine Vielfalt von Ziegeleiprodukten hergestellt. Die wichtigsten davon, Mauersteine (Backsteine, Sichtbacksteine) und Tondachziegel, sind in [Abbildung 3.5](#) dargestellt. Die *Backsteine* verschiedenster Abmessungen und Formate bilden die Hauptproduktgruppe. Sie weisen einen Lochanteil von etwa 0–50 Vol. % auf, was zu Raumgewichten zwischen 0.9 t/m<sup>3</sup> (gute Wärmedämmung) und 1.7 t/m<sup>3</sup> (gute Schalldämmung) führt. Diese Mauersteine werden verputzt, im Gegensatz zu *Sichtbacksteinen*, die vor allem hohen ästhetischen Ansprüchen an Farbe, Oberflächenstruktur und Abmessungen genügen müssen. Eine weitere bedeutende Produktgruppe bilden die *Tondachziegel*, die das Erscheinungsbild der schweizerischen Dörfer und Städte wesentlich prägen. Produziert wird eine breite Palette von Modellen und Farben, wie Biberschwanz- und Falzziegel (Pfannen-, Flach-, Mulden- und Herzziegel) verschiedener Formen und Oberflächen.

## 3.1.3 ZIEGELPRODUKTION IN DER SCHWEIZ

Seit Anfang des Jahrhunderts hat die Zahl der Produktionsstätten der Ziegelindustrie ständig abgenommen, wobei Handziegeleien mit beschränktem Produktionsvolumen mehr und mehr von bedeutend grösseren mechanisierten Betrieben abgelöst worden sind. Ab 1968 ist das Ziegelhandwerk praktisch verschwunden ([Tabelle 3.1](#)). Aus den Zahlen in [Tabelle 3.2](#) lässt sich der Rationalisierungs- und Modernisierungsprozess der letzten 30 Jahre ablesen. In den letzten Jahren konnte auch der Energieverbrauch der neueren Ziegeleien merklich reduziert werden. Allerdings darf dabei nicht übersehen werden, dass der finanzielle Aufwand für die Realisierung solcher Produktivitätsverbesserungen enorm ist. Die heutige Produktion der schweizerischen Ziegelindustrie verteilt sich auf 27 Werke, davon 7 Dachziegelwerke ([Abbildung 3.7](#)). 1989 betrug die Produktion 1'340'000 Tonnen Backsteine und 240'000 Tonnen Dachziegel, 1994 waren es 1'100'000 Tonnen Backsteine und 214'000 Tonnen Dachziegel.

## 3.1.4 FABRIKATIONS- UND QUALITÄTSKONTROLLE

Bei der heutigen, beinahe vollautomatisierten Produktion ist die konsequente Durchführung einer Fabrikations- und Qualitätskontrolle von grosser Bedeutung. Das Prinzip der

Qualitätsüberwachung beruht auf der dauernden Rückkopplung der Endprodukte-Eigenschaften mit dem Rohstoff und den zugehörigen Fabrikationsbedingungen. Die dabei am meisten geprüften Parameter sind aus der [Tabelle 3.3](#) ersichtlich.

**Tabelle 3.1: Entwicklung der Produktionsstruktur in der schweizerischen Ziegelindustrie seit Anfang des Jahrhunderts.**

JAHR	PRODUKTIONS-STÄTTEN	AUFTEILUNG	
		HANDZIEGELEI	MECHANISIERTE ZIEGELEIEN
1882	237	199	38
1905	346	154	192
1929	132	28	104
1939	114	17	97
1955	92	7	85
1968	59	2	57
1970	55	0	55
1980	35	0	35
1992	34	0	34
2001	27	0	27

**Tabelle 3.2: Entwicklung der Produktionsmengen und der Anzahl Beschäftigter der schweizerischen Ziegelindustrie in den letzten 33 Jahren.**

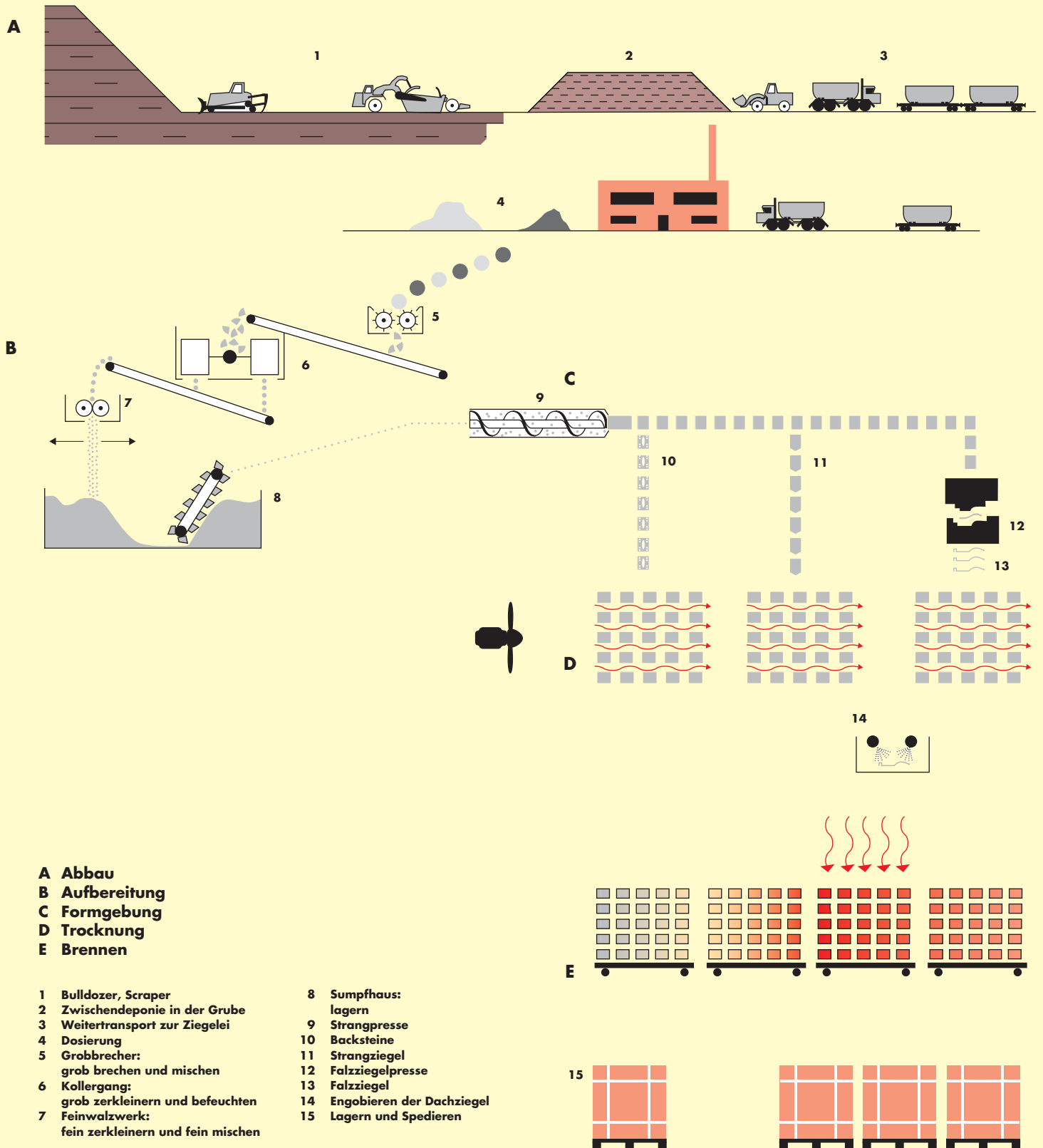
JAHR	ANZAHL BESCHÄFTIGTE	RELATIVE PRODUKTIONSMENGE 1948 = 100 PUNKTE
1959	4800	139.4
1966	4100	155.9
1970	3600	164.2
1975	2400	111.3 («Baukrise»!)
1980	2200	176.9
1992	1800	122.0

**Tabelle 3.3: Kontrollmassnahmen in der Fabrikations- und Qualitätssicherung der Ziegelindustrie.**

ROHSTOFFE	FABRIKATION	PRODUKT
Kontrolle nach Aufbereitung und vor Verpressung	Mischen: - Dosierung der Komponente in Vol. oder Gew. %	Ausbeute 1. Qualität: - Aussehen / Farbe - Klang - Risse - Deformationen / Masse
Kornverteilung: - Tonfraktion < 0.002 mm - Schlufffraktion 0.002 – 0.02 mm - Sandfraktion > 0.02 mm	Aufbereitung: - Einstellung der Aufbereitungsmaschinen - Wassergehalt und Plastizität der Masse	
Mineralogie: - Kalk (Kalzit + Dolomit) - Quarz	Sumpfen: - Sumpfzeit	Physikalische Parameter: - Festigkeiten - Wassersaugvermögen - Raumgewicht/Lochanteil
	Verpressung: - Vakuum - Temperatur, Wassergehalt und Plastizität des Stranges	
	Trocknung: - Trocknungsprogramm - Qualität nach Trocknung	Verhalten in der Anwendung: - Ausblühneigung - Kalktreiberneigung - Frostwiderstandsfähigkeit
Überkorn: - > 1 mm - 0.5 – 1.0 mm	Engobierung (Dachziegel): - Viskosität, Feststoffgehalt - Menge des Auftrages	
	Brennen: - Brennbedingungen	



# Schema der Backstein- und Dachziegelherstellung



3.6

Abbildung 3.6: Fabrikationsschema für die Herstellung von Backsteinen und Dachziegeln (Schema VSZ, modifiziert).

### 3.1.5 FABRIKATIONSPROZESS

Die verschiedenen Schritte des Fabrikationsprozesses in der Ziegelindustrie sind in [Abbildung 3.6](#) schematisch dargestellt. Vereinfachend gliedert sich das Produktionsverfahren in folgende Phasen:

Ausgehend vom Rohmaterialabbau mit Anlegen von Zwischendeponien im Grubenareal oder neben dem Werk werden die Rohstoffkomponenten gemischt. Darauf folgt die Aufbereitung und Homogenisierung der Rohstoffmischung und in der Regel eine Lagerung (Sumpfen) der Masse im Sumpfhaus oder in Silos. Die Formgebung der plastischen Tonmasse erfolgt im *Strangpressverfahren* (Backsteine, Sichtbacksteine, Biberschwanzziegel), bei Falzziegeln wird sie noch durch *Pressen in Gipsformen* ergänzt. Zum Schluss werden die Rohlinge im Kammertrockner getrocknet und anschliessend im Tunnelofen gebrannt. Die einzelnen Schritte sind im Folgenden erläutert.

*Rohmaterialabbau und Mischen:* Diese für die Produktequalität entscheidende Anfangsphase des Produktionsprozesses wird ausführlich im [Abschnitt 3.3.4](#) zusammen mit dem Abbau von Tonlagerstätten behandelt.

*Aufbereitung und Homogenisierung:* Die grobblockige und heterogene Rohmaterialmischung wird durch mechanische Zerkleinerung unter Wasserzugabe (Brecher, Kollergang, Feinwalzwerk) in eine feindisperse homogene und verformbare Masse überführt. Diese Phase ist in bezug auf eine störungsfreie Fabrikation und für die Qualität der Endprodukte von grosser Bedeutung.

Die Einführung von immer effizienteren Aufbereitungsanlagen hat einen direkten Einfluss auf die verbesserte Verwertbarkeit von relativ stark verfestigten Ziegeleirohstoffen wie etwa Opalinuston, Keupermergel oder kalkreiche Molassemergel.

*Lagerung («Sumpfen»):* Nach der mechanischen Aufbereitung wird in den meisten Fällen die Rohmaterialmischung einige Tage bis einige Wochen im sogenannten **Sumpfhaus\*** oder im **Maukturm\*** gelagert. Dadurch wird die Rohmasse noch besser aufgeschlossen und plastischer. Diese Massnahme ist besonders bei schlecht aufschliessbaren Rohstoffen wie Schiefertonen und kalkreichen Mergeln von Vorteil. Verbessert werden ebenfalls die Homogenität der Rohmasse (zusätzlicher Mischvorgang) sowie die Flexibilität des Fabrikationsablaufes (Roh-

materialpuffer und Möglichkeit der Abkoppelung von Aufbereitung und Verpressung).

*Verpressung und Formgebung:* Heutzutage sind die Verpressungs- und Formgebungsvorgänge weitgehend automatisiert und nur noch einige Spezialprodukte wie verzierte Firstziegel oder «rustikale» Vollsteine nach holländischem Muster werden von Hand angefertigt. Ziegelprodukte werden entweder direkt im Strangverfahren verpresst (Backsteine, Sichtbacksteine, Biberschwanzziegel, Drainröhren) oder in einem zweistufigen Prozess geformt (Falzziegel). In der Strangpresse wird, im allgemeinen unter Vakuum und unter Zusatz von Wasserdampf, die plastische Rohmasse mittels einer archimedischen Welle (Schnecke) durch das mit auswechselbarem Kernzusatz ausgestaltete Mundstück gepresst. Durch Auswechseln von Mundstück und Kern können Formen, Dimensionen und Lochung der Ziegelprodukte geändert werden. Der extrudierte warme Strang (40–60°C) wird dann mit Drahtschneidern in Elemente geschnitten. Eine moderne Strangpresse kann bis zu 80–110 Tonnen/Stunde produzieren. Bei Falzziegeln werden die aus der Strangpresse kommenden geschnittenen Kuchen zusätzlich noch zwischen Gipsformen gepresst (Stempelpressverfahren). Die Produktionskapazität der neuesten Stempelpressen beträgt 3000–4000 Dachziegel/Stunde.

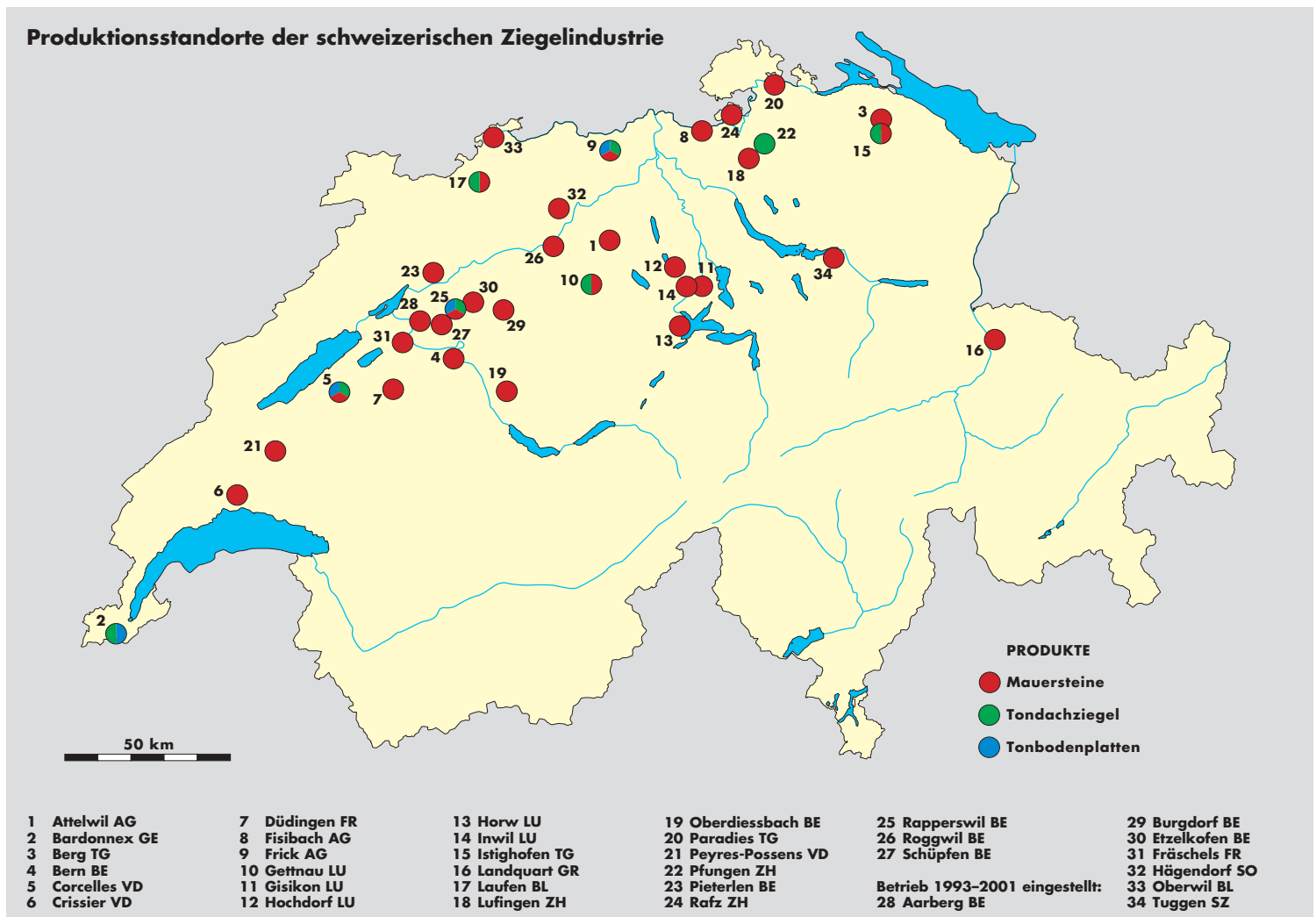
*Trocknung:* Durch die Trocknung nimmt die Festigkeit der Rohlinge zu und ihre Form wird stabiler, was die Handhabung vereinfacht und den Brennvorgang erst erlaubt. Der Trocknungsvorgang erfolgt automatisch im Kammertrockner, manchmal auch im Tunnelrockner, nach einem in Funktion der Rohstoffmischung und des Produktes vorgegebenen Programm. Durch den Wasserentzug erfahren die Produkte eine Volumenverminderung (Schwindung), die bei unsachgemässer Trocknung zu Rissen führt. Die Trocknungszeit beträgt 12–48 Stunden, je nach Rohstoffzusammensetzung und Produkt.

*Brennen:* Mit dem Brennen bis etwa 1000°C erfährt das Produkt tiefgreifende, irreversible Veränderungen, die für die Stabilität und Festigkeit des **Scherbens\*** von entscheidender Bedeutung sind. Heute wird in schweizerischen Ziegeleien nur noch mit Tunnelöfen (mobiles Brenngut und fixe Brennzone) gebrannt. Im allgemeinen werden für Backsteine und Dachziegel separate Tunnelöfen verwendet. Je nach Rohstoffzusammensetzung, Produkt und Produktdichte im Tunnelofen beträgt der Brennvorgang 30–50 Stunden mit einer Haltezeit bei maximaler Temperatur von rund 8 Stunden.

\*Sumpfhaus: Ungefähr 100 Meter langes, trogförmiges Becken zur Zwischenlagerung und Homogenisierung der Rohmaterialmischung.

\*Maukturm: Silo zur Zwischenlagerung und Homogenisierung der Rohmaterialmischung.

\*Scherben: Gebrannte Tonmasse, definiert durch ihre chemisch-mineralogische Zusammensetzung und ihre Mikrostruktur.



3.7

### 3.2 ANFORDERUNGEN AN DIE ROHSTOFFVORKOMMEN

Die Anforderungen an die Rohstoffvorkommen sind vielfältig und haben, parallel zur Bedeutung der Rohmaterialsicherung, in den letzten 20 Jahren ständig zugenommen. Dies ist auf die Automatisierung und Rationalisierung der Produktionsbetriebe, die Zunahme der Erwartungen an die Endproduktqualität und deren Konstanz sowie auf die drastische Verschärfung der Gesetzgebung im Umweltbereich zurückzu-

führen. Daher müssen Rohstoffvorkommen nach folgenden Kriterien beurteilt und ausgewählt werden: *Qualität der Rohstoffkomponenten, Rohstoffvorräte, Wirtschaftlichkeit von Rohstoffabbau und Rohstofftransport und Umweltverträglichkeit der Abbaustellen*. Hier sollen vor allem die qualitativen Anforderungen ausführlicher behandelt werden, die an Rohstoffvorkommen der Ziegelindustrie gestellt werden. Die umweltbezogenen Anforderungen werden zusammenfassend für alle Rohstoffvorkommen im [Kapitel 13](#) besprochen, so dass lediglich auf einige Aspekte eingegangen wird, die für die Rohstoffabbaustellen der Ziegelindustrie spezifisch sind (vergleiche [3.3.5 Folgenutzung der Gruben](#)).

**Abbildung 3.7:** Produktionsstandorte der schweizerischen Ziegelindustrie (Stand 2001).



### 3.2.1 QUALITATIVE ANFORDERUNGEN

Die Rohstoffe müssen die rationelle Herstellung von Produkten erlauben, die die gestellten Marktanforderungen bezüglich Qualität, Regelmässigkeit und Preis erfüllen. Dies ist die erste und wichtigste Voraussetzung für eine lebensfähige Produktion. Infolge der bereits erwähnten stark veränderten Fabrikation in der Ziegelindustrie in den letzten zwanzig Jahren wird das Rohmaterial bei der heutigen, sehr intensiven und beinahe vollautomatisierten Produktion bis zu seinen äussersten Grenzen beansprucht. Demzufolge ist es begreiflich, dass eingehende Kenntnisse über die mineralogische und granulometrische Zusammensetzung der Rohstoffkomponenten, deren chemisch-physikalisches Verhalten im Verlauf der Fabrikation und schlussendlich deren Einfluss auf die Eigenschaften der Endprodukte unerlässlich sind.

#### 3.2.1.1 Minerale der Ziegeleirohstoffe

Die *Minerale der Ziegeleirohstoffe* sind in der [Tabelle 3.5](#), zusammen mit den entsprechenden ziegeleitechnischen Eigenschaften, aufgeführt. Sie werden unterteilt nach Tonmineralien (z.B. Illit, Montmorillonit, Kaolinit, Chlorit), Magerungsmineralen (z. B. Quarz, Feldspäte, Karbonate, Glimmer) und Begleitmineralen.

*Tonminerale* sind elektrostatisch negativ geladene lamellenförmige Teilchen, die an ihren äusseren und inneren Grenzflächen polare Moleküle, insbesondere Wasser anlagern können. Aus diesem Verhalten gegenüber Wasser ergeben sich die wichtigen Eigenschaften der Plastizität und der Verformbarkeit. Allerdings besitzen die verschiedenen Tonmineralarten unterschiedliche Strukturen und spezifische Oberflächen (vergleiche [Tabelle 3.4](#)), die auch zu einem differenzierten Verhalten in der Fabrikation führen. So weist das «grobkörnige» Tonmineral *Kaolinit* eine eher geringe Plastizität auf, sein unempfindliches Verhalten bei der Trocknung und beim Brennen macht Kaolinit jedoch zum wichtigsten Mineral der feinkeramischen Industrie. *Montmorillonit* dagegen, ein äusserst «feinkörniges» und quellfähiges Tonmineral, zeigt eine ausgezeichnete Plastizität und hohe Bindekraft, wegen seines sehr empfindlichen Trocknungsverhaltens (hohe Schwindung und Rissanfälligkeit der Produkte) muss sein Anteil in Rohstoffmischungen aber begrenzt bleiben. Die Tonminerale bilden die Hauptkomponente in den Rohstoffmischungen der Ziegeleiindustrie und bestimmen weitgehend die Eigenschaf-

ten der Endprodukte. Allerdings können Tonminerale, bedingt durch ihr extremes Schwindverhalten, nicht alleine verarbeitet werden. Eine wichtige Ausgleichsfunktion kommt dabei den sogenannten Magerungsmineralen zu. In diesem Zusammenhang wird von «fetten» (=tonmineralreiche) Rohstoffkomponenten im Gegensatz zu «mageren» (=magerungsmineralreiche) Komponenten gesprochen.

*Magerungsminerale* haben in der Fabrikation eine wesentliche Bedeutung, indem sie die von den Tonmineralen herrührenden negativen Eigenschaften – wie z.B. die extremen Trocken- und Brennschwindungen, Hauptursache für die sehr hohe Rissanfälligkeit der Produkte – auf ein erträgliches Mass reduzieren. Die Magerungsminerale können, je nach Verhalten in der Fabrikation, unterteilt werden in «passive Magerungsminerale», die während des Brennprozesses nicht oder nur unwesentlich mit der tonhaltigen Matrix reagieren (Quarz, Feldspäte, Glimmer) und «aktive Magerungsminerale», welche im Brand zersetzt werden und mit der tonhaltigen Matrix reagieren (Karbonate: Kalzit und Dolomit).

Da die schweizerische Ziegelindustrie hauptsächlich karbonathaltige bis karbonatreiche Rohstoffkomponenten verwendet – dies im Gegensatz zu den Ziegeleien unserer Nachbarländer, in denen viel mehr schwach kalkhaltige bis kalkfreie Rohmaterialien zum Einsatz kommen – ist es notwendig, das Verhalten von Karbonaten während des Brandes und deren Auswirkung auf die Qualität der Endprodukte etwas ausführlicher zu behandeln ([vergleiche Seite 37](#): Über die Bedeutung des Feinkalkes in Rohstoffmischungen der Grobkeramik).

Das Brenngut durchläuft bis etwa 850°C eine Mineralabbauphase und ab 900°C eine Mineralneubildungsphase. Eine Übergangsphase von 750–950°C ist charakterisiert durch amorphes Material. Bei einer Mischung ohne Karbonate werden die Tonminerale im Brand entwässert und abgebaut, woraus eine beachtliche Menge amorpher Substanz und fast keine






**Tabelle 3.4: Feinheit, spezifische Oberfläche und Ionenaustauschkapazität von einigen Tonmineralen.**

TONMINERAL	DURCHMESSER DER TEILCHEN in nm [ $10^{-9}$ m]	SPEZIFISCHE OBERFLÄCHE [m <sup>2</sup> /g] (äussere und innere Oberfläche)	KATIONEN- AUSTAUSCH- KAPAZITÄT [mval/100 g]*
Kaolinit	100 – 5000	1 – 40	3 – 15
Illit	100 – 5000	50 – 200	20 – 50
Smektit (Montmorillonit)	30 – 300	600 – 800	70 – 130

\* Menge der austauschbaren Kationen in Milliäquivalenten pro 100 g Substanz

[zurück zur Startseite](#)
[nächstes Kapitel](#)
[vorangehendes Kapitel](#)

Tabelle 3.5: Die Minerale der Ziegleirohstoffe: Eigenschaften bei der Fabrikation und Bedeutung für die Qualität der Endprodukte.

		Eigenschaften in der Fabrikation		Bedeutung für die Produktequalität	
		Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile
<b>TONMINERALE</b>					
Illit, Montmorillonit, Chlorit, Kaolinit  <p>Korngrösse: äusserst fein, meist &lt; 0.002 mm Form: winzige Plättchen sehr weich, Härte nach Mohs 1 sehr grosse Oberfläche mit negativer Ladung Adsorption, Ionenaustausch, Quellung unterschiedlich je nach Tonmineralart: Montmorillonit &gt; Illit &gt; Kaolinit</p> <p>Schematische Darstellung des Ton/Wasser-Systems:</p> <p>steigender Wassergehalt →</p> <p>kohärent      plastisch      flüssig</p> <p>Tonplättchen      Tonplättchen      Tonplättchen</p> <p>Wassermoleküle      Wassermoleküle      Wassermoleküle</p> <p>Tonplättchen      Tonplättchen      Tonplättchen</p>		-Plastizität und Verformbarkeit Montmorillonit > Illit > Kaolinit  -Geringe Härte: keine Abnutzung der Maschinen  -Trockenfestigkeit  -Günstiges Substrat für die Applikation von Engoben  -Gute Reaktionspartner zum Kalk		-hohe Trocken- und Brennschwindungen Montmorillonit > Illit > Kaolinit → Gefahr von Trocken- und Brennrissen  -Niedrige Sintergrenze und schlechte Feuerbeständigkeit Montmorillonit < Illit < Kaolinit  -Zähigkeit und Klebrigkeit  -Chlor- und Fluoremissionen	
				-Festigkeitseigenschaften  -Formbarkeit  -Feinstporosität  -Beständigkeit (chemisch und physikalisch)	
				-Rissanfälligkeit  -Masshaltigkeit  -Nur kleine Formate möglich  -Texturanfälligkeit  -Orientierte Strukturen parallel zur Oberfläche  -Deformationen im Brand  -Blähneigung  -Frostempfindlichkeit	
<b>MAGERUNGSMINERALE</b>					
 <p><b>Quarz</b> Korngrösse: meist grob &gt; 0.02 mm Form: isometrisch bis rund hart, Härte nach Mohs 7 stabil sehr verbreitet in klastischen Sedimenten</p>		-hohe Sintergrenze und Feuerbeständigkeit -Mahlwirkung bei der Aufbereitung -Reduktion der Trocken- und Brennschwindung, der Zähigkeit und Klebrigkeit		-abrasiv: Abnutzung der Maschinen -sogenannter «Quarzsprung» bei 573°C → Kühlrisse -Reduktion der Plastizität	
 <p><b>Feldspäte (Albit, Anorthit, Orthoklas)</b> Korngrösse: meist grob &gt; 0.02 mm Form: isometrisch hart, Härte nach Mohs 6 relativ stabil weniger verbreitet als Quarz</p>		ähnlich wie Quarz		-abrasiv -Reduktion der Plastizität	
 <p><b>Karbonate (Kalzit, Dolomit)</b> Korngrösse: grob, aber auch sehr fein &lt; 0.002 mm Form: isometrisch, aber auch plattig weich, Härte nach Mohs 3, gute Spaltbarkeit sehr verbreitet in klastischen Sedimenten</p>		-Reduktion der Trocken- und Brennschwindung, der Zähigkeit und Klebrigkeit -Absorption von Chlor, Fluor und Schwefel im Brand → weitgehende Reduktion der Emissionen		-Dekarbonatisierung im Brand: Energieaufwand und Ausgasen von CO <sub>2</sub> (Diffusion)	
 <p><b>Glimmer (Muskovit, Serizit, Biotit)</b> Korngrösse: meist grob &gt; 0.02 mm Form: dünnblättrig, sehr gute Spaltbarkeit weich, Härte nach Mohs 2.5 - 3 stabil</p>		Keine Bedeutung, da immer in sehr kleinen Mengen vorhanden		-Erhöhung der Scherbenstabilität durch Mineralneubildungen -Erhöhung der Kugelporosität -Erhöhung der Frostwiderstandsfähigkeit	
<b>BEGLEITMINERALE UND -SUBSTANZEN</b>					
Eisenhydroxide (Limonit/Goethit)				-Färbung (gelb bis rot)	
Sulfide (Pyrit, Markasit) und Sulfate (Gips, Coelestin)				-Ausblühungen, Pyrittreiber	
Organische Substanzen		-Brennstoff, Magerungsfunktion		-Erhöhung der Porosität und Herabsetzung der Sprödigkeit	
				-Herabsetzung der Sintergrenze -Schwefelemissionen im Brand -Schwefelgasentwicklung im Brand	
				-Reduktionskerne, Herabsetzung der Festigkeitseigenschaften	

Mineralneubildungen entstehen. Der Scherben bekommt in der Regel eine typisch dunkelrote Farbe durch die Entstehung von feinstverteiltem Hämatit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) und beginnt früh zu sintern, falls der Tonanteil keinen oder wenig Kaolinit aufweist. Bei karbonathaltigen Rohstoffmischungen werden zuerst die Karbonate zersetzt. Dabei entsteht vor allem  $\text{CaO}$ , bei Anwesenheit von Dolomit auch  $\text{MgO}$ . Anschliessend zersetzen sich die Tonminerale. Nach einer kurzen Übergangsphase bilden sich neue Mineralien durch Festkörperreaktionen zwischen  $\text{CaO}$  ( $\text{MgO}$ ) und den Zerfallsprodukten von Tonmineralien, zum Teil auch zusammen mit Feinquarz. Dabei bilden sich die Mineralien **Gehlenit**, **Wollastonit**, **Diopsid**, **Anorthit** und **Sanidin**. Da das in der Rohstoffmischung vorhandene Eisen in einigen Neubildungen eingebaut wird (z.B. in Gehlenit-Åkermanit, Diopsid-Hedenbergit) kann weniger rotfärbender Hämatit entstehen. Ziegeleiprodukte aus karbonathaltigen Rohstoffmischungen weisen daher helle Brennfärbungen auf (hellrot bis hellgelb).

*Begleitminerale:* Neben Ton- und Magerungsmineralien kommen in Ziegeleirohstoffen auch Bestandteile wie Limonit (Eisenhydroxide und Goethit), Pyrit und Markasit (Eisensulfide) und Gips ( $\text{Ca}$ -Sulfat) vor. Sie sind zwar nur in sehr kleinen Mengen vorhanden, haben jedoch in der Fabrikation und in bezug auf die Endproduktqualität grosse Bedeutung. Von diesen Begleitmineralien spielen vor allem die Eisenhydroxide eine wichtige, qualitätssteigernde Rolle, indem sie zusammen mit den Karbonaten die vielfältige Farbpalette der Endprodukte (gelb bis rot) weitgehend bestimmen. Sulfide und Sulfate sind dagegen in Ziegeleirohstoffen nicht erwünscht, da sie allgemein die Schwefelemissionen während des Brandes erhöhen und zu Treibern und Ausblühungen führen können. Eine spezielle Rolle kommt den organischen Substanzen zu, deren Eigenschaften sich sowohl positiv (Brennstoff, Magerungsfunktion, Erhöhung der Porosität) als auch negativ (Schwefelgasentwicklung im Brand, Entwicklung von Reduktionskernen und Blasen, Herabsetzung der Festigkeit) auswirken können.

Wenn von *qualitativen Anforderungen* an Rohstoffe die Rede ist, muss erwähnt werden, dass diese das Ergebnis einer langen, oft pragmatischen Entwicklung darstellen. Die Ziegelindustrie hat stets versucht, lokale Rohstoffpotentiale optimal zu nutzen. So sind Produkte und Produktionsverfahren auch von den vorhandenen Rohstoffressourcen geprägt worden, was die Besonderheiten der schweizerischen Ziegelindustrie sowie gewisse regionale Unterschiede im Produkteangebot erklären. Aus der Wechselwirkung zwischen Rohstoffen und Produkten

**Gehlenit:**  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$

**Wollastonit:**  $\text{CaSiO}_3$

**Diopsid:**  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$

**Anorthit:**  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

**Sanidin:**  $(\text{K}, \text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$



**Tabelle 3.6: Qualitative Anforderungen an Ziegeleirohstoffe.**

MINERALE	Anforderungen (nach Produkten)		
	BACKSTEINE	SICHTBACKSTEINE	DACHZIEGEL
<b>Tonminerale:</b>			
<b>Illit</b> in der Schweiz: vorherrschend, fast überall vorhanden	Tonminerale total: 25–35 Gew. %  Illit als Haupttonmineral	Tonminerale total: 35–45 Gew. %  Illit als Haupttonmineral	Tonminerale total: 40–45 Gew. %  Illit als Haupttonmineral
<b>Chlorit</b> in kleinen Mengen fast überall vorhanden			
<b>Montmorillonit</b> oft in kleinen Mengen vorhanden, Zunahme in der NE-Schweiz	Montmorillonit < 15 Gew. % hohe Montmorillonit-Gehalte nur möglich, wenn viel Feinkalk vorhanden	Montmorillonit: < 5 Gew. %	Montmorillonit: < 10 Gew. %
<b>Kaolinit</b> eher selten und in kleinen Mengen vorhanden		Kaolinit: hoher Gehalt erwünscht -> Importe von kaolinitischen Tonen	Kaolinit: z.T. erwünscht
<b>Magerungsminerale:</b>			
<b>Quarz</b> in der Schweiz: überall vorhanden, Hauptmagerungsmineral	20–30 Gew. %	20–30 Gew. %	25–30 Gew. %
<b>Feldspäte</b> in kleinen Mengen fast überall vorhanden	sind in kleinen Mengen mit Quarz vorhanden, keine Limiten	sind in kleinen Mengen mit Quarz vorhanden, keine Limiten	sind in kleinen Mengen mit Quarz vorhanden, keine Limiten
<b>Karbonate</b> fast überall vorhanden, Hauptmagerungsminerale	kein Grobkalk > 1.0 mm 10–45 Gew. % hohe Feinkalkgehalte > 35 Gew. % möglich, wenn rel. viel Montmorillonit vorhanden	kein Grobkalk > 0.5 mm 0–35 Gew. % je nach erwünschter Brennfarbe	kein Grobkalk > 0.5 mm 10–30 Gew. %
<b>Begleitminerale:</b>			
<b>Eisenhydroxide</b> in der Schweiz: überall in kleinen Mengen vorhanden			
<b>Pyrit</b> bis ca. 1.5 Gew. % in dunklen Schiefertönen	in kleinen Mengen tolerierbar	< 1 Gew. %, Zusatz von BaCO <sub>3</sub> zur Vermeidung von Trockenausblühungen	< 1 Gew. %, Zusatz von BaCO <sub>3</sub> zur Vermeidung von Trockenausblühungen
<b>Markasit</b> sehr selten	in sehr kleinen Mengen tolerierbar	keine	keine
<b>Gips</b>			
<b>Coelestin</b>			

können die unter 3.2.1.2 bis 3.2.1.4 erwähnten qualitativen Anforderungen formuliert werden (vergleiche auch Tabelle 3.6).

### 3.2.1.2 Anforderungen für Backsteine

Bei Backsteinen handelt es sich um typische Massenprodukte, die, weil sie verputzt werden, auch keine spezielle ästhetische Funktion zu erfüllen haben. Dabei ist vor allem auf die Notwendigkeit einer rationellen, vollautomatisierten Produktion sowie, bei den Produkten, auf die Einhaltung der bauphysikalischen Normen (Druckfestigkeit, Saugvermögen, Rissigkeit, Masshaltigkeit) zu achten. Dementsprechend sind auch die qualitativen Anforderungen, die an Rohstoffe gestellt werden, nicht besonders hoch. Ein Merkmal der Rohstoffmi-

schungen für Backsteine ist der Zusatz von organischer Substanz (z.B. Sägemehl) zur Verbesserung der Fabrikationseigenschaften und zur Erhöhung der Porosität des gebrannten Scherbens (Erhöhung der Wärmedämmung).

### 3.2.1.3 Anforderungen für Sichtbacksteine

Sichtbacksteine müssen sowohl ästhetisch als auch bauphysikalisch erhöhte Ansprüche erfüllen. Im Gegensatz zu den verputzten Backsteinen verlangen Sichtbacksteine eine sehr hohe Frostbeständigkeit. Dazu sind differenziertere Rohstoffmischungen zu wählen als diejenigen für gewöhnliche Backsteine. Im allgemeinen werden mehrere Komponenten aus verschiedenen Gruben genau zudosiert, manchmal sogar

unter Zusatz von ausländischen Tonen. Für die Farbe ist vor allem der Kalkgehalt ausschlaggebend; je mehr Feinkalk in der Rohstoffmischung vorhanden ist, desto heller wird die Farbe des Endproduktes. Die Farbe kann auch durch die Zugabe von mineralischen Pigmenten, wie Eisen- und Manganoxide, gesteuert werden. Grobkalk, Eisensulfide, Sulfate sowie organische Einschlüsse sind nicht erwünscht, da sie die ästhetische Qualität des Produktes wesentlich beeinträchtigen können (**Treiber\***, Ausblühungen, Verfärbungen).

### 3.2.1.4 Anforderungen für Tondachziegel

Tondachziegel müssen wie Sichtbacksteine ästhetische und bauphysikalische Kriterien erfüllen. Von besonderer Bedeutung ist jedoch das Langzeitverhalten und insbesondere die Frostwiderstandsfähigkeit dieser Bedachungselemente. Auch hier sind Rohstoffmischungen notwendig, die aus mehreren, genau zudosierten Komponenten bestehen. Neben einem relativ hohen, für die Festigkeit und Dichtigkeit der Tondachziegel notwendigen Tonmineralanteil ist das Vorhandensein einer sowohl granulometrisch als auch mineralogisch gut ausgewogenen Magerungskomponente (z.B. Feinsand aus der Glimmersandschüttung der OSM) für die Homogenität und für die Herabsetzung der orientierten Kapillarität von Bedeutung, was sich insbesondere auf die Frostwiderstandsfähigkeit positiv auswirkt. Die Färbung der Dachziegel erfolgt durch das Auftragen einer dünnen Farbschicht (Engobe) auf die ungebrannte Dachziegeloberfläche. Diese mineralischen Engobetone werden zum grössten Teil als Fertigmischungen aus dem Ausland bezogen. Wie für Sichtbacksteine, sind Grobkalk, Eisensulfide, Sulfate sowie organische Einschlüsse für die Tondachziegelqualität sehr nachteilig und müssen aus den gleichen Gründen gemieden werden.

### 3.2.2 QUANTITATIVE ANFORDERUNGEN (VORRÄTE)

Für die Beurteilung der Vorkommen spielt, neben der Qualität, auch die Menge des brauchbaren Rohmaterials eine grosse Rolle. Allerdings können die minimalen Mengenanforderungen in Funktion der Bedeutung und des jährlichen Verbrauches der entsprechenden Rohstoffkomponente stark schwanken, von etwa 100'000 Kubikmeter für eine wertvolle Zweitkomponente, wie beispielsweise Lösslehm, bis zu einer Million Kubikmeter für ein intensiv genutztes Vorkommen der Molasse. Aus diesem Grund wird ein Vorkommen eher

### Über die Bedeutung des Feinkalkes in Rohstoffmischungen der Grobkeramik

Die Rolle des Kalkes (Karbonate) wurde in der Fachliteratur bis jetzt oft negativ gewichtet, und die schweizerischen Ziegeleien haben lange nach kalkfreien Rohstoffen gesucht. Die heute noch stark verbreitete Meinung, dass die kalkfreien, dunkelrot brennenden Tone allgemein qualitativ besser seien als die kalkreichen, hellfarbig brennenden, ist aber nicht fundiert. In Unkenntnis der komplexen Reaktionen, die sich in einem Mineralgemisch während der Fabrikation abspielen, wurden viele Qualitätsstörungen, wie Kalktreiber, Ausblühungen, geringe Druckfestigkeiten, hohes Saugvermögen usw. spezifisch dem Kalk zugeschrieben. Diese Störungen lassen sich aber eindeutig auf Anwendungsfehler, wie ungünstige Zusammensetzung der Rohmaterialmischung, ungenügende Aufbereitung und nicht optimale Brennbedingungen zurückführen. Nach den Ergebnissen der systematisch durchgeführten Untersuchungen der letzten Jahre ist die Anwesenheit von feinverteiltem Kalk in Ziegeleirohstoffen ein Vorteil in bezug auf die Endqualität der gebrannten Baustoffe. Diese positive Wirkung kommt aber nur dann zur Geltung, wenn der Kalk fein verteilt ist und genügend Tonmineralien als Reaktionspartner in der Mischung vorliegen sowie bei optimalen Brennbedingungen. Der Kalk als aktives Magerungsmittel übt eine sehr wichtige, stabilisierende und mineralisierende Funktion aus.

Bei der Verpressung wirkt Kalk als Magerungsmittel, wobei seine positive Wirkung auf die stark anisotrope Struktur des Scherbens nicht nur physikalischer, sondern auch chemischer Natur ist. Während des Brennprozesses wirkt der Kalk als Mineralisator. Die daraus entstehenden Mineralneubildungen ergeben einen homogenen, stabilen Scherben von hoher Festigkeit. Dadurch werden eine Reihe von Eigenschaften verbessert: Feuerstandfestigkeit des Brenngutes, Druckfestigkeit und Frostwiderstandsfähigkeit des gebrannten Scherbens. Durch die Umsetzreaktionen mit dem Kalk wird der Quarzanteil im Scherben herabgesetzt. Die Gefahr von Kühlrissen, die während der Kühlung durch die Volumenänderung des Quarzes bei 573°C eingeleitet werden, wird dadurch vermindert. Bei der Karbonatzersetzung und der anschliessenden Mineralneubildung entstehen runde Poren, die, im Gegensatz zu Kapillaren, die Frostwiderstandsfähigkeit des Scherbens günstig beeinflussen. Durch die Erhöhung der Porosität wird auch die Wärmedämmung verbessert sowie die Sprödigkeit herabgesetzt (bessere Schrotbarkeit).

Kalk im Rohmaterial reduziert die Menge der im Brand entstehenden Emission von Schadstoffen wie Fluor und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>). Dabei konnte analytisch gezeigt werden, dass diese Gase durch Reaktion mit dem Kalk (CaO) und Bildung von stabilen Verbindungen, wie CaSO<sub>4</sub> und CaF<sub>2</sub>, zum grössten Teil vom Brenngut im Tunnelofen absorbiert werden. Dadurch können auch ohne Rauchgasreinigungsanlagen die Emissionsgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung (LRV, 1985) eingehalten werden.

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, dass die in der Schweiz abgebauten kalkhaltigen Rohstoffe die Produktion von Ziegeleiprodukten von hoher Qualität erlauben.

nach der Vorratsdauer beurteilt. In Anbetracht der sehr hohen Investitionen, die sowohl für die Fabrikationsanlagen als auch für die Sicherung der Rohstoffvorkommen notwendig sind, ist eine Vorratsdauer von mindestens 20 Jahren anzustreben. Optimal ist diesbezüglich ein gesicherter Rohmaterialvorrat von 40 Jahren, was in der schweizerischen Ziegelindustrie oft anzutreffen ist.

\*Treiber: Kraterförmige Abplatzungen von einigen Millimeter Durchmesser an der Oberfläche grobkeramischer Produkte. Bekannt sind Kalktreiber, meist erkenntlich durch einen weissen Punkt im Krater-

zentrum. Seltener sind Pyrittreiber (schwarzbraunes Zentrum). Kalktreiber werden durch grobe Kalkkörner verursacht, die im Brand ungenügend silikatisiert werden. Sie liegen im Fertigprodukt als

freies CaO vor, hydratisieren unter starker Volumenzunahme langsam zu Ca(OH)<sub>2</sub> und verursachen dadurch an der Produkteoberfläche kleine Abplatzungen.

**Tabelle 3.7: Umweltrelevante Merkmale der Ziegeleigruben.**

BESONDERHEITEN DER TONVORKOMMEN	BESONDERE UMWELTSCHUTZMASSNAHMEN
<p><b>–Starke Ortsgebundenheit</b> bedingt durch die geographisch begrenzte Ausdehnung der verwertbaren geologischen Formationen. Tonvorkommen liegen oft in hügeligem, sichtexponiertem Gelände.</p> <p><b>–Grosse, über längere Zeit offene Abbauflächen</b> bedingt durch den differenzierten Abbau in Funktion der Rohmaterialqualität und der geologischen Struktur des Vorkommens.</p> <p><b>–Extensiver Abbauvorgang</b> bedingt durch relativ kleine Abbaumengen pro Jahr und zeitlich begrenzte Abbauphasen (bis. max. zwei Monate pro Jahr) und Anlegen von Zwischendeponien im Grubenareal. Spontane Entwicklung von Sekundärbiotopen für bedrängte Tier- und Pflanzenarten. Die Dynamik der Sukzessionsflächen wird durch den Rohmaterialabbau geprägt.</p> <p><b>–Wasserundurchlässigkeit des Untergrundes</b> Tonhaltige geologische Formationen weisen allgemein eine geringe Wasserdurchlässigkeit auf und stehen deshalb kaum in Konflikt mit Grundwasser. Die Undurchlässigkeit des Untergrundes bedingt jedoch ein ausgedehntes Entwässerungssystem mit Gräben, Absetz- und Rückhaltebecken.</p>	<p><b>– Landschaftsschutz</b> Da das ursprüngliche Gelände nur in seltenen Fällen wieder hergestellt werden kann, ist auf die Integration der Abbaustelle in die bestehende, lokale Topographie besonders zu achten.</p> <p><b>– Bodenschutz</b> Tonvorkommen liegen allgemein in landwirtschaftlich wenig intensiv genutzten Gebieten, die Konflikte mit dem Bodenschutz sind deshalb nicht sehr akut. Da die Abbauflächen jedoch oft über längere Zeit nicht rekultiviert werden können, ist eine fachgerechte Lagerung von Humus besonders wichtig. Bei der Rekultivierung ist auf eine gute Durchlässigkeit und Entwässerung des Bodens zu achten (oft schwere, tonreiche Böden).</p> <p><b>– Biotop- und Artenschutz</b> Berücksichtigung der Tier- und Pflanzenwelt durch die Abbautätigkeit. Pflegekonzept für das ganze Grubenareal während der Abbauphase. Erhaltung der wichtigsten Feucht- und Trockenbiotope nach Ende der Abbautätigkeit.</p> <p><b>– Gewässerschutz</b> Keine oder nur geringe Konflikte. Das Entwässerungssystem muss so konzipiert werden, dass das Wasser gemäss Vorschriften für die Einleitung bewilligung in den Vorfluter eingeleitet werden kann (genügendes Wasserrückhaltevolumen und Sedimentation der tonigen Feinstfraktion in den Absetzbecken).</p>

### 3.2.3 WIRTSCHAFTLICHE ANFORDERUNGEN

Ziegeleierzeugnisse sind schwere Produkte mit begrenzter Wertschöpfung. Es ist deshalb anzustreben, auch die Rohstoffkosten möglichst tief zu halten, was mit der ungünstigen Entwicklung der Bodenpreise, der Transportkosten und der Planungskosten für die Erlangung der Abbaubewilligung immer mehr in Frage gestellt wird. Zur Minimierung der Rohstoffkosten sind bei der Wahl der Rohstoffvorkommen folgende Kriterien zu beachten:

- Kurze Transportdistanz. Ideale Verhältnisse sind anzutreffen, wenn sowohl die Fabrikationsanlagen als auch die Vorkommen auf dem gleichen Areal liegen. Dies ist jedoch immer seltener der Fall. Heute beträgt die mittlere Rohstofftransportdistanz der schweizerischen Ziegeleien etwa 10 km (vergleiche [Kapitel 3.3.4](#)).
- Einfache geologische Struktur. Diesbezüglich bieten die Molassevorkommen des Mittellandes oft ideale Voraussetzungen (praktisch horizontale, ungestörte Schichten).
- Minimaler Anteil an unbrauchbaren Komponenten (Überdeckung, nicht verwertbare Schichten).

- Gute Zugänglichkeit des Vorkommens zur Minimierung der Erschliessungskosten.
- Möglichst hoher Rohmaterialvorrat.

### 3.2.4 UMWELTBEDINGTE ANFORDERUNGEN

Bei jedem Abbauvorhaben sind, neben fabrikationstechnischen Anforderungen, auch eine ganze Anzahl umweltbezogener Anforderungen zu berücksichtigen. So müssen grössere Abbauvorhaben (über 300'000 Kubikmeter) gemäss Umweltschutzgesetz einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) unterzogen werden. Ziel der Abbau- und Rekultivierungsplanung ist, die möglichen Einwirkungen der Rohmaterialgewinnung auf die Umwelt soweit wie möglich zu reduzieren, dies jedoch unter Gewährleistung eines rationellen Grubenbetriebes. Die umweltbedingten Anforderungen sind für alle Abbauvorhaben von mineralischen Rohstoffen beinahe die gleichen und werden deshalb separat im [Kapitel 13](#) behandelt. In der [Tabelle 3.7](#) wird auf einige Aspekte des Umweltschutzes eingegangen, die für die Rohstoffvorkommen der Ziegelindustrie charakteristisch sind.



Tabelle 3.8: Rohstoffversorgung – Historische Entwicklung.

GEOLOGISCHE BEZEICHNUNG			ANZAHL GRUBEN			
			1907		1991	
			n	%	n	%
Trias	Keuper	Obere bunte Mergel	2*	<1	1	2
Jura	Lias	Obtususton	4*	<1	2	19
	Dogger	Opalinuston			9	
Kreide	Albien	Mergel	1*	<1	1	2
Tertiär	Eozän	Boluston/«Erzlehm»	24	5	2**	
	Oligozän	Septarienton, Grisigermergel	29*	6	2	52
	Miozän/Oligozän	USM-Mergel			17	
	Miozän	OSM-Mergel			7	
	Miozän	OSM-Glimmersand	2	<1	3	
	Pliozän	Mergel				
Quartär	Pleistozän	Moränenlehm	143	30		
	Pleistozän	Lösslehm	26	5	4	7
	Pleistozän	Bänderton, Beckenton	127	27	4	7
	Holozän	Gehänge-, Schwemmlehm	119	25	6	11
Total			477	100	58	100

\* nur verwitterte Oberflächenmaterialien \*\* Rohstoffe zur Herstellung von Dachziegelengoben

### 3.3 ROHSTOFFRESSOURCEN UND IHRE REGIONALE NUTZUNG

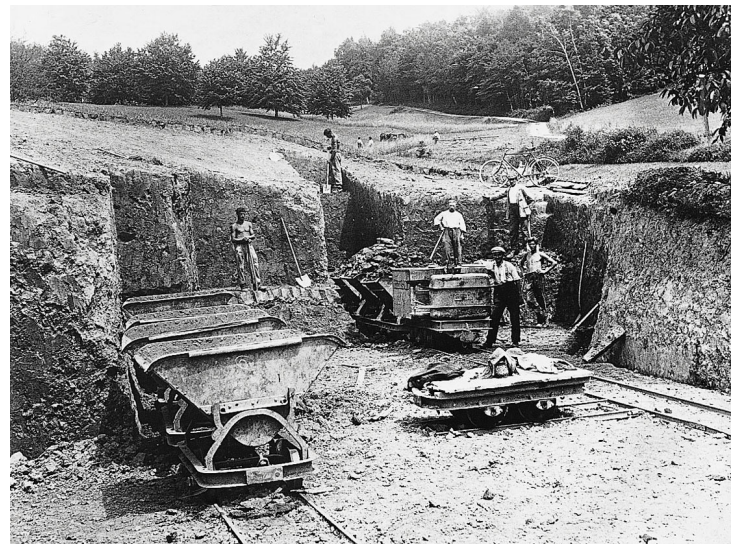
#### 3.3.1 ROHSTOFFVERSORGUNG

##### 3.3.1.1 Historische Entwicklung

Die Schweiz ist ein an Ziegeleirohstoffen reiches Land, was unsere Vorfahren sehr wohl zu nutzen wussten. Davon zeugen, nebst archäologischen Artefakten, zahlreiche Spuren frühgeschichtlicher Tonabbauten und historische Flurnamen.

Um die Jahrhundertwende erschien das umfassende Werk von Letsch [1907] über «Die schweizerischen Tonlager», dank welchem wir über detaillierte Informationen betreffend die Rohstoffgewinnung und -nutzung zu dieser Zeit verfügen. Damals deckten die weit über 300 Klein- und Kleinstziegeleien ihren Rohstoffbedarf aus ebensovielen Tongruben (vergleiche auch [Tabelle 3.8](#)). Die meisten dieser Produktionsstätten waren im Bereich des Mittellandes, des Jura und des Randgebietes angesiedelt, einige jedoch auch in voralpinen

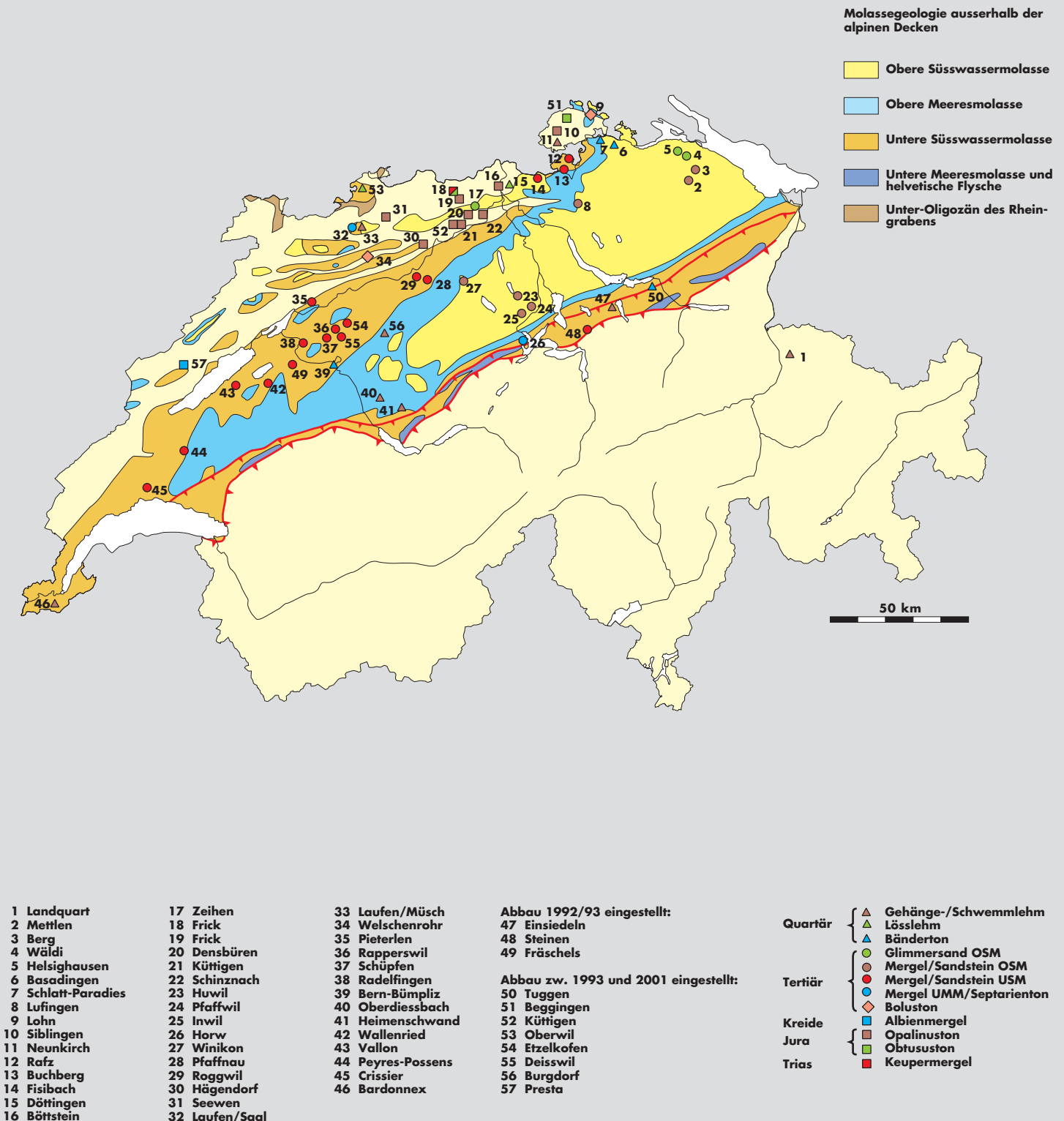
Gegenden, in den grossen Alpentälern und im Tessin (pliozäne Mergel und pleistozäne Lehme). Alle diese Kleinbetriebe und auch noch die ersten mechanischen Ziegeleien nutzten vor allem die zahlreich vorhandenen Vorkommen von mehr oder weniger stark entkalkten, plastischen Oberflächentonen ([Abbildung 3.8](#)).



3.8

Abbildung 3.8: Lehmabbau während der ersten Dekaden dieses Jahrhunderts. Der Abbau erfolgte manuell durch die Lehmstecher. Die beladenen Loren (=Grubenwagen) transportierten den Rohstoff zum Werk (Ziegelei Rafz ZH, um 1920).

# Abbaustandorte für Ziegeleirohstoffe



3.9

Abbildung 3.9: Abbaustandorte der schweizerischen Ziegelindustrie (Stand 2001) mit einer geologischen Karte der Molasse (nach Nagra NTB 90-41).

Tabelle 3.9: Abbauvolumen und Verwendung

GEOLOGISCHE BEZEICHNUNG	MATERIALTYP	ABBAUVOLUMEN 1991 (LOCKERVOLUMEN)		VERWENDUNG			HAUPT-KOMPONENTEN	NEBEN-KOMPONENTEN
		ca. m <sup>3</sup>	%	NB	SB	DZ		
Keupermergel	Mergel	5'000	0.4	x	x			x
Obtususton	Tonstein	10'000	0.7	x		x		x
Opalinuston	Tonstein	170'000	12.3	x	x	x	x	
Albienmergel	Mergel	15'000	1.1			x		x
Molassemergel	Tonstein, Mergel Sandstein	880'000	63.8	x	x	x	x	
Glimmersand	Sand	40'000	2.9	x	x	x		x
Bänderton	Mergel	110'000	8.0	x	x		x	
Gehänge-/Schwemmlehm	Ton, Lehm	110'000	8.0	x	x		x	
Löss	Sand, Lehm	20'000	1.4	x	x	x		x
Kiesschlamm		20'000	1.4	x				x
		1'380'000	100.0					

NB = Normalbackstein, SB = Sichtbackstein, DZ = Dachziegel

Die beschränkte Verfügbarkeit dieser Materialien sowie der im Verlauf dieses Jahrhunderts einsetzende Trend zu immer grösseren, leistungsfähigeren Produktionseinheiten zwang die Betriebe, neue Wege bei der Rohstoffbeschaffung zu suchen. Es wurde in zunehmendem Mass auf Festgesteine wie Mergel oder Tonschiefer ausgewichen, deren Anteil heute bereits vier Fünftel des jährlichen Abbauvolumens ausmacht. Es waren Francis de Quervain und Max Gschwind [1934], welche in der Erstausgabe des Buches «Die nutzbaren Gesteine der Schweiz» erstmals auf die Verwendung von Festgesteinen hinwiesen. In späteren Ausgaben folgten detailliertere Beschreibungen dieser Materialien und Abbaustätten.

Die 27 heute noch produzierenden Betriebe decken ihren Rohstoffbedarf aus insgesamt 46 Gruben. Davon liegen ca. ein Drittel im Jura und Randengebiet, annähernd zwei Drittel im Mittelland und vereinzelte Vorkommen im Bereich des nördlichen Alpenrandes (Landquart, Einsiedeln). Im Tessin werden seit einigen Jahren keine Ziegeleitone mehr abgebaut. Die heutigen Grubenstandorte sind aus [Abbildung 3.9](#) ersichtlich.

### 3.3.1.2 Rohstoffbedarf und -reserven

Die jährliche Abbaumenge in den Tongruben liegt zwischen einigen 100 Kubikmeter und etwa 100'000 Kubikmeter, der Durchschnitt bei rund 25'000 Kubikmeter. Insgesamt wurden im Jahr 1991 in der Schweiz rund 1.4 Millionen Kubikmeter (Lockervolumen) Ziegeleirohstoff gewonnen. Die gesicherten Rohstoffreserven belaufen sich auf rund 35 Millionen

Kubikmeter Material (Festvolumen), womit der gesamtschweizerische Bedarf für etwa 35–40 Jahre gedeckt werden kann. Hinzu kommen weitere auf etwa 70 Millionen Kubikmeter geschätzte, nicht gesicherte Reserven im unmittelbaren Umfeld der heutigen Grubenstandorte. Darüber hinaus verfügt unser Land noch über ein enormes Rohstoffpotential, vor allem an Molassemergeln und Opalinuston. Bei gewissen Rohstoffarten wiederum, wie beispielsweise Lösslehm, sind die Ressourcen sehr beschränkt.

### 3.3.1.3 Abbauvolumen und Verwendung der Rohmaterialien

Bei Ziegeleirohstoffen wird zwischen Haupt- und Nebenkomponten unterschieden (vergleiche [Tabelle 3.9](#)). Als wichtigste Hauptkomponenten sind die Molassemergel des Mittellandes und der Opalinuston des Jura zu nennen, während beispielsweise die in der Nordschweiz vorkommenden Lösslehme wegen ihrer sehr beschränkten Verfügbarkeit nur als qualitativ hochwertige Nebenkomponten eingesetzt werden können (Ausnahme: Oberwil BL, vor deren Schliessung).

Etwa 50% der schweizerischen Ziegeleibetriebe beziehen ihr Rohmaterial aus einer einzigen Grube, die anderen stellen Rohmischungen aus zwei oder mehr Provenienzen her. Insbesondere für Produkte mit hohen Qualitätsanforderungen (Dachziegel, Sichtbacksteine) werden bis zu sechs verschiedene Komponenten in genau definierten Mengenverhältnissen zusammengemischt ([Abbildung 3.10](#)).

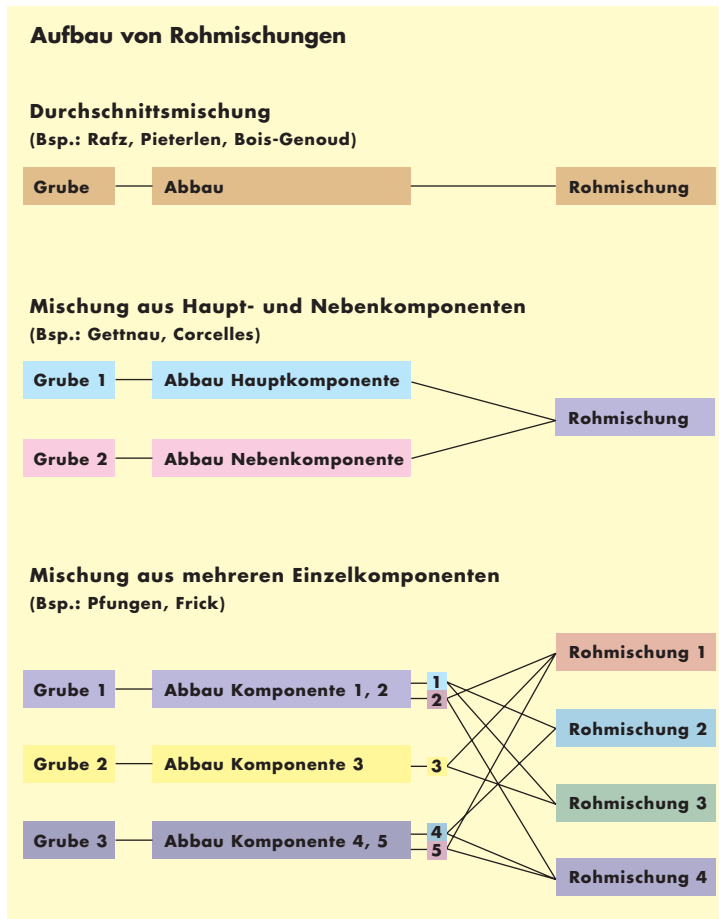


Tabelle 3.10: Die Vorkommen schweizerischer Ziegeleirohstoffe (Stand 2001).

GEOLOGISCHE FORMATION	ALTER ca. Mio. Jahre	MÄCHTIGKEIT (m)	LITHOLOGIE (Material)	ABBAU STANDORTE*	POTENTIELLE RESERVEN	VERWENDUNG ZIEGELINDUSTRIE
«Obere bunte Mergel» Mittlerer Keuper	200	20 – 30	bunte dolomitische Mergel	Frick AG	gering	Zusatzkomponente
Obtususton Unterer Lias	180	15	schwarze Tonschiefer	Frick AG Beggingen SH**	gering	Zusatzkomponente
Opalinuston Unterer Dogger	175	100	grau-schwarze Tonschiefer	Laufen BL, Frick AG Hägendorf SO Siblingen SH usw.*	gross	Basismaterial
Albienmergel Untere Kreide	100	7 – 10	schwarze Tonmergel	La Presta NE**	gering	Zusatzkomponente
Boluston Kreide/Eozän	40	0 – 20	bunte Tone	Welschenrohr SO Lohn SH	sehr gering	Engobeton (für Dachziegel)
Septarienton (UMM) Tertiär (Oligozän)	35	20	graublaue Mergelschiefer	Laufen BL	gering	Zusatzkomponente
Grisigermergel (USM) Tertiär (Oligozän)	30	> 100	graue sandige Mergel	Horw LU	gering	lokal als Basismaterial
Untere Süsswasser- molasse (USM) Tertiär (Oligozän)	25	> 100	Mergel, Sandstein, Ton	Rafz ZH, Pieterlen BE Rapperswil BE, Crissier VD Vallon FR usw.*	sehr gross	Basismaterial
Obere Süsswasser- molasse (OSM) Tertiär (Oligozän/Miozän)	15	> 100	Mergel, Sandstein, Ton	Istighofen TG Lufingen ZH Hochdorf LU usw.*	sehr gross	Basismaterial
«Glimmersandschüttung» (OSM) Tertiär (Miozän)	12	10 – 30	beige-graue Sande	Helsighausen TG Wäldi TG, Zeihen AG	gross	bedeutende Zusatzkomponente
Bänderton Quartär (Interglazial)	0.5	20 – 100	graue Mergel	Paradies TG Tuggen SZ**, usw.*	gross	Basismaterial
Lösslehm Quartär	0.1	3 – 15	gelb-braune, z.T. sandige Lehme	Döttingen AG Oberwil BL**	gering	bedeutende Zusatzkomponente
Gehänge- und Schwemmlehme Quartär (Subrezent)	<0.01	2 – 40	graue bis gelbe Tone und Mergel	Neunkirch SH, Landquart GR Burgdorf BE**, Bardonnex GE usw.*	mässig	Basismaterial

\*vergleiche auch [Abbildung 3.9](#)

\*\* Abbau zwischen 1993 und 2001 eingestellt



**Tabelle 3.11: Entstehung und Merkmale schweizerischer Tonlagerstätten.**

ENTSTEHUNG		LAGERSTÄTTENMERKMALE	BEISPIELE
Mechanismus	Ort		
Wasser-transport	Meeresbecken	Tonschiefer und -mergel, relativ homogen, bedeutende Mächtigkeit und Verbreitung	Obtususton Opalinuston Albienmergel Septarienton
	Seebecken	Mergel, relativ homogen zum Teil bedeutende Mächtigkeit, lokale Verbreitung	Bänderton
	Flussauen	Ton-, Mergel-, Silt- und Sandsteine, im allg. inhomogen, bedeutende Mächtigkeit und Ausdehnung	Keupermergel Molassemergel Glimmersand
	Bachschwemmkegel, Hangfusslagen	Lehm und Sand, im allg. inhomogen, meist geringe Mächtigkeit und Ausdehnung	Auenlehm Gehängelehm
Luft-transport	Gletschervorland	Lehm, in der Schweiz inhomogen und geringmächtig, sehr lokale Verbreitung	Löss Lösslehm
Eistransport	Gletschermoränen	Lehm, inhomogen, geringmächtig, sehr lokale Verbreitung	Grundmoränenlehm
Chemische Umwandlung	«in situ» Verwitterung von Gesteinskörpern	Ton, unterschiedlich homogen, oft bedeutende Mächtigkeit und Verbreitung	Westerwälderton (Import)

### 3.3.2 ROHSTOFFVORKOMMEN

#### 3.3.2.1 Zur Entstehung der Rohstoffe und Lagerstätten

Ziegeleirohstoffe sind Verwitterungsprodukte anderer Gesteine. Grundsätzlich wird unterschieden zwischen Umlagerungssedimenten und «in situ» entstandenen Verwitterungsprodukten. Die Rohstoffeigenschaften und die Ausbildung der Lagerstätten werden beeinflusst durch die Herkunft des Materials (petrographische Ausbildung des Liefergebietes), die Transportmechanismen, das Ablagerungsmilieu, durch chemische Umwandlungsprozesse und durch die Verfestigung (eventuell mit diagenetischen Prozessen).

Die Übersicht in [Tabelle 3.11](#) zeigt, dass aufgrund der Entstehungsmechanismen und Lagerstätteneigenschaften insgesamt sieben Rohstoffgruppen unterschieden werden können. Bei der Entstehung der schweizerischen Rohstofflager-

stätten waren primär Umlagerungsvorgänge von Bedeutung. Bedingt durch die petrographische Zusammensetzung der Liefergebiete gelangten ausschliesslich mehr oder weniger stark kalkhaltige Sedimente zur Ablagerung. Die meisten dieser Lagerstätten sind relativ inhomogen, das heisst sowohl in der vertikalen als auch lateralen Ausdehnung können rasche Wechsel zwischen tonigen, mergeligen und sandigen Schichten auftreten (Beispiel: Molasse). Demgegenüber sind insbesondere Materialien marinen Ursprungs, wie zum Beispiel der Opalinuston, relativ homogen. Kalkarme oder kalkfreie Rohstoffe sind in Form von entkalktem Lehm in sehr beschränkten Mengen in oberflächennahen Bereichen anzutreffen.

Wirtschaftlich nutzbare Lager von «in situ» gebildeten reinen Tonen, wie beispielsweise Kaolinit, sind in der Schweiz kaum vorhanden. Nachfolgend werden die schweizerischen Rohstoffvorkommen in geochronologischer Reihenfolge beschrieben (Zusammenfassung in [Tabelle 3.10](#)).

**Abbildung 3.10: Rohmischungen**  
werden je nach der Zusammensetzung des Rohmaterials und den Qualitätsanforderungen der Produkte teils aus verschiedenen Komponenten hergestellt.

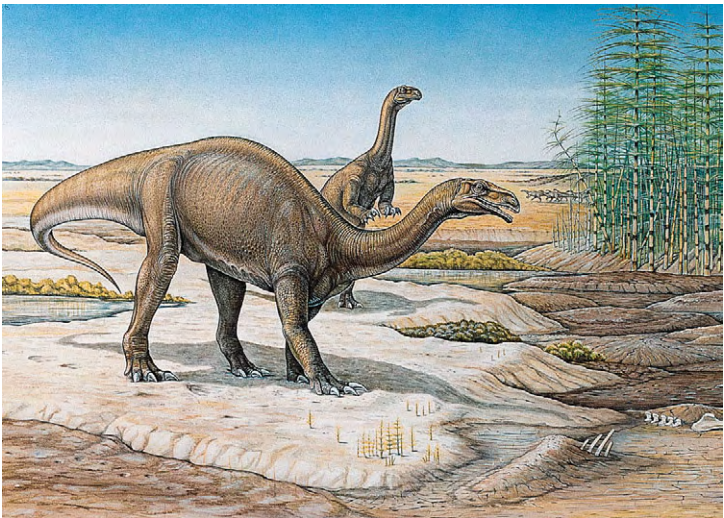
zurück zur Startseite

nächstes Kapitel

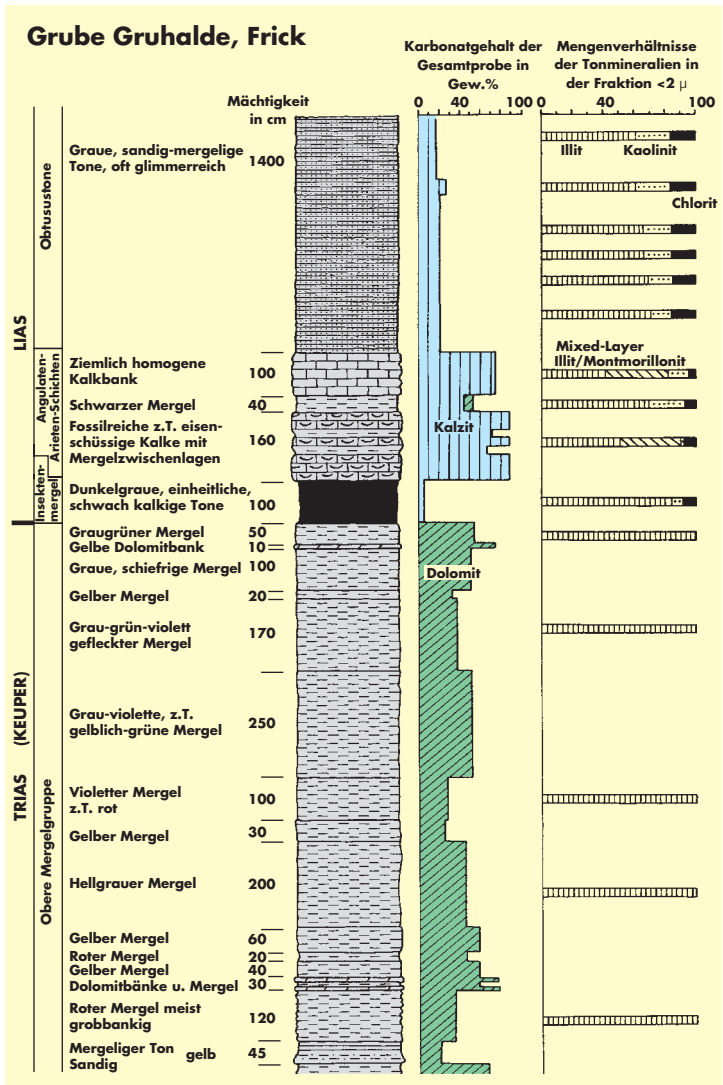
vorangehendes Kapitel



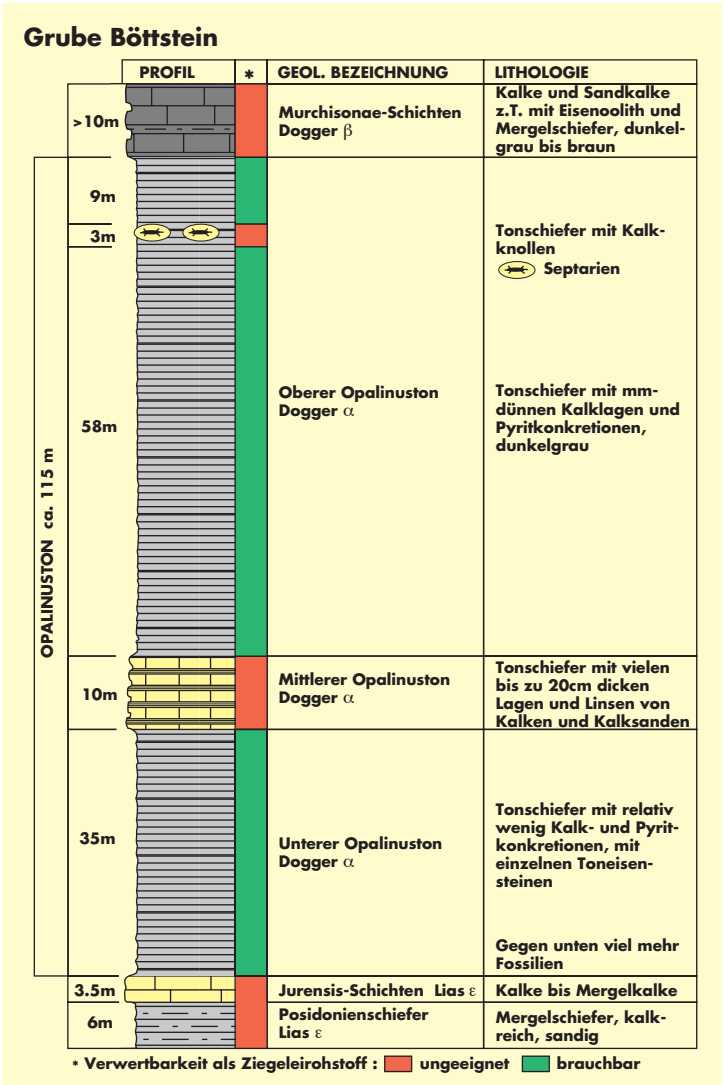
3.11



3.12



3.13



3.14

Abbildung 3.11: Tongrube Gruhalde, Frick. Keupermergel (hellgrau) unten und Obtuston (grau-schwarz) oben, dazwischen Arietenkalkbänke.

Abbildung 3.12: Plateosaurus engelhardti und sein Lebensraum zur Zeit der Obertrias. Das Lebensbild entstand anhand der Fossilfunde in der Tongrube Frick (Bild im Sauriermuseum Frick, gezeichnet von B. Scheffold).

Abbildung 3.13: Grube Gruhalde, Frick. Schematisches Schichtprofil und Zusammensetzung der Keuper-Liasabfolge [aus Peters, 1964].

Abbildung 3.14: Schematisches geologisches Profil durch den Opalinuston der Grube Böttstein AG.



### 3.3.2.2 Keupermergel (Oberer Keuper)

Die mergelig ausgebildete Zone der «Oberen bunten Mergel» ist im Aargauer und Basler Jura sowie im westlichen Randengebiet verbreitet, doch wird dieses Material bereits seit längerer Zeit einzig in der zur Ziegelei Frick gehörenden Grube Gruhalden abgebaut (Abbildungen 3.11 und 3.13). Die als Ziegleirohstoff nutzbaren obersten 10–12 m umfassen eine homogen ausgebildete Abfolge dolomitischer Mergel von violett-grauer, rot-grüner oder gelber Farbe. Eine detaillierte Beschreibung des Fricker Grubenprofils ist in Peters [1964] enthalten (Abbildung 3.13). Der Karbonatgehalt der Mergel liegt bei 30–60%; als Besonderheit ist zu erwähnen, dass der Tonmineralanteil praktisch nur aus Illit besteht. Das Material wird schichtweise abgetragen und auf einem Materialdepot über einen Zeitraum von bis zwei Jahren zwischengelagert, wodurch die relativ harten Mergelkörner infolge natürlicher Verwitterung zerfallen. Seit der Aufgabe der Dachziegelproduktion in den siebziger Jahren werden Keupermergel nur noch als Komponente zur Backsteinherstellung verwendet.

In Zusammenhang mit den spektakulären Funden von Plateosaurierresten in dieser Grube wurde auch die Entstehung der Mergelablagerungen näher untersucht. Danach handelt es sich um terrestrische Sedimente, welche in einer Schwemmebene unter ariden Klimaverhältnissen abgelagert wurden (Abbildung 3.12).

### 3.3.2.3 Obtususton (Unterer Lias)

Das Verbreitungsgebiet des Obtususton entspricht etwa demjenigen der Keupermergel. Es handelt sich um durchschnittlich etwa 15 m mächtige, schwarze, oft glimmerreiche mergelige Tonschiefer, die lokal diffus verteilte Toneisenknauer und Pyrit-/Markasitkonkretionen enthalten. Die Sedimente sind marinen Ursprungs und – obwohl im oberen Bereich generell sandiger – insgesamt recht homogen, so dass kein selektiver Abbau erforderlich ist. Bei längerer Zwischenlagerung zerfallen die harten Schieferplättchen durch Wasseraufnahme zu einer tonigen Masse. Zur Zeit werden Obtususton-Vorkommen nur noch in Frick (Gruhalden) abgebaut; die Grube von Beggingen SH ist dagegen kürzlich geschlossen worden. Das Vorkommen von Frick wurde ebenfalls durch Peters [1964] untersucht (Abbildung 3.13). Der Kalkgehalt beträgt durchschnittlich 15–20%, der Quarzanteil 30–40%. Die tonmineralogische Zusammensetzung umfasst nebst reichlich Illit auch kleinere Anteile von Kaolinit und Chlorit.

Obtususton wird heute als Zuschlagstoff in der Backstein- und Dachziegelproduktion eingesetzt. Wegen seines erhöhten Bitumenanteils zeigt er im Brand eine gewisse Blähneigung, weshalb er nur in sehr begrenzten Mengen zugesetzt werden kann.

### 3.3.2.4 Opalinuston (Unterer Dogger)

Der Opalinuston ist im Gebiet des Solothurner und Aargauer Jura sowie im Randengebiet aufgeschlossen. Die verhältnismässig monotone Abfolge besteht aus grauschwarzen, harten Tonschiefern marinen Ursprungs. Mit Ausnahme der basalen 10–15 m, welche reichlich Ammoniten, Muschelschill und zum Teil auch Gipsadern aufweisen, kann in der Regel die ganze Abfolge für die Ziegelindustrie verwendet werden. Das in Abbildung 3.14 gezeigte Profil enthält etwa im mittleren Bereich zusätzlich eine unbrauchbare Abfolge von dünnen Sandkalkbänken. Generell werden die Tonschiefer zum Hangenden hin zunehmend sandiger.

In der Regel werden nur Teilabschnitte dieser in einer Gesamtmächtigkeit von 80–115 m entwickelten Sedimente abgebaut. Mineralogisch zeichnet sich der Opalinuston durch hohe Anteile der Tonminerale Illit und Kaolinit aus. Bei den Nichttonmineralen herrscht Quarz vor, der Karbonatgehalt liegt bei 8–15%. Als schädliche Komponenten können lokal gehäuft Pyritkonkretionen, Gips oder feine Kalzitadern auftreten. Die in bergfrischem Zustand felsartig anfallenden Tonschiefer benötigen eine längere Zwischenlagerungszeit auf Materialdepots, wodurch ein erheblicher Materialaufschluss erreicht werden kann. Unter Feuchteeinwirkung zerfallen die harten Schieferstücke allmählich zu einer bröckligen steifplastischen Tonmasse (Abbildung 3.16). Die oberflächennahen Bereiche des Opalinuston sind häufig mehr oder weniger stark verwittert und besitzen einen bräunlichen Farbton. Diese mürbe, oft mehrere Meter mächtige Zone wird von den Ziegeln teilweise separat abgebaut und speziell für hochwertige Produkte wie Dachziegel verwendet (Abbildung 3.16).

Aufschlüsse von Opalinuston zeigen häufig eine mehr oder weniger ausgeprägte Tendenz zu Hangrutschungen. Diesen Umstand gilt es bei der Abbauplanung stets gebührend zu berücksichtigen.

Der Opalinuston wird erst seit den dreissiger Jahren dieses Jahrhunderts in der Ziegelindustrie verwendet, und zwar als Ersatzrohstoff für die dazumal erschöpften Vorkommen von Oberflächenton. Erste Gruben wurden in Frick, Böttstein, Schinznach und Küttigen eröffnet. Die grosse Ergiebigkeit dieser Vorkommen war ausschlaggebend für den Neubau be-





3.15

ziehungsweise Ausbau der Werke Döttingen, Frick und Laufingen. Heute bildet der Opalinuston die Rohstoffbasis der meisten im Jura ansässigen Ziegeleibetriebe; aber auch verschiedene ausserhalb gelegene Ziegeleien nutzen dieses kalkarme, frühsinternde Material in grösserem Umfang, und zwar in Kombination mit Molassemergeln und Bänderterton (Ziegeleien Paradies, Gettnau, Hochdorf, ehemals Tuggen). Der Abbau erfolgt in insgesamt neun Gruben, wovon acht im Solothurner und Aargauer Jura liegen und eine im Randengebiet ([Abbildung 3.15](#)).

Der Opalinuston ist eine wichtige Rohstoffkomponente für die Herstellung von Backsteinen, Sichtbacksteinen und Dachziegeln. Im Werk Frick wird dieses Material ausserdem bei der Herstellung von keramischen Spezialprodukten eingesetzt, wie sie für die Produktion von Decken- und Sturzelementen mit armiertem Betonkern benötigt werden. Weitere Spezialanwendungen von Opalinuston sind in [Kapitel 4](#) beschrieben.

### 3.3.2.5 Mergel des Albien (Untere Kreide)

Die Verbreitung der blauen Mergeltone des Albien ist in der Schweiz auf den Neuenburger Jura beschränkt. Es handelt sich um terrigene Sedimente, welche in einem küstennahen Meeresbecken abgelagert wurden. Im Verlauf der Jurafaltung wurde dieser plastische Horizont tektonisch stark beansprucht, was zur Folge hatte, dass die Mergel entweder teilweise oder ganz ausgepresst oder aber akkumuliert wurden. Die einzige Abbaustelle hat sich vor deren Schliessung bei La Presta im Val de Travers befunden, wo im Kern einer grossen ost-weststreichenden Faltensynklinale Mergeltone von gegen 25 m abbaubarer Mächtigkeit gewonnen wurden ([Abbildung 3.17](#)). Mineralogisch bestehen die blau-schwarzen Mergeltone aus ca. 60% Tonmineralen, vorwiegend Illit und Kaolinit, ferner Quarz und Kalzit. Das Material wird als Zuschlagstoff für die Herstellung von Dachziegeln im Werk Corcelles VD verwendet.

**Abbildung 3.15:** Opalinusgrube Birchbühl-Tenterenberg, Sibingen SH, von Südosten gesehen. Im Vordergrund die praktisch vollständig abgebaute Grube Tenterenberg mit Depots verschiedener Materialqualitäten für die Ziegel- und Backsteinproduktion. Rechts im Bild be-

grünte Humusdepots. Braune Fläche im Vordergrund: Zur Rekultivierung vorbereiteter Bereich. Im Hintergrund die vor wenigen Jahren eröffnete Ersatzgrube Birchbühl. Links im Bild die Nagra-Bohrung Sibingen (1988/89).

**Abbildung 3.16 (nächste Seite):** Verwitterung von Opalinuston. An der Abbauwand löst sich der horizontale Schichtenverband auf in linsenförmige Knollen im cm- bis dm-Bereich (3.16a). Eine weitere Stufe des natürlichen Materialauf-

schlusses erfolgt auf dem Rohstoffdepot, wo die Tonknollen zu feinkörnigen Partikeln zerfallen (3.16b). Durch die Bildmitte der oberen Aufnahme verläuft eine steilstehende Kluft, eine im Opalinuston häufig auftretende Erscheinung.

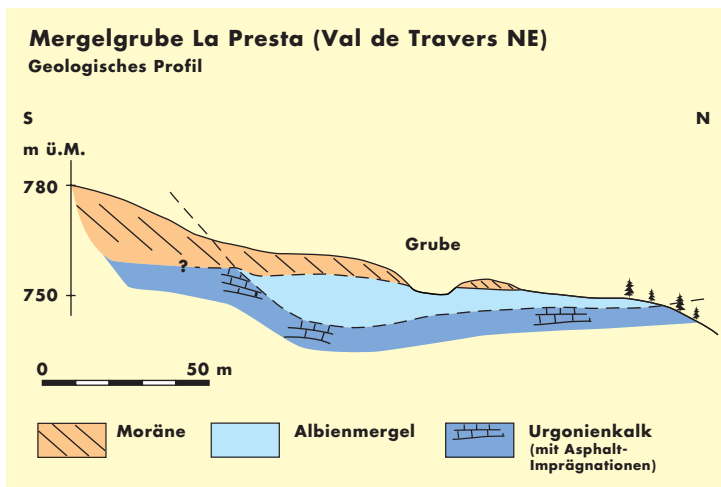




3.16a



3.16b



3.17



3.18

### 3.3.2.6 Boluston (Kreide – Tertiär/Eozän)

Die lokal als Taschenfüllungen im Malmkarst ausgebildeten Vorkommen von Boluston sind für die Ziegelindustrie heute praktisch bedeutungslos. Ein kleines Vorkommen wird bei Welschenrohr SO abgebaut. Das rotbrennende Material wird zur Herstellung von Engobe für Dachziegel verwendet, weshalb der durchschnittliche Jahresbedarf nur ca. 70 m<sup>3</sup> beträgt. Einige Vorkommen von Boluston werden ausserdem bei Lohn SH für die Herstellung von Feuerfestprodukten (vergleiche dazu [Kapitel 4.5.3.1](#)) und ebenfalls als Engobeton genutzt.

### 3.3.2.7 Septarienton (Tertiär/Oligozän)

Beim Septarienton handelt es sich um marine Mergelablagerungen des Mittleren Oligozäns, welche in der Schweiz in

der Region Basel sowie im Laufener Becken aufgeschlossen sind. Ihre Mächtigkeit beträgt bei Basel um 50 m, im Laufener Becken 10–20 m. Die blaugrauen, fetten Mergel des unteren Bereiches enthalten nur vereinzelte Sandsteinknauer; im oberen Bereich, wo das Material generell sandiger wird, treten die Knauer häufiger auf und gehen über in eigentliche Sandsteinhorizonte mit Mergelzwischenlagen. Nicht selten enthalten die Mergel auch Pyritkonkretionen. Seit Aufgabe des Tonabbaus in der Grube Allschwil wird Septarienton nur noch in der Grube Saal bei Laufen BL gewonnen ([Abbildung 3.18](#)). Das hier genutzte Material umfasst die gesamte abbaubare Mächtigkeit des Septarientons. Die grösseren Sandsteinknauern müssen dabei ausgesondert werden. Der durchschnittliche Kalkgehalt liegt bei 30%, der Quarzgehalt im unteren Bereich um 23%, im oberen, sandreichen Abschnitt bei über 30%. Der Tonanteil setzt sich zusammen aus Illit und Montmorillonit (je 35–45%), daneben Kaolinit und Chlorit.

**Abbildung 3.17:** Inzwischen geschlossene Grube La Presta, Val de Travers NE. Geologisches Profil durch das Vorkommen von Albienmergel.

**Abbildung 3.18:** Septarientongrube Saal, Laufen BL. Die Grubenwand zeigt den mittleren und oberen Bereich des Septarientones. Der braune Horizont umfasst die Überdek-

kung und verwitterte Sandstein- und Mergellagen. Lagen mit groben Sandsteinknauern sind auch im darunterliegenden grauen Material enthalten und müssen beim Abbau

ausgesondert werden. Der untere Bereich der Abfolge besteht aus mittel- bis grobbankigen Mergeln.



[zurück zur Startseite](#)

[nächstes Kapitel](#)

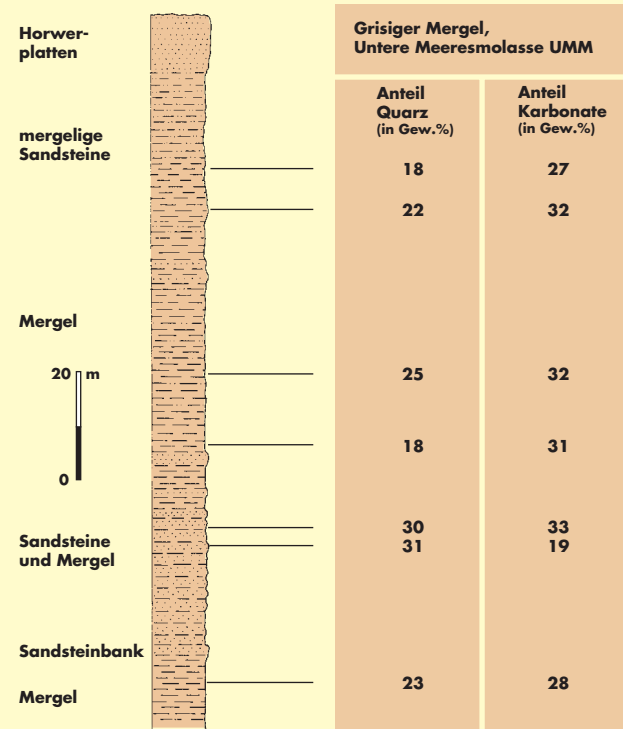
[vorangehendes Kapitel](#)



3.19

### Tongrube Grisigen bei Horw LU

Schematisches Schichtprofil durch die Grisiger Mergel (untere Tongrube)



3.20



3.21



3.22

Abbildung 3.19: Luftaufnahme der Tongrube Grisigen bei Horw LU; im Hintergrund der Pilatus.

Abbildung 3.20: Tongrube Grisigen, Horw LU. Schematisches Schichtprofil durch die Grisiger Mergel (UMM) der unteren Tongrube. Mit Angabe der Quarz- und Karbonatgehalte der verschiedenen Lithologien [aus Peters, 1969].

Abbildung 3.21: Grube Schüpfen BE. Wechsellagerung von Silt- und Sandsteinbänken mit Ton- und Mergelhorizonten der Unteren Süßwassermolasse. Die Höhe der mächtigsten Sandsteinbank (Doppelpfeil) beträgt ungefähr

zwei Meter. Links im Bild: Sandstein-Rinnenfüllung (Pfeil) [aus Nagra-Bericht NTB-90-41].



Für die Tonwarenfabrik Laufen ist der Septarienton eine wichtige Rohstoffkomponente zur Herstellung von Backsteinen und Dachziegeln.

### 3.3.2.8 Grisiger Mergel (Tertiär/Oligozän)

Die der Unteren Meeresmolasse (UMM) zugehörigen Grisiger Mergel sind in der subalpinen Molasse der Innerschweiz aufgeschlossen und werden ausschliesslich in der Tongrube Grisigen bei Horw (LU; [Abbildung 3.19](#)) gewonnen. Es handelt sich um eine vermutlich mehrere hundert Meter mächtige Abfolge von tektonisch mehr oder weniger stark gestörten, dunklen, oft sandigen Mergelschiefern ([Abbildung 3.20](#)). Die mineralogischen Hauptgemengteile sind 15–35% Quarz, etwa 30% Karbonat (vorwiegend Kalzit) sowie als Tonminerale Illit und Montmorillonit nebst etwas Kaolinit und Chlorit. Durch die Diagenese und die tektonischen Vorgänge sind die Mergel relativ stark verfestigt, weshalb das Material einen eher mageren Ziegeleirohstoff abgibt. Die in Horw ansässige Ziegelei stellt daraus Backsteine her.

### 3.3.2.9 Mergel und Sandsteine der Unteren Süsswassermolasse (Tertiär/Miozän)

Als Untere Süsswassermolasse (USM) bezeichnet man eine mächtige Abfolge von Flusssedimenten des Mittellandtroges, welche aus dem südlich anschliessenden Alpenraum geschüttet wurden. Die USM ist vor allem im westlichen Mittelland grossräumig aufgeschlossen. Im zentralen und östlichen Mittelland dagegen tritt sie nur am Nord- und Südrand (Subalpine Molasse) des Mittellandtroges als schmaler Streifen an die Oberfläche. Die Mächtigkeit der USM nimmt von Nord nach Süd rasch zu und erreicht am Alpenrand über 4000 m. Der Gesteinsinhalt umfasst Konglomerate, Sandsteine, Siltsteine und Mergel, wobei der Anteil feinkörniger, pelitischer Sedimente (Mergel) gegen Norden, das heisst mit zunehmender Distanz zum Liefergebiet generell zunimmt.

Innerhalb der USM sind für die Ziegelindustrie primär die verschiedenen Niveaus der sogenannten «Bunten Mergel» von Bedeutung, deren Mächtigkeit von einigen Dekametern bis über 100 m reicht. Am intensivsten genutzt wird die sogenannte «aquitane Molasse» und hier wiederum die im bernischen Mittelland verbreitete «Zone der roten Ziegeleitone». Letztere umfasst eine rasch wechselnde Abfolge von bunten Tonen und Mergeln, wechsellagernd mit graubeigen bis grünlichen Silt- und Sandsteinen (vergleiche [Abbildung 3.21](#), Grube Schüpfen).

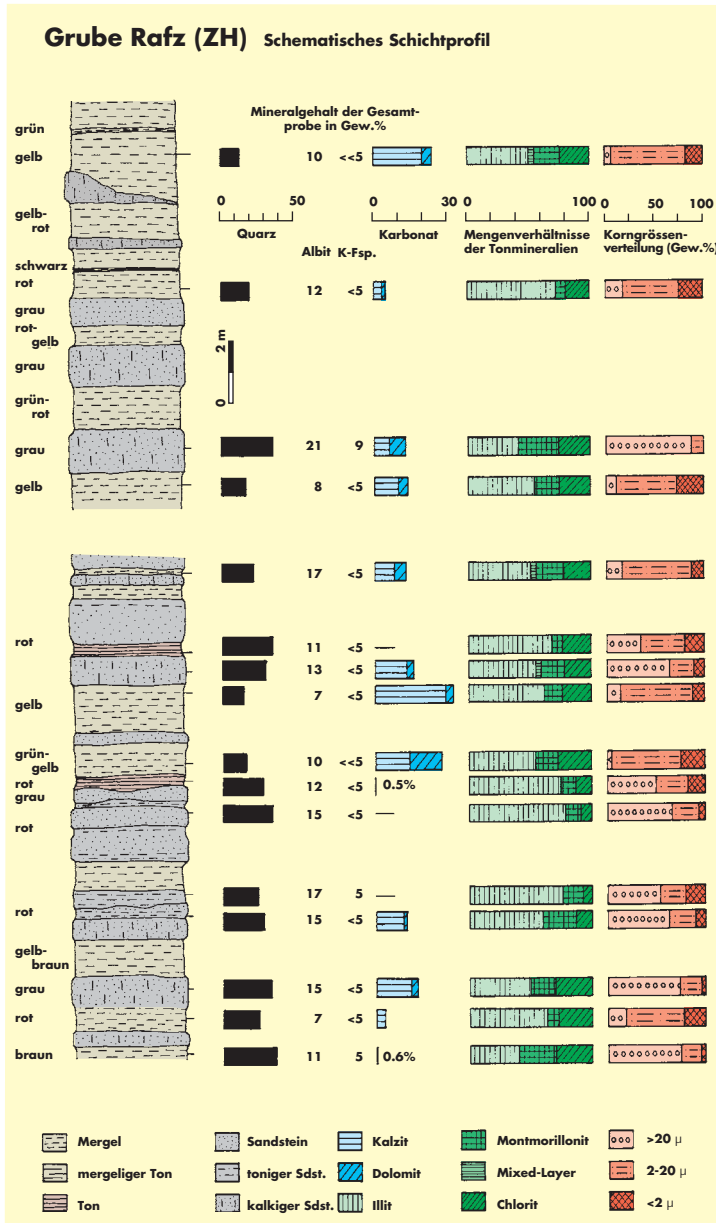
**Abbildung 3.22: Werk und Grube Rapperswil BE.** Die unterschiedlichen Materialqualitäten innerhalb der Unteren Süsswassermolasse werden selektiv schichtweise abgebaut und auf mehreren Depots entsprechend den Produktanforderun-

gen zwischengelagert. Die kurze Transportdistanz Grube–Werk stellt einen heutzutage immer seltener werdenden Idealfall dar.

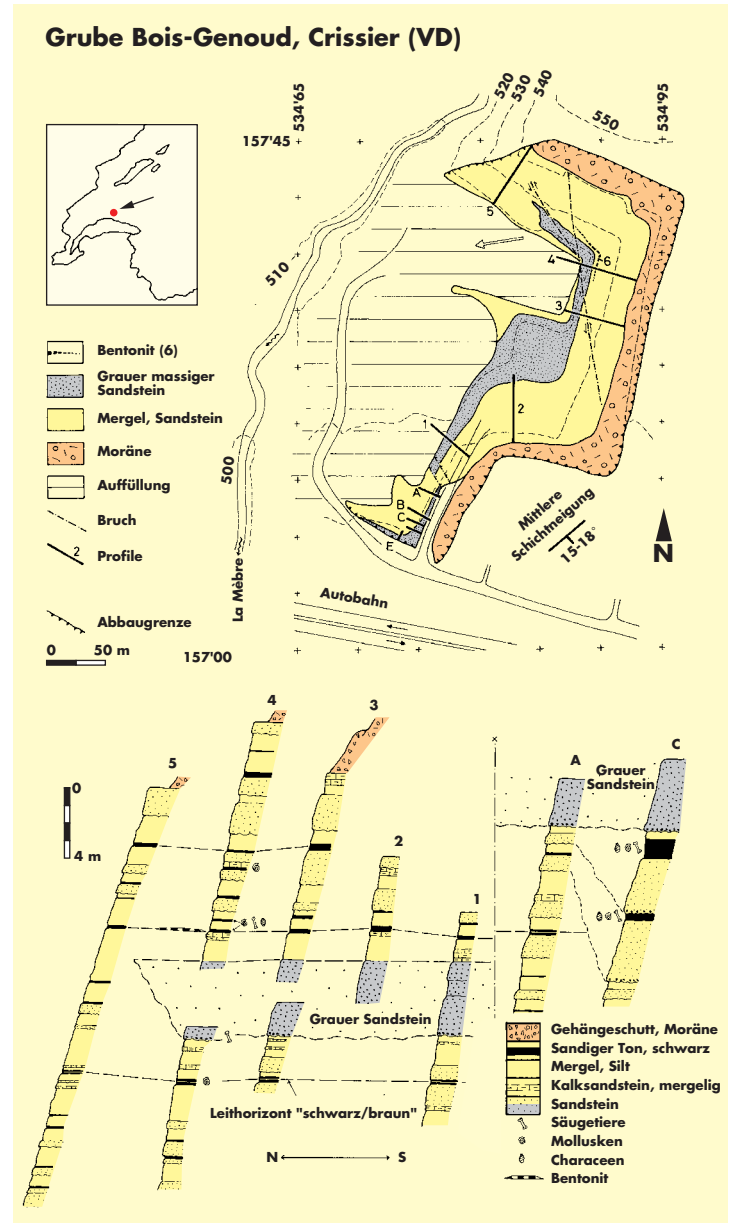
Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die für den zentralen und östlichen Aufschlussbereich der USM charakteristischen roten Ton- und Mergelhorizonte in der Westschweiz beinahe vollständig fehlen. Die laterale Ausdehnung der einzelnen Horizonte ist sehr unterschiedlich: So können zum Beispiel mehrere Meter mächtige Sandsteinbänke unvermittelt abgelöst werden von tonig-mergeligen Horizonten und umgekehrt. Diese raschen Wechsel sind typische Merkmale von Ablagerungen, die in einer Schwemmebene mit einem komplexen Netzwerk sandgefüllter Rinnengürtel, feinkörniger Überschwemmungssedimente sowie tonig-mergeliger Sumpf- und Bodenbildungen entstanden. Die Mächtigkeit der einzelnen Lagen schwankt im Dezimeter- bis Meterbereich, wobei insbesondere diejenige der siltig-sandigen Horizonte auch mehrere Meter betragen kann.

Die mineralogische und granulometrische Zusammensetzung der USM-Sedimente ist aufgrund ihrer lithologischen Vielfalt sehr unterschiedlich: Während in siltig-sandigen Abschnitten die Quarz-, Feldspat- und Karbonatanteile (vorwiegend Kalzit) mit je etwa 20–40% dominieren, bilden in den tonig-mergeligen Partien Tonminerale und Karbonat die Hauptgemengteile. Das Spektrum der Tonminerale umfasst hauptsächlich Illit nebst Chlorit und wenig Montmorillonit. Karbonatarme oder -freie Horizonte sind eher die Ausnahme. Einzig in der am Nordostrand des Molassebeckens (Zürcher Unterland) abgebauten «oberaquitane Mergelzone» treten gelegentlich bis 10 m mächtige karbonatarme, schwach verfestigte Sandsteinabfolgen auf, die in den Gruben separat abgebaut und ähnlich dem Glimmersand als Magerungskomponente eingesetzt werden können. Die ausserordentliche Bedeutung der USM für die Ziegelindustrie liegt einerseits in ihrer grossen Mächtigkeit und Verbreitung, andererseits in ihrer lithologischen Vielfalt begründet, die es ermöglicht, aus derselben Materialabbaustelle sowohl die plastifizierenden als auch die magernden Komponenten zu gewinnen und daraus eine Rohmischung herzustellen. Darin unterscheidet sich dieses Material beispielsweise vom Opalinuston, der nur zusammen mit einer anderweitig zu beschaffenden Magerungskomponente verarbeitet werden kann.

Zur Zeit wird in 15 Grubenbetrieben innerhalb der USM rund 40% des einheimischen Rohstoffbedarfs gewonnen. Der Abbauschwerpunkt liegt im Bereich des Berner Mittellandes und den angrenzenden Gebieten (Rapperswil BE, Schüpfen, Pieterlen und Roggwil; geschlossen: Etzelkofen, Aarberg); weitere bedeutende Abbaustellen befinden sich in den Kantonen Waadt (Crissier/Bois-Genoud, vergleiche [Abbildung 3.24](#) und



3.23



3.24

Peyres-Possens) und Freiburg (Wallenried und Vallon) sowie im Zürcher Unterland (Fisibach AG, Rafz, vergleiche [Abbildung 3.23](#)) und am Buchberg SH.

Die Rohstoffe der USM eignen sich grundsätzlich für die Herstellung von Normalbackstein, Sichtbackstein und Dachziegeln. In der Praxis jedoch ist das Verhältnis tonig-mergeliger und siltig-sandiger Komponenten in der Grube ausschlaggebend für die in Frage kommende Produktpalette. In der Regel gilt: je breiter das Produktespektrum, desto selektiver muss die Materialgewinnung erfolgen, das heisst horizontweiser Abbau

und – entsprechend den Mischungsanforderungen – Errichten mehrerer Depots mit unterschiedlichen Qualitäten. Stark kalkhaltige, harte Sandsteinhorizonte und Kalkmergellagen müssen ausgesondert werden. Die Zwischenlagerungszeit auf den Materialdepots beträgt in der Regel einige Monate. Das eindrucklichste Beispiel für einen selektiven Abbau betrifft die USM-Grube der Ziegelei Rapperswil BE (vergleiche [Abbildung 3.22](#)), wo über eine Abbauhöhe von 30 m insgesamt gegen 40 Einzelhorizonte separat abgebaut werden. Die Produktpalette umfasst Backsteine, Dachziegel und Tonbodenplatten.

**Abbildung 3.23: Grube Rafz ZH.** Schematisches Schichtprofil und Zusammensetzung der aquitanen Molasse (USM) [nach Peters et al., 1972].

**Abbildung 3.24: Grube Bois-Genoud, Crissier VD.** Geologische Profile des Grubenauflusses in der USM [nach Mumenthaler et al., 1981, Aufnahme und Darstellung M. Weidmann].



### 3.3.2.10 Mergel und Sandsteine der Oberen Süsswassermolasse (Tertiär/Miozän)

Die Obere Süsswassermolasse (OSM) ist in der Schweiz im zentralen und östlichen Mittelland aufgeschlossen. Als kontinuierlich breiter werdendes Band erstreckt sie sich vom Napfgebiet zum Bodensee und darüber hinaus nach Südbayern. Wie bei der USM nimmt die Gesamtmächtigkeit von Nord nach Süd rasch zu und beträgt am Alpenrand gegen 1000 m. Die Vorgänge, welche zur Ablagerung der Sedimente der OSM führten, sind weitgehend dieselben wie bei der USM, und demzufolge bestehen grosse Ähnlichkeiten bezüglich der Lithologie und der Aufschlussmerkmale. Da jedoch zur Zeit der OSM-Schüttung in den alpinen Liefergebieten vermehrt dolomitische Sedimente und basische Vulkanite erodiert wurden, sind bezüglich der mineralogischen Zusammensetzung Unterschiede zur USM feststellbar: So sind die OSM-Sedimente generell karbonatreicher (20–60%) mit auffallend hohem Dolomitanteil. Dagegen sind die Feldspatgehalte deutlich niedriger als in der USM. Besonders in der Ostschweiz enthalten die Ton- und Mergelhorizonte einen beträchtlichen Anteil des Tonminerals Montmorillonit. Sein Anteil an der Tonfraktion beträgt 30–50%. Lokal treten auch eigentliche Bentonithorizonte auf, die als Umwandlungsprodukte aus tuffitischen Ablagerungen entstanden sind.

Der grossen Verbreitung der OSM-Ablagerungen zufolge bilden die Ton-, Mergel- und Sandsteinschichten den Basisrohstoff für verschiedene Ziegeleibetriebe in den Kantonen Luzern, Zürich und Thurgau. Mit einem durchschnittlichen Jahresabbauvolumen von 200'000 Kubikmeter sind sie nach der USM zweitwichtigster Rohstofflieferant. Bedeutende Abbaustellen befinden sich im Raum Hochdorf-Gisikon-Inwil LU, Lufingen ZH, Mettlen TG und Berg TG. Sehr gut untersucht ist das Grubenprofil von Mettlen ([Abbildung 3.25](#)) mit über 10 m mächtigen Mergelabfolgen. Dagegen sind in den näher beim alpinen Liefergebiet gelegenen Gruben des Kantons Luzern die Sandsteinhorizonte häufiger und mächtiger entwickelt.

Die Rohstoffe der OSM eignen sich grundsätzlich für die Herstellung sowohl von Backsteinen als auch von Dachziegeln, doch – analog zur USM – ist letztlich wiederum die grubenspezifische Rohstoffsituation massgebliches Kriterium. Zur Zeit werden einzig in der Grube Mettlen bestimmte tonreiche Horizonte («blaue Mergel») zur Dachziegelherstellung verwendet, das übrige Material wird – wie auch die Rohstoffe der übrigen OSM-Gruben – zur Produktion von Backsteinen eingesetzt.

### 3.3.2.11 Glimmersand (Tertiär/Miozän)

Die Glimmersandschüttung der Oberen Süsswassermolasse umfasst Ablagerungen eines breit angelegten Stromsystems, welches feinsandiges, aus den Ostalpen stammendes Material nach Westen transportierte. Diese sogenannte Glimmersandrinne erstreckt sich von Ostbayern bis in den Neuenburger Jura. Die bedeutendsten Glimmersandvorkommen der Schweiz sind in der Nordostschweiz aufgeschlossen, etwa am Seerücken, am Rodenberg bei Diessenhofen und am Irchel. Westlich der Limmat sind nur vereinzelte Vorkommen von der Erosion verschont geblieben. Am Südrand des 30–40 km breiten Glimmersandtroges alternieren die Sande oft mit tonig-mergeligen Einschaltungen alpiner Herkunft, während am Nordrand zeitweise Schüttungen aus dem Schwarzwald und dem werdenden Jura erfolgten. Insgesamt dürfte die Mächtigkeit der Glimmersandschüttung in zentralen Bereichen einige hundert Meter betragen. Recht verbreitet treten in den weichen Glimmersanden harte, karbonatisch zementierte Sandsteinknauer mit Durchmessern im Dezimeter- bis Meterbereich auf, daneben auch Lagen und Nester mit dunklen Tongallen und weissen Süsswasserkalk-Knöllchen. Die feinkörnigen Glimmersande sind hell, ocker bis silbergrau. Der Hauptkornanteil liegt zwischen 0.1 und 0.4 mm und besteht mineralogisch aus den Hauptkomponenten Quarz, Feldspat und 5–30% Karbonat. Der namensgebende Hellglimmeranteil ist zwar sehr augenfällig, mengenmässig jedoch unbedeutend.

In der Ziegelindustrie wird Glimmersand als Magerungskomponente sowohl in der Backstein- als auch in der Dachziegelproduktion eingesetzt. Durch Zugabe zu fetteren Tonen und Mergeln kann die Trocken- und Brennschwindung herabgesetzt, die Trocknungszeit verkürzt und eine bessere Formbeständigkeit der Produkte erreicht werden. Abbautechnisch bietet der Glimmersand kaum Probleme, wenn man davon absieht, dass die Sandsteinknauer ausgesondert werden müssen. Zur Zeit werden Glimmersandvorkommen an drei Standorten abgebaut, wovon zwei am Seerücken liegen (Helsighausen, [Abbildung 3.26](#); Wäldi TG); eine kleinere Grube befindet sich am Bözberg AG im Grenzbereich Falten-/Tafeljura.

Den Glimmersanden ähnlich sind gewisse Lockersandhorizonte in der Unteren und Oberen Süsswassermolasse. Es handelt sich dabei um primär wenig verfestigte, relativ karbonatarme Sandhorizonte oder mehr oder weniger entkalkte Sandsteine in oberflächennahen Bereichen. Diese Sande erreichen in der Regel jedoch nur Mächtigkeiten von maximal 10 m und sind meist grobkörniger als Glimmersand.





3.25



3.26



3.27

**Abbildung 3.25:** Grube Mettlen TG, grösster Abbau innerhalb der Oberen Süsswassermolasse. Die Abbauwand ist in Stufen gegliedert, davorlagernd die Materialdepots für

die Dachziegel- und Backsteinproduktion. Der Bereich zwischen Erschliessungsstrasse und Grubenwand ist aufgefüllt und rekultiviert worden.

**Abbildung 3.26:** Grube Helsighausen TG. Abbau von Glimmersand der Oberen Süsswassermolasse. In der Aufnahme der Grubenwand sind mehrere rostrote Horizonte er-

kennbar, welche reichlich organisches Material enthalten. Ganz rechts im Bild harter Sandsteinknauer (=Abraum). Höhe der Wand etwa 4 m.



### 3.3.2.12 Bänderton (Quartär/Interglazial)

Bändertone oder Beckentone sind als eiszeitliche Stauseefüllungen entstanden und können Mächtigkeiten von über 100 m erreichen. Die vorwiegend graublauen steifplastischen Mergel weisen oft eine charakteristische Hell-dunkel-Feinschichtung (Bänderung) auf. Verbreitet treten siltig-feinsandige Linsen und Lagen auf, bisweilen führen die Bändertone auch mehr oder weniger Geschiebe- und Geröllanteile ([Abbildung 3.27](#)).

Bedeutende Bändertonvorkommen finden sich in beinahe allen grösseren Flusstälern des Mittellandes, doch werden sie oft überlagert von einer mehr oder weniger mächtigen Schotterdecke. Die Ziegelindustrie nutzt Bändertonvorkommen seit langer Zeit. So wurde beispielsweise die Ziegelei Paradies TG um die Jahrhundertwende auf einem bedeutenden Bändertonvorkommen gebaut, welches auch heute die Rohstoffbasis dieses Betriebes darstellt. Weitere Vorkommen werden in Basadingen TG und in Bümpliz bei Bern zur Herstellung von Backsteinen genutzt.

Neben den Rohstoffen der Molasse und dem Opalinuston gehört der Bänderton zu den wichtigsten einheimischen Ziegeleirohstoffen. Charakteristisch für die Bändertone ist der durchwegs hohe Anteil an feinstkörnigem Kalk von 30–50%, welcher ausschlaggebend ist für die weiss-gelbliche Brennfarbe. Wegen des hohen Kalkgehalts werden Bändertone heute gerne zusammen mit einem kalkarmen, frühsinternden Material wie zum Beispiel Opalinuston verarbeitet. In abbautechnischer Hinsicht gilt es zu beachten, dass die siltig-sandigen Lagen im Bänderton gespanntes Grundwasser enthalten können und demzufolge die Gefahr instabiler Böschungen oder von Grundbruch latent vorhanden ist.

### 3.3.2.13 Lösslehm (Quartär)

Als Löss oder Lösslehm werden tonig-sandige Ablagerungen bezeichnet, welche im Vorland der grossen eiszeitlichen Talgletscher durch Windverfrachtung flächenhaft abgelagert wurden. Durch nachfolgende Erosionsprozesse wurden die ursprünglich in den Talniederungen wohl sehr verbreiteten Vorkommen grösstenteils wieder abgetragen. Die heute für die Ziegelindustrie nutzbaren Vorkommen beschränken sich auf einige Regionen der Nordschweiz; nämlich das Gebiet südlich von Basel, das untere Aaretal und das untere Birstal. Die abbaubare Mächtigkeit beträgt meist wenige Meter, in Ausnahmefällen bis gegen 15 m. In oberflächennahen Bereichen ist der Löss mehr oder weniger entkalkt, in tieferen Lagen werden

gelegentlich kalkhaltige Lösslehme angetroffen, die zum Teil gelbbräunliche Lösspuppen und feine Schneckenschalen enthalten. Der Löss ist in der Regel ungeschichtet und locker gelagert. Mineralogisch besteht Löss zur Hauptsache aus den Komponenten Quarz (ca. 50%) sowie dem Tonmineral Illit.

Löss zeichnet sich aus durch seine besonderen keramischen Eigenschaften: leuchtend rote Brennfarbe, ausgezeichnetes Reaktionsvermögen im Brennprozess, generell gute Frostbeständigkeit der gebrannten Produkte. Trotz seiner sehr beschränkten Verfügbarkeit ist Löss für verschiedene Ziegeleibetriebe nach wie vor eine wichtige Rohstoffkomponente, welche vor allem als Zuschlagstoff für Dachziegel und Sichtbacksteine verwendet wird (Döttingen AG). Eine Ausnahme bildete die Ziegelei Oberwil BL, welche Lösslehm über 100 Jahre als Basisrohstoff verwendet hat [Brodmann-Kern et al., 1990].

### 3.3.2.14 Gehängelehm und Schwemmlehm (Quartär/oft Postglazial)

Gehängelehme sind Abwitterungs- und Abschwemmprodukte tonig-sandiger Festgesteine, welche vorzugsweise im Bereich des Hangfusses und als Auenlehme abgelagert wurden. Am weitesten verbreitet sind diese Ablagerungen im Mittelland, doch sind nutzbare Vorkommen auch in den grossen Alpentälern und im Jura gefunden worden. Entsprechend ihrer Bildung besitzen diese Lehmlager nur eine beschränkte Ausdehnung und Mächtigkeit; zudem sind sie in der Regel recht inhomogen aufgebaut. Nicht selten zeigt eine wenige Meter mächtige Gehängelehmablagerung einen raschen Wechsel zwischen tonreichen, fetten Lehmhorizonten, sandigem Lehm und eigentlichen Sandlagen. Mit Verunreinigungen in Form von geröllführenden Horizonten muss gerechnet werden.

Um die Jahrhundertwende gehörten Gehängelehme zusammen mit den Moränen- und Schwemmlehm zu den Hauptrohstoffquellen der einheimischen Ziegeleibetriebe (vergleiche [Tabelle 3.8](#)). Die bereits erwähnte sehr beschränkte Verfügbarkeit dieser Materialien einerseits und die Entwicklung hin zu immer grösseren Produktionseinheiten andererseits stellte deren wirtschaftliche Verwertung in zunehmendem Mass in Frage. Das wohl grösste und lange Zeit wichtigste Vorkommen befindet sich am Nordostfuss des Üetlibergs in Zürich. Dieses über vier Quadratkilometer grosse und bis über 20 Meter mächtige Lehmlager wurde bis zum Jahr 1972 durch die Ziegelei Tiergarten (Gruben Tiergarten und Binz) genutzt ([Abbildung 3.4](#)). Heute ist es entweder abgebaut oder überbaut.

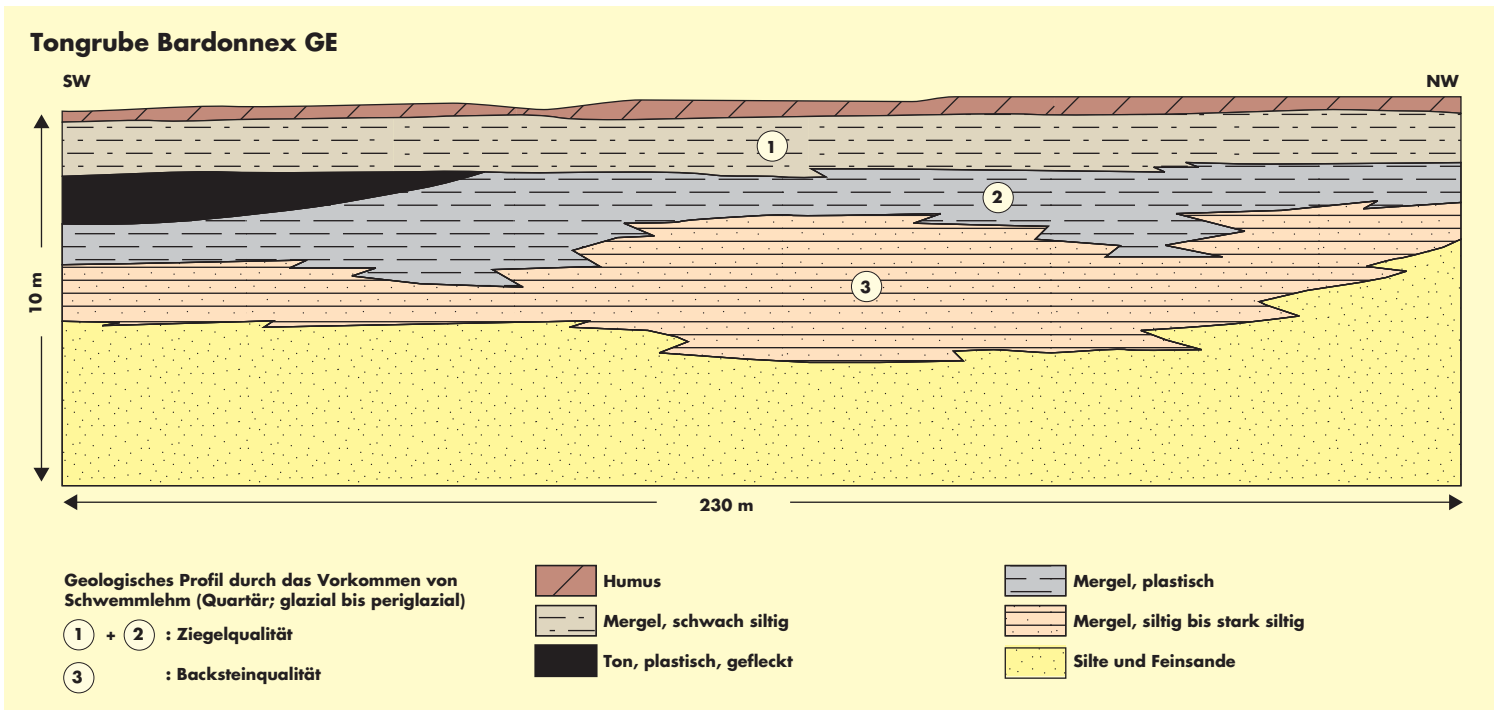
**Abbildung 3.27: Bänderton (Detailaufnahme).** Die in Seebecken des Gletschervorlandes entstandenen Mergel zeigen oft eine gleichmässige Hell-dunkel-Bänderung (Warven), welche den jahreszeitlich

unterschiedlichen Sedimentationsraten entspricht. Helle Bänder = Sommerablagerungen, kalkreich, höhere Sedimentationsrate. Dunkle Bänder = Winterablagerungen, tonreicher, geringere Sedimentationsrate.





3.28



3.29

**Abbildung 3.28:** Tongrube Gigenbuck, Neunkirch SH. Abbau von risseiszeitlichem Schwemtlehm. Oben: graubeige, sandige, «magere» Qualität; unten: braunbeige, tonreichere, «fette» Qualität.

**Abbildung 3.29:** Tongrube Bardonnex GE. Geologisches Profil durch das Vorkommen von Schwemtlehm (Quartär, Glazial bis Periglazial).

Als Schwemmlerhne werden die jungen Fluss- und Seelehne bezeichnet. Fluss- oder Auenlehne sind Überschwemmungsprodukte von Talböden, wobei fliessende Übergänge zu Gehängelehen an den Talrändern möglich sind. Seelehne entstanden und entstehen in Seen durch Absatz der zugeführten Feinstpartikel. Sie sind in der Regel fetter, das heisst sie besitzen einen höheren Anteil Tonfraktion als Flusslehne. Letztere enthalten vielerorts Einlagerungen von Sand und Kies. Schwemmlerhne zeigen generell eine gleichmässige Ausbildung als Gehängelehen und sind oft gut geschichtet.

Eine Besonderheit stellen die oft noch als «Löss» bezeichneten, lehmigen bis sandigen Ablagerungen im Klettgau dar, bei welchen es sich um risseiszeitliche Schwemmlerhne mit teilweise deutlich erkennbarem Schichtaufbau handelt, entstanden in einem von Waldshut bis Schaffhausen reichenden See.

Grössere Vorkommen von Schwemmlerhne werden heute in Bardonnex GE, Neunkirch SH und Laufen BL abgebaut (vergleiche [Abbildungen 3.28 und 3.29](#)). Weitere Abbaustandorte befinden sich bei Oberdiessbach und Landquart, wobei diese letzteren vermutlich im Mischbereich zwischen Gehänge- und Schwemmlerhne liegen.

Die mineralogische Zusammensetzung der Gehänge- und Schwemmlerhne widerspiegelt naturgemäss diejenige der Liefergesteine. In der Regel dominieren Quarz, Feldspat, Kalzit und das Tonmineral Illit. Der Entkalkungsgrad der Lehmager ist sehr unterschiedlich; tendenziell ist er jedoch dort am weitesten fortgeschritten, wo durchlässige Schotter das Substrat bilden.

### 3.3.2.15 Einsatz von Kiesschlamm

Kiesschlamm fällt bei der Kiesaufbereitung in grossen Mengen an (ca. 1.6 Mio. t/a). In der Vergangenheit wurde dieses Abfallprodukt in sogenannten Schlammweihern gesammelt und zur Sedimentation gebracht. Mumenthaler [1979] und Mumenthaler et al. [1987] konnten anhand umfassender Forschungsarbeiten die grundsätzliche Verwendbarkeit von Kiesschlamm als Zuschlagstoff in der Ziegelindustrie nachweisen. Bereits zu Beginn der achtziger Jahre begann die Ziegelei Frick mit der Zugabe dieses Materials; zum heutigen Zeitpunkt verarbeiten etwa ein halbes Dutzend Betriebe jährlich etwa 20'000 Kubikmeter Kiesschlamm. Ein wesentlicher Vorteil der Kiesschlammzugabe liegt in der Tatsache begründet, dass durch den durchwegs hohen Feinstkarbonatanteil von 20–60% die Schwindung der keramischen Masse herabgesetzt wird. Ausserdem kann damit eine verminderte Neigung zu Blähun-

gen und schwarzen Reduktionszonen erreicht werden. Aus diesen Gründen ist Kiesschlamm vor allem als Zuschlagstoff zu kalkarmen Basisrohstoffen, wie etwa Opalinuston, geeignet. Ein weiteres Argument für die Kiesschlammzugabe ergibt sich aus der Möglichkeit, die eigenen Rohstoffreserven zu schonen. Positiv wirkt sich auch der Umstand aus, dass immer mehr Kieswerke ihren Kiesschlamm abpressen. Dadurch wird das Material homogener, sauberer und enthält weniger Wasser, was die Handhabung in der Ziegelindustrie wesentlich erleichtert (vergleiche dazu auch [Kapitel 9](#)).

### 3.3.3 TONIMPORTE

Dem Import ausländischer Rohstoffe für die Ziegelindustrie sind wegen der hohen Transportkosten enge Grenzen gesetzt. Zur Zeit werden von verschiedenen Betrieben insgesamt ca. 30'000 Kubikmeter Material eingeführt, was 2.5% des schweizerischen Jahresbedarfs entspricht. Zum überwiegenden Teil handelt es sich um Rohstoffe aus betriebseigenen Gruben im grenznahen Bereich Deutschlands und Frankreichs. Kleinere Mengen hochwertiger Spezialtone werden aus dem Westerwald, nördlich von Frankfurt, per Bahn antransportiert. Die Importtone finden als Zuschlagstoffe bei der Herstellung von Produkten mit höherer Wertschöpfung (Dachziegel, Sichtbackstein) Verwendung. Ebenfalls importiert werden praktisch alle Engobentone für Dachziegel. Es handelt sich dabei um Fertigmassen, welche von Spezialfirmen bezogen werden.

### 3.3.4 EVALUATION UND ABBAU VON TONLAGERSTÄTTEN

Das Vorgehen bei der Evaluation neuer Tonvorkommen und bei der Abbauplanung ist grundsätzlich dasselbe wie bei den übrigen Rohstoffen der Gruppe Steine und Erden (siehe [Kapitel 13](#)). Deshalb soll an dieser Stelle nur auf einige spezielle Aspekte näher eingegangen werden.

Bedingt durch die Standortgebundenheit der Ziegeleibetriebe und die erheblichen Transportkosten muss sich die Suche nach geeigneten Rohstoffvorkommen auf einen Perimeter von maximal 20 km beschränken. Nur bei hochwertigen Rohmaterialien, welche als Zuschlagstoffe für die Qualitätsoptimierung von Spezialprodukten (Dachziegel, Sichtbacksteine) verwendet werden können, werden gelegentlich grössere Distanzen in Kauf genommen. Tongruben beanspruchen





3.30

kleine Abbaufächen, Abbauintensität und -kubaturen sind bescheiden. Das Erscheinungsbild der Materialabbaustellen verändert sich demzufolge nur sehr langsam. Grundwasserprobleme spielen in der Regel keine oder nur eine sehr untergeordnete Rolle, dagegen erfordern die Stabilitätsverhältnisse im Bereich der Grubenböschungen oft genauere Abklärungen.

Zur Beurteilung der Abbauwürdigkeit eines Rohstoffvorkommens sind Kernbohrungen oder Baggerschlitze erforderlich. Am gewonnenen Material werden Eignungsuntersuchungen hinsichtlich der in Kapitel 3.2 beschriebenen Kriterien durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse gestatten erste Aussagen bezüglich Qualität, Mengenverhältnisse und Verwendungsmöglichkeiten. Diese vorkommensspezifischen Gegebenheiten müssen bei der nachfolgenden Abbauplanung entsprechend berücksichtigt werden.

Die Wahl des Abbauverfahrens wird massgeblich bestimmt durch die oftmals komplexen topographischen und geologischen Verhältnisse von Tonlagerstätten und erfordert oft ein hohes Mass an Flexibilität. Von besonderer Bedeutung sind die

*Ausdehnung* und die *Mächtigkeit* des Vorkommens, die *Härte*, *Homogenität* und *Reinheit* des Materials, das potentielle *Abbauvolumen* sowie weitere Randbedingungen (Stabilität, Entwässerung).

Das Lösen des Rohstoffes erfolgt mittels Schürfraupe, Raupentrax oder Bagger (Abbildung 3.30). Anschliessend wird das Material zu einem Depot aufgebaut. In grösseren Gruben werden für die internen Transporte auch Scraper eingesetzt. In Gruben mit sehr harten Komponenten, wie etwa Molassesandsteinen, kommen Vorbrechanlagen zum Einsatz (Grube Mettlen TG, Peyres-Possens VD und Rapperswil BE, vergleiche Abbildung 3.30). Neuerdings kommt auch ein Verfahren zur Anwendung, bei welchem das Material mit einer Fräse in Lagen von wenigen Zentimetern abgetragen wird. Dadurch werden in einem Arbeitsgang auch zähe Materialien, wie Molassesandstein, gleichmässig auf Sandfraktion zerkleinert. Grundsätzlich wird zwischen zwei Abbauarten unterschieden:

- Globaler Abbau, parallel, schräg oder vertikal zur Schichtung. Vermischung des gesamten Materials zu einer einzigen

**Abbildung 3.30: Materialabbau und -aufbereitung in einer Grube der USM (Rapperswil BE). Der Abbau und die grubeninternen Transporte erfolgen mit Schaufelbaggern, Raupen- und Pneutrax. In der Bildmitte ist eine mobile Vorbrechanlage zu sehen.**



Rohstoffqualität. Dieses Verfahren wird vor allem bei sehr homogenen Rohmaterialien wie Opalinuston oder Bänder-ton angewandt.

- Selektiver Abbau, schichtweise oder sektoriell. Diese Abbauweise findet dort Verwendung, wo zwischen mehreren Materialqualitäten unterschieden werden muss. Entsprechend der Rohstoffeigenschaften werden Dachziegel-, Sichtbackstein- und Normalbacksteinqualität separat abgebaut und gelagert. Ein selektiver Abbau erfolgt ebenfalls, wenn unbrauchbares Material ausgeschieden werden muss (z.B. Sandsteinbänke, Kalkhorizonte, Gipsadern).

In den meisten Tongruben wird periodisch abgebaut und das Material auf Zwischendepots eine gewisse Zeit gelagert ([Abbildung 3.31](#)). Diese Massnahme hat folgende Vorteile:

- der Abbau konzentriert sich auf klimatisch günstige Jahreszeiten. Dadurch werden bessere Maschinenleistungen erreicht.
- bessere Homogenisierung des Materials dank grossem Abbauvolumen. Dieser Effekt wird durch mehrmaliges Überstossen oder lagenweisen Depotaufbau zusätzlich verstärkt. Es ergibt sich eine grössere Konstanz im Verarbeitungsprozess.
- natürlicher witterungsbedingter Tonaufschluss durch Quellen und Schrumpfen (vergleiche [Kapitel 3.1](#)). Dadurch geringerer Maschinenverschleiss in der mechanischen Aufbereitung und bessere Formbarkeit der Masse.

Die Grösse der Rohstoffdepots liegt zwischen wenigen 1000 und einigen 10'000 Kubikmeter. Die Zwischenlagerungszeit beträgt einige Wochen bei gut aufschliessbaren, bis etwa zwei Jahre bei stark verfestigten, schlecht aufschliessbaren Rohstoffen.

Einige Ziegeleien mit Tongruben in unmittelbarer Werksnähe können ihr Material mit dem Pneulader vom Depot zur Aufbereitungsanlage transportieren. Die meisten Betriebe müssen jedoch ihre Materialien über kürzere oder längere Distanzen per Lastwagen heranzuführen. Vereinzelt werden Transporte über die Bahn abgewickelt (Opalinuston aus der Grube Schinznach AG zum inzwischen geschlossenen Werk Tuggen SZ) oder per Seilbahn transportiert (Werk Frick AG). Die durchschnittliche Transportdistanz beträgt etwa 10 km.

Der Umstand, dass die Abbautätigkeit in Tongruben nur periodisch und in relativ bescheidenem Umfang stattfindet, begünstigt vielerorts die Entwicklung ökologisch wertvoller Bereiche, deren Erhaltung und Förderung heute integrierter Bestandteil eines modernen Grubenbewirtschaftungsplanes ist (vergleiche auch [Kapitel 3.3.5](#)).

### 3.3.5 FOLGENUTZUNG DER ABBAUSTELLEN

Die Abbau- und Rekultivierungsplanung regelt in den meisten Fällen die Folgenutzung der Abbaustellen, wobei bis jetzt vor allem auf die Wiederherstellung von landwirtschaftlichen Flächen und, falls gerodet werden musste, von Wald geachtet wurde. In den letzten Jahren haben zwei weitere Nutzungen an Bedeutung gewonnen, nämlich die Erhaltung von naturnahen Flächen (Trocken- und Feuchtbiootope) und die Benutzung als Deponiestandorte.

#### 3.3.5.1 Erhaltung von naturnahen Flächen

In fast allen Tongruben entwickeln sich innerhalb von wenigen Jahren wertvolle Sekundärbiootope für bedrängte Tier- und Pflanzenarten. Während der Abbauphase wird die Dynamik der Sukzessionsflächen und die Entwicklung von Pionierarten weitgehend von der Abbautätigkeit geprägt. Dabei wird auch die Tier- und Pflanzenwelt von den Betreibern der Gruben vermehrt berücksichtigt und durch Pflegemassnahmen gefördert [Meyer et al., 1984]. Nach der Abbauphase werden Flächen, die laut Gesetz nicht rekultiviert werden müssen (Landwirtschaft, Wald), oft als naturnahe Gebiete geschützt



3.31

**Abbildung 3.31:** Zwischendepot von Opalinuston in der Grube «Cheesleten» in Frick AG; lagenweiser Aufbau mit braunem (verwittertem) und schwarzem (unverwittertem) Material.

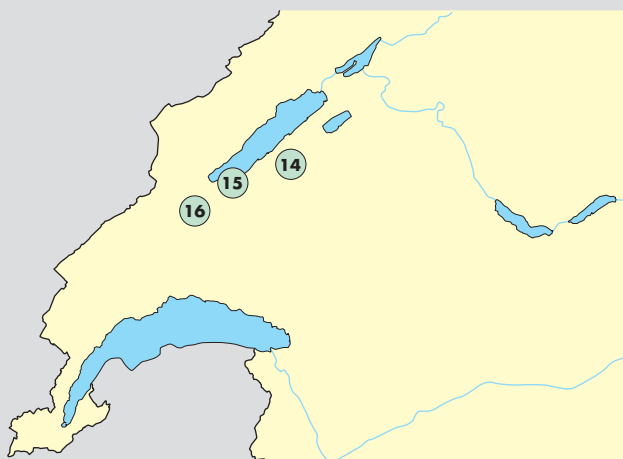
## Biotope in Ziegeleigruben



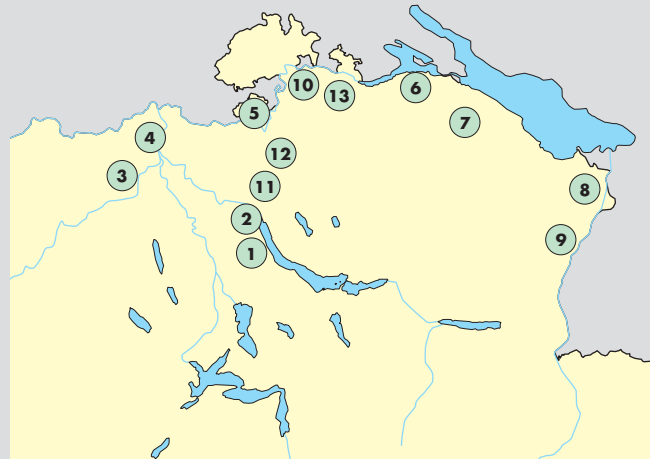
Feucht- und Trockenbiotope in einer aufgegebenen Ziegeleigrube (La Mauquettaz bei Yverdon VD).



Der Schlammweiher entwickelt sich innerhalb einiger Jahre zu einem wichtigen Amphibienbiotop (Grubenareal der Ziegelei Rafz).



- 1 Ehemalige Lehmgrube Wettswil: Naturschutzgebiet, Weiher.
- 2 Ehemalige Lehmgrube Zürich / Binz: Feuchtbiotope.
- 3 Opalinustongrube Schinznach: Trocken- und Feuchtbiotope.
- 4 Opalinustongrube Böttstein: Trocken- und Feuchtbiotope.
- 5 Molassetongrube Rafz: Wichtiges Amphibienbiotop.
- 6 Glimmersandgrube Helsighausen: Feuchtbiotop.
- 7 Ehemalige Lehmgrube Opfershofen: Feuchtbiotop, seit 1979 im Besitz des thurgauischen Naturschutzbundes.
- 8 Ehemalige Lehmgrube Heerbrugg: Seit 1979 Naturschutzgebiet, Vogelschutz, See.
- 9 Ehemalige Lehmgrube Oberriet: Naturschutzgebiet, Feuchtbiotop, Vogelschutz, See.



- 10 Bändertongrube Paradies: Feuchtbiotop, Weiher.
- 11 Ehemalige Lehmgrube Dättlau: Feuchtbiotop, Weiher.
- 12 Ehemalige Lehmgrube Neftenbach: Weiher.
- 13 Bändertongrube Basadingen: Trocken- und Feuchtbiotope.
- 14 Ehemalige Lehmgrube Corcelles: Seit 1976 stillgelegt, Trocken- und Feuchtbiotope.
- 15 Ehemalige Ziegeleigrube La Mauquettaz in Molassemergel. Seit 1987 stillgelegt, Trocken- und Feuchtbiotope.
- 16 Ehemalige Lehmgrube Chavornay. Seit 1965 stillgelegt, Naturschutzgebiet im Besitz des Kantons Waadt.

Abbildung 3.32: Einige ausgewählte naturnahe Gebiete und Biotope in aktiven und stillgelegten Ziegeleigruben in der Nordostschweiz und der Westschweiz.



und von der öffentlichen Hand (Gemeinde, Kanton) oder von Umweltschutzorganisationen übernommen und weiter gepflegt ([Abbildung 3.32](#)).

### 3.3.5.2 Deponiestandorte

Bei der Suche nach geeigneten Abfalldeponiestandorten, insbesondere für Reststoffe – eine dringende und oft noch nicht gelöste Aufgabe der Kantone – werden in der Regel auch bestehende Tongruben in die Standortevaluation einbezogen. Diese bieten nämlich nach erster Beurteilung oft ideale Voraussetzungen für diese Nachnutzung (bestehendes Deponievolumen und vorhandene Erschliessung, Undurchlässigkeit des Untergrundes).

Nach eingehender Standortuntersuchung müssen diese Vorteile jedoch in der Regel stark relativiert werden. Die Koexistenz von zwei recht flächenintensiven Nutzungen – Rohstoffabbau und Reststoffdeponie – erweist sich als äusserst schwierig und bedingt spezielle, oft recht kostspielige Massnahmen, wie zum Beispiel Vergrösserung der Nutzungsfläche, systematischer Abtransport des Abraummateriales aus der Grube, Verlagerung von Biotopen, Zurückstellung der Rekultivierung. Nur mit einer vorausschauenden Planung und begleitenden Massnahmen kann eine Reststoffdeponie realisiert werden, ohne die Rohstoffpotentiale und deren rationellen Abbau zu gefährden.

## 3.4 ROHSTOFFZUSAMMENSETZUNG UND ROHSTOFFEIGENSCHAFTEN

### 3.4.1 FRÜHERE ANGABEN

Erste Analysen von schweizerischen Ziegeleirohstoffen finden wir am Anfang der Industrialisierung um 1860. Mit dem Aufschwung der Ziegelindustrie um die Jahrhundertwende und den verbesserten Analysenmethoden wurde die Zusammensetzung der Ziegeleirohstoffe immer genauer definiert. Einen Höhepunkt diesbezüglich stellen die Untersuchungen dar, die in der bekannten Monographie der schweizerischen Tonlager [Letsch et al., 1907] erschienen sind. In Zusammenarbeit mit dem schweizerischen Zieglerverein, der Eidgenössi-

schen Materialprüfanstalt (Prof. L. von Tetmajer) und der Geotechnischen Kommission (Prof. Dr. U. Grubenmann) wurden zwischen den Jahren 1896 und 1907 insgesamt 863 Ziegeleirohstoffe aus der ganzen Schweiz chemisch und technologisch eingehend untersucht. Die dabei ermittelten Werte sowie die Zusammenhänge zwischen dem Chemismus, dem Verhalten im Fabrikationsprozess und den Eigenschaften im gebrannten Zustand sind heute noch von grossem Interesse und Nutzen. Die geologische Zuordnung der untersuchten Proben widerspiegelt die damalige Bedeutung der quartären Ablagerungen (Gehängelehm, Löss- und Hochterrassenlehm, Seeton, Talbodenlehm, Moränenlehm, insgesamt etwa 85% der Proben) gegenüber anstehenden Formationen der Unteren und Oberen Süsswassermolasse (ca. 15% der Proben).

Weitere chemische Analysen von Ziegeleirohstoffen können in einem weiteren Werk «Chemismus schweizerischer Gesteine» von Niggli et al. [1930] sowie in zwei weiteren Nachträgen von de Quervain et al. [1942 und 1956] in einem bedeutend kleineren Umfang gefunden werden. In der ersten Ausgabe des Buches «Die nutzbaren Gesteine der Schweiz» von 1934 sind zwar keine Analysen enthalten, dagegen befasst sich ein kleines Kapitel mit der technologischen Beurteilung von Tonen für die Ziegelindustrie (Definitionen der Mineralien, Bestimmungen am ungebrannten und gebrannten Material). In den weiteren Auflagen des Buches [1949 und 1969] werden nur einige chemische Analysen angegeben. Auffallend ist die Zunahme von Ausgabe zu Ausgabe von mineralogischen Daten, insbesondere über Tonmineralien.

### 3.4.2 NEUERE DATEN (AB 1969)

Seit der letzten Ausgabe (1969) des Buches «Die nutzbaren Gesteine der Schweiz» wurden die chemisch-mineralogischen Untersuchungen an schweizerischen Ziegeleirohstoffen und an deren Fertigprodukten intensiviert und verfeinert. Insbesondere wurden dabei die im Brennprozess stattfindenden Mineralreaktionen untersucht und deren Einfluss auf die Produkteigenschaften und auf die Mikrostruktur des gebrannten Scherbens gezeigt [Iberg, 1971; Iberg et al., 1972; Peters et al., 1972; Peters und Jenni, 1973; Peters und Iberg 1978; Meyer et al., 1984].

Die [Abbildung 3.33](#) gibt eine Idee der heute gängigen Untersuchungsmethoden zur Ermittlung der Zusammensetzung und der technologischen Eigenschaften von Ziegeleirohstoffen.

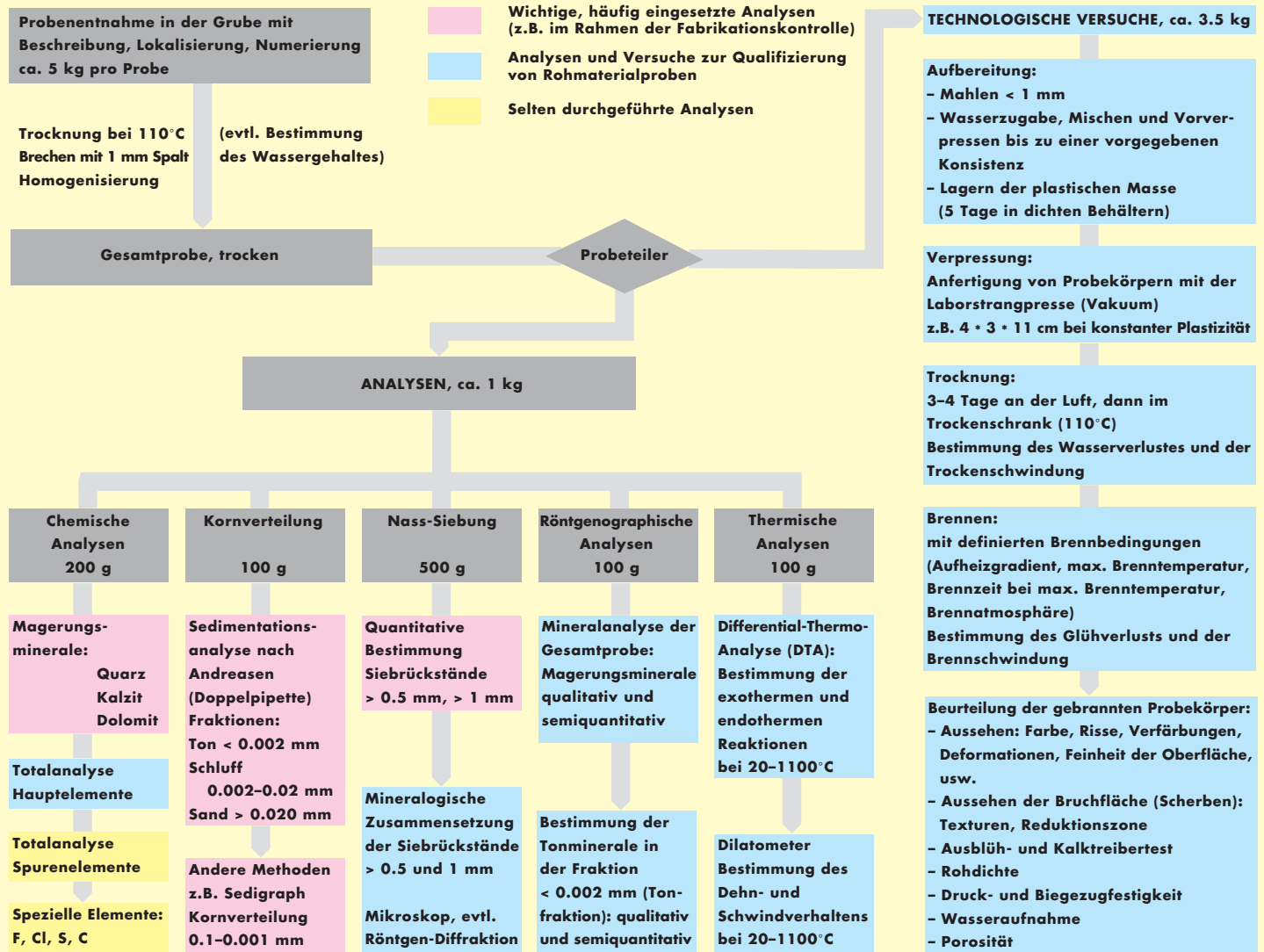
Die mineralogische, chemische und granulometrische Zusammensetzung der schweizerischen Ziegeleirohstoffe ist,

Tabelle 3.12: Chemische, mineralogische und granulometrische Zusammensetzung von Ziegeleirohstoffen.

Rohstoff	Dolomitischer Mergel	Tonschiefer Obtususton	Tonschiefer Opalinuston	Tonschiefer Opalinuston	Tonschiefer Opalinuston	Ton	Tonstein Boluston	Tonschiefer Septarienton	Molassemergel u. Sandsteine USM Miozän	Molassemergel u. Sandsteine USM Miozän	Molassemergel u. Sandsteine USM Miozän	Glimmersand OSM Miozän	Glimmersand OSM Miozän	Bänderton Quartär Interglazial	Bänderton Quartär Interglazial	Bänderton Quartär Interglazial	Schwemmlehm Quartär Riss
Zeitalter Herkunft	Keuper 1	Lias 2	Unt. Dogger 3	Unt. Dogger 4	Unt. Dogger 5	Albien 6	Eozän 7	Oligozän 8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG (in Gew.%)																	
Glühverlust	10	10	13	12	11.6	12.0	11	17.7	12.8	12.5	13.2	6	13.3	20	18.9	19.2	5
SiO2	35	60	50	53	50.3	49.9	48	43.7	52.2	51.4	49.8	77	57.0	41	39.9	36.7	72
Al2O3	12	14	19	19	19.1	18.9	29	12.7	12.1	12.6	11.6	7	6.6	11	11.4	12.6	13
Fe2O3	4	5	5	8	6.8	5.8	10	3.9	4.4	4.3	4.3	3	2.4	4	4.2	4.4	5
TiO2	n.b.	1	1	1	1.0	0.9	1.5	0.7	0.5	0.5	0.5	n.b.	0.3	n.b.	0.6	0.6	n.b.
CaO	23	5	6	3	4.7	7.9	0.4	16.8	11.4	10.9	12.6	3	12.4	16	18.7	18.7	1
MgO	10	2	2	2	2.2	1.4	Sp.	2.0	2.8	3.0	3.1	1	5.2	2	3.9	2.4	1
Na2O	1	0.6	<1	<1	0.4	0.2	0.01	0.2	1.1	1.2	1.5	2	0.8	1	0.5	1.2	1
K2O	3	3	2	2	3.0	3.2	0.16	1.9	2.7	2.6	2.5	1	1.5	1	2.1	2.6	2
MnO	Sp.	n.b.	n.b.	n.b.	0.1	0.04	Sp.	n.b.	0.1	0.1	0.1	n.b.	0.05	n.b.	0.1	0.07	n.b.
P2O5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0.3	n.b.	Sp.	n.b.	0.1	0.2	0.1	n.b.	0.07	n.b.	0.1	0.1	n.b.
C org.	0.1	0.5	0.9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	Sp.	Sp.	n.b.	n.b.	n.b.	0.2	Sp.	n.b.
S	n.b.	n.b.	0.4	0.2	0.5	n.b.	n.b.	0.1	0.01	Sp.	0.018	n.b.	0.014	n.b.	n.b.	0.1	n.b.
F	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0.08	n.b.	n.b.	n.b.	0.074	n.b.	0.070	n.b.	0.032	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
MINERALOGISCHE ZUSAMMENSETZUNG (in Gew.%)																	
TONMINERALIEN																	
Illit (I)	40	25	30	25	32	39	–	18	14	18	15	10 (Serizit)	2	20	19	15	10
Montmorillonit (M)	–	–	–	–	–	<3	–	16	4	9	5	–	2	–	–	–	–
Kaolinit	–	12	25	26	20	15	60 – 75	7	–	–	–	–	1	–	–	–	5
Chlorit	2	6	10	10	10	<3	–	4	7	5	5	9	1	14	14	10	5
Wechsellagerung	–	7(I/M)	5(I/M)	14(I/M)	8(I/M)	–	–	–	–	–	–	5	–	6	6	–	<5
MAGERUNGSMINERALIEN																	
Quarz	15	30	14	13	18	24	10 – 25	23	27	24	28	53	42	18	19	17	55
Kalzit	–	12	10	5	8	12	Sp.	20	19	20	20	5	13	24	25	33	3
Dolomit	45	–	–	–	–	–	–	8	4	3	5	–	13	10	10	4	<2
Albit	<2	<3	–	–	–	2	–	Sp.	12	15	13	5	14	4	2	8	5
K-Feldspat	<2	3	–	–	–	<2	–	2	7	5	5	7	9	4	2	2	–
Andere	–	–	–	7 (Siderit)	–	–	–	–	–	–	–	5	<3 (Glimmer)	–	–	5 (Serizit)	–
BEGLEITMINERALIEN																	
Limonit	–	–	–	–	Sp.	<5	10 – 15	–	<3	–	<3	–	Sp.	–	–	–	4
Pyrit	–	0.4	0.7	0.4	1.0	n.b.	–	0.3 – 0.7	–	–	–	–	Sp.	–	0.1	0.2	–
Sulfate	–	–	–	–	n.b.	n.b.	–	n.b.	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Org. Substanz	Sp.	<1	<2	n.b.	n.b.	n.b.	–	n.b.	Sp.	–	Sp.	–	Sp.	–	0.2	Sp.	–
KORNVERTEILUNG (in Gew.%, Variationsbreite in Funktion der Vorbehandlung/Dispergierung mit Ultraschall)																	
Tonfraktion < 2 µm	15	30 – 48	24 – 43	27 – 45	36 – 52	65	61	38	33	31	31	5	15	30	38	41	20
Schluff 2 – 20 µm	30	30 – 28	26 – 33	28 – 30	48 – 38	29	19	48	40	52	36	15	10	55	50	53	30
Sand > 20 µm	55	40 – 24	50 – 24	45 – 25	17 – 10	6	20	14	27	17	33	80	75	15	12	6	50
Sp. = Spuren									n.b. = nicht bestimmt								
1 Grünliche, dolomitische Mergel aus der Grube Gruhalde Frick AG, Rohstoff für Backsteine, vgl. auch Peters (1964)									10 Bunte Mergel und graue Sandsteine aus der Grube Vallon FR, Rohstoff für Backsteine und Dachziegel, vgl. Fürst (1993)								
2 Dunkelgrauer Tonschiefer aus der Grube Gruhalde Frick AG, Rohstoff für Backsteine, vgl. auch Peters (1964)									11 Bunte Mergel und graue Sandsteine aus der Grube Bois-Genoud/Crissier VD, Rohstoff für Backsteine, vgl. auch Mumenthaler et al. (1981)								
3 Dunkelgrauer Tonschiefer aus der Grube Cheesleten Frick AG, Rohstoff für Backsteine, vgl. auch Peters (1964)									12 Schwach verfestigter Sandstein, feinkörnig, grau bis gelbgrau, z.T. entkalkt, aus der Grube Iberg AG, Rohstoff für Backsteine								
4 Dunkelgrauer Tonschiefer aus der Grube Siblingen SH, Rohstoff für Backsteine und Dachziegel									13 Schwach verfestigter Sandstein, feinkörnig, grau bis gelbgrau, aus der Grube Helsighausen TG, Magerungskomponente für Backsteine und Dachziegel								
5 Dunkelgrauer Tonschiefer aus der Grube Schinznach AG, Rohstoff für Backsteine, vgl. auch Peters (1964)									14 Gebänderter, schluffiger Seebodenlehm, dunkelgrau, aus der Grube Basadingen TG, Rohstoff für Backsteine								
6 Grauer, leicht mergeliger Ton aus der ehemaligen Grube La Presta NE, Rohstoff für Dachziegel (Abbau eingestellt)									15 Gebänderter, schluffiger Seebodenlehm, dunkelgrau, aus der Grube Paradies TG, Rohstoff für Backsteine								
7 Braunroter, eisenreicher Tonstein aus der Bolustongrube Welschenrohr SO, Engobekomponente für Dachziegel									16 Gebänderter, schluffiger Seebodenlehm, dunkelgrau, aus der ehemaligen Grube Tuggen SZ, Rohstoff für Backsteine (Abbau eingestellt)								
8 Dunkelgrauer, schieferiger Mergel aus der Grube Saal-Laufen BL, Rohstoff für Dachziegel und Backsteine									17 Hellgelber, schluffig-sandiger Lehm, kalkarm, aus der Grube Neunkirch SH, Rohstoff für Dachziegel								
9 Bunte Mergel und graue Sandsteine aus der Grube Rafz ZH, Rohstoff für Backsteine																	



## Analyseverfahren für Ziegeleirohstoffe



3.33

Abbildung 3.33: Ermittlung der Zusammensetzung und der technologischen Eigenschaften von Ziegelei-  
rohstoffen.

nach geologischem Alter geordnet, in der [Tabelle 3.12](#) ersichtlich. Bei der Kornverteilung ist zu berücksichtigen, dass diese stark in Funktion des Aufschlussgrades der Probe (Probenaufbereitung und -vorbehandlung) schwanken kann.

### 3.5 TENDENZEN UND ENTWICKLUNGEN

Die schweizerische Ziegelindustrie verfügt allgemein über gute und ausgedehnte Rohstoffvorkommen, was für ihre zukünftige Entwicklung von grosser Bedeutung ist. Wie bei den meisten Industrien wird sie aber nicht von der heutigen industriellen Konzentration verschont bleiben. Immer weniger kann sie als eine in sich geschlossene Einheit betrachtet werden, sondern wird zunehmend mit der Realität des gesamteuropäischen Raums konfrontiert. In diesem Raum ist seit einigen Jahren ein bedeutender Konzentrationsprozess im Gange, gekennzeichnet durch die Entstehung von mächtigen, in vielen europäischen Ländern tätigen Gruppen, die über erhebliche finanzielle Mittel, optimale Rohstoffvorkommen sowie fortschrittliche technologische und wissenschaftliche Kenntnisse verfügen. Um sich in diesem Umfeld behaupten zu können, muss die schweizerische Ziegelindustrie ihre bis jetzt mit Erfolg eingesetzten Modernisierungs- und Rationalisierungsanstrengungen fortsetzen. Dazu gehört auch die Sicherung und optimale Nutzung der vorhandenen Rohstoffpotentiale.

Die heute zur Verfügung stehenden, immer stärkeren Aufbereitungsmaschinen erlauben einen effizienten Aufschluss von relativ stark verfestigten geologischen Formationen wie die Schiefertone aus dem Jura oder die Mergel und Sandsteine des Mittellandes. Es sind diese Formationen, die wegen ihrer Zusammensetzung, ihrer Verfügbarkeit und ihren hohen Vorräten auch zukünftig als Ziegeleirohstoffe eine ausschlaggebende Rolle spielen werden.

Neben diesen Hauptkomponenten kommt den Zusatzstoffen eine immer grössere Bedeutung zu, sei es zur Verbesserung der Fabrikationseigenschaften und Produktequalität, zur Erweiterung der Produktpalette oder zur Herabsetzung der Rohmaterialkosten. Immer mehr werden Zusatztone aus den

Nachbarländern importiert, meist kaolinitische, kalkfreie Tone, die in der Herstellung von hochwertigen Produkten, wie Dachziegeln und Sichtbacksteinen, eingesetzt werden. Solche – in der Schweiz kaum vorhandene – Tone können, in richtigen, meist kleinen Mengen zudosiert, die Qualität und die Ästhetik der Produkte stark verbessern. In diesem Zusammenhang muss auch auf die aktuelle Tendenz zur Erweiterung der Farbpalette dieser Produkte hingewiesen werden, was einen erhöhten Import von mineralischen Farbstoffen und Fertigengeben zur Folge hat.

Der Einsatz von sogenannten Sekundärrohstoffen, meist anorganische Nebenprodukte der Industrie, ist ebenfalls aktuell geworden. Kieswaschschlämme ([Kapitel 3.3.2.15](#)) werden zum Beispiel in der schweizerischen Ziegelindustrie zunehmend eingesetzt und in einem vom Bund und der Industrie finanzierten Forschungsprojekt der Universitäten Bern und Fribourg sowie der Ziegelindustrie sollen weitere Möglichkeiten in diesem Bereich systematisch untersucht werden.



# **4 TONE, SANDE UND GESTEINE FÜR SPEZIELLE ANWENDUNGEN**



**Kapitelinhalt**



Autoren: Dr. Franz Hofmann, Rosenbergstrasse 103, 8212 Neuhausen  
Dr. Thomas Mumenthaler, ZZ Ziegeleien, Postfach, 8045 Zürich  
Dr. Emil Witzig, Kometsträsschen 36, 8200 Schaffhausen

mit Beiträgen von: PD Dr. Fritz Madsen, Institut für Geotechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich  
Dr. Rolf Nüesch, Institut für Geotechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich  
Felix Lichtsteiner, Sika AG, Tüffenwies 16–22, 8048 Zürich  
Prof. Dr. Volker Dietrich, Institut für Mineralogie und Petrographie, ETH-Zentrum, 8092 Zürich  
Hans Zeindler, Geotest AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen

Fotos: Bischof & Partner, Zürich (4.14), Heinz Leuenberger, DESAIR AG, Wermatswil (4.17), Volker Dietrich, Zürich (4.7, 4.8), Georg Fischer AG, Schaffhausen (4.1a, 4.1b, 4.5), Franz Hofmann, Neuhausen (4.22), Ottomar Lang, Uster (Titelbild), Portlandcementwerk AG, Olten/Leca (4.16), Rhenocast AG, Schaffhausen (4.9), Sika AG, Zürich (4.10, 4.11), Vetropack AG, Bülach (4.6), Rolf Wessenhof, Schaffhausen (4.23), Hans-Peter Widmer, Schaffhausen (4.24), Fred Zweili, Bern (4.13)

---

**Abbildung auf Vorderseite: Quarz-  
sand-Grube Benken ZH (um 1980).**



## ÜBERSICHT

---

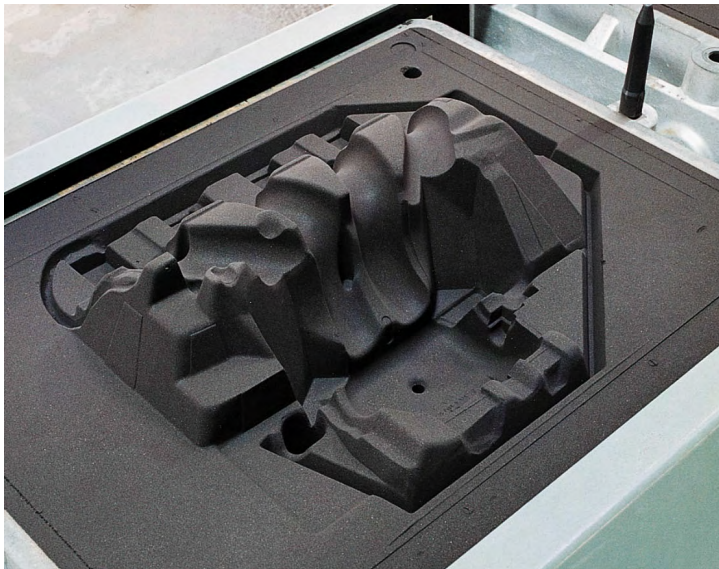
Tone, Sande und Gesteine für spezielle Anwendungen, eine breit gefächerte Palette mineralischer Rohstoffe und ein ebenso breites Anwendungsspektrum für die technische Verwertung dieser Rohstoffe ist unter diesem Titel zusammengefasst. Einen Schwerpunkt bilden die Giessereiformstoffe wie verschiedene schweizerische Formsande und Bindetone, die früher eine wichtige Rolle spielten, heute aber in der Schweiz aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht mehr verwendet werden können. Meist nur noch historische Bedeutung haben Rohstoffe wie Kalk und Dolomit in der metallzeugenden oder metallverarbeitenden Industrie. Wichtig sind hingegen einheimische Sande und Tone für die Herstellung von speziellen Baustoffen wie hydrothermal gehärtete Kalksandsteine und Porenbeton, Blähton, ein Teil der silikatkeramischen Werkstoffe oder mineralische Abdichtungen (Dichtungstone).

Das *Giessen von Metallen* in wiederverwendbare Formen ist ein 5000 Jahre zurückreichendes Reproduktionsverfahren, mit dem Gussstücke einfacher oder komplizierter Gestalt in kleineren oder grösseren Auflagen hergestellt werden können. In prähistorischer Zeit wurden Dauerformen aus Stein verwendet, sehr früh aber auch schon nur einmal verwendbare, dafür aber leichter und billiger herstellbare, getrocknete Formen aus sandigem Lehm. Später entstand daraus das Nassgussverfahren, bei dem mit Hilfe von Modellen zweigeteilte Formen aus tongebundenen, feuchten Sanden in beliebiger Auflage durch Verdichten hergestellt werden, worin ohne das Trocknen der Form abzuwarten sofort abgegossen werden kann. Die entsprechenden, in der Regel mit Bentonit gebundenen Formsande sind wiederaufbereitbar und bleiben im Produktions-Kreislauf. In der modernen Giessereitechnik hat dieses Verfahren einen hohen Grad an Perfektion erreicht. Mit speziellen, automatischen Formmaschinen können bis über hundert Formen pro Stunde hergestellt werden. Grosse Gussstücke, für die das Nassguss-Verfahren nicht in Frage kommt, wurden früher in getrockneten Formen aus tongebundenen Sanden hergestellt, teilweise auch aus solchen mit Zement als Bindemittel. Heute verwendet man meist Formen aus Sanden mit selbsthärtenden Kunstharzbindern.

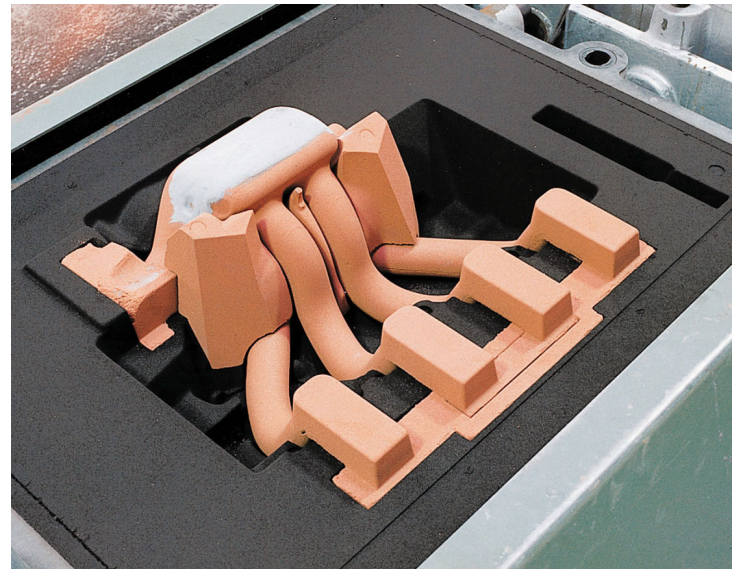
Formen aus gebundenem Sand besitzen eine offene Porosität und damit auch eine entsprechende Gasdurchlässigkeit.

Dies ermöglicht, dass die entstehenden Giessgase – Wasserdampf aus Aufbereitungswasser und Kristallwasser im Bindeton und organische Destillate aus Bindemitteln und Zusatzstoffen – ohne negativen Einfluss auf das vergossene Metall abziehen können und ist mit ein Grund dafür, dass Sandformen überhaupt verwendbar sind. Mit der Weiterentwicklung der Giesserei-Verfahrenstechnik stiegen auch die Anforderungen an die für Formstoffe in Frage kommenden Rohstoffe. Dies hatte oft einen negativen Einfluss auf die Nutzbarkeit einheimischer Vorkommen.

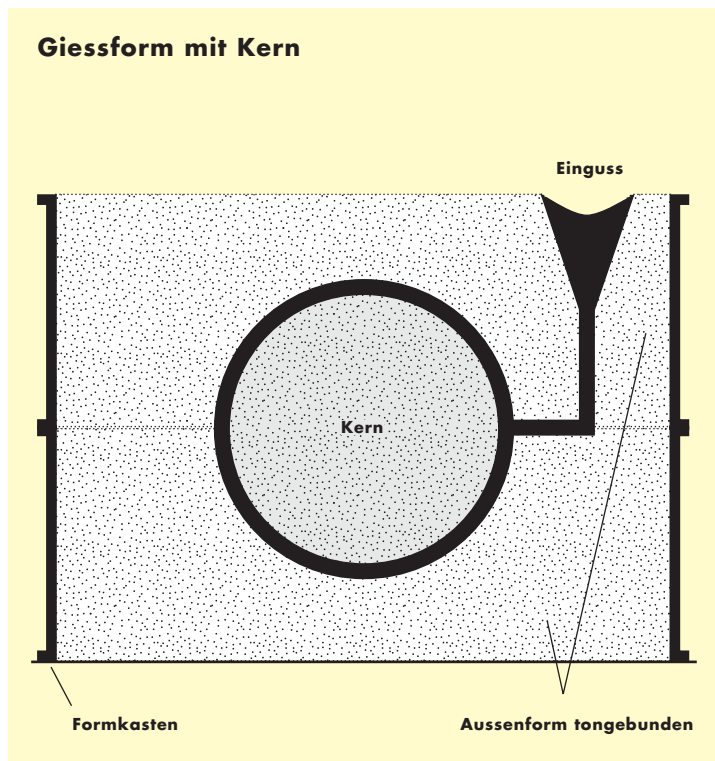
Auf der Basis von silikatischen Sanden und kalkhaltigen Bindemitteln werden in Spezialöfen (Autoklaven) Kalksandsteine und Porenbeton hergestellt. Diese *hydrothermalgehärteten Baustoffe* nehmen eine zunehmend wichtigere Rolle in der Baustoffindustrie ein. Neuere Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass sich in der hydrothermalen Härtung verschiedene alternative Ausgangsmaterialien (Abfallstoffe, Kieswaschschlämme) einsetzen lassen und sich damit zahlreiche interessante Produkte realisieren lassen. Seit 1961 wird in der Schweiz auch *Blähton* fabriziert. Dieser hat neben dem Garten- und Pflanzenbau auch grosse Bedeutung im Hoch- und Tiefbau, wo das geringe Raumgewicht und die gute Wärmedämmung dieses thermisch expandierten Tongranulates in vielfältigen Anwendungen genutzt werden. Ergänzend zur Ziegelindustrie (vergleiche [Kapitel 3](#)) werden in der Schweiz auch andere *keramische Erzeugnisse* produziert. Oft ist allerdings für diese Spezialitäten die Qualität der einheimischen Rohstoffe nicht ausreichend, so dass immer häufiger auf importierte Rohmaterialien ausgewichen werden muss. Natürliche Tone mit geringer hydraulischer Durchlässigkeit können als mineralische Dichtungsmassen verwendet werden. Diese *Dichtungstone* werden beispielsweise im Staudambau oder im Zusammenhang mit Deponien und Altlasten verwendet.



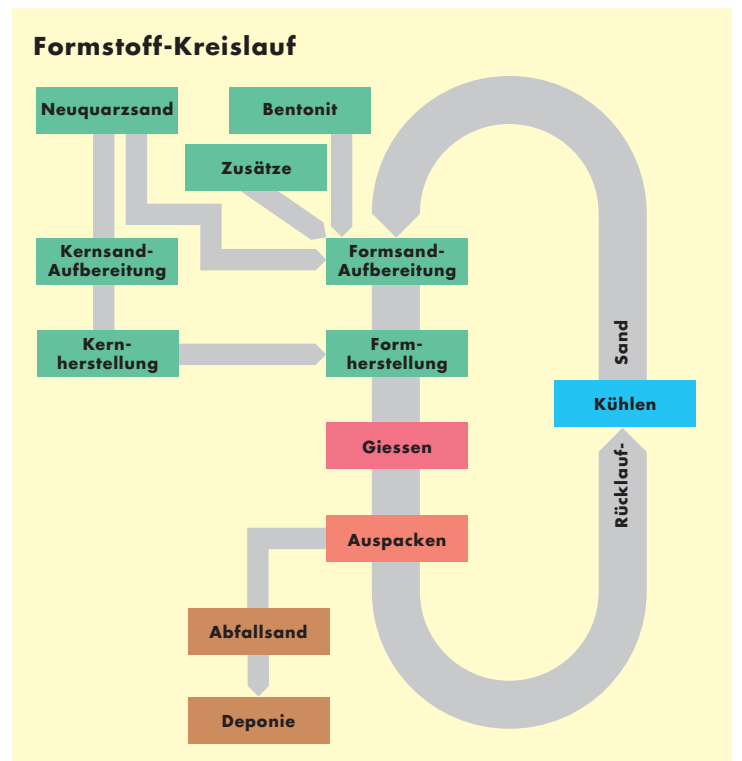
4.1a



4.1b



4.2



4.3

Abbildung 4.1: Giessform aus bentonitgebundenem Nassgussformsand.  
a: Formoberteil. b: Formunterteil mit eingelegetem Kern aus kunstharzgebundenem Quarzsand.

Abbildung 4.2: Schematische Darstellung einer Giessform aus Nassguss-Sand mit eingelegetem Kern. Das Giessmetall ist schwarz dargestellt.

Abbildung 4.3: Schema des Kreislaufs der Formstoffe in einer Giessereianlage.



## 4.1 GIESSEREIFORMSTOFFE

### 4.1.1 GRUNDLAGEN ZUR TECHNOLOGIE DER GIESSEREIFORMSTOFFE (SANDE UND BINDETONE)

Beim Metallguss werden meist Formen verwendet, deren ausschliessliches oder massgebliches Material mineralische Rohstoffe wie Sande und Tone (Bindetone) darstellen. Die in den Giessereien aufbereiteten Formmassen bestehen aus einer körnigen Grundmasse, dem eigentlichen Sand, und aus einem Bindemittel sowie Zusatzstoffen. Etwa zwei Drittel der Erzeugnisse in der Gussproduktion werden in Formen, welche aus sogenannten Nassgussanden hergestellt wurden, produziert, dem schnellsten und billigsten Verfahren.

Die Gussform besteht meist aus zwei Formhälften ([Abbildungen 4.1 und 4.2](#)). Zur Herstellung wird mit Wasser formgerecht-feucht aufbereiteter *Formsand*, mit Bentonit als Bindeton, in einem stabilen Formkasten aus Stahl auf einem Modell verdichtet und dieses damit als Negativ abgebildet. Die vom Modell abgehobenen Formhälften werden zusammengefügt, worauf, ohne die Trocknung des Sandes abzuwarten, in die Form abgegossen wird. Die Wassergehalte liegen meist zwischen 3 und 5%.

Hohlräume im Gussstück können nicht im Formsand abgebildet werden. Deshalb setzt man an ihre Stelle sogenannte Kerne ein. Sie werden aus gewaschenem Quarzsand hergestellt, der normalerweise mit flüssigen, meist organischen Bindern (Kunsthharzen) aufbereitet wird ([Abbildungen 4.1 und 4.2](#)). Die *Kernsande* werden chemisch und/oder thermisch ausgehärtet, und der fertige Kern wird in den Hohlraum der Giessform eingesetzt. Der Kern muss weitgehend freitragend sein und eine hohe Festigkeit aufweisen, weil er nur an wenigen Stellen abgestützt ist. Andererseits muss er sowohl den Giessvorgang aushalten wie auch nach dem Giessen dem Schwindungsdruck des erstarrenden Metalls nachgeben sowie nach dem Abkühlen leicht aus dem Hohlraum des Gussstücks zu entfernen sein. Diese Anforderungen erfüllen vor allem organische Binder, die durch die Giesshitze zerstört werden. Für die Kerne wird stets neuer, gewaschener Quarzsand benötigt.

Nach dem Giessen wird das Gussstück ausgepackt. Der thermisch belastete, tongebundene Sand der Aussenform und der zerfallene Kernsand bilden zusammen den sogenannten Altsand. Dieses Gemisch wird zur Kompensation des Abbrandes wieder mit Wasser und mit geringen Zusätzen an Bentonit

(Grössenordnung 0.3–0.5%) zu Formsand für die Aussenform aufbereitet und im Kreislaufbetrieb wieder verwendet ([Abbildung 4.3](#)). Der gebrauchte Kernsand wird in vielen Fällen zur Regeneration des Kreislaufsandes der Aussenformen verwendet. Neuer Quarzsand wird nur dann zugegeben, wenn der Zustrom an Kernsand zu gering ist. Die zugesetzte kleine Menge an Bentonit erzeugt im Kreislaufsand Bentonitgehalte, die im Bereich von 6 bis 10 Gew.% liegen, was **Gründruckfestigkeiten\*** zwischen 15 und 20 N/cm<sup>2</sup> ergibt (Labor-Normprüfkörper).

Der Zusatz an neuem Bentonit dient einerseits dazu, totgebrannten Bentonit im Kreislaufsand zu ersetzen, andererseits den neu eingeführten Kernaltsand oder allenfalls Neusand einzubinden und damit einen gleichbleibenden Gehalt an aktivem Bentonit im Kreislaufsand sowie konstante Eigenschaften zu gewährleisten. Eine dem Zustrom an Kernsand und Bindeton entsprechende Menge an Überschuss-Altsand muss als Abfallsand entsorgt werden, was heute mit grossen Kosten verbunden ist, gelten doch Formsande, wegen des Gehaltes an organischen Reststoffen und an Metallrückständen, als Sondermüll und müssen entsprechend deponiert oder aufbereitet werden.

Neben den in der Giesserei dominierenden Nassgussanden werden – speziell für grosse Formen – auch getrocknete Formen aus tongebundenem Sand verwendet, zunehmend auch solche mit kalthärtenden Kunsthharzbindern. Dabei gelten für die zu verwendenden Basissande die gleichen Anforderungen wie für Kernsande.

### 4.1.2 DIE KÖRNIGE GRUNDMASSE DER GIESSEREIFORMSTOFFE

#### 4.1.2.1 Anforderungen an die körnigen Giesserei-Formgrundstoffe (Sande im engeren Sinne)

Der Neusand (normalerweise Quarzsand), der über die Kerne in ein Giessereisandsystem eingeführt wird, muss mit flüssigen Kernbindern (insbesondere solchen aus katalytisch härtenden Kunsthharzen) verträglich sein und einen möglichst niedrigen Bedarf an den sehr teuren flüssigen Bindemitteln haben. Erste Voraussetzung dazu ist, dass der Sand sehr gut gewaschen wird. Darüber hinaus spielen aber Einflüsse der Kornstruktur und -form eine entscheidende Rolle.

\*Gründruckfestigkeit: Druckfestigkeit des Sandes im feucht (=grün) verdichteten Zustand (Normprüfkörper).

**Tabelle 4.1: Giessereispezifische Charakteristiken schweizerischer Sande (gewaschen) im Vergleich zu Import-Reinquarzsand (Typus Frechen/Haltern).**

	Import-Reinquarzsand	Rotliegendesand Mumpf AG	Rhät Erschwil Bärschwil SO	Juraquarzsand siderolithisch Court BE	Molassesand Benken ZH	«Embrachersand» Buchberg SH
<b>Korngrössenbereich [mm]</b>	<b>0.1–0.6</b>	<b>0.1–2</b> Test: <b>0.1–0.6 mm</b>	<b>0.1–0.2</b>	<b>0.07–0.6</b>	<b>0.1–10</b> Giesserei: <b>0.1–0.6 mm</b>	<b>0.06–0.6</b>
<b>Kornform</b>	<b>gerundet</b>	<b>± eckig</b>	<b>gerundet</b>	<b>gerundet bis eckig</b>	<b>eckig</b>	<b>eckig</b>
<b>Kornoberfläche</b>	<b>glatt</b>	<b>rauh</b>	<b>± glatt</b>	<b>glatt bis rauh</b>	<b>glatt bis rauh</b>	<b>glatt bis rauh</b>
<b>Quarzkörner [%]</b>	<b>99</b>	<b>~ 60</b>	<b>90–98</b>	<b>98–99</b>	<b>≤ 80</b>	<b>≤ 80</b>
<b>Feldspatkörner [%]</b>	<b>1</b>	<b>~ 40</b>	<b>2–10</b>	<b>1–2</b>	<b>~ 20</b>	<b>~ 20</b>
<b>Kalkkörner [%]</b>	<b>–</b>	<b>±</b>	<b>–</b>	<b>±</b>	<b>1–5</b>	<b>0–1</b>
<b>Dolomitskörner [%]</b>	<b>–</b>	<b>±</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>1–15</b>	<b>0–5</b>
<b>Leinölbedarf in % zur Erzielung einer Druckfestigkeit von 1000 N/cm<sup>2</sup> (relativer Binderbedarf)</b>	<b>1.1</b>	<b>3.4</b>	<b>?</b>	<b>2.1</b>	<b>3–3.5</b>	<b>3.3–4.5</b>

Quelle: Georg Fischer +GF+ Formstofflabor (XII.1977)

#### 4.1.2.2 Einflüsse der Kornform und der Kornstruktur auf den Binderbedarf

Hochwertige, reine Quarzsande für Giessereien haben dichte, gut gerundete, monokristalline Quarzkörner mit mehr oder weniger glatten Oberflächen, auf denen auch ein dünner Binderfilm gute Binderbrücken und damit hohe Festigkeiten nach dem Aushärten ergibt. Die üblichen Zusätze an Flüssigbindern liegen für solche Sande im Bereich von 1 bis 2 %. Von der Korngrösse her werden überwiegend Sande im Bereich von 0.1 bis 0.6 mm Durchmesser verwendet, wobei scharf klassierte Sorten angeboten werden. Weniger hochwertige Sande enthalten viele poröse Körner (polykristalline Quarzkörner, Feldspatkörner mit Spaltrissen oder Gesteinsbruchstücke). Damit sich auf diesen Kornoberflächen ein ausreichender Binderfilm entwickeln kann, muss zuerst die Innenporosität der Körner mit Binder abgesättigt werden, was zur effektiven Bindung nichts beiträgt, wohl aber den Verbrauch an teurem Material erhöht. Ebenfalls stark erhöht ist der Binderverbrauch bei Sanden mit eckigen Körnern oder rauhen Kornoberflächen.

Bedingt durch die teure Entsorgung und aus Rücksicht auf die Umwelt müssen in Zukunft vermehrt regenerierte Altsande verwendet werden. Voraussetzung dafür ist, dass sie auf Neusandqualität wiederaufbereitet werden können. Der zur Beurteilung der Qualität, insbesondere der Wirtschaftlichkeit

eines Sandes, entscheidend wichtige Binderverbrauch, angegeben in Prozenten, kann über den Leinölbedarf ermittelt werden, der nötig ist, um im Normprüfkörper nach der Ofenhärtung (2 Stunden bei 230°C) eine Druckfestigkeit von 1000 N/cm<sup>2</sup> zu erzeugen (vergleiche [Tabelle 4.1](#)). Die so gewonnenen Ergebnisse lassen sich ohne weiteres auf andere flüssige Binder, wie Kunstharze oder Wasserglas, übertragen; Leinöl hat aber als Testmaterial den Vorteil hoher Lagerstabilität. Die entsprechenden Befunde sind auch von grosser Bedeutung für kunstharzgebundene Sande für Aussenformen (kalthärtende Sande mit Furan-, Phenolharz- und anderen Flüssigbindern).

Im Formsand, der mit Bentonit gebunden wird, oder auch bei zementgebundenen Sanden spielen die Einflüsse der Kornstruktur keine wesentliche Rolle. Sinngemäss sind die Anforderungen an Neusande, die allenfalls direkt dem Formsandkreislauf auf Bentonitbasis zugesetzt werden, weniger hoch.

#### 4.1.2.3 Einflüsse der Sandbeschaffenheit auf das thermische Verhalten

Der üblicherweise verwendete Quarzsand ist zwar auch für hohe Giesstemperaturen (Stahlguss, um 1600°C) ausreichend feuerfest, hat aber den Nachteil, sich bei 573°C ( $\beta$ - $\alpha$ -Quarzumwandlung) um rund 1.4 % linear und reversibel auszudehnen. Dies ergibt schon bei Aluminiumguss (Giesstemperaturen um



700°C) eine deutliche Neigung zu sogenannten Sandausdehnungsfehlern, die sich auf der Gussoberfläche abbilden und denen mit technischen Mitteln zu begegnen ist. Nichtquarzkornanteile mit geringer Ausdehnung, die besonders in einheimischen Sanden vorkommen können, sind Feldspat- und Karbonatkörner. Entsprechende Sande mit Feldspatgehalten bis zu 20% haben deshalb in dieser Hinsicht günstige Eigenschaften und ergeben auch bei Eisenguss mit Giesstemperaturen bis 1500°C noch keine Probleme wegen unzureichender Feuerfestigkeit. Auch einige Prozente an Karbonatkörnern wirken erfahrungsgemäss nicht negativ. Für Stahlguss sind solche Sande aber nicht geeignet.

#### 4.1.2.4 Entwicklung der Verwendung einheimischer Giessereisande

Während des zweiten Weltkrieges führte Armin von Moos seitens der Geotechnischen Prüfstelle (Prof. Francis de Quervain) und im Auftrag der Georg Fischer AG, Schaffhausen, eine Bestandesaufnahme der schweizerischen Quarz- und Formsandvorkommen durch, von denen manche schon vor dem Krieg und zum Teil noch bis in die Nachkriegszeit abgebaut wurden [Interner Bericht an die Georg Fischer AG, Werkarchiv, Klostersgut Paradies/Langwiesen TG; siehe unter von Moos, 1942].

Damals verwendete man noch in grösserem Umfange von Natur aus tonhaltige Formsande, die man dem Formsandkreislauf als Bindetonträger zusetzte. Als Kernsande wurden aber zusätzlich gewaschene Sande benötigt. Neben dem hochwertigen Leinöl und neben Stärkederivaten konnten aber auch billige Industrieabfälle wie Sulfitablauge oder Melasse als Binder verwendet werden. Die damit hergestellten Kerne mussten aber in jedem Fall während 1 bis 3 Stunden in Trockenöfen ausgehärtet werden.

Die natürlich tonhaltigen Formsande wurden seither praktisch völlig durch «synthetische Formsande» ersetzt, die mit Bentonit-Ton gebunden sind. Meist muss in diesem Fall nur noch Bentonit in kleinen Mengen zum Kreislaufsand zugesetzt werden und nicht mehr eine mehrfache Menge an Sand als Tonträger.

Die früheren Kernbinder wurden weitgehend durch relativ teure Kunstharze abgelöst. Die heutigen Kernherstellverfahren erlauben die Erzeugung von Kernen in wenigen Sekunden oder Minuten, ein Tempo, das dem Takt der automatischen Herstellung von Nassgussformen angepasst ist (bis 300 Formen pro Stunde). Nur untergeordnet wird auch Wasserglas

(Natriumsilikatlösung) als Kernbinder verwendet (Vorteil: Aushärtung durch Begasung mit CO<sub>2</sub>, Nachteil: schlechter Zerfall nach dem Giessen).

Der Wandel der Technologie, die Automatisierung und der Einzug der Chemie in die Kernherstelltechnik führten im Verlauf von etwa 20 Jahren dazu, dass einheimische Sande immer weniger und seit 1983 überhaupt nicht mehr verwendet werden. Dazu kommt, dass die Produktion von Gusseisen und -stahl und damit der Bedarf an Giessereiformstoffen in den vergangenen zehn Jahren stark rückläufig waren: Von 1981 bis Ende 1994 wurden von 39 Eisengiessereien deren 16 geschlossen. Die Produktion an Gusseisen nahm von etwas über 200'000 t im Jahre 1985 auf wenig mehr als die Hälfte im Jahre 1993 ab. Die wichtigsten Vorkommen von Giessereiformstoffen sind in [Abbildung 4.4](#) dargestellt.

#### 4.1.2.5 Einheimische Vorkommen

##### Tonhaltige Formsande

Tonhaltige, natürliche Formsande wurden teilweise bis in die Nachkriegszeit aus dem Rotliegenden (z.B. bei Mumpf AG, Maisprach BL und Zeiningen AG), aus der Siderolithformation (sogenannte **Huppererden\***, vor allem im Dünnerntal), aus der Unteren und Oberen Süsswassermolasse und aus entkalkten, oberflächlichen Vorkommen gewonnen. Mehr als nur lokale Bedeutung hatten nur die Vorkommen von Wettingen AG (oberflächlich entkalktes Molasse- und Pleistozän-Material) und Buchberg SH (sandig-lehmiges Gehängematerial auf einer Unterlage von Molasse, Wilhalde bei Steinenkreuz; siehe auch weiter unten).

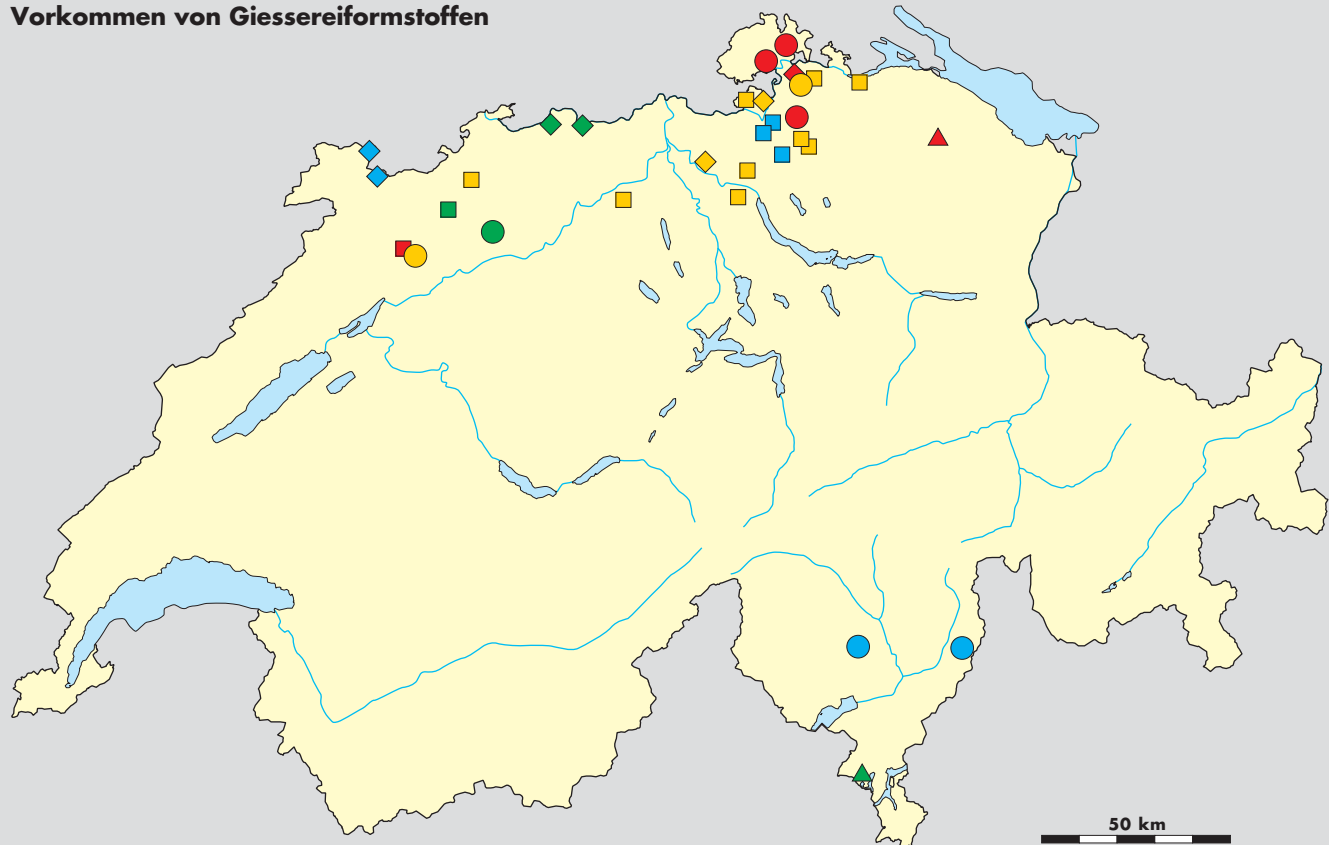
Als Formsande oder Formsandzusätze dienten zeitweilig auch oberflächlich entkalkte Glimmersande der Oberen Süsswassermolasse um Zürich (Uitikon, Albisrieden, Seebach) und Winterthur (Ohringen, Neftenbach, Pfungen, Rorbas) und bei Schlatingen und Mammern TG, verloren aber ihre an sich geringe Bedeutung schon vor dem zweiten Weltkrieg.

##### Gewaschene Sande (Quarzsande/quarzreiche Sande)

Sehr reine Quarzsande, die in gewaschenem Zustand vor allem als Kernsande in Frage kommen, sind in der Schweiz aus geologischen Gründen selten. Früher konnten nebst diesen vor allem auch karbonatfreie (meist oberflächlich entkalkte) Sande mit niedrigeren Quarzgehalten verwendet werden. Die wichtigsten Typen und ihre Eigenschaften sind in [Tabelle 4.1](#)

\*Huppererde: Quarzsand mit 10–35% kaolinitischem Ton.

### Vorkommen von Giessereiformstoffen



#### Giessereisande

■ Hochwertige siderolithische Quarzsande (auch für Stahlguss verwendet)

■ Hochwertige Quarzsande des Rhät

■ Oberflächlich entkalkte Glimmersande der Oberen Süsswassermolasse (gewaschen als Kernsande verwendet: Region Embrach ZH)

■ Kleine Vorkommen oberflächlich entkalkter Molassesande (gelegentlich als Formsandzusätze verwendet)

■ Graupensande der Brackwassermolasse

◆ Quarz-Feldspat-Sande des Rotliegenden

◆ Quarz-Feldspat-Sande des Pliozäns (Vogesensande)

◆ Pleistozäne Verwitterungs- und Hanglehne auf Molasse, teilweise als Naturformsande (Wettingen, Buchberg SH) oder gewaschen als Kernsande (Buchberg SH - Embrach ZH) verwendet

● Kleinvorkommen von tonhaltigen Formsanden und von Lehmen, die als Tonspender verwendet wurden

● Huppererden (als Formsandzusätze verwendet)

● Granoblastische ultrabasische Gesteine (als potentielle Rohstoffe zur Gewinnung von Olivinsand für Manganstahlguss überprüft)

● Ehemalige Wasch- und Klassieranlagen

#### Giessereisand-Bindetone

▲ Bentonit von Bischofszell (Untertage-Probeabbau 1949/50)

▲ Illit von Caslano (Untertage-Probeabbau 1945)

Abbildung 4.4: Die Vorkommen von Giessereiformstoffen konzentrieren sich hauptsächlich auf das Gebiet des Jura gebirges und Teile des nördlichen Mittellandes.



zusammengestellt. Die Charakteristiken von hochwertigem Importquarzsand dienen als Bezugsmassstab. Nachfolgend sind einige ergänzende diesbezügliche Informationen gegeben:

*Rotliegendsande:* Relativ mächtige Sandkomplexe kommen im Gebiet Maisprach – Mumpf – Zeiningen im Grenzgebiet der Kantone Aargau und Baselland vor. Sie sind mittel- bis grobkörnig und ihre Qualität ist wenig attraktiv; sie sind als Kernsand nicht geeignet.

*Rhät:* Es handelt sich um reine Quarzsande, die jedoch sehr feinkörnig sind. Im Gebiet des Laufentals und im angrenzenden solothurnischen Gebiet wurden früher gelegentlich bei Bärschwil und Erschwil die 1 bis 7 m mächtigen Vorkommen abgebaut. Die Abbauverhältnisse sind ungünstig. Sie sind für Giessereizwecke nicht mehr von Interesse.

*Siderolithformation (Juraquarzsand):* Im Gebiet von Moron-Montgirod, nördlich von Court BE, liegen grössere Vorkommen von Quarzsanden als Füllung von Taschen im umgebenden Kalkstein (bis 100'000 t Inhalt). Bis zum Ende der fünfziger Jahre wurden sie von Maurice Houmard, Moutier, abgebaut und in Court gewaschen. Es handelt sich um sehr reine Quarzsande, die aber einen etwas erhöhten Binderverbrauch bedingen. Sie sind feuerfest und konnten daher auch im Stahlguss verwendet werden. Ein geplantes, grosses Abbauprojekt scheiterte um 1970 an den schwierigen Abbauverhältnissen und an der ungünstigen Marktsituation. Die Abbaurechte befinden sich heute im Besitz der Quarzwerke Köln.

*Sande der Brackwassermolasse von Benken und Wildensbuch ZH:* In den am Cholfirst liegenden Gruben wurde eine bis 25 m mächtige Serie von Sanden der späten Oberen Meeresmolasse (Brackwassermolasse, Oberes Helvétien/Karpatien) abgebaut [siehe Hofmann und Hantke, 1954]. Die Basiszone besteht aus bis zu 8 m mächtigen Grobsanden (Graupensanden) der Grimelfingerschichten, die aus einem Einzugsgebiet aus dem nordwestlichen Böhmischem Massiv (Frankenwald–Fichtelgebirge–Oberpfälzerwald) in eine Flussmündung (Ästuar) verfrachtet wurden, welche bei Schaffhausen ins Molassemeer mündete [vergleiche Lemcke, 1985; darin weitere Autorenangaben]. Die karbonatarmen Grobsande werden von einer mächtigeren Serie von mittelkörnigen Sanden überlagert, die vorwiegend der Napfschüttung entstammen und deutlich karbonathaltig sind. Sie enthalten quarzitzeröhlreiche Nagelfluhlagen gleicher Herkunft.

Vor 1961 wurde in den Gruben von Benken ZH ([Abbildung siehe Kapitel-Titelbild](#)) und Wildensbuch ZH im Tagebau und zum Teil auch in kurzen Stollen der relativ quarzreiche Grobsand abgebaut (gemeindeeigener, einfacher Betrieb). Ab 1961 installierten die Quarzsandwerke Benken-Wildensbuch (Bader & Co) in der Grube Benken eine moderne Wasch-, Klassier- und Trocknungsanlage mit einer Produktionskapazität bis zu 40'000 t Quarzsand pro Jahr. Es wurden verschiedene Qualitäten erzeugt, wovon die feineren Sorten vor allem für Giessereien, die gröberen als Streusand für Lokomotiven, für den Gartenbau, für Sportanlagen und für andere Anwendungen dienten. Abgebaut wurde die ganze Sandserie, nicht nur die Graupensande. In Wildensbuch wurde nicht mehr produziert. 1983 wurde die Anlage in Benken aufgrund eines Bundesgerichtsentscheids (wegen möglicher Beeinträchtigung von Quellsungen) stillgelegt und in der Folge völlig demontiert. Die basalen Graupensande sind seit einigen Jahren verschüttet.

Die Giessereisorten waren wegen des hohen Binderverbrauchs und wegen des Karbonatgehalts nicht für Anwendungen mit flüssigen chemischen Bindern geeignet (siehe [Tabelle 4.2](#)). Sie boten jedoch wegen des reduzierten Quarzgehaltes einen technischen Vorteil, wenn es nötig war, Neusand direkt dem Formsand zur Reduktion von quarzbedingten Ausdehnungsfehlern zuzusetzen. Größere Giessereisande wurden auch als Füllsand in Stahlgusskernen verwendet.

*Buchberg SH (Embrachersand):* Bis 1967 baute die Firma Steiner in Embrach sandige Gehängelehme, vorwiegend Molassematerial, ab (Wilhalde nordwestlich Buchberg, bei Steinenkreuz). Sie wurden in Embrach gewaschen und als «Embracher Sand» vor allem in Schaffhausen (Georg Fischer) verwendet, als Kernsand für **Temperguss\*** und **Grauguss\*** (Verschnitte mit belgischem Quarzsand, ofengetrocknete Leinöl-Sulfitablauge-Kerne). Zeitweilig wurde auch oberflächlich entkalkter Glimmersand der Oberen Süsswassermolasse von der Oberen Wagenburg (östlich von Oberembrach) zugemischt und mitverwaschen. Heute sind diese Vorkommen ohne Bedeutung. Während des zweiten Weltkrieges wurden auch oberflächlich entkalkte Sande der Oberen Meeresmolasse in der Grube Risibuck westnordwestlich von Buchberg SH abgebaut und in Schaffhausen verwendet.

*Bonfol (Ajoie JU):* Feldspatreiche, den Rotliegendsanden ähnliche Vogesensande des Pliozäns wurden gelegentlich bei Bonfol gewonnen und auch als Giessereisande verwendet. Sie kommen für heutige Anwendungen nicht mehr in Betracht.

\***Temperguss:** Durch Glühen in Rot-eisenerzsplitz weitgehend entkohlte, dünnwandige Eisen-Gussstücke (besonders Rohrverbindungen, sogenannte Fittings).

\***Grauguss:** Gusseisen mit Lamellen-graphit und mehr als 1.7% Kohlenstoff.



4.5

## Olivinsande

Verschleissteile wie Brechbacken und andere Komponenten für Steinbrechmaschinen, Baggerzähne und andere stark beanspruchte Maschinenteile werden oft aus Manganhartstahlguss hergestellt. Diese Legierung zeigt in Quarzsandformen eine hohe Neigung zu Metall-Formstoff-Reaktionen. Bewährt hat sich in diesem Fall Olivinsand als wenig reaktive Sandbasis. Olivinsand wird aus olivinreichen, leicht zerdrückbaren ultrabasischen Gesteinen (Ultramafitite, Peridotite) mit granoblastischer Struktur hergestellt und heute vor allem in Norwegen sowie in Amerika im Staate Washington produziert. Für Olivinsande wird in Skandinavien auch die Tatsache herausgestrichen, dass sie nicht silikosegefährlich sind. Hofmann und Bühl [1982] stellten fest, dass auch granoblastische Ultramafitite der Südschweiz leicht zu Olivinsand zerdrückbar sind (Val Cama, Misox GR; Alpe Pianca, Verzascatal TI). Die

Tabelle 4.2: Betriebskostenvergleich zwischen Import-Reinquarzsand und schweizerischen Giessereiquarzsanden.

	Import-Rein-quarz-Sand	Molassesand (Benken, Embrach)	Juraquarz-sand (Court)
Binderverbrauch % (Leinölbedarf für eine Druckfestigkeit von 1000 N/cm <sup>2</sup> )	1.0	3.4	2.1
Binderzusatz pro t Sand, in kg	10	34	21
Sandkosten (interner Verrechnungspreis) Fr./t	65.-	60.-	65.-
Binderkosten pro t Sand à Fr. 4.-/kg	40.-	136.-	84.-
Materialkosten (Fr./t Kernsand)	105.-	196.-	149.-
Verarbeitungskosten zum fertigen Kern Fr./t (Aufbereitung, Kernherstellung, Personal- und Maschinenkosten)	250.-	250.-	250.-
Gesamtkosten fertige Kerne in Fr./t	355.-	446.-	399.-
Mehrkosten Schweizerande gegenüber Importsand Fr./t	-	91.-	44.-

### Bemerkungen:

Berechnung für 1 t Kernsand: Import-Reinquarzsand (Typus Frechen oder Haltern, Sihelco-Quarzwerte Köln) oder schweizerische Giessereiquarzsande (gewaschen). Forderung: Druckfestigkeit mit Leinöl als Binder, ofengetrocknet 1000 N/cm<sup>2</sup>. In den Kosten pro Tonne importierten Reinquarzsandes (ab Rheinland) sind 50.- Fr. an Transportkosten enthalten. Die Gewinnungskosten für einheimische Sande sind erheblich höher als bei Importsand und erlauben keine grossen Transportdistanzen. Die Kosten für moderne Kunstharzbinder liegen in der gleichen Grössenordnung wie für Leinöl oder darüber.

Dargestellt sind die Verhältnisse in der Endphase der Verwendung einheimischer Giessereisande (um 1976). Der Kostenvergleich würde heute (1995) nicht grundsätzlich anders ausfallen, falls schweizerische Sande noch erhältlich wären.

Peridotite des Centovalli sind wesentlich härter und nur durch eigentliches Brechen zu künstlichem Sand mit extrem eckigen Körnern aufzubereiten und damit nicht verwendbar. Im praktischen Giessversuch in Schaffhausen ergaben die Olivinsande der Südschweiz positive Ergebnisse. Wegen der ungünstigen geographischen Lage der Vorkommen wäre aber eine technische Nutzung kaum wirtschaftlich. Ausserdem wird derzeit in der Schweiz kein Manganstahl mehr vergossen.

### 4.1.2.6 Qualitäts- und Wirtschaftlichkeitsbeurteilung schweizerischer Giessereisande

Ein Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen Import-Rein-quarzsand (Typus Frechen, Quarzwerte Köln) und schweizerischen Sanden wird in [Tabelle 4.2](#) gegeben. Der Binderbedarf ist dabei durch den Leinölbedarf ausgedrückt (vergleiche [Ab-](#)

Abbildung 4.5: Aufnahme der Stollenbrust im Bentonit-Probeabbau Bischofszell-Niederhelfenschwil, Dezember 1949. Die Bentonitschicht liegt in halber Höhe der Stollenbrust (oberes Ende Schaufelstiel);

darunter fluvioterrestrische Mergel der Oberen Süsswassermolasse. Über der Bentonitschicht vulkanischer Glasaschentuff. Die Grubenlampe in der Mitte des Bildes hängt an einer scharfen, glatten Trennfläche

che zwischen zwei Glastuffschichten, welche als sehr standfestes Stollendach diente. Lage des Stolleneingangs: Kantonsgrenze zwischen Thurgau (Bischofszell) und St. Gallen (Niederhelfen-

schwil) an der Rengishalde über der Thur, 2.5 km WSW Bischofszell, Koordinaten 733'310/261'090/520.



schnitt 4.1.2.2). Dieser Wert ist auch für andere Flüssigbinder, insbesondere Kunstharze, repräsentativ. Die Kostenrechnung basiert auf den Verhältnissen um 1976, als noch einheimische Sande verwendet wurden. Für die heutigen Verhältnisse würde sich ein gleichartiges Bild ergeben. [Tabelle 4.2](#) zeigt, dass auch der relativ hochwertige siderolithische Juraquarzsand im Vergleich zu Import-Quarzsanden wesentliche Mehrkosten ergeben würde. Die Anwendung von Molassesanden wäre auch dann noch teurer, wenn sie der Giesserei gratis geliefert würden. Nicht vergessen werden darf, dass stark erhöhter Binderverbrauch auch technische Probleme zur Folge hätte, die nicht toleriert werden könnten (z.B. zu hohe Gasentwicklung beim Giessen).

#### 4.1.2.7 Aussichten

Bedingt durch verfahrenstechnische Weiterentwicklungen, insbesondere auf dem Gebiet der Bindertechnologie, haben einheimische Giessereisande keine Verwendungsmöglichkeiten mehr. Heute können fast nur noch getrocknete, hochwertige, sehr reine Quarzsande verwendet werden.

Im Prinzip besteht die Möglichkeit, beispielsweise aus relativ quarzreichen Molasse- und Quartärsanden qualitativ hochwertige Quarzsande durch Flotation zu gewinnen [Teutsch und Hofmann, 1978]. In den Quarzsandwerken Zelking bei Melk (Österreich) wird dies derzeit praktisch umgesetzt. In der Schweiz würde das Verfahren aber kaum wirtschaftlich sein. Allenfalls könnten die quarzreichen Glimmersande der Oberen Süsswassermolasse, die in grossen Mengen vorkommen [Hofmann, 1960], mit Wasserglas als Binder verwendet werden, nicht aber mit Kunstharz. Sie müssten aber auf jeden Fall gewaschen und getrocknet werden, was entsprechende Anlagen voraussetzt, die nicht kurzfristig zu realisieren wären.

Karbonatkornreiche Molassesande würden sich als Formsandgrundlage für Leichtmetallguss eignen. Knauersande der Oberen Süsswassermolasse der Ostschweiz enthalten etwa 60% Kalk- und Dolomitmörner, die sich bei Giesstemperaturen von 700°C nicht zersetzen, sich aber gleichzeitig – verglichen mit Quarz – wesentlich weniger ausdehnen. In gleicher Weise würden auch feldspatreiche Sande Vorteile bieten, aber beide Varianten eignen sich nicht für Kernsande, weil der Binderbedarf zu hoch wäre. Auch zur Direktverwendung in bentonitgebundenem Formsand müssten solche Sande gewaschen und in der Regel getrocknet werden.

#### 4.1.3 BINDETONE FÜR GIESSEREISANDE

Für die heute üblichen Kreislaufformsande in Nassguss-Anlagen (vergleiche [Abbildung 4.3](#)) werden als Bindetone fast ausschliesslich Bentonite verwendet, das heisst vulkanogene, vorwiegend aus Montmorillonit bestehende Tone, deren Bindefähigkeit in der Regel mindestens doppelt so hoch ist wie jene anderer Tonarten. Der nötige Gehalt an Bindetönen, der zur Erzielung der formtechnischen, mechanisch-physikalischen Formsandeigenschaften im aufbereiteten Sand gefordert wird, ist deshalb entsprechend niedrig, in der Regel 6 bis 10%.

In Europa werden die normalerweise in der Kalzium-Form vorkommenden Bentonite mit etwa 3 bis 4% Soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) bergfeucht verknetet und damit «aktiviert», was das giesstechnische Verhalten und insbesondere auch die thermische Stabilität und damit den Verbrauch im Kreislauf wesentlich verbessert, nicht aber die Bindefähigkeit erhöht. Natürliche Natriumbentonite kommen in technisch ausbeutbaren Mengen praktisch nur in Wyoming und South Dakota USA vor («Western Bentonites»).

##### 4.1.3.1 Einheimische Bentonite

In der Schweiz finden sich Bentonitlagen an vielen Stellen in der Oberen Süsswassermolasse. Auf eine technologische, mineralogische und chemische Beschreibung dieser Bentonite und von ausländischen Vergleichssorten wird hier verzichtet; die Resultate finden sich in einer Publikation von Hofmann et al. [1975]. Aus der Unteren Süsswassermolasse ist bisher nur ein einziges Vorkommen in der Region Lausanne bekannt geworden [Mumenthaler et al., 1981].

Die Mächtigkeiten der Molassebentonite liegen in der Regel im Dezimeterbereich. Aus dem Flysch sind dünne Lagen (Millimeter- bis Zentimeterbereich) beschrieben [Winkler et al., 1985]. Sie sind ohne technische Bedeutung.

In Bischofszell in der Ostschweiz wurde ein Bentonitvorkommen 1949/50 mit einem Untertage-Probebau angefahren ([Abbildung 4.5](#)), wobei 70 Tonnen Rohmaterial abgebaut und in der Tempergiesserei der Georg Fischer AG in Schaffhausen praktisch erprobt wurden [Hofmann et al., 1975; Hofmann, 1956a]. Der Bentonit von Bischofszell hat eine überdurchschnittlich hohe Bindefähigkeit von etwa 1000 g/cm<sup>2</sup> (in einer Testmischung aus Quarzsand mit 5% Bentonit bei 45% Verdichtbarkeit). Ein entsprechend hoher Montmorillonitgehalt wird durch die hohe **Methylenblau-Adsorption\*** von etwa 400 mg/g, angezeigt [Hofmann et al., 1975]. Der sehr grobdi-

\*Methylenblau-Adsorption: Schnelles Verfahren, die Austauschkapazität eines Tones zu bestimmen. Dabei wird eine Suspension von 0.5 g Ton in etwa 50 ml Wasser mit einer Lösung von vorzugsweise 6 g Methylenblau pro Liter Wasser titriert.

Der Sättigungspunkt kann auf einfache Weise mit einem Halotest bestimmt werden [genaue Arbeitsvorschriften in Hofmann et al., 1975]. Diese Prüfmethode dient auch dazu, den Bentonitgehalt in Betriebsformsanden zu bestimmen.

spere Bentonit – er ist repräsentativ für die übrigen schweizerischen Molassebentonite – spricht hingegen nur relativ schwach auf Sodaaktivierung an, was ihn beispielsweise von den Bentoniten der bayerischen Oberen Süsswassermolasse unterscheidet, aber derzeit tonmineralogisch kaum befriedigend erklärbar ist.

Die einheimischen Bentonite haben wegen der geringen Mächtigkeiten allenfalls in Notsituationen und nur in ganz wenigen Fällen eine wirtschaftliche Bedeutung. Dies gilt um so mehr, als die Aufbereitung von Bentoniten für die praktische Verwendung (Aktivieren, Trocknen, Mahlen) verfahrenstechnisch aufwendig ist. Als Dichtungs- und Spülbentonite sind die Molassebentonite ungeeignet, weil ihre besonderen Aktivierbarkeits- und Quelleigenschaften wenig interessant sind.

#### 4.1.3.2 Alternative Bindetone

Im Rahmen eines Projektes der «Studiengesellschaft für die Nutzbarmachung schweizerischer Lagerstätten mineralischer Rohstoffe» wurde die Verwendbarkeit nichtbentonitischer einheimischer Tone als Formsandbinder abgeklärt. Es zeigte sich, dass solche Tone bestenfalls 50% der Bindefähigkeit von Bentoniten besitzen und dass dementsprechend mindestens die doppelte Menge zum Formsand zugesetzt werden müsste. Die höchsten Werte erreichten dabei die nachstehend aufgeführten reinen Illite, Mixed-Layer-Tone und Kaolinite [Hofmann und Peters, 1969]:

- Vulkanogene Tone im Südtessin (Perm, Trias). Der sehr reine Illit des Monte Caslano wurde von Mai bis Juni 1945 abgebaut und in Schaffhausen als Bindeton verwertet. Im 19. Jahrhundert war er bereits als Smektit abgebaut worden [Magyar und von Moos, 1947; Hofmann, 1956b].
- Relativ reine Mixed-Layer-Tone finden sich als permische Vorkommen westlich von Arosio TI und als dünne Lagen in den Dolomiten der Grenzbitumenzone (Trias) des Monte San Giorgio TI [Hofmann und Peters, 1969].
- Keuper-Tone im Kanton Schaffhausen (Hallauerberg-Schleitheim) erwiesen sich teilweise als sehr reine Illite mit technischen Eigenschaften, die jenen des Tons am Monte Caslano entsprechen.
- Rhät-Tone auf dem Hallauerberg (Kanton Schaffhausen) wurden als sehr reine Illit-Smektit-Mixed-Layer-Tone identifiziert und scheinen stellenweise Mächtigkeiten von 1 bis 2 m zu erreichen [Hofmann, 1981]. Ihre Bindefähigkeiten entsprechen jener der obenstehend beschriebenen Typen.

- Bolustone: Die siderolithischen Bolustone (Kaolinite) des Kantons Schaffhausen (Beringen-Färberwiesli, Lohn) haben Bindefähigkeiten ähnlich jenen der vorstehend beschriebenen Illite und Mixed-Layer-Tone und sind zudem relativ feuerfest. Boluston vom Färberwiesli wurde 1960 mit Erfolg im Grossversuch als Binder für Schamottemassen im Stahlguss getestet (Georg Fischer AG, Schaffhausen). Diese Formmassen wurden jedoch später durch kunstharzgebundene Sande abgelöst.
- Ähnliche Qualitäten wie die Bolustone hatte der weisse, pliozäne Ton von Bonfol (Ajoie JU), ein Kaolinit.

Andere, in bedeutenden Mengen vorkommende Tone, insbesondere der Opalinuston, der Septarienton oder pleistozäne Schwemmlehme (entkalkte Typen), erwiesen sich als wenig attraktiv, wenn auch gemahlener Opalinuston («Opalit») früher gelegentlich verwendet wurde (vergleiche auch [Kapitel 4.6.2.1](#)). Auch die beschriebenen, hochwertigeren Sorten können nur als Notreserven betrachtet werden.

#### 4.1.4 FORMMATERIAL ZUR HERSTELLUNG VON GIESSEREI-MODELLPLATTEN

Feinsiltige, relativ magere Lössе der Gegend von Möhlin wurden bis Ende der sechziger Jahre als Formmaterial zur Herstellung von Gipsmodellplatten verwendet, mit denen serienmässig Giesserei-Sandformen für Nassguss reproduziert wurden (Tempergiesserei der Georg Fischer AG, Schaffhausen).

#### 4.1.5 KUPOLOFEN-STAMPFMASSEN

Eisenarme Huppererden mit kaolinitischem Ton eignen sich als feuerfeste Stampfmassen zur Auskleidung von Giesse-rei-Kupolöfen\*. Meistens werden dazu sogenannte «Klebsande» verwendet, die aus Quarzsand mit etwa 25% Kaolinitgehalt bestehen und vorzugsweise aus Deutschland (Pfalz) importiert werden. Die einheimischen Huppererden wurden höchstens ersatzweise während des zweiten Weltkrieges eingesetzt.

\*Kupolofen: Koksbeheizter Schacht-ofen zum Erschmelzen von Guss-eisen.



## 4.2 GESTEINE FÜR VERSCHIEDENE ANWENDUNGEN

### 4.2.1 KALKSTEINE FÜR DIE EISENVERARBEITENDE INDUSTRIE

Für Giesserei-Kupolöfen wird Kalkstein als Zuschlagstoff für die Schlackenbildung benötigt, in gleicher Weise in Elektroschmelzöfen in Stahlgiessereien und Stahlwalzwerken. Diese Rohstoffe wurden in verschiedenen Werken produziert:

- In Vermes JU wurden Malmkalke für die Giessereien in Choindez und Rondez JU abgebaut.
- Früher dienten auch Malmkalke aus Egerkingen SO dem gleichen Zwecke, ebenso Kalksteine des Rauracien (St-Ursanne JU; seit Sommer 1993 nicht mehr in Abbau) und Hauptrogenstein von Vellerat.
- «Plattenkalke» (Liegende Bankkalke, Tithon, Malm) im Mühlental, Schaffhausen, wurden bis Ende der sechziger Jahre unmittelbar neben der dortigen Tempergiesserei der Georg Fischer AG als Kupolofenzuschlag abgebaut.

Die Kalkfabrik Netstal GL (vergleiche [Kapitel 7.2](#)) ist die einzige noch tätige Fabrik auf diesem Sektor. Sie liefert definierte, klassierte Körnungen aus Quintnerkalk (helvetischer Malm) an eisenverarbeitende Betriebe.

### 4.2.2 KALKSTEINE FÜR DIE HERSTELLUNG VON KALZIUMKARBID

Für die Herstellung von Kalziumkarbid wurden früher Malmkalke von Netstal GL, Meiringen BE, Raron, Gampel und Leuk VS verwendet. Die Herstellung von Kalziumkarbid hat heute keine Bedeutung mehr.

### 4.2.3 DOLOMIT ZUR ERZEUGUNG VON MAGNESIUM-METALL

Während des zweiten Weltkrieges wurde Dolomit vom Ochsenboden, oberhalb Chippis VS, zur Erzeugung von Magnesium-Metall abgebaut. Diese Rohstoffe haben für die Magnesium-Herstellung keine Bedeutung mehr.

### 4.2.4 DOLOMIT ALS FEUERFESTAUSKLEIDUNG FÜR LICHTBOGENÖFEN

Sinterdolomit dient als Auskleidung von Lichtbogenöfen beim Schmelzen von Stahl (Walzwerke, Stahlguss). Einheimisches Material wurde dafür nie verwendet; geeignet wären allerdings Dolomite der Trias der Südalpen (Monte S. Salvatore, Monte Caslano) wie auch der Trigonodusdolomit im Muschelkalk der Nordschweiz. Entsprechende Verwertungsmaßnahmen wurden um 1960 mit dem Dolomit des Monte Caslano TI gemacht, wo heute noch ein Schachtofen bei Piatta, auf der Südseite des Monte Caslano, existiert.

### 4.2.5 ROHSTOFFE FÜR DIE GLASINDUSTRIE

#### 4.2.5.1 Glassande (Rhätsand, Siderolithische Quarzsande)

Einheimische Glassande, obwohl teilweise in genügender Qualität vorhanden, haben heute aus marktwirtschaftlichen Gründen keinerlei Bedeutung mehr (zur Glasfabrikation vergleiche [Abbildung 4.6](#)).

*Rhätsand* wurde früher bei Erschwil und Bärschwil SO im Jura gewonnen (vergleiche auch [«gewaschene Sande»](#), [4.1.2.5](#)). Alte Glashütten sind von Mümliswil SO bekannt.

*Siderolithische Quarzsande* sind hochwertige Sande mit bis zu 99% SiO<sub>2</sub>, die auch für weisses Glas geeignet sind. Sande des Moron BE wurden früher in der ehemaligen Glashütte Moutier verwendet. Ein Versuch, sie um 1970 in grossem Stil nutzbar zu machen, war nicht erfolgreich (schlechte Abbauverhältnisse, tiefe Marktpreise; siehe auch [«Giessereisande»](#), [4.1.2.5](#)).

#### 4.2.5.2 Molassesande

Die Sande der Brackwassermolasse am Cholfirst (Gruben von Benken und Wildensbuch ZH) wurden vor dem zweiten Weltkrieg auch für Grünglas (Bülach) verwendet (Abbildung der Grube Benken siehe [Kapitel-Titelbild](#)).

Glimmersande der Oberen Süsswassermolasse wurden noch bis nach dem zweiten Weltkrieg vor allem in der Region Zürich-Winterthur als Glassande für Grünglas abgebaut, und zwar bei Teufen ZH am Irchel, bei Buchs ZH (Bergwerk Chrästel [Krähstel]), bei Oberembrach ZH (Wagenburg) und in der Umgebung von Winterthur. Früher wurden auch Sande der Oberen Süsswassermolasse bei Wauwil LU für die dortige

## Glas

Glas ist ein amorphes, sprödes Material von muscheligen Bruch. In der gängigen Bedeutung versteht man darunter eine glasig erstarrte Schmelze von Quarzsand, Kalk und Soda. Die Kunst der Glasherstellung besteht darin, die Rohstoffe, welche in der Regel einen kristallinen Charakter aufweisen, so einzuschmelzen und zu verarbeiten, dass keine Kristallisation erfolgt. Heute unterscheidet man zumindest in der Verpackungsglas-Industrie zwischen den Primär-Rohstoffen und dem Sekundär-Rohstoff Altglas. Die verschiedenen Spezialgläser bedingen z.T. aufwendige Herstellungsverfahren.

Um eine Tonne Glas zu produzieren, sind die folgenden Primär-Rohstoffe in entsprechender Menge nötig:

694 kg	Quarzsand als eigentlicher Glasbildner
196 kg	Soda als Flussmittel zur Reduktion der Schmelztemperatur
117 kg	Kalk als Glashärter
122 kg	Dolomit als Läuterungsmittel
63 kg	Feldspat als Stabilisator
ca. 8 kg	versch. Komponenten zur Verhinderung der Blasenbildung, Entfärbung oder Färbung

Beim Schmelzen bei rund 1500°C verdampft die in den natürlichen Rohstoffen vorhandene Feuchtigkeit (ca. 15 Gew.%).

Heute bestehen die Verpackungsgläser durchschnittlich zu 75% aus Altglas. Recycling-Spitzenreiter sind die Grüngläser mit 100% Altglas, bei der Weissglas-Neuproduktion liegt der Anteil des Altglases bei rund 64%, beim Braunglas bei rund 54%.



4.6



4.7



4.8

Glashütte verwertet. Eiszeitliche kalkhaltige Sande wurden von der Glashütte St-Prex VD aus lokalen Vorkommen gewonnen (heute wird nur noch Altglas verarbeitet).

### 4.2.5.3 Kalk und Dolomit für die Glasfabrikation

Bis 1993 wurden von der Glasindustrie bevorzugt – insbesondere für weisses Glas – die weissen, eisenarmen Kalke von St-Ursanne JU verwendet (für die Glashütten Bülach und Wauwil). Die Lägern-Malmkalke von Dielsdorf ZH und die

Schrattenkalke der helvetischen Kreide (Rotzloch, Beckenried NW) haben an Interesse verloren. Dolomit des Monte Caslano (Mendoladolomit) wurde in der ehemaligen Glashütte Moutier BE benutzt. Aus marktwirtschaftlichen Gründen werden heute in der Glasproduktion vorwiegend ausländische primäre Rohmaterialien verwendet. Das in grossen Mengen verwendete Recycling-Altglas stammt vorwiegend aus der Schweiz. Die für eine Tonne Glas benötigten Rohstoffe sind in [Abbildung 4.6](#) dargestellt.

**Abbildung 4.6:** Die Rohstoffe für die Glasherstellung: Quarzsand, Soda, Kalk, Dolomit und Feldspat neben Altglas (Foto Vetropack, Bülach).

**Abbildung 4.7:** Düninflüssige basaltische Schmelze wird mit Pressluft zu Glasfasern verblasen.

**Abbildung 4.8:** Die Glasfasern werden zu Platten verpresst, geformt und geschnitten.



## 4.2.6 GESTEINE FÜR DÜNGEZWECKE

### 4.2.6.1 Phosphatgesteine

Gesteine mit Phosphoritknollen kommen in der Mittleren Kreide (Gault = Garschella Formation) des westlichen Juragebirges (Auberson bei Ste-Croix) und des Helvetikums (Sevelen-Buchs SG) vor. Nummulitenkalke am Sihlsee, untergeordnet auch südöstlich von Appenzell und bei Eichberg SG (südlich Altstätten), führen ebenfalls etwas Phosphoritknollen. Sämtliche Vorkommen sind aber wegen des geringen Phosphorgehaltes nicht von wirtschaftlichem Interesse. Bemerkenswert sind die Apatit-Biotit-Schiefer des Pizzo Corandoni (Piatto della Miniera oberhalb des Val Cadlimo im Nordtessin; Zweifel und de Quervain, 1954). Sie enthalten 17–24% Apatit nebst Biotit (Kaliträger). Der Abbau der auf 2500 m Meereshöhe gelegenen Vorkommen könnte höchstens in Notsituationen in Betracht gezogen werden.

### 4.2.6.2 Sonstige Gesteine für Düngezwecke

Früher wurden Mergel und Tone, aber auch Gips – vor allem aus dem Juragebiet – als Bodenverbesserer verwendet, sie haben aber heute keine Bedeutung mehr. Kalksteinmehl wird von Kalkstein abbauenden Betrieben zum Teil auch für Düngezwecke geliefert. Silikatgesteinsmehl wird vor allem aus Abfall steinverarbeitender Betriebe als Bodenverbesserer und als Kompostierungszusatz hergestellt.

## 4.2.7 ROHMATERIAL FÜR DIE HERSTELLUNG VON STEINWOLLE

Zu Fasern erstarrtes basaltisches Glas ist aus vielen Basaltvulkanen bekannt. Die Hawaiianer bezeichnen dieses Kuriosum als «Pele's Haar». Feinste basaltische Glasfäden entstehen durch rasche Abkühlung, wenn ca. 1100°C heisse und dünnflüssige Lava durch eine bereits erstarrte, aber perforierte Kruste gepresst wird. Dieses «Zerblasen» wird durch kleinere Gas-Luft-Explosionen im Lavastrom ausgelöst.

Vulkaneruptionen und Erstarrung basaltischer Laven sind nicht kontrollierbar, dagegen erlauben moderne Technologien eine sinnvolle Nutzbarmachung dieses Effektes. Ein lizenziertes Produktionsverfahren zur Herstellung von «rock wool» wird in der Schweiz in Flums SG durch die Firma Flumroc betrieben. Basalt-Koks-Gemische werden in Schachttöfen bei

etwa 1300°C geschmolzen. Hat sich genügend Schmelzmenge im Ofen gebildet, wird abgestochen. Dünnflüssige basaltische Schmelze fliesst in die Zerfaserungskammer, wo sie mit Pressluft zu Glasfasern verblasen wird ([Abbildung 4.7](#)). Unförmige, nicht ideal zu Fasern verblasene Glasreste fallen zu Boden, feinste Faserteilchen und Staubpartikel werden durch Filter abgezogen. Die Hauptfasermenge wird mit einem Kunstharz besprüht und gelangt in den Fabrikationsprozess, das heisst sie wird zu Platten verpresst, geformt und geschnitten ([Abbildung 4.8](#)).

Die chemische Zusammensetzung der Glasfäden entspricht derjenigen eines normal erkalteten Basalts mit den Mineralien Olivin ( $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$ ), Plagioklas  $\text{CaAl}_2\text{SiO}_8$ , Augit  $\text{Ca}(\text{MgFe})\text{Si}_2\text{O}_6$ , und Magnetit  $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ . In Gewichtsprozenten der Oxide ausgedrückt besteht ein Basalt aus: 50%  $\text{SiO}_2$ , 2%  $\text{TiO}_2$ , 16%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 11%  $\text{FeO}_{\text{total}}$ , 0.2%  $\text{MnO}$ , 8%  $\text{MgO}$ , 10%  $\text{CaO}$ , 3%  $\text{Na}_2\text{O}$ , 0.5%  $\text{K}_2\text{O}$  und 0.3%  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

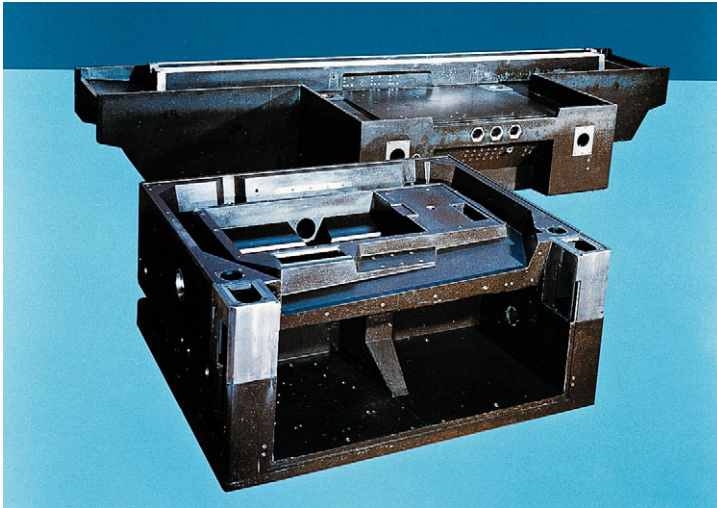
Basaltische Glasfasern haben aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung (Si, Al, Mg, Fe, Ca, Na, O) und Dicken um 0.01 Millimeter ideale Eigenschaften in bezug auf Elastizität, Korrosions- und Hitzebeständigkeit. Sie enthalten keine toxischen Elemente und stellen daher ein sehr robustes und umweltfreundliches Isolationsmaterial dar. Der verwendete Koks besteht aus Kohlenstoff ohne schädliche Beimengungen. Somit verbleiben als Emissionsprodukte Wasserdampf,  $\text{CO}_2$  und Staubpartikelchen, welche durch Filter absorbiert werden.

Verrucanogesteine des Walenseegebietes (Murg SG), Quintnerkalk von Trübbach SG, Grünschiefer von Felsberg GR erwiesen sich im Prinzip als geeignete Rohstoffe zur Herstellung von Steinwolle für Wärmeisolierzwecke. Heute wird aber überwiegend Importmaterial verwendet (Diabase und Basalt aus Deutschland, Dolomit).

## 4.2.8 POLYMERBETON FÜR MASCHINENTEILE

Genau abgestimmte Körnungen aus Kieselkalk der Unteren Kreide des Helvetikums (Rotzloch NW) eignen sich als Grundmasse für vergiessbaren, kaltaushärtenden Polymerbeton (auch als Mineralguss «Rhenocast», bekannt; Rhenocast, Schaffhausen). Damit können Maschinenteile aus Gusseisen oder Stahl ersetzt werden. Zwei derartige Werkstücke sind in [Abbildung 4.9](#) zu sehen.





4.9



4.10



4.11

**Abbildung 4.9:** Anwendungsbeispiele für Polymerbeton (Bett für eine Rundschleifmaschine und Ständer für eine Gewindeschleifmaschine).

**Abbildung 4.10:** Für die Verklebung der Kohlefaserlamellen, welche zur Verbesserung des statischen Verhaltens von Bauwerken dienen, werden quarzvergütete Epoxidharze mit besten mechanischen Eigenschaften verwendet.

**Abbildung 4.11:** Bei der Sanierung des «Viaduc des Gruyères» wurden polymervergütete Mörtel zur Reprofilierung, zur Abdichtung und als Haftvermittler eingesetzt.



#### 4.2.9 POLYMERGEBUNDENE MÖRTEL-, ZEMENT- UND KLEBSYSTEME

Für die Herstellung von polymervergüteten Betonsystemen werden grosse Mengen mineralischer Rohstoffe verarbeitet (wie Quarzsand, Kalksteinbrechsand). Bei polymervergüteten Mörtel-, Zement- oder Klebsystemen wird von den mineralischen Rohstoffen höchste Qualität gefordert. Zum einen werden die Füllstoffe dem System zugeführt, um die mechanischen Eigenschaften zu verändern, andererseits um eine optimale Nutzung der hochwertigen Bindemittel zu erreichen. Für einen spachtelbaren Kleber zum Beispiel, welcher unter anderem die neuartigen Kohlefaserlamellen für die statische Verstärkung von ganzen Bauteilen klebt, werden nicht nur an das Epoxidharz als Bindemittel, sondern auch an den Quarzsand als Füllstoff hohe Anforderungen gestellt. Der Anteil des Quarzsandes mit maximaler Korngrösse von 0.3 mm beträgt rund 40% gegenüber dem Epoxidharz als Bindemittel. Das Gemisch wird als Kleber verwendet und muss als hochbeanspruchbares Material enorme Kräfte aufnehmen und weitergeben können. Die Quarzfüllstoffe verleihen dem Klebstoff die notwendigen Festigkeitseigenschaften und reduzieren das plastische Verformungsverhalten. Ähnlich gute Eigenschaften entwickelt das chemisch und mechanisch hochbeständige Beschichtungssystem, bestehend aus einem Bindemittelgemisch von Zement und Epoxidharzen sowie Quarzsand als Füllstoff. Diese Werkstoffe werden überall dort eingesetzt, wo die rein zementgebundenen Mörtel infolge ihrer weniger hohen Beständigkeit frühzeitig zerstört würden. Damit die chemische Beständigkeit gewährleistet ist, wird dem System Quarz und nicht etwa Kalksteinbrechsand als Füllstoff zugemischt. Um die gute Verarbeitbarkeit eines spritz- oder spachtelbaren Reprofiliermörtels gewährleisten zu können, wird einem acrylharzvergüteten Mörtel mit einem Kunststoffanteil von rund 7% und einem Zementanteil von 30% Kalksteinbrechsand zugegeben. Quarzsand als Füllstoff würde den Mörtel maschinell unverarbeitbar machen. Zudem ist bei spritzbaren Mörteln die Zugabe von Quarzsanden aus hygienischen Gründen (Silikose) so weit wie möglich zu reduzieren. Die Qualitätsanforderungen an die mineralischen Rohstoffe werden in der Regel über die Anforderungen an die Systeme bestimmt. Erreicht ein Mörtel die mechanischen Eigenschaften aufgrund des Zuschlages nicht, dann wird nach anderen Füllstoffen gesucht. Für deren Verwendung bestehen interne Qualitätssicherungen, offizielle Normen bestehen allerdings nicht. Die Hersteller (Formulierer) von polymervergüteten

Betonsystemen kaufen die erforderlichen mineralischen Rohstoffe dort ein, wo die geforderte Qualität mit dem günstigsten Preis angeboten wird, das heisst es werden kaum mehr schweizerische Rohstoffe verwendet.

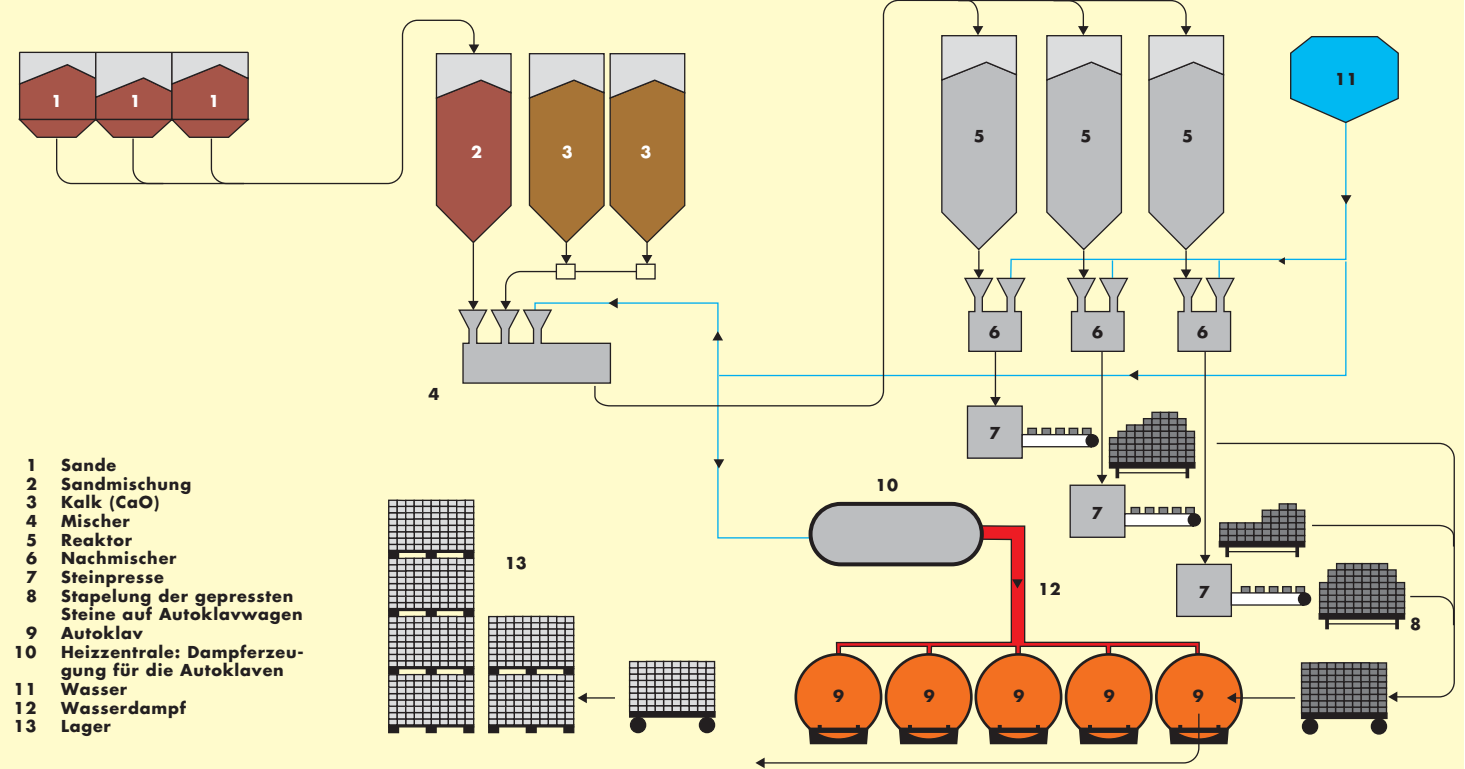
#### 4.2.10 QUARZGESTEINE FÜR VERSCHIEDENE ANWENDUNGEN

Kleine Vorkommen von Gangquarzen wurden früher in der Leventina, im Val Blenio, im Misox und im Cenerigebiet für elektrochemische Zwecke abgebaut, ein grösseres Lager bei Rodi (obere Leventina TI). Für gleiche Anwendungen wurden Triasquarzite bei Turtmann und St-Léonard VS gebrochen. Ein Vorkommen von sehr reinem, vortriadischem Quarzit (bis 99% SiO<sub>2</sub>) im Gebiet Val Nalps/Val Rondadura westlich der Lukmanierstrasse wurde nach de Quervain [1956] versuchsweise bearbeitet, ist aber zu abgelegen. Allgemein haben einheimische Quarzgesteine heute keine wirtschaftliche Bedeutung mehr. Für die Herstellung von Quarzitstampfmassen für metallurgische Zwecke (feuerfeste Tiegelauskleidungen) erwiesen sich Triasquarzite des Wallis als zuwenig feuerfest.

#### 4.2.11 MALMKALKE FÜR LITHOGRAPHIE-STEINE

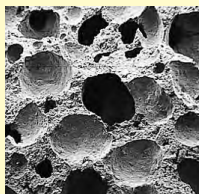
Besonders feinkörnige und gut bearbeitbare Kalke wurden früher in einem speziellen Druckverfahren eingesetzt (heute nur noch vereinzelt in Kunstdruckereien). Aus den sogenannten «Wohlgeschichteten Kalken» des Schaffhauser Randens (Oxford-Kalke) wurden verschiedentlich Lithographiesteine hergestellt [Schalch, 1916]. Entsprechendes Material wurde aus Steinbrüchen bei Hemmental (Gerentöbeli), am Mittelbuck südöstlich von Beggingen und an der Stoffelhalde westlich von Merishausen bezogen. Da es wegen der starken Zerklüftung des Gesteins kaum möglich war, grössere Platten zu gewinnen und zudem nicht sofort sichtbare Haarrisse zu hohem Ausschuss führten, blieb der Erfolg aus. Nach Schlatter [1990] wurden solche Versuche zwischen 1850 und 1860 und wieder um 1908 durchgeführt. Ein Lithographiestein aus Hemmental vom Format 37 x 23 x 10 cm ist im Museum zu Allerheiligen, Schaffhausen, noch erhalten.

## Produktionsschema für Kalksandsteine

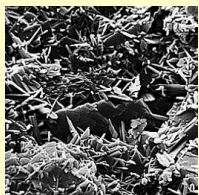


4.12

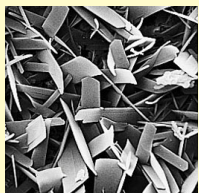
## Hydrothermale Härtung



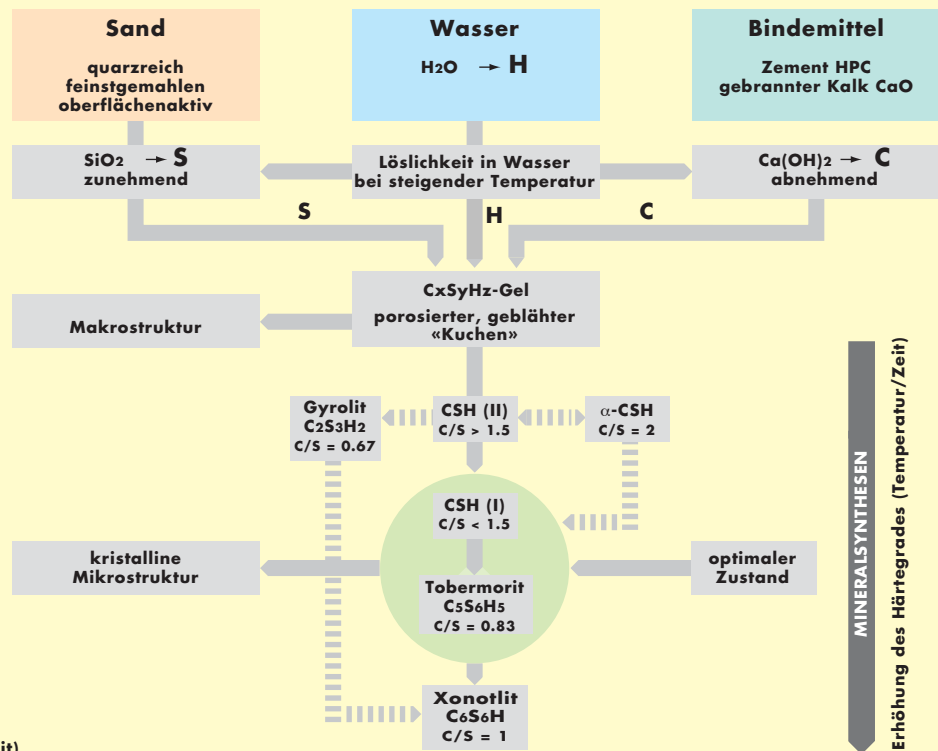
Makrostruktur von Porenbeton (Vergrößerung 8 : 1)



Kristalliner Gefügebau von Porenbeton (Vergrößerung 1950 : 1)



CSH-Phasen aus einer Porenwand (Tobermorit) (Vergrößerung 1800 : 1)



4.13

Abbildung 4.12: Produktionsschema für Kalksandsteine.

Abbildung 4.13: Schema der hydrothermalen Härtung am Beispiel des Porenbetons.



### 4.3 SANDE FÜR HYDROTHERMALGEHÄRTETE BAUSTOFFE (KALKSANDSTEIN, PORENBETON)

Hydrothermalgehärtete Baustoffe bestehen vorwiegend aus silikatischen Sanden und kalkhaltigen Bindemitteln und werden im **Autoklav**, unter Wasserdampfdruck und hoher Temperatur, gehärtet. Das Prinzip der hydrothermalen Härtung wurde in Deutschland Ende des letzten Jahrhunderts erfunden. Autoklavgehärtete Baustoffe sind hauptsächlich in nördlichen Ländern weiter entwickelt worden, wo sie eine sehr wichtige Stellung in der Baustoffindustrie einnehmen. Heute sind die Länder Osteuropas, Deutschland, die Niederlande, Grossbritannien, Skandinavien und Japan die grössten Produzenten dieser Baustoffe.

#### 4.3.1 PRODUKTE UND PRODUKTIONSVERFAHREN

*Kalksandsteine* sind dichte, in der Regel kleinformatige Bausteine mit unterschiedlichem Lochanteil (Raumgewicht ungeleuchtet ca. 2.0 kg/dm<sup>3</sup>). Sie entstehen durch Verpressung und anschliessende Autoklavhärtung eines wasserarmen Gemisches aus Sand und gebranntem Kalk (CaO). Der Fabrikationsprozess ist in der [Abbildung 4.12](#) schematisch dargestellt und kann in folgende Phasen aufgegliedert werden:

- Dosierung und Mischung der Sandkomponenten, des gebrannten Kalkes (ca. 7 Gew.%) und des Zusatzwassers.
- vollständige Hydratisierung, unter Wärmeentwicklung, des gebrannten Kalkes in den sogenannten Reaktoren.
- Formgebung durch Pressen der Mischung in Stahlformen (Presstisch).
- Stapelung der gepressten Rohlinge auf den Autoklawwagen.
- Härtung in Autoklaven bei Temperaturen von 170–200°C, was einem Wasserdampfdruck von 8–16 bar entspricht (Härtungsdauer ca. 4–6 h).
- Entnahme aus den Autoklaven und Lagerung in versandfertigen Einheiten.

Die Produktion ist weitgehend automatisiert. In der Schweiz werden Kalksandsteine in 7 Werken hergestellt (FBB Unternehmungen Werke Hinwil ZH und Münchenbuchsee BE; Hard AG Werk Volketswil ZH; Hunziker Baustoffe AG/HKS AG Werke in Brugg AG, Pfäffikon SZ, Olten SO und Kanderkies AG in

Einigen BE). Im Jahr 1991 wurden etwa 500'000 Tonnen Kalksandsteine produziert, mit einer breiten Palette an Formaten, Formen, Oberflächen und Farben ([Abbildung 4.14](#)).

*Porenbeton* ist ein stark porosierter Leichtbaustoff mit einem Raumgewicht von ca. 0.4–0.8 kg/dm<sup>3</sup>, der in beliebiger Grösse hergestellt werden kann. Ausgangsgemisch ist dabei ein wasserreicher Schlamm aus feingemahlenem Sand, gebranntem Kalk, Zement sowie kleineren Mengen Aluminiumpulver. Bei der spontanen Reaktion zwischen Kalk (ca. 27 Gew.% CaO aus den Bindemittelkomponenten gebrannter Kalk und Zement), Wasser und Aluminiumpulver entsteht Wasserstoffgas, das die in grosse Formen gegossene Masse bläht. Nach dem Blähvorgang und der ersten hydraulischen Bindung der Masse erfolgt das Schneiden in die gewünschten Blockgrössen und anschliessend die Härtung, wie beim Kalksandstein, im **Autoklav** bei Temperaturen von 170–200°C. In der Schweiz wird Porenbeton nur an einem Ort produziert (Hard AG, Estavayer-le-Lac FR; Produktionskapazität ca. 80'000 m<sup>3</sup>/Jahr).

#### 4.3.2 PRINZIP DER HYDROTHERMALEN HÄRTUNG

Das Prinzip der hydrothermalen Härtung beruht auf der Reaktion zwischen der Kieselsäure (SiO<sub>2</sub>) der Sandkomponenten und dem Kalk (CaO) des Bindemittels über die flüssige Phase, woraus Neubildungen von Kalzium-Silikat-Hydraten, sogenannte CSH-Phasen, in verschiedenen Modifikationen und Kristallformen entstehen.

Die Menge und die Art dieser Neubildungen sind abhängig einerseits von den Härtebedingungen und andererseits von der mineralogisch-chemischen Zusammensetzung der Rohstoffmischung sowie der Feinheit der Sandkomponente. Die kom-



4.14

**Autoklav:** Heizbarer Behälter für Reaktionen bei hohem Wasserdampfdruck.

**Abbildung 4.14:** Produktpalette der Kalksandsteine.

**Tabelle 4.3: Zusammenstellung der wichtigsten quarzreichen Sande der Schweiz, die für hydrothermalgehärtete Baustoffe in Frage kommen.**

GEOLOGISCHE FORMATION	QUARZGEHALT [Gew%]	ANDERE MINERALIEN	VERWENDUNG	ABBAUMÖGLICHKEITEN
Rotliegendes (Perm) von Jura und Tessin	schwankend, bis 94%	Feldspäte, z.T. etwas kalk- und eisenhaltig	keine	begrenzt
Rhät im Jura Gebirge	schwankend, 90–98%	z.T. etwas kalk- und eisenhaltig	keine	geringe Mächtigkeit, schwieriger Abbau
Huppererden und Quarzsande des Siderolithikums im Jura Gebirge	schwankend, 70–99%	Kaolinit, oft stark eisenhaltig	keine	begrenzte Vorkommen, schwierige Abbauverhältnisse
Brackwassermolasse Helvetien von Benken	im Mittel ca. 80%	Feldspäte, Glimmer, Kalk	keine mehr	Abbau eingestellt
Obere Meeresmolasse der Region Burgdorf – Bern – Fribourg	50–60%	Feldspäte, Karbonate, Tonminerale, Glimmer	keine	begrenzte Mächtigkeit des entkalkten Horizontes
Obere Süsswassermolasse Glimmersandschüttung der Nordostschweiz	ca. 50%	Feldspäte, Glimmer, Karbonate, Tonminerale	Verwendung als Magerungsmittel für die Ziegelindustrie	begrenzte Abbaumöglichkeiten
Ablagerungen der Eis- und Nacheiszeit im Mittelland	30–55%	Feldspäte, Karbonate, Tonminerale	Verwendung in der Bauindustrie insbesondere für Kalksandsteine und Porenbeton	sehr intensiver Abbau

**Tabelle 4.4: Chemisch-mineralogische Zusammensetzung der Sande für hydrothermalgehärtete Baustoffe**

	KALKSANDSTEINE					PORENBETON	
	Brechsand 0–3 mm Hardwald <sup>1</sup>	Rundsand 0–3 mm Hardwald <sup>1</sup>	Feinsand 0–1 mm Volketswil ZH	Brechsand 0–3 mm Volketswil ZH	Splitt 3–6 mm Volketswil ZH	Seesand Estavayer FR	Grubensand Montet FR
Glühverlust	22.38	19.64	15.65	22.28	22.77	8.35	8.27
SiO <sub>2</sub>	42.30	43.46	58.10	43.21	42.80	65.50	66.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.16	9.11	3.99	3.21	2.87	10.96	10.79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.19	1.37	1.57	1.76	1.56	1.26	0.92
TiO <sub>2</sub>	0.12	0.11	0.24	0.17	0.15	0.23	0.19
CaO	25.68	19.83	16.15	26.69	27.22	9.10	8.55
MgO	1.08	3.87	2.79	1.56	1.47	1.03	0.80
K <sub>2</sub> O	0.58	0.91	0.90	0.48	0.45	1.84	1.67
Na <sub>2</sub> O	0.89	1.23	0.80	0.67	0.57	1.96	1.89
Quarz	34.3	36.7	51.1	37.0	37.7	54	56
Feldspäte	–	–	8	4	5	25	23
Kalzit	43.0	28.2	20.1	42.2	42.8	12	13
Dolomit	4.8	13.8	8.7	3.7	4.1	1	1
Tonfraktion <0.002 mm	2.7	3.9	3.0	3.4	3.7	0.4	0.2
Schluff 0.002–0.02 mm	3.2	4.7	1.4	1.2	4.0	1.4	7.5
Sand >0.02 mm	94.1	91.4	95.6	95.4	92.3	98.2	92.3

<sup>1</sup> Rohstoff der ehemaligen Kalksandsteinfabrik Hardwald bei Dietikon (ZH), Fabrikation bis 1989.

plexen Reaktionsvorgänge, die sich im Autoklav bei der hydrothermalen Härtung abspielen, sind in der [Abbildung 4.13](#) schematisch dargestellt. Am Anfang der Härtung entstehen kalkreiche CSH-Phasen, während kieselsäurereiche CSH-Phasen erst später bei fortschreitender Härtung – als Folge der durch die Temperaturerhöhung bedingten Zunahme der Löslichkeit und der Diffusionsgeschwindigkeit von SiO<sub>2</sub> gegen-

über Ca(OH)<sub>2</sub> – in Erscheinung treten. Dieser Umsetzungsprozess setzt sich bis zur vollständigen Bindung des freien Kalkes fort, womit der Zustand erreicht ist, bei dem die Baustoffe durchgehärtet sind.



## 4.3.3 ROHSTOFFE

Die *silikatischen Sande*, die in den Ausgangsmischungen der autoklavgehärteten Baustoffe gewichtsmässig die Hauptkomponente darstellen, erfüllen eine doppelte Funktion. Sie bilden die Füllmasse und liefern den Reaktionspartner  $\text{SiO}_2$  während der hydrothermalen Härtung. Für die Herstellung von autoklavbehandelten Baustoffen werden deshalb Sande eingesetzt, die möglichst viel  $\text{SiO}_2$  in Form von Quarz enthalten, im allgemeinen reine oder schwach verunreinigte Quarzsande. Der andere Reaktionspartner  $\text{CaO}$  wird in Form von gebranntem Kalk oder Zement dem silikatischen Sand zugegeben.

Die Schweiz besitzt, im Gegensatz zu Nachbarländern, keine ausgedehnten und wirtschaftlich brauchbaren Vorkommen von reinem Quarzsand (vergleiche auch 4.1.2.5 und 4.2.5). Sie ist deshalb für die Herstellung von hydrothermalgehärteten Baustoffen auf Sande angewiesen, die neben Quarz, eine Anzahl anderer Silikate (Feldspat, Glimmer, Tonminerale) sowie auch zum Teil Karbonate enthalten (vergleiche Tabelle 4.3). In der hydrothermalen Härtung stellen die schweizerischen Sande mit ihrer komplexen Mineralzusammensetzung daher andere Probleme als die relativ reinen ausländischen Quarzsande. Es ist demzufolge wichtig, die Vorgänge, die sich bei der hydrothermalen Härtung abspielen, genau zu kennen und den Einfluss der chemisch-mineralogischen Zusammensetzung des Sandes auf die Endqualität zu gewichten. In diesem Zusammenhang wurden vergleichende Untersuchungen über das Verhalten in der hydrothermalen Härtung von einem schweizerischen, fluvioglazialen Sand aus der Gegend von Montet (FR) einerseits und einem ausländischen Quarzsand andererseits unternommen [Mumenthaler und Peters, 1977].

Die *physikalischen Eigenschaften* der Produkte hängen stark von der Zusammensetzung der CSH-Bindemassee ab, die ihrerseits wesentlich von der Zusammensetzung der Sandkomponenten beeinflusst wird. Der quartäre Sand aus dem schweizerischen Mittelland reagiert in der hydrothermalen Härtung träger und bringt etwas kleinere Druckfestigkeiten als der Quarzsand, weist andererseits eine besonders gut kristallisierte, tobermoritreiche\* CSH-Bindemassee (11 Å **Tobermorit**) auf, was sich in niedrigeren Schwindungen und höheren E-Modul-Werten niederschlägt.

In der Tabelle 4.3 sind quarzhaltige Sandformationen aus der Schweiz zusammengestellt, die aufgrund ihrer chemisch-mineralogischen Zusammensetzung für die Produktion von Kalksandsteinen und Porenbeton in Frage kommen könnten. Dabei ist ersichtlich, dass Quarzsande, wegen ihrer begrenzten

Verfügbarkeit, für hydrothermalgehärtete Baustoffe nicht genutzt werden. Sowohl für Kalksandsteine, als auch für Porenbeton, werden die im Mittelland weit verbreiteten quartären Sande eingesetzt, wobei für Kalksandsteine Quarzgehalte von mehr als 30 Gew.%, für Porenbeton von über 50 Gew.% notwendig sind. Die Anforderungen an Sande für Kalksandsteine und Gasbeton sind in der Tabelle 4.5 zusammengestellt.

Während für Kalksandsteine die meisten quartären Sande des schweizerischen Mittellandes geeignet sind (Zusammensetzung vergleiche Tabelle 4.4), ist die Auswahl von Sanden für Porenbeton aufgrund des geforderten minimalen Quarzgehaltes von 50% bedeutend enger. Für die Fabrikation des Porenbetons in Estavayer-le-Lac werden entweder postglaziale, feinkörnige Seesandablagerungen im Neuenburgersee nördlich von Estavayer oder die Feinsandfraktion aus Kiesvorkommen der Region Vesin/Montet/Ménières/Granges-Marnand eingesetzt (Zusammensetzung vergleiche Tabelle 4.4).

Eine ganze Anzahl von Alternativrohstoffen wurde in den letzten Jahren im Hinblick auf eine mögliche Verwendung für hydrothermalgehärtete Baustoffe untersucht. Basierend auf der Idee der thermischen Aktivierung bei ca. 900°C von natürlichen Rohstoffen oder Abfallstoffen wurden Molassesandsteine und -mergel sowie Kiesschlämme untersucht [Haller et al., 1969; Mumenthaler, 1979; Zraggen und Peters, 1980; Bühler, 1986]. Zwei Schweizer Patente (Nr. 495 299/1968 und Nr. 544 727/1971) folgten aus diesen Untersuchungen, zu einer Realisierung ist es allerdings, hauptsächlich aus wirtschaftlichen Gründen, noch nicht gekommen.

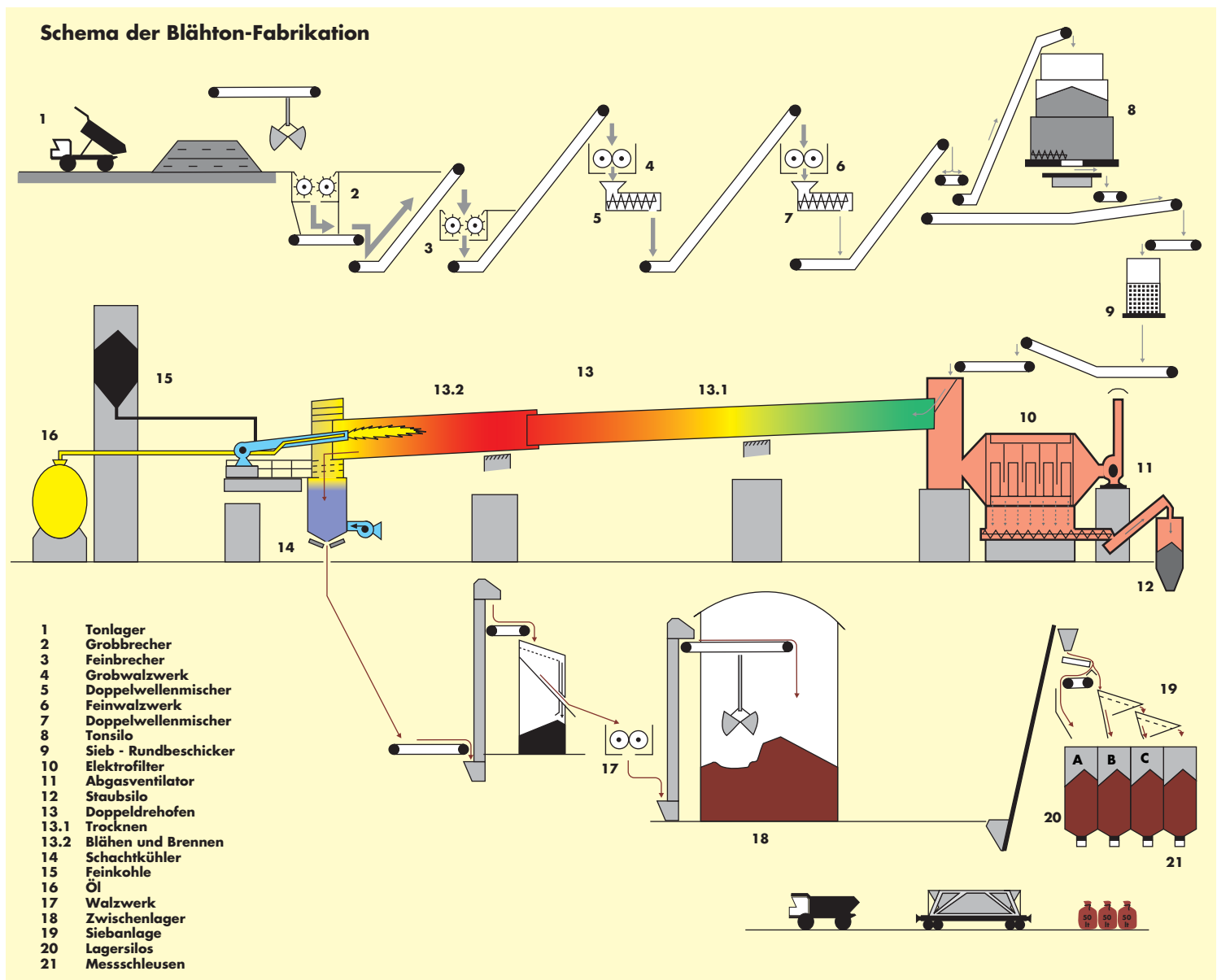
Tabelle 4.5: Anforderungen an Sande für Kalksandsteine und Porenbeton.

MINERAL/ EIGENSCHAFT	ANFORDERUNG KALKSANDSTEINE	ANFORDERUNG PORENBETON
Quarzgehalt	> 30 Gew.%	> 50 Gew.%
Tonmineralgehalt	begrenzt auf < 5 Gew.%	begrenzt auf < 5 Gew.%
Gehalt an Feldspäten	wegen der Erhöhung der Ausblühneigung (Alkalisalze) nicht in grossen Mengen erwünscht	begrenzt wegen Ausblühungen
Organische Bestandteile	frei von organischen Substanzen	frei von organischen Substanzen
Kornverteilung	optimale Kornverteilung notwendig (Fullerkurve) Grösstkorn < ca. 6–8 mm	spielt keine Rolle (Mahlvorgang)
Kornform	rundkörnige Sande sind von Vorteil (bessere Verdichtung der Pressmasse)	spielt keine Rolle (Mahlvorgang)

\*Tobermorit: Gruppe von Kalziumsilikathydraten mit unterschiedlicher Zusammensetzung und unterschiedlichem Kristallinitätsgrad, die strukturell mit dem gut kristallisierten 11 Å Tobermorit ( $\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_5$ ) verwandt

sind. Als natürliches Mineral in Schottland entdeckt, ist es ein wichtiger Bestandteil der Bindemassee von autoklavgehärteten Baustoffen. Von grosser technischer Bedeutung

sind ebenfalls quasi amorphe Tobermorite, die bei der Zementhärtung entstehen (Tobermorit-Gel, Hauptbestandteil des hydratisierten Zementsteins).



4.15

Tabelle 4.6: Merkmale und Verwendungsgebiete von Leca-Granulaten.		
KÖRNUNG	TROCKEN-SCHÜTTGEWICHT	VERWENDUNGSGEBIETE
0 - 3 mm	700 kg/m <sup>3</sup> *	Vorfabrikation, Hochbau: Leichtbetonsteine und -elemente, Kaminelemente, Leichtmörtel, isolierende Betonböden.
3 - 10 mm	450 kg/m <sup>3</sup> *	Tiefbau: leichte Grundbauschüttungen mit drainierender Wirkung in setzungsempfindlichen und instabilen Bereichen
10 - 20 mm	350 kg/m <sup>3</sup> *	
3 - 6 mm	550 kg/m <sup>3</sup>	Garten- und Pflanzenbau
10 - 15 mm	390 kg/m <sup>3</sup>	Hydrokultur
* je nach Anwendung getrennt oder gemischt		



4.16

Abbildung 4.15: Schematische Darstellung des Produktionsprozesses von Blähton (Leca).

Abbildung 4.16: Der Blähton Leca mit Detail der Kornoberfläche und der inneren Kornstruktur.



## 4.4 ROHSTOFFE FÜR BLÄHTON

### 4.4.1 PRODUKTE UND PRODUKTIONSVERFAHREN

Blähton ist ein thermisch expandiertes, leichtes Tongranulat. In Amerika am Anfang des Jahrhunderts entwickelt, hat die Produktion von Blähton in Europa erst nach dem zweiten Weltkrieg angefangen. Das Leichtgranulat wird unter dem Namen Leca (**l**ight **e**xpanded **c**lay **a**ggregate) seit 1961 in der Schweiz produziert. Das runde Blähtonkorn besteht aus einer braunen mikroporösen Aussenhaut und einer dunkelgrauen inneren Zone aus gesintertem Ton mit ausgeprägter Zellenstruktur ([Abbildung 4.16](#)). Die Porosität der inneren Zone liegt bei etwa 65–75 Vol.%. Die einzige Produktionsanlage für Blähton in der Schweiz liegt in Olten auf dem Areal des Zementwerkes (Portlandzementwerk AG). Die mittlere Jahresproduktion beträgt ca. 90'000 m<sup>3</sup> (Durchschnitt der letzten 10 Jahre). Die Merkmale und die Verwendung der Leca-Granulate sind aus der [Tabelle 4.6](#) ersichtlich. Die Herstellung von Blähton bzw. Leca kann in folgende Teilprozesse, die auch in der [Abbildung 4.15](#) skizziert sind, unterteilt werden:

- Selektiver Abbau von Ton der erforderlichen Qualität.
- Mechanische Aufbereitung des Rohmaterials zur Erreichung einer homogenen, plastischen Masse. Dosierung von Wasser und allfälliger Zusätze (z.B. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; für die schweizerische Leca-Produktion werden etwa 8 Gew.% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aus Pyritabbau zugesetzt).
- Am Ende des Aufbereitungsprozesses sorgt ein Siebrundbeschicker für eine kontinuierliche, nicht klumpenbildende Ofenaufgabe.
- Die im Siebrundbeschicker entstandenen kleinen zylindrischen Teilchen werden im Doppeldrehrohrofen zuerst getrocknet (ca. 1 Stunde) und dann bei 1150°C kurz gebrannt (5 bis 10 Minuten). Bei dieser sehr schnellen Aufheizung entstehen die charakteristische runde Form und die extreme Porenstruktur des Blähtones. Dabei spielen zwei Vorgehen eine entscheidende Rolle: Das Granulat wird von den aus dem Ton entweichenden Gasen gebläht. Gleichzeitig erfolgt diese Expansion, bedingt durch die auftretenden Sinter- und Schmelzphasen, im plastischen Zustand, was die runde Form und mehrheitlich geschlossene Porenstruktur erklärt.



4.17

### 4.4.2 ANFORDERUNGEN AN DIE ROHSTOFFE

Die für die Blähtonerzeugung brauchbaren Rohstoffe müssen vor allem, neben einer guten Plastizität, ausgeprägte Bläheigenschaften sowie möglichst tiefe Sinter- und Schmelzpunkte aufweisen. In diesem Zusammenhang können die folgenden Anforderungen aufgestellt werden: Hoher Gehalt an den Tonmineralien Illit, Chlorit und Montmorillonit, wenig Kaolinit; hoher Gehalt an Alkalien (Na und K) sowie Eisenoxiden oder -hydroxyden; Vorhandensein von organischen Substanzen (in schwarzen Tonen oder Tonschiefern); wenig Quarz und Karbonate (< 10 Gew.%).

### 4.4.3 ROHSTOFFRESSOURCEN UND IHRE NUTZUNG

Der Opalinuston (unterer Dogger), als mächtigster kalkarmer und tonreicher Horizont des Jura gebirges, bildet zweifelsohne die beste Rohstoffquelle für die Herstellung von Blähton in der Schweiz. Die über 100 m mächtige Formation wird im Hauensteingebiet auch für die Herstellung von Leca abgebaut. In Anbetracht der hohen Anforderungen, die an das Rohmaterial gestellt werden, und der ohnehin begrenzten Rohstoffnachfrage für Blähton dürften, neben Opalinuston, einzelne andere tonreiche geologische Formationen von geringerer Mächtigkeit (Insektenmergel und Obtususton aus dem Lias sowie kalkarme Mergel der Unteren und Oberen Süsswassermolasse) keine Bedeutung haben. Die Opalinustongrube in Hauenstein SO ([Abbildung 4.17](#)) liegt etwa 8 km vom Leca-Werk in Olten entfernt. Abgebaut werden rund 25'000 m<sup>3</sup> Opalinuston pro Jahr, dabei werden die kalkärmeren und tonreicheren Zonen für die Blähton-Produktion gebraucht. Das Rohmaterial wird über das ganze Jahr abgebaut und direkt mit Lastwagen dem Werk zugeführt.

**Abbildung 4.17: Opalinustongrube Unterer Hauenstein SO.** Gut sichtbar in der Topographie ist die sanfte Mulde des weichen Opalinustones zwischen zwei Rücken, die aus härteren Schichten gebildet sind

(rechts: Kalke und Mergel des oberen Aalenians, links: Kalke und Mergel des Lias).

Tabelle 4.7: Die wichtigsten keramischen Werkstoffe und Produkte.

KERAMISCHE WERKSTOFFE	PRODUKTE	ANWENDUNGSGEBIETE
<b>Silikatkeramik</b>		
poröse Silikatkeramik		
Ziegeleikeramik	Mauer-, Dachziegel – Drainrohre, Kabeldeckhauben	Hoch- & Tiefbau
Irdengut & Töpferwaren	Ofenkacheln, Blumentöpfe, Vasen	Ofenbau, Haushalt
Steingut	Geschirr, Schmuck, Wandplatten	Haushalt – Innenausbau
dichte Silikatkeramik		
Steinzeug	Kanalisationsrohre	Tiefbau
	Klinkersteine, Wand- & Bodenplatten	Hausbau
	Chemisch-technische Artikel	Chemische Industrie
Porzellan	Geschirr, Sanitärartikel, Elektroisolatoren	Haushalt, Sanitärbereich, Elektrotechnik
Steatit	Elektroisolatoren, Verschleisssteile	Elektro-, Hochfrequenztechnik, Motoren
Cordierit	Kochfestes Geschirr – Heizwicklungsträger	Haushalt, Elektrowärmetechnik
<b>Feuerfest-Keramik</b>		
	Normal- & Formsteine, Wärmedämmsteine	Eisen- & Nichteisenmetallproduktion,
	Brennhilfsmittel, Stampf- & Spritzmassen	Zement- & Glasindustrie – Keramische Industrie
	Faserwerkstoffe	Industrieofenbau
<b>Oxidkeramik</b>		
Aluminiumoxid	Verschleiss- & korrosionsfeste Bauteile	Maschinen- & Anlagebau, Elektrotechnik
	Hochtemperaturwerkstoffe	Elektronik & Lasertechnik
	Dentalprodukte, Implantate	Zahntechnik & Medizin
Zirkonoxid	Fadenführer, Spritzdüsen, Schutzrohre	Textil- & metallverarbeitende Industrie
<b>Nichtoxidische Keramik</b>		
Siliziumkarbid	Schleifscheiben, Brennhilfsmittel, Heizelemente	Keramische Industrie, Ofenbau, Gasturbinen
Siliziumnitrid	Thermoelementschutzrohre, Gas- & Giessleitungsrohre, Kugeln, Walzen, Schneidwerkzeuge	Nichteisenverarbeitende Industrie, Lager- & Motorenbau

Aus weiteren keramischen Werkstoffen werden Ferroelektrika, ZnO-Varistoren, Heizleiter, weich- und dauermagnetische Ferrite, Bauteile für Kernreaktoren und für die Fertigungstechnik hergestellt.

Tabelle 4.8: Einteilung der feuerfesten Werkstoffe nach ISO-Norm 1109.

BEZEICHNUNG	GRENZWERT DES HAUPTBESTANDTEILS (in Gew.%)	BEMERKUNGEN
Tonerdereiche Erzeugnisse, Gruppe 1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : > 56	Diese Erzeugnisse werden in der Schweiz aus importierten Tonen hergestellt.
Tonerdereiche Erzeugnisse, Gruppe 2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 45–56	
Schamotteerzeugnisse	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 30–45	Diese Erzeugnisse enthalten zum Teil Boluston und Huppererden.
Saure Schamotteerzeugnisse	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 10–30	
	SiO <sub>2</sub> : <85	
In der Schweiz nicht hergestellte feuerfeste Erzeugnisse:		
Tondinas-Erzeugnisse	SiO <sub>2</sub> : 85–93	Erzeugnisse mit Hauptbestandteil Magnesit Erzeugnisse mit Hauptbestandteilen Magnesit und Chromit Erzeugnisse mit Hauptbestandteilen Chromit und Magnesit Erzeugnisse mit Hauptbestandteil Chromit Erzeugnisse mit Hauptbestandteil Forsterit Erzeugnisse mit Hauptbestandteil Dolomit Erzeugnisse auf Basis von: Kohlenstoff, Graphit, Zirkonsilikat, Zirkonoxid, Siliziumkarbid, Karbiden (außer Siliziumkarbid), Nitriden, Boriden und Spinellen (außer Chromit) Erzeugnisse auf Basis mehrerer Oxide (außer den basischen Erzeugnissen) Erzeugnisse auf Basis reiner Oxide wie Tonerde, Kieselsäure, Magnesia, Zirkonoxid Erzeugnisse hohen Reinheitsgrades
Silikaerzeugnisse	SiO <sub>2</sub> : > 93	
Basische Erzeugnisse		
- Magnesit	MgO: > 80	
- Magnesit-Chrom	MgO: 55–80	
- Chrom-Magnesit	MgO: 25–55	
- Chromit	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : >25, MgO: < 25	
- Forsterit		
- Dolomit		
Sondererzeugnisse		



## 4.5 ROHSTOFFE FÜR KERAMISCHE ERZEUGNISSE

### 4.5.1 DEFINITION

Keramische Erzeugnisse sind anorganische, nichtmetallische Werkstoffe, die nach der Formgebung durch einen Brennprozess in ihre Dauerform übergeführt werden. Mit dieser Definition werden auch die Produkte der Ziegelindustrie eingeschlossen. Diese werden aber mit Recht gesondert betrachtet und in [Kapitel 3](#) behandelt, weil sie mengenmässig die Fabrikation aller übrigen keramischen Produkte übertreffen und nur sie sich vollständig aus schweizerischen Rohstoffen so herstellen lassen, dass die Erzeugnisse höchste, international genormte Gütevorschriften erfüllen. Die gebräuchlichsten keramischen Werkstoffe, samt einigen Beispielen von Produkten, sind in [Tabelle 4.7](#) wiedergegeben.

### 4.5.2 WERKSTOFFE

*Silikatkeramik:* Die silikatkeramischen Erzeugnisse Steingut, Steinzeug, Porzellan und auch Dentalkeramik werden auf der Basis des Dreistoffsystems Ton (Kaolin), Feldspat und Quarz hergestellt und klassiert ([Abbildung 4.18](#)). Für Steatitprodukte wird an Stelle von Quarz feinkristallines Talkpulver oder kalzinierter und gemahlener Speckstein verwendet. Es gibt auch Steatit, der frei ist von Feldspat, an dessen Stelle aber Barium enthält, um die mechanischen und elektrischen Eigenschaften des Endproduktes zu verbessern. Cordierit-Keramik ( $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$ ) lässt sich aus einem Versatz von Speckstein und Ton im Verhältnis 1:2 brennen.

*Feuerfest-Keramik:* Gemäss Definition (ISO/R 836) gilt ein nichtmetallischer Stoff als feuerfest, wenn sein Erweichungspunkt bei  $1500^\circ\text{C}$  oder darüber liegt. Da in vielen oxidischen Ein- und Mehrstoffsystemen die Liquidustemperatur über  $1500^\circ\text{C}$  liegt, sind feuerfeste Werkstoffe häufig oxidischer Natur ([Tabelle 4.8](#)). Das mengenmässig wichtigste Rohmaterial der Feuerfestfertigung ist die Schamotte. Mit diesem Begriff bezeichnet man gesinterten Ton, der gebrochen, gemahlen und nach Korngrössen sortiert, verwendet wird. Beim Sintern einer Schamotte-Ton-Mischung bilden sich drei typische Phasen, die im Fertigprodukt unterschieden werden können und auch dessen Grad der Feuerfestigkeit bestimmen:  $\text{SiO}_2$ , Mullit

( $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ ) und amorphe Schmelzphase (vergleiche [Abbildung 4.19](#)). Je höher der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalt der Schamotte und des verwendeten Bindetons ist, umso höher ist der Mullitgehalt und damit die Feuerfestigkeit. In [Abbildung 4.21](#) ist die Feuerfestigkeit von Werkstoffen in Abhängigkeit vom  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalt aufgezeichnet. [Tabelle 4.8](#) zeigt die Einteilung der feuerfesten Werkstoffe nach den Grenzwerten der Hauptbestandteile, also  $\text{SiO}_2$  bei den sauren Erzeugnissen,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bei schamotte- und tonerereichen Erzeugnissen,  $\text{MgO}$  und  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  bei den basischen. Die technologisch höchste Entwicklung feuerfester Erzeugnisse sind hochtemperaturschockbeständige Produkte, wie die Platten des Hitzeschildes von Raumkapseln und -fähren.

*Oxid- und Nichtoxidkeramik:* In der Hochleistungskeramik (High-Tech Ceramics), die zum Beispiel Halbleiter, Supraleiter, Katalysatorträger, Motorenteile, Turbinen, Schneidwerkzeuge und medizinische Implantate ([Abbildung 4.23](#)) umfasst, werden heute ausschliesslich synthetische Rohstoffe verwendet. Nur noch chemisch reine Oxide, Karbide, Nitride und Fluoride fast aller Kationen des Periodensystems der Elemente genügen für solche Erzeugnisse.

### 4.5.3 ROHSTOFFE

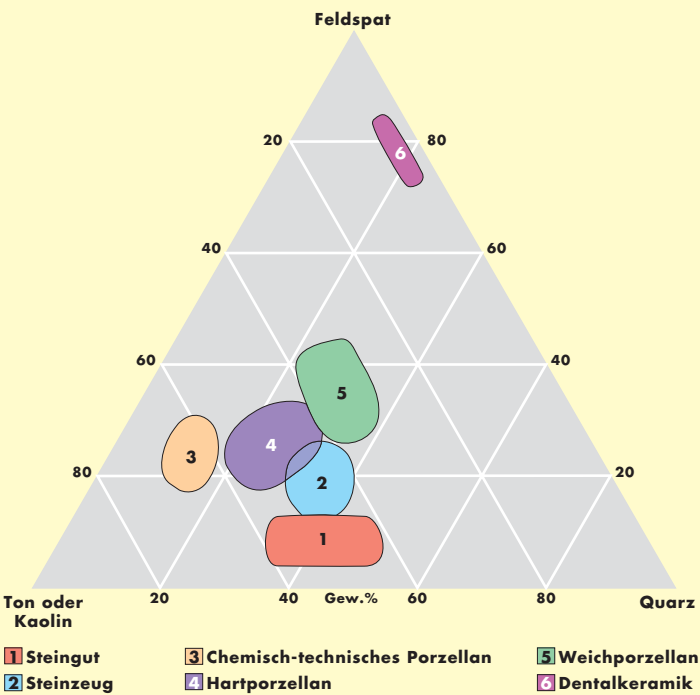
Für die Herstellung der porösen und dichten *Silikatkeramik*, *Feuerfest-Keramik* und teilweise der *Oxidkeramik* verwendet man natürliche Rohstoffe (Tone und Gesteine). In der Schweiz werden sie zur Hauptsache (Ausnahmen: [siehe 4.5.3.2](#)) nicht mehr dem einheimischen Boden entnommen, sondern aus dem näheren und fernen Ausland importiert. [Tabelle 4.9](#) zeigt die mineralogischen und chemischen Werte einiger häufig gebrauchter ausländischer Kaoline und Tone. Gegenüber Kaolin, dessen Hauptmineral Kaolinit ist, zeichnen sich die Tone durch Illit und andere glimmerartige Minerale aus. Schweizerische Tone, selbst wenn sie reich sind an Kaolinit oder Illit, weisen viel zu hohe Anteile an Eisen und anderen färbenden Elementen auf. Auch sind sie meist kalkhaltig, wodurch das Brennverhalten der Massen nachteilig beeinflusst wird. Das Temperaturintervall zwischen Sinterung und Erweichung wird damit zu eng. Die Heterogenität der Tonminerale, ihr stark schwankender Anteil, ihre schlecht ausgebildete oder gestörte Kristallstruktur und die meistens sehr grobe Korngrösse der Tonfraktion erschweren oder verunmöglichen die Fabrikation von Produkten mit normgerechten Eigenschaften.

Tabelle 4.9: Mittelwerte einiger Kaoline für Porzellanmassen und Tone für Steinzeugmassen [gekürzt nach Salmang und Scholze, 1983].

EIGENSCHAFT	KAOLINE				TONE			
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Korngrößen in Gew.-%</b>								
Kornklasse > 63 µm	0.0	0.1	0	1.4	0.3	3.3	1.3	1.0
63 – 20 µm	0.2	3.4	1	10.4	0.6	1.3	3.9	4.7
20 – 6.3 µm	18.3	20.6	11	23.6	0.6	6.5	8.1	13.8
6.3 – 2.0 µm	36.5	31.9	24	21.6	2.6	14.4	18.5	13.9
< 2.0 µm	45.0	44.0	64	43.0	95.9	74.5	68.2	66.6
<b>Chem. Analyse (getrocknet bei 110°C)</b>								
Gew.-% SiO <sub>2</sub>	48.5	47.1	46.9	51.9	50.4	57.7	57.0	55.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36.0	37.3	37.3	34.3	31.1	24.6	26.0	23.3
TiO <sub>2</sub>	0.4	0.5	0.3	0.1	1.3	1.9	1.4	0.9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	0.9	0.9	0.5	3.3	4.2	3.2	9.5
CaO + MgO	0.4	0.7	0.7	0.3	1.0	0.4	1.4	0.7
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	2.1	1.5	1.1	1.0	1.5	2.6	0.9	2.5
Glühverlust	12.1	12.0	12.8	11.9	11.4	8.6	10.1	7.6
<b>Mineralanalyse (nach verschiedenen Methoden)</b>								
Gew.-% Kaolingruppe	80	90	90	72	76	48	62	32
glimmerhaltige Minerale	11	2–3	7	11	8	14	10	28
Montmorillonitgruppe	—	—	—	1–2	5–8	12	5	Sp.
Quarz	2	2	2	14	6	19	20	27
Feldspatgruppe	6	5–6	—	1–2	1–2	3–4	—	1–2
sonstige Minerale	Sp.	—	—	—	2–3	3	3	11

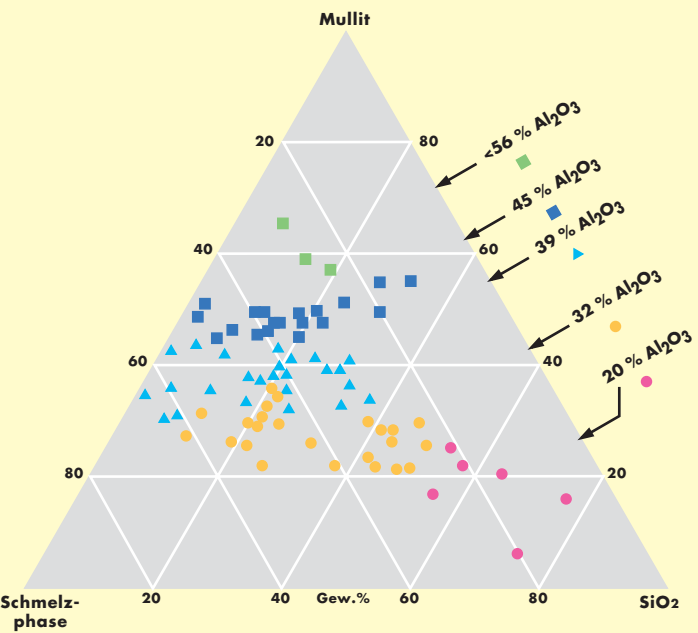
Herkunft: Kaoline 1 und 2: Bayerische Oberpfalz D; 3: Zettlitz CR; 4: Burela E  
Steinzeugtone: alle Rheinland-Pfalz D.

Silikatkeramische Werkstoffe



4.18

Phasenbestand von Schamottesteinen



4.19

Abbildung 4.18: Lage einiger silikatkeramischer Werkstoffe im Dreistoffsystem Ton bzw. Kaolin – Feldspat – Quarz (vereinfacht nach Salmang und Scholze, 1983).

Abbildung 4.19: Phasenbestand von Schamottesteinen mit unterschiedlichem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt [Salmang und Scholze, 1983].



Der für *Steatitprodukte* verwendete Speckstein ist meistens ägyptischer, australischer oder brasilianischer Herkunft. Schweizerischer Speckstein ist zu grobkristallin und zu eisenreich, so dass das Endprodukt zu schlechte elektrische Werte aufweisen würde.

Zur Gewinnung der Basisstoffe für *Hochleistungskeramik* geht man oft von natürlichen Rohstoffen aus, insbesondere beim Aluminiumoxid. Wirtschaftlich nutzbare Ressourcen, etwa Lagerstätten von Bauxit, fehlen in der Schweiz. Das noch 1969 erwähnte «wissenschaftlich interessante, praktisch wohl bedeutungslose Bauxitvorkommen (mit Diaspor) in den Kalkalpen im Rhonetal bei Monthey» [de Quervain, 1969] ist nicht mehr auffindbar. Dagegen sind Vorkommen von Mineralien kartiert und untersucht worden, die für die Herstellung von feuerfester Hochleistungskeramik (z.B. für Hitzeschilde) wichtig wären: Sillimanit bei Roveredo, Andalusit und Disthen (Kyanit) im Val Calanca sowie Disthen am Pizzo Forno TI, für den sich sogar die amerikanische Raumfahrtbehörde NASA interessierte. Leider trifft für alle diese Lagerstätten zu, was für den Walliser Bauxit gilt: wissenschaftlich sehr interessant, wirtschaftlich aber unbedeutend.

*Silika-* und *basische Erzeugnisse* wurden in der Schweiz nie produziert. Die hierfür notwendigen Rohstoffe Quarz, Feldspat, Magnesit, Dolomit, Disthen und andere sind nirgends in abbauwürdiger Menge und Reinheit vorhanden.

#### 4.5.3.1 Feuerfeste Tone

In der [Tabelle 4.10](#) sind die Analysen einiger häufig gebrauchter feuerfester Tone zusammengefasst. Weil der Tonerdegehalt schweizerischer Tone auch im günstigsten Fall 36%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nicht überschreitet, lassen sich damit nur Schamottesteine der unteren Feuerfestigkeitsbereiche erzeugen, die vorwiegend als Hafnerware, zum Bau von Kachelöfen und Cheminées, in seltenen Fällen auch für Kamine, eingesetzt werden. Für Industrieöfen, Verbrennungsanlagen, Giess-Systeme der eisen- und nichteisenverarbeitenden Industrie, Glaswannen und Wärmerekuperatoren werden feuerfeste Produkte benötigt, deren  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalt über 46% liegt. Dafür verwendbare Tone und Schamotten müssen aus dem Ausland importiert werden. Auch die Rohstoffe für basische und Sondererzeugnisse, wie Magnesit, Chromit, Forsterit und Dolomit, Kohlenstoff und Graphit müssten eingeführt werden, wenn schweizerische Feuerfestwerke eingerichtet wären, um solche Produkte herzustellen. Für Produkte im Anwendungsbereich von etwa 900–1000°C nutzt man am häufigsten den kaolinreichen Bo-

luston der eozänen Bohnerzformation (Analyse in [Tabelle 4.10](#)). Man findet ihn in Karstlöchern des Malms, als Rückstandssediment einer verwitterten Überdeckung fraglichen Alters (Kreide ?; [Abbildung 4.22](#)). Das Hauptabbaugebiet liegt in der Umgebung von Lohn SH (vergleiche [Abbildung 4.20](#)). Aus diesem Ton werden saure Schamottesteine ([Tabelle 4.10](#)) mit dem Handelsnamen Erzsteine (so benannt wegen ihrer roten Farbe und in Anlehnung an die Bohnerzformation) und Hafnerware hergestellt. Bis etwa 1975 fand der Boluston auch Eingang in die Fabrikation von Kanalisationsrohren aus Steinzeug. Noch wird Boluston in Mischungen von Ziegel-Engoben eingesetzt (Färbung durch Oberflächenschicht; vergleiche [Kapitel 3.3.2.6](#)). Ebenfalls auf dem Schaffhauser Reiat, im Gebiet von Lohn und Büttenhardt wird Feinsand der Brackwassermolasse abgebaut und als Magerungsmittel zum Boluston gemischt. Dem gleichen Zweck diene auch der etwas quarzreichere Graupensand der Brackwassermolasse (späte Obere Meeresmolasse). Die größte Fraktion des Graupensandes diente bis 1981 als Streusand im Ofenbesatz und als Quarzanteil in Porzellanmassen für Hochspannungsisolatoren. Dieser Quarzsand wurde aus Benken ZH bezogen (vergleiche dazu auch [Kapitel 4.1.2.5](#) und [4.2.5.2](#)).

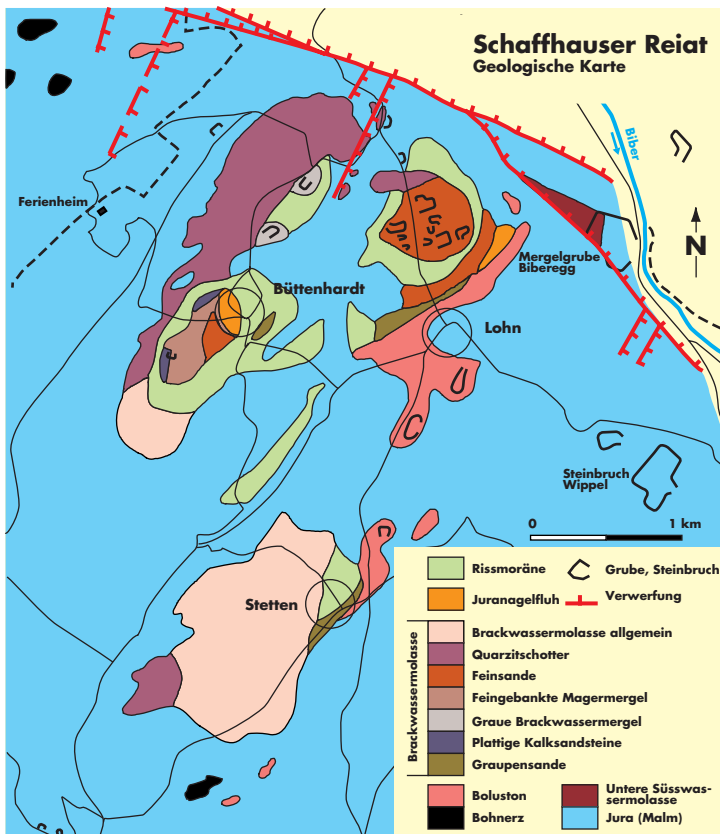
Ein weiterer von der Feuerfest-Industrie in geringen Mengen heute noch genutzter einheimischer Rohstoff ist Huppererde. Dieses magere, erdige Gestein, das meistens zu 70–90% aus Quarzkörnern besteht, die in einen kaolinitischen Ton eingebunden sind, gehört ebenfalls der eozänen Bohnerzformation an und findet sich auch in Karstaschen des Malms, vorwiegend in den westlichen Juraketten. Das am längsten bekannte Vorkommen in der Umgebung von Lausen BL gab schon vor 1900 Anlass zur Fabrikation von Trinkgefässen. Später wurde Huppererde für die Fabrikation von Steinzeug und Klinkerplatten verwendet. Heute dient sie noch der Herstellung saurer Schamottesteine.

**Tabelle 4.10: Chemische Analysen feuerfester Tone schweizerischer und ausländischer Herkunft in Gew.-%.**

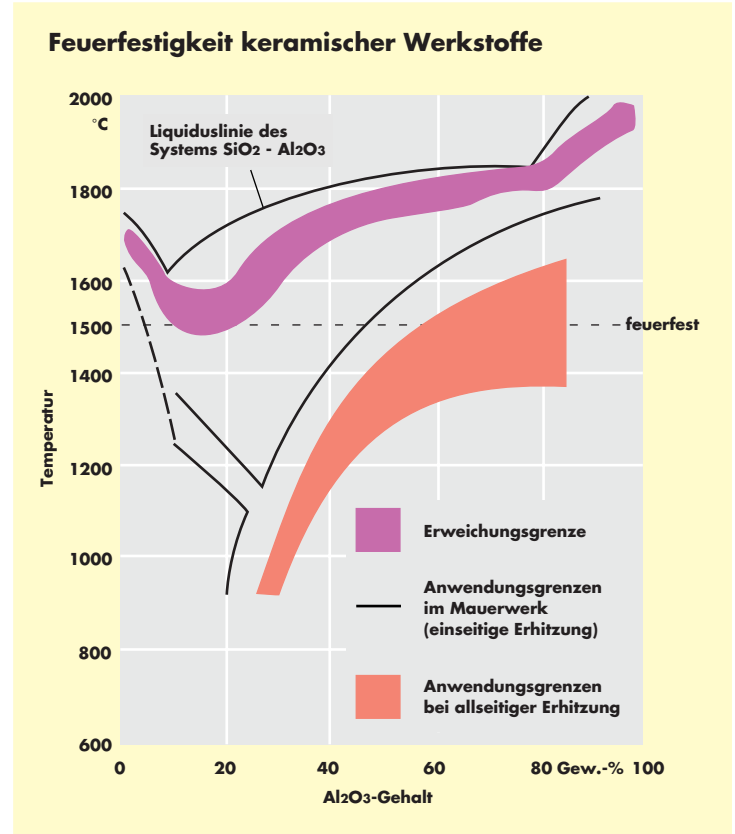
	1	2	3	4	5	6
$\text{SiO}_2$	80.46	42.01	46.33	53.76	51.6	51.7
$\text{Al}_2\text{O}_3$	11.01	28.95	35.39	40.41	43.6	46.9
$\text{TiO}_2$	0.99	2.60	2.7	1.00	0.8	—
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1.57	13.40	1.93	1.85	1.6	0.5
CaO	0.26	0.66	0.48	0.09	0.4	—
MgO	0.17	0.27	0.11	0.07	0.6	0.2
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	1.64	1.29	0.95	2.82	1.4	—

Herkunft: 1 Huppererde, Lausen; 2 Boluston rot, Lohn SH; 3 Boluston weisslich, Lohn SH; 4 Blauton, Rheinland-Pfalz; 5 Schwarzenfeld, Oberpfalz; 6 Schiefertone, Böhmen.

(Analysen nach de Quervain 1969 und Lieferanten-Analysen).



4.20



4.21



4.22



4.23

Abbildung 4.20: Karte der Vorkommen keramischer Rohstoffe auf dem Schaffhauser Reiat (Lohn-Büttenhardt): Boluston, Feinsand und Graupensand [Hofmann, 1991].

Abbildung 4.21: Feuerfestigkeit von Werkstoffen im System SiO<sub>2</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [vereinfacht nach Salmang und Scholze, 1983].

Abbildung 4.22: Blick in die Boluston-Grube von Lohn SH. Die unregelmässige Ebene im Vordergrund entspricht etwa dem tiefsten abbaubaren Horizont. Eine tiefer ausgebeutete Tasche ist wassergefüllt. In der Steilwand sind weissli-

che und rötlich-gelbe Bänder des kaolinitischen Bolustones erkennbar.



### Aus der Geschichte der Töpferwaren – Herstellung von tönernen Gebäckmodellen aus Rohstoffen von Lohn SH.

Um etwa 1645 liessen sich in Lohn zwei deutsche Hafner aus der Kurpfalz nieder, die hier – offenbar aufgrund der vorhandenen und bekannten keramischen Rohstoffe – das Kunsthandwerk des «Bossierens», d.h. der Herstellung von Tonmodellen als Formen für Kleingebäck (**Abbildung nebenan**) begründeten. Dieses Handwerk wurde von den Nachfolge-Generationen über 200 Jahre lang weitergepflegt. Tonmodelle aus Lohn finden sich im Museum zu Allerheiligen in Schaffhausen, im Schweizerischen Landesmuseum in Zürich und in einer Reihe weiterer Museen. Eine besondere Publikation darüber wird von G. Seiterle und H.-P. Widmer vom Schaffhauser Museum aus vorbereitet. Zur Herstellung der Tonmodelle wird zunächst ein Positivmodell (Patriz) aus Ton geformt, gebrannt und anschliessend als Modell zur Erzeugung von Negativformen (Matrizen) aus dem gleichen keramischen Material verwendet. Offenbar eignete sich der Rohstoff von Lohn dazu besonders gut.

Die sedimentpetrographische Untersuchung eines gebrannten Modells und die röntgenographische Identifikation des verwendeten Materials ergaben, dass das Material aus Illit und Quarz besteht. Völlig auszuschliessen ist damit die Verwendung des ebenfalls in Lohn vorkommenden kaolinitischen Bolustons, vielmehr stammt das Material offenbar aus der Brackwassermolasse von Lohn, die als Ablagerung von Feinsanden, Silten und mageren Tonen in dieser Form auf dem Gebiet der Schweiz und weit darüber hinaus nur auf der Hochfläche von Lohn vorkommt (siehe **Abbildung 4.20**).

Diese Sedimente sind kalkfrei und teilweise feinglimmig. Als Schwerminerale wurden besonders Granat und Staurolith gefunden, was für diese Sedimente typisch ist (Ur-Iller-Schüttung).



4.24

#### 4.5.3.2 Tone für Irdengut und Töpferwaren

Irdengut und Töpferwaren werden in zahlreichen kleinen Werkstätten, meistens in Handarbeit, hergestellt. Grösstenteils wird die hierfür benötigte Masse von Lieferanten fertig aufbereitet bezogen, denn eine eigene Aufbereitung mit kostspieligen Mahl- und Rührwerken, Quirlbecken und Filterpressen einzurichten, lohnt sich kaum. Weil immer mehr mit farblich stark abgestuften, auf feine Farb- und Glanzübergänge getrimmten Glasuren gearbeitet wird, sind auch die Töpfer auf wohldefinierte Massen angewiesen, die bei konstanter Zusammensetzung auch konstante Eigenschaften, hauptsächlich im Brennverhalten, aufweisen.

Nur noch wenige einheimische Rohstoffe können erfolgreich eingesetzt werden. Es sind dies bunte Mergel der unteren Süsswassermolasse von Messen SO, graue Mergel der oberen Süsswassermolasse von Berg TG, oberpliozäne kalkfreie, teils magere, teils fette kaolinitische Tone mit ziegelroter bis gelblicher Brennfarbe von Bonfol in der Ajoie JU, Alluviallehme im Aaregebiet bei Heimberg und Oberdiessbach BE, Alluviallehme der Dünnern bei Ädermannsdorf SO, entkalkte und kalkführende quartäre Schwemmlehme von Einsiedeln SZ und Weiningen.

**Abbildung 4.23:** Hochleistungskeramik: Hüftgelenkskugeln werden hauptsächlich aus Aluminiumoxid, seltener auch aus Zirkonoxid hergestellt. Fabrikationsgang (im Uhrzeigersinn von oben links): Pulverförmige Roh-

masse, isostatisch gepresster Rohling, verputzte Rohkugel, bei rund 1500°C in oxidierender Atmosphäre gesinterte und heissisostatisch nachgepresste Kugel (Schwindung um 30%), nach Präzisionsschliff polierte und schliesslich für die

#### 4.5.4 FABRIKATION

Zur wirtschaftlich tragbaren Herstellung technischer Keramik ist modernste Technologie einzusetzen. Dazu gehören computergesteuerte Dosierung und Aufbereitung der Masse, voll mechanisierte und automatisierte Formgebung, Glasieretechnik (Roboter), Trocknung (Ultraschall) und wenn immer möglich ein Schnellbrandverfahren. Zur Formgebung werden, abgesehen vom traditionellen Eindrehen, Strangpressen und Schlickergiessen, jene Verfahren angewandt, die man aus der Pulvermetallurgie und der Kunststoff-Fertigung kennt, nämlich Pulverpressen, Heisspressen (bei dem Formgebung und Sinterung in einem einzigen Fabrikationsschritt zusammengefasst sind), isostatisches Pressen und Druckspritzguss. Alle genannten Methoden sind nur anwendbar, wenn die Rohstoffe so beschaffen sind, dass sie keine zu Ausschuss führenden Störungen verursachen.

Um die Fertigung störungsfrei durchziehen zu können, müssen Rohstoffe von hoher und konstanter Qualität gewonnen werden können. Das verlangt Abbaumethoden, die qualitative Sortierung, gelegentlich auch Vorbehandlung der Rohstoffe durch Schlämmen, Trocknen, Brechen, Mahlen und Sortieren nach Korngrössen am Gewinnungsort zulassen. Auf

**Halterung gebohrte Kugel. Unten** Stahlschaft mit keramischer Hüftgelenkskugel.

**Abbildung 4.24:** Gebäckmodell aus Ton der Brackwassermolasse von Lohn SH (ungefähr Originalgrösse).



schweizerischen Lagerstätten, die, wenn überhaupt vorhanden, klein, tektonisch vielfach gestört und faziell rasch wechselnd sind, kann ein den heutigen Ansprüchen genügender Abbau, verbunden mit der vom Abnehmer verlangten Qualitätssicherung, nicht mit wirtschaftlich tragbarem Aufwand eingerichtet werden. Sogar in Zeiten gestörter Einfuhr käme die Nutzung kaum mehr oder nur nach langdauernden Versuchen, grossen Umstellungen in der Fabrikation und Verzicht auf hochstehende Qualität der Endprodukte in Frage. Einzelne Zweige, beispielsweise in der Steinzeugindustrie, welche Kanalisationsrohre, Tröge für die Landwirtschaft, Gefässe für den Gartenbau und für die chemische Industrie Rohre, Becken und Pumpen herstellten, haben die Fabrikation aufgegeben. Früher noch genutzte Gruben, beispielsweise in der Ajoie bei Bonfol JU und im Schaffhauser Randen wurden aufgelassen und haben sich in heute geschützte Biotopie verwandelt.

#### 4.5.5 AUSSICHTEN

Der Standort Schweiz ist für die keramische Industrie schlecht, weil hinsichtlich der Versorgung mit einheimischen mineralischen Rohstoffen unser Boden karg ist ([vergleiche 4.5.3.1](#)) und industrielle Betriebe, um automatisiert und computergesteuert produzieren zu können, auf Rohstoffe mit sehr wenig variierendem mineralogischem Aufbau angewiesen sind. Nur wenn Massen aufbereitet werden können, deren Rheologie, Trocknungs-, Schwindungs- und Brennverhalten konstant sind, lassen sich keramische Produkte erzeugen, deren chemische und physikalische Eigenschaften innerhalb normierter, eng tolerierter Werte liegen. Weil ausländische Rohstoffe allgemein mit sehr hohen Transportkosten belastet sind, muss eine hohe Wertschöpfung erreicht werden. Ein Weg in die Zukunft ist die Schaffung hochwertiger Spezialprodukte (siehe [Abbildung 4.23](#)), die sich unter Einhaltung internationaler Prüf- und Gütewerte ins Ausland exportieren lassen. Mit mineralischen Rohstoffen, die in der Schweiz abgebaut werden, können nur wenige, auf Kunsthandwerk spezialisierte Töpfereien ihre Produkte noch herstellen.

## 4.6 DICHTUNGSTONE

Bei ungünstigem Baugrund oder bei Deponien muss die Durchlässigkeit oft mit geeigneten Materialien vermindert werden. Auch Spezialbauwerke, wie Staudämme mit Schwerkheitsmauern aus Schüttungsmaterial, werden mit wenig durchlässigen Kernmaterialien abgedichtet. Neben Zement, verschiedenen Spezialmörteln, Bauchemikalien und Kunststoff-Dichtungsbahnen gelangen auch sogenannte Dichtungstone zur Anwendung. Als solche werden mineralische, tonhaltige Materialien bezeichnet, deren hydraulische Durchlässigkeit gering genug ist, um das Durchsickern von Flüssigkeiten entsprechend den im Einzelfall zu stellenden Anforderungen zu begrenzen. In der Regel ist ein Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  (nach Darcy) kleiner als  $10^{-9}$  m/s gefordert. Je nach Art der zurückzuhaltenden Flüssigkeit (Deponiesickerwasser) ist allenfalls die Veränderung der Durchlässigkeit, als Folge des Einflusses von Ionenaustauschreaktionen und anderen chemischen Reaktionen auf das Gefüge des verdichteten Materials, zu untersuchen. Daneben müssen auch die mechanischen Eigenschaften derart sein, dass es weder beim Bau noch beim Betrieb des Bauwerkes zu Instabilitäten oder zu Rissbildungen kommt. Für detailliertere Angaben dazu sei auf die Fachliteratur verwiesen, beispielsweise auf Lang und Huder [1994]. Gesetzliche Anforderungen für mineralische Dichtungsmaterialien, welche als Basisabdichtung von Deponien verwendet werden, sind in der Technischen Verordnung über Abfälle [TVA, 1990; Bezug via BUWAL] und in der SIA Norm 203, Deponien, verankert.

### 4.6.1 FÜR ABDICHTUNGEN GEEIGNETE MATERIALIEN

#### 4.6.1.1 Natürlich vorkommende Dichtungstone

Opalinuston des unteren Doggers im Juragebirge ist der einzige in der Schweiz vorkommende Ton, welcher in grösseren Mengen konstanter Zusammensetzung und genügender Qualität geliefert werden kann ([vergleiche auch 4.4.3](#)). Er wird als Tonpulver unter dem Handelsnamen *Opalit* vertrieben. Die Dichtungswirkung beruht auf dem hohen Gehalt an Tonmineralen. Opalinuston enthält durchschnittlich 55 Gew.% Tonfraktion, 10% Karbonate, 30% Quarz und 5% Feldspat, Pyrit und organische Verbindungen. Die Tonfraktion ( $<0.002$  mm) besteht nebst wenig Quarz ( $<5\%$ ) aus Wechschelschichtmineralen (Illit/Smektit), Illit, Kaolinit und Chlorit. Die Ionen-

tauschfähigkeit der Tonminerale basiert auf der sehr grossen aktiven Oberfläche dieser Schichtsilikate. Die gesamte Oberfläche von Opalit beträgt etwa 60 Quadratmeter pro Gramm. Sie besteht zu gleichen Teilen aus den sogenannten inneren, smektitischen Oberflächen (mixed layer Illit/Smektit) und den äusseren Oberflächen aller Minerale. Opalinuston ist, wie die meisten anderen Tone, ein Kationentauscher. Die Austauschkapazität beträgt etwa 13 mVal pro 100 g Ton. Das Wasseraufnahmevermögen ist ebenfalls gross und beträgt etwa 55 Gew.% (nach Enslin-Neff; bei 105°C ofengetrockneter Opalit). Abweichungen zu diesem Durchschnittswert beruhen eher auf unterschiedlicher Aggregatgrösse als auf Änderungen in der mineralogischen Zusammensetzung. Tonaggregate können durch Behandlung mit Ultraschall von genügender Energie zerstört werden [Müller-Vonmoos und F. Jenny, 1970]. Einige weitere Materialkennwerte von Opalit sind in [Tabelle 4.11](#) dargestellt.

Als potentielle Dichtungstone kommen auch tonige Ablagerungen der unteren Süsswassermolasse und jene der unteren mergeligen Effingerschichten in Frage. Die mergeligen Effingerschichten bilden oft die Basis aufgelassener Gruben der Zementindustrie (z.B. Bärengaben bei Würenlingen AG). Kennwerte dieser tonigen Sedimente finden sich in der Sedimentstudie der Nagra [NTB 88-25]. Kleinere Vorkommen für lokale Bedürfnisse sind quartäre Gehängelehme, Seetone und Lösslehme, mesozoische marine Tone (Kreidemergel und Lias-tone) sowie triadische Sedimente (sulfatfreie Keupermergel).

#### 4.6.1.2 Kieswaschschlämme

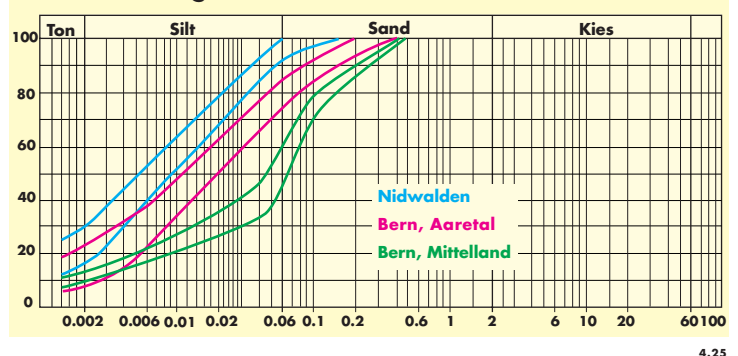
Kieswaschschlämme entstehen aus der Kiesaufbereitung (vergleiche auch [Kapitel 9.2.2](#)). Je nach Herkunft des aufbereiteten Rohstoffes (Kies) handelt es sich bei ihnen um leicht tonige Silte bis Sande. Sie erreichen im Labor meist Durchlässigkeiten von  $10^{-9}$  bis  $10^{-10}$  m/s. Ihre Kornverteilung variiert in relativ engen Grenzen, wie aus [Abbildung 4.25](#) ersichtlich ist. Die in [Tabelle 4.11](#) gezeigten Kennwerte stammen von einem Kieswaschschlamm aus dem Lutherntal LU (siehe auch [5.3.2](#)). Sie enthalten 25% Tonfraktion (<0.002 mm), 21 Gew.% Karbonat, mit einer spezifischen Oberfläche von 12 m<sup>2</sup> und einer Austauschkapazität von 9 mVal pro 100 g [Maha, 1994].

Meist eignen sich Kieswaschschlämme wegen ihrer Zusammensetzung besonders gut für verschiedene Anwendungen bei der Bewirtschaftung von Grundwasservorkommen (künstliche Anreicherung durch unterirdische Barrieren, Schutz von Grundwasserfassungen) und bei der unterirdischen Speicherung von Wärmeenergie [siehe de los Cobos, 1994].

**Tabelle 4.11: Materialkennwerte von Opalit und von einem Kieswaschschlamm.**

	OPALIT	KIESWASCHSCHLAMM
Wassergehalt (SN 670340b) Anlieferung (luftgetrocknet)	1.8–2.5 Gew.%	1.2–1.4 Gew.%
Atterberggrenzen (SN 670345a): Flie遝grenze wL Ausrollgrenze wP	44% 18%	38% 23%
Proctordichte (SN 670330b) bei Einbauwassergehalt	1.7 t/m <sup>3</sup> 20%	1.6 t/m <sup>3</sup> 22%
Scherfestigkeit (Reibungswinkel)	27°	32°
Atterberggrenzen: Wassergehalte, zwischen denen sich das Material plastisch verhält.		
Proctordichte: maximal zu erreichende Dichte bei normierter Verdichtungsenergie.		

**Kornverteilungskurven von Kieswaschschlämmen**



#### 4.6.1.3 Künstliche Gemische

Als «künstliche Gemische» sind Materialgemische zu verstehen, deren Durchlässigkeit durch Zugabe eines mineralischen Dichtungstones auf das gewünschte Mass reduziert wird. Kiessande werden beispielsweise durch Beimischung eines Dichtungstones genügend wasserdicht gemacht. Als Dichtungstone werden neben einheimischen Tönen häufig auch importierte Tonpulver mit sehr grosser Mahlfineinheit sowie hoch quellfähige Bentonite verwendet.

Tone finden bei der Sicherung von Altlasten Verwendung. Dabei wird um die Altlast herum eine Schlitzwand von genügender Dicke und Tiefe hergestellt und in eine bestehende natürliche Basisbarriere eingebunden. Labor- und Felsuntersuchungen von Hermanns [1992] über Gemische für Schlitzwandmaterialien haben gezeigt, dass eine Mischung aus 30 Gew.% Opalit, 22% sulfatbeständigem Zement, 8% Elektrofilterasche aus Kohlekraftwerken (EFA-filler) und 40% Wasser sehr günstige Eigenschaften bezüglich geringer Durchlässigkeit, Resistenz gegenüber Chemikalien und eine gute Verarbeitbarkeit besitzt.

**Abbildung 4.25: Kieswaschschlämme, ungefährer Streubereich von Kornverteilungskurven von Probenreihen verschiedener Herkunft.**

## 4.6.2 VERARBEITUNG DER MINERALISCHEN Dichtungsmaterialien

### 4.6.2.1 Mischanlagen

Eine ausreichende gleichmässige Verteilung der geringen Zugaben von hochwertigem Ton im ganzen Materialvolumen kann nur mit intensiver Zwangsmischung erzielt werden. Freifallmischer (mix-in-plant), respektive Bodenfräsen (mix-in-place) genügen nicht. Für mineralische Barrieren ist der Einbauwassergehalt von grosser Bedeutung. Er muss 1–2% über dem optimalen Proctor-Wassergehalt liegen (siehe [Tabelle 4.11](#)). Das Material muss in 20 cm mächtigen Schichten mit schweren Schaffusswalzen verdichtet werden. Nur damit wird die dem Material entsprechende minimale Durchlässigkeit erreicht.

### 4.6.2.2 Einbautechnik von Dichtungstonen

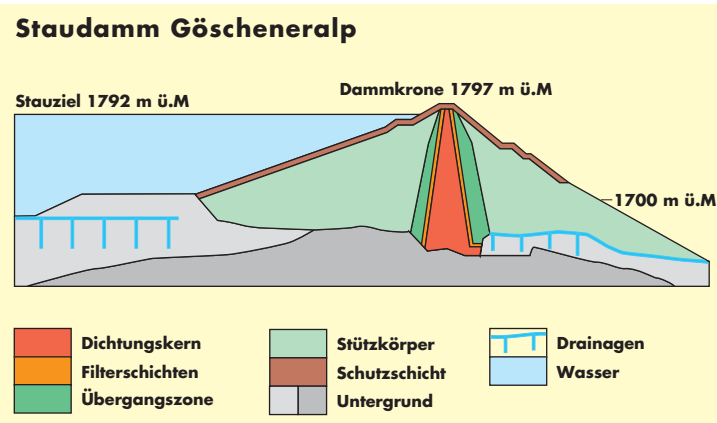
Die Dichtungsmaterialien sind so zu verarbeiten, dass ihre hydraulische Wasserdurchlässigkeit den gestellten Anforderungen entspricht. Dies bedeutet, dass das Material im Endzustand genügend homogen sein muss und keine Stellen mit grösserer Durchlässigkeit (z.B. Risse) aufweisen darf. Wird das Material an Böschungen angelegt, so muss es eine genügende Stabilität gegen Abrutschen aufweisen. Um diese Ziele zu erreichen ist in erster Linie eine genaue Kontrolle des Wassergehaltes des Dichtungsmaterials von Bedeutung. In zweiter Linie ist die Wahl der Transport-, Verteil- und Verdichtungsgeräte wichtig. Von ausschlaggebender Wichtigkeit ist aber auch die Vermeidung jeglicher Austrocknung, welche zu Schwindrissen führen kann. Nachteilige Auswirkungen kann auch der fehlende Schutz gegen Frost und Niederschläge haben.

## 4.6.3 ANWENDUNGSBEISPIELE

Künstlich gemischte, mineralische Dichtungsschichten wurden in den letzten Jahren an verschiedenen Bauten angewandt. Im folgenden sind einige Beispiele beschrieben.

### 4.6.3.1 Staudamm Göscheneralp (UR)

In den Jahren 1955 bis 1961 erstellten die Kraftwerke Göschenen auf der Göscheneralp einen Felsschüttdamm (siehe



4.26

[Abbildung 4.26](#)). Dieser Damm erhielt einen zentralen Dichtungskern aus einem künstlich zusammengesetzten Ton-Beton. Als Grundmaterial dienten die Flussschotter des Talbodens im Stauraum mit einem Maximalkorn von 100 mm. Sie wurden nach Komponenten ausgesiebt und dann mit 12 Gew.% Opalinuston (bezogen auf das Trockengewicht des Kiessandes) mittels eines Eirich-Chargen-Zwangsmischers zusammen gemischt.

### 4.6.3.2 Deponie Sass Grand (GR)

Die Basisbarriere der Deponie Sass Grand (Gemeinde Bever GR) zum Schutz des Grundwassers wurde aus einem künstlich zusammengesetzten Ton-Beton erstellt. Als Grundmaterial diente lokaler Bachschutt mit einem Maximalkorn von 30 mm, welchem 8% Opalinuston-Pulver beigemischt wurde. In der eingebrachten Barriere wurden mit dem Standrohr Durchlässigkeitskoeffizienten  $k$  von rund  $10^{-8}$  m/s ermittelt.

### 4.6.3.3 Inertstoffdeponie Ufhusen LU (Möhrenhof)

Zur Abdichtung der Inertstoffdeponie Ufhusen wurde eine technisch hergestellte mineralische Basisbarriere eingebracht. In der Etappe 1990/91 wurde lehmiges Kies-Sandmaterial aus der Kiesgrube Hüswil, abgesiebt auf die Fraktion 0–30 mm, mittels Doppelwellen-Chargenmischer mit 1.5% Natriumbentonit und 5% Opalit vermengt und eingebaut. Bei der Etappe 1992 diente gebrochene Nagelfluh aus dem Deponieraum, abgesiebt auf die Fraktion 0–40 mm, als Grundmaterial. Zur Verringerung der Durchlässigkeit wurden 1.5% Natriumbentonit und 3% Tonmehl deutscher Provenienz mittels ARAN-Doppelwellen-Durchlaufmischer beigemengt.

**Abbildung 4.26:** Schematischer Querschnitt durch den Felsschüttdamm auf der Göscheneralp (UR).



## 5 KIES UND SAND



**Kapitelinhalt**



- Autoren: Prof. Dr. Conrad Schindler, Schwerzestrasse, 8618 Oetwil am See (Koordinator, Kapitel 5.1–5.6)  
Didier Aeby, c/o Bureau Dr. Pierre Blanc, rte. du Grand Mont 33, 1052 Le Mont-sur-Lausanne (Kapitel 5.2, 5.3.4, 5.4)  
Dr. Pierre Blanc, rte. du Grand Mont 33, 1052 Le Mont-sur-Lausanne (Kapitel 5.2, 5.3.4, 5.4)  
Dr. Franz Hofmann, Rosenbergstrasse 103, 8212 Neuhausen (Kapitel 5.2, 5.3.1)  
Dr. Rainer Kündig, Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH Zentrum, 8092 Zürich (Kapitel 5.1–5.6)  
Prof. Dr. Christian Schlüchter, Geologisches Institut, Universität Bern, Baltzerstrasse 1, 3012 Bern (Kapitel 5.1, 5.3.3)  
Dr. Werner Studer, EMPA, Abt. Beton und Bindemittel, Überlandstr. 129, 8600 Dübendorf (Kapitel 5.5)  
Riet Rageth, Baugeologie Chur, Quaderstrasse 18, 7000 Chur (Kapitel 5.2, 5.3.5)  
Dr. Georg Wyssling, Dr. L. Wyssling AG, Lohzelgstrasse 5, 8118 Pfaffhausen (Kapitel 5.3.2)
- mit Beiträgen von: Dr. Adrian Baumer, Dr. A. Baumer SA, Via Locarno 60, 6612 Ascona (Kapitel 5.2)  
Dr. Peter Haldimann, Dr. Heinrich Jäckli AG, Limmattalstrasse 289, 8049 Zürich (Kapitel 5.2)  
Prof. Dr. Heinrich Jäckli (†), Ferdinand Hodlerstr. 41, 8049 Zürich (Kapitel 5.1)  
PD Dr. Peter Jordan, Kantonales Amt für Wasserwirtschaft, Abt. Geologie, Rötihof, 4509 Solothurn (Kapitel 5.2)  
Dr. René Teutsch, Fachverband für Sand und Kies FSK, Bubenbergrplatz 9, 3001 Bern (Kapitel 5.6)  
Julien Vaudan, Ingenieurgeologie ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich (Kapitel 5.2)
- Fotos: Pierre Blanc, Le Mont sur Lausanne (5.51, 5.54), David Estoppey, Ingenieurgeologie ETH-Hönggerberg (5.5, 5.8), Kieswerk Hüntwangen AG (5.31, 5.32, 5.33), KIHAG, Zell (5.45, 5.46, 5.47), Rainer Kündig, Mettmensstetten (5.66, 5.67), Heinz Leuenberger, DESAIR AG, Wermatswil (5.1, 5.20, 5.21, 5.23, 5.26, 5.35, 5.56, 5.63), Loki, Eisenbahnzeitschrift, 9403 Goldach (5.48, 5.49), Iff Kies AG, Niederbipp (Titelbild), Riet Rageth, Baugeologie Chur (5.58, 5.59), Conrad Schindler, Oetwil a. See (5.3, 5.4, 5.6, 5.12, 5.14, 5.15, 5.22, 5.24, 5.25, 5.50), Christian Schlüchter, Bern (5.7, 5.9), Jean Schneider, Zürich (5.13), Georg Wyssling, Pfaffhausen (5.37, 5.38, 5.39, 5.40, 5.42), Hans Zeindler, Geotest (5.44)

---

**Abbildung auf Vorderseite:**  
**Kies und Sand, künstlerisch**  
**dargestellt.**

## ÜBERSICHT

---

Kies und Sand stellen gewichts- und volumenmässig die wichtigste Gruppe der nutzbaren Gesteine der Schweiz dar. Die Jahresproduktion erreichte in den achtziger Jahren rund 35 Millionen Kubikmeter oder 55 bis 65 Millionen Tonnen. Dies entspricht etwa 5 bis 6 Kubikmeter (etwa 10 bis 14 Tonnen) pro Einwohner und Jahr. Der Wert des gesamtschweizerischen Kiesumsatzes lag bei rund 1.2 Milliarden Franken pro Jahr.

Seit geraumer Zeit stellt man eine zunehmende Mangelsituation fest, die zweifach begründet ist: Zum einen werden als Rohstoffe Gesteinsvorkommen abgebaut, die sich nicht erneuern und die demgemäss bereits heute in verschiedenen Gebieten als weitgehend abgebaut zu betrachten sind. Zum andern kollidiert die Nutzung der Rohstoffe mit anderen Interessen und Bedürfnissen, wodurch sich die tatsächlich abbaubaren Reserven ganz wesentlich reduzieren gegenüber den geologisch noch vorhandenen Vorkommen. Zudem sind die Vorräte geographisch sehr ungleich verteilt, so dass sich etwa im Jura, im St. Galler Rheintal und in Teilen der Westschweiz Mangelgebiete abzeichnen.

Der Abbau erfolgte einst – bedingt durch Transportprobleme – an sehr vielen Stellen, dies bei oft sehr bescheidener Qualität. In den letzten Jahrzehnten ist eine zunehmende Tendenz zu Konzentration auf regionale Grossbetriebe und zu mehr Aufwand bei der Aufbereitung festzustellen.

Innerhalb der Gruppe der Lockergesteine (inklusive wenig bis mässig zementierte Nagelfluh) bestehen die wichtigsten Kiesreserven aus jungquartären und postglazialen Flussablagerungen, daneben eignen sich aber zahlreiche weitere Typen von Vorkommen durchaus auch zur Nutzung, beispielsweise Bach- und Rüfischutt oder Bergsturzablagerungen. Je nach Verwendungszweck und Typ dieser Lockermaterialien kann dies aber eine aufwendige Aufbereitung oder ein grosses Volumen an Waschschlamm bedeuten. Auch die petrographische Zusammensetzung und die Art der Fraktionierung der Rohstoffe hat Einfluss auf die mögliche Art der Verwendung.

In der schweizerischen Kiesversorgung bestehen grosse kantonale Unterschiede. Dies ist einerseits auf die geologische Situation zurückzuführen, andererseits limitieren auch verschiedene gesetzliche Faktoren und wirtschaftliche Überlegungen den Kiesabbau. Mit einer kantonsweise gegliederten Übersicht wird im [Kapitel 5.2](#) auf die jeweiligen Kiesversorgungsregionen eingegangen und es werden Abbau-, Aufberei-

tungs- und Versorgungssituationen gezeigt. Eine tabellarische Übersicht ([Tabelle 5.1](#)) fasst die grösseren Kiesgruben der Schweiz zusammen (ab 50'000 m<sup>3</sup>). Auf einer Übersichtskarte ([Abbildung 5.27](#)) werden ferner die wichtigsten Kiesgruben mit zusammenfassenden Angaben über Menge und Art des abgebauten Materials gezeigt.

Fünf verschiedene Abbauregionen, die als stellvertretend für viele weitere schweizerische Kiesabbaugebiete betrachtet werden können, sind im [Kapitel 5.3](#) näher beschrieben. Es sind dies die grossen Abbaustellen im Rafzerfeld im Kanton Zürich, im luzernischen Lutherntal (Gettnau/Zell), bei Bioley–Orjulaz im Waadtland, in Menzingen/Neuheim im Kanton Zug und bei Reichenau im Kanton Graubünden. In diesen Beispielen werden sowohl die unterschiedlichen geologischen Bedingungen, welche zur Kiesenreicherung geführt haben, die lokalen Gegebenheiten und die Transportprobleme wie auch verschiedene Abbau- und Aufbereitungstechniken erläutert.

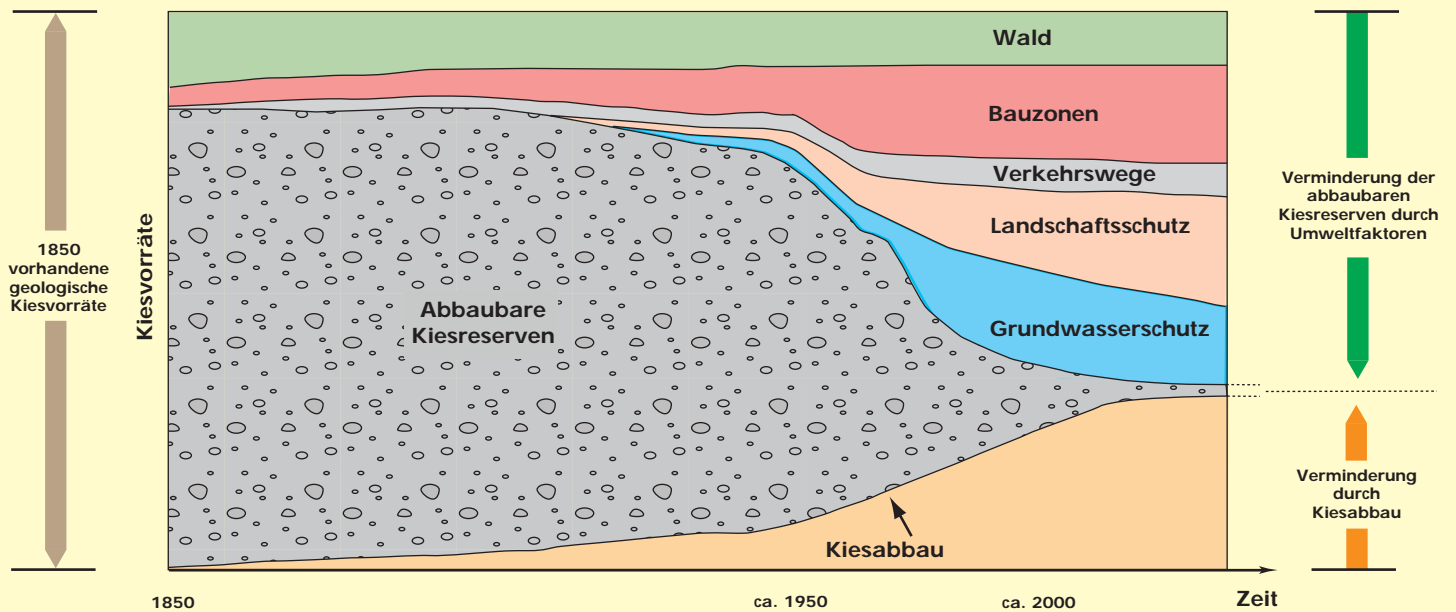
Kies-Abbauplanung und -methoden werden im grösseren Rahmen im [Kapitel 5.4](#) zusammengefasst, während im [Kapitel 5.5](#) detailliert auf die verschiedenen Anforderungen und Normen in bezug auf Kies und Sand, insbesondere auf deren physikalische und geometrische Eigenschaften, eingegangen wird. Statistische Angaben über den schweizerischen Handel mit Sand und Kies runden mit dem [Teil 5.6 das Kapitel](#) Kies und Sand ab.





5.1

### Kiesreserven : Rückblick und Prognose



5.2

Abbildungen 5.1: Eine der grössten Kiesentnahmestellen im Kanton Zürich – das Kieswerk Wil im Rafzerfeld. Zusammen mit anderen Abbaustellen im Rafzerfeld werden hier pro Jahr gegen zwei Millionen

Kubikmeter Kies und Sand entnommen (das Bild wurde im Juli 1992 aufgenommen). Das Beispiel Rafzerfeld wird im [Kapitel 5.3.1](#) detailliert geschildert.

Abbildung 5.2: Verminderung der Kiesreserven durch überlagernde Nutzungsansprüche. Dargestellt ist ein theoretischer Zeitpunkt, in welchem die verfügbaren Kiesreserven knapp sein werden, wenn die heu-

tige Abbautätigkeit und die Einschränkungen durch überlagernde Nutzungsansprüche anhalten [modifiziert nach Jäckli und Schindler, 1986].

## 5.1 DIE ROHSTOFFE UND IHRE GENESE

Zwei Hauptgruppen von Materialien kommen in der Schweiz als natürliche Rohstoffe für die Gewinnung von Kies und Sand in Frage: Einerseits kieshaltiges Lockergestein, sofern dieses qualitativ befriedigt und wirtschaftlich abgebaut werden kann, andererseits gebrochenes Gestein (siehe auch [Kapitel 6.4](#)). Als Ausgangsmaterial können zudem Steine und Blöcke dienen, welche – wie beispielsweise Findlinge – im abgebauten Lockergestein eingeschlossen sind. Eine Zwischenstellung nimmt die wenig bis mässig zementierte Nagelfluh der mittelländischen Molasse ein, da sie zwar Fels entspricht, bei geeigneter Zwischenbehandlung aber in die ursprünglichen Komponenten Sand und Kies zerfällt. Sie wird deshalb, wie schon bei Francis de Quervain (Die nutzbaren Gesteine der Schweiz, 1969), gemeinsam mit den Lockergesteinen besprochen.

In den vergangenen 25 Jahren wurden Kies und Sand immer mehr zur Mangelware, weil diese Rohstoffe sich – verglichen mit dem Abbauvolumen – gesamtschweizerisch gesehen nur sehr langsam erneuern. Regional gesehen sind sowohl die Vorräte wie auch die Zufuhr frischer Rohstoffe sehr ungleich verteilt. Mangelgebiete zeichnen sich beispielsweise im Jura, im St. Galler Rheintal und in Teilen der Westschweiz ab. Rein geologisch gesehen würde die Schweiz aber trotz allem gewaltige Vorräte an hochwertigem Kies und Sand aufweisen, doch kollidiert der Abbau dieser Rohstoffe sehr oft mit anderen Nutzungsansprüchen oder Schutzbestimmungen. Neben dem schon lange bestehenden Gesetz zur Erhaltung der Waldflächen entstanden seit 1960 zahlreiche neue Rechtserlasse, welche die tatsächlich abbaubaren Vorräte massiv reduzieren ([Abbildung 5.2](#)). Dazu gehören etwa folgende Nutzungsansprüche:

- Grundwasserschutz in vertikaler Richtung, indem der Kies in nutzbaren Grundwassergebieten nur bis etwa zwei Meter über den höchsten Grundwasserspiegel abgebaut werden soll. Falls sich das Grundwasser nach Menge und Güte für die Wassergewinnung eignet, ist eine Kiesgewinnung aus dem Grundwasser nicht gestattet (Eidg. Gewässerschutzgesetz vom 24. Januar 1991).
- Um die bestehenden Grundwasser- und Quelfassungen müssen Schutzzonen ausgeschieden werden. Innerhalb derselben ist ein Kiesabbau untersagt.
- Landschaftsschutz: Zur Bewahrung eines unbeeinträchtigten Landschaftsbildes werden schützenswerte Bereiche aus-

geschieden, in welchen neue Kiesabbaustellen in der Regel nicht bewilligt werden (Eidg. Raumplanungsgesetz, Bundesinventar der Landschaften von nationaler Bedeutung).

- Schutz der landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebiete: Kiesgruben können hier nur erstellt werden, falls ein Plan für das schonende Vorgehen beim Abbau und für die Rekultivierung vorgelegt und bewilligt werden (Eidg. Landwirtschaftsgesetz vom 3. Oktober 1951).
- Schutz des Waldes: Die bewaldeten Flächen müssen erhalten bleiben. Ein wegen Kiesabbau beantragter Kahlschlag muss auf einen Bedarfsnachweis abgestützt werden und erfordert eine Sonderbewilligung. In der Regel wird eine Wiederaufforstung verlangt (Bundesgesetz über den Wald vom 4. Oktober 1991).
- Kantonale und kommunale Zonenplanung: In den beispielsweise für Überbauungen, Industrie, Verkehrswege oder künftige Grundwasserentnahmen eingezonten Bereichen ist in der Regel kein Kiesabbau möglich (Bundesgesetz über die Raumplanung vom 22. Juni 1979 und kantonale Planungsgesetze).
- Unmöglich ist zudem der Kiesabbau im Bereich bereits bestehender Strassen und Bahnlinien.

### 5.1.1 LOCKERGESTEINE UND WENIG BIS MÄSSIG ZEMENTIERTE NAGELFLUH

Hier soll vorerst eine Übersicht über die wichtigsten in der Vergangenheit zur Gewinnung von Sand und Kies abgebauten Typen von Lockergestein gegeben werden. In [Kapitel 5.2](#) wird auf die regionale Verteilung eingegangen. Selbstverständlich bestehen sehr grosse Qualitätsunterschiede und wechseln die Anforderungen je nach Art der Verwendung, was in [Kapitel 5.5](#) besprochen wird. Für eine detailliertere Besprechung sei hier auf die Publikation «Möglichkeiten der Substitution hochwertiger Alluvialkiese durch andere mineralische Rohstoffe» hingewiesen [Jäckli und Schindler, 1986].

#### *Spät- und postglaziale fluviatile Ablagerungen*

a) *Ablagerungen grosser Flüsse*: Der von den heutigen Flüssen transportierte Kies zeigt sehr deutlich die Anreicherung der widerstandsfähigeren Gesteine mit Zunahme der Entfernung vom Ursprungsort. Gewöhnlich bleibt die Beimengung von Feinmaterial dank dem natürlichen Waschprozess gering. Probleme können aber durch die Einlagerung von Holz oder aber durch viele Plättchen von Glimmer entstehen. Die Lage des Flussbetts wechselte während der Ablagerung vor der Fluss-





5.3



5.4



5.5



5.6

korrektur häufig, weshalb die Kornzusammensetzung seitlich, und in noch grösserem Masse im Vertikalprofil, stark variiert. Vor der Zeit der massiven menschlichen Eingriffe – Korrektion der Gewässer, Stau von künstlichen Seen – erfolgte der Absatz von Kies und Sand von den obersten Talstufen an auf allen Strecken mit geringem Gefälle. In sehr vielen Fällen hinterliessen die eiszeitlichen Gletscher bei ihrem Abschmelzen allerdings tiefe Seen, welche grösstenteils mit kiesarmem, überwiegend feinkörnigem Sediment gefüllt wurden. Je nach Zufuhr von grobdetritischem Material entstand noch unterhalb des damaligen Seespiegels in wechselnder Mächtigkeit ein kiesig-sandiges Delta. Meist liegen derartige Vorkommen unterhalb des heutigen Wasserspiegels und dürfen wegen des Grundwasserschutzes nur unter Auflagen abgebaut werden (Vierwaldstättersee). Die Ablagerungen der spät- und postglazialen Flüsse haben für die Kiesgewinnung nur oberhalb der

Alpenrandseen praktische Bedeutung. Wird die Talebene breit und das Gefälle bescheiden, so schalten sich häufig feinkörnige Überschwemmungsablagerungen und auch organisches Material ein, dies sowohl seitlich, im Vertikalprofil, wie auch als Deckschicht (z.B. St.Galler Rheintal, Linth unterhalb Näfels). Mit wenigen Ausnahmen, wie der Maggia, sind die grösseren Flüsse heute korrigiert, weshalb eine Entnahme von frisch abgelagertem Kies und Sand nur noch im Delta oder an geeigneten Stellen im Flussbett möglich ist. Verglichen mit dem Abbau von hochwertigem Alluvialkies in der Schweiz liegt der Abbau aus Flüssen und Deltas (inklusive Bäche) bei rund 10 Prozent des Bedarfs.

*b) Bach- und Murgangablagerungen (Rüfischutt):* Spät- und nacheiszeitliche Bach- und Murgangablagerungen von Wildbächen und kleinen Flüssen finden sich vielerorts in den Alpen

**Abbildung 5.3:** Gletschnahe Deltaablagerung aus der Würmeiszeit. Charakteristische Schiefschichtung, oft wenig abgestufte Kornverteilung. Die beige Lagen enthalten viel Feinsand. Standfest, da glazial vorbelastet. Kiesgrube Langfuhr bei Gossau ZH.

**Abbildung 5.4:** Murgangablagerung, rezent. Sediment mit allen Fraktionen von Ton bis Blöcke, unsortiert, z.T. kantig, Einschlüsse von Holz. Der Bagger wurde von einem zweiten Murgang erfasst. Varuna bei Poschiavo GR, 1987.

**Abbildung 5.5:** Spätglazialer Bergsturz Stanserhorn-Kernwald (OW/NW). Kiesgrube Kohlwald. Bergsturzablagerung. Gemisch zwischen Silt und Blöcken. Trümmer aus Kalk, oft kubisch. Anreicherung grosser Trümmer an der Oberfläche wegen Auswaschung von Feinmaterial.

**Abbildung 5.6:** Schutthalden aus Karbonatgesteinen der Trias. Konische Form mit Anreicherung der gröberen Komponenten gegen unten, grosse kubische Blöcke können ins Vorfeld hüpfen. Schweiz. Nationalpark, nahe Ofenpass (GR).



und in der subalpinen Molasse. Kleinere Vorkommen liegen auch im Jura und in der flachliegenden Molasse. Sie bauen Schuttkegel und Talböden auf und können bedeutende Kubaturen erreichen. In den würmeiszeitlich nicht oder nur sehr kurzfristig vergletscherten Gebieten sind analoge, aber kaltzeitlich entstandene Ablagerungen dieser Art vorhanden (z.B. im Napfgebiet). Es handelt sich um Geschiebe, welches bei Hochwasser verfrachtet wurde. Die Materialzusammensetzung widerspiegelt die petrographisch-geologischen Verhältnisse eines meist relativ kleinen Einzugsgebiets. Rundung und Auslese der Komponenten sind wegen der kürzeren Transportwege schlechter als bei den Flusskiesen: deswegen kann der Anteil an weichen oder angewitterten Gesteinen beträchtlich sein. Ausnahmen ergeben sich bei Umlagerung bereits gerundeten Materials, so beispielsweise von Nagelfluh. Häufig enthalten Bach- und Rüfmaterial wenig Grob- und Mittelsand, dagegen viel Anteil mit Durchmesser unter 0.02 mm (Durchschnitt 3–4%). Im Jura, aber oft auch im Mittelland, ist Bachschutt oft ausgesprochen lehmig. In postglazialen Ablagerungen findet sich häufig Holz.

Ablagerungen von Murgängen werden in einem breiartigen Wasser-Geschiebegemisch mit teilweise hohen Fließgeschwindigkeiten verfrachtet. Demzufolge sind sie meist schlecht sortiert. Weiche Gesteine, wenig gerundete bis nahezu kantige Komponenten, feinkörnige Komponenten und Holzresten treten gehäuft auf, daneben aber auch Steine und Blöcke. Diese groben Trümmer müssen ausgeschieden werden und können allenfalls gebrochen oder für andere Zwecke verwendet werden. In Kiessammeln oder ausserhalb des Bachbetts können bei Hochwasserkatastrophen (z.B. 1987) innert kurzer Zeit grosse Mengen von Rüfi- und Bachschutt abgelagert werden, welche rasch ausgeräumt werden müssen, sich also als kieselhaltigen Rohstoff anbieten. Dessen Qualität muss allerdings von Fall zu Fall näher geprüft werden. Kaltzeitliche Ablagerungen von Bach- und Rüfischutt weisen ähnliche Eigenschaften wie warmzeitliche auf, doch findet sich hier nur selten Holz, während angewitterte Komponenten häufiger sein können.

### Jungquartäre Schuttbildungen

*a) Bergsturzablagerungen:* Bergstürze ereigneten sich in der Schweiz häufig und sind insbesondere in den Alpen weit verbreitet. Die grössten Massen brachen in der Endphase der letzten Eiszeit oder kurz darnach nieder (z.B. Flims, Glarus-Klöntal, Kernwald). Kennzeichen solcher Ablagerungen ist

einerseits das Vorkommen grosser Blöcke und felsartiger Komplexe, welche je nach Ausgangsgestein und Sturzgeschehen stark zerrüttet sein können. Andererseits tritt häufig auch viel Feinanteil auf, welcher neben Sand auch viel Silt enthält. Es handelt sich um natürlich gebrochenen Fels mit überwiegend kantigen bis kantengerundeten Komponenten verschiedenster Grösse. Zu diesem Erscheinungsbild gibt es allerdings Ausnahmen, wie Stürze aus Tonschiefern mit plattigem Schutt und lehmiger Grundmasse (z.B. Elm) oder solche aus Serpentin Gebieten (z.B. Davos-Totalp) mit überwiegend feinkiesigem Schutt und teilweise rundlichen Komponenten (umgrenzt durch verschiedene Systeme von Rutschharnischen). Die petrographische Zusammensetzung kann sehr einseitig sein und sich auf einen einzigen Gesteinstyp beschränken, was in einzelnen günstigen Fällen zu ansprechender Materialqualität führt (z.B. Kalk im Kernwald-Sturz). Andere Bergstürze sind sehr heterogen aufgebaut. Sehr häufig sind Sturzablagerungen von Wald bedeckt; oft liegen sie in einer geschützten Landschaft, was die Möglichkeit zum Abbau stark einschränkt.

*b) Gehängeschutt:* Postglaziale Schuttbildungen dieser Art beschränken sich weitgehend auf den alpinen Raum, sind hier aber sehr verbreitet. In den vegetationsarmen Kaltzeiten, wie zum Beispiel im Spätglazial, bildete sich aber auch im Jura und im Mittelland häufig Gehängeschutt, sofern das Gebiet nicht vom Gletscher bedeckt war. Zeitweise lagen grosse Teile der Schweiz im Einflussbereich des Permafrosts. Bei Gehängeschutt führte dies zu ungewöhnlichen Ablagerungsbedingungen und zu einer moränenähnlichen, im Detail sehr wechselhaften Kornverteilung. Der relativ hohe Anteil an Feinmaterial wirkt sich in diesen Fällen, ebenso wie im meist lehmigen fossilen Gehängeschutt aus dem Mittelland und Jura, für einen Abbau ungünstig aus. Die Zusammensetzung und die Kornverteilung im Gehängeschutt ist von der Petrographie des Liefergebiets abhängig, wobei gelegentlich auch Lockergestein zugeliefert wird. In der Regel sind die Komponenten kantig bis kantengerundet. Eine Ausnahme bilden nagelfluhreiche Bereiche in der mittelländischen Molasse, wo im Schutt gerundeter Kies und mürbe Blöcke in einer lehmigen, rutschenfalligen Grundmasse eingebettet sind. Im subalpinen Bereich zerfallen die Trümmer aus Nagelfluh und Sandstein zwar nicht mehr, die Grundmasse bleibt aber ähnlich.

Wo in den Alpen oder im Jura Karbonatgestein mit tonhaltigen Sedimenten wechsellagert, besteht der Hangschutt aus grösseren oder kleineren Trümmern von Kalk oder Dolomit;





5.7



5.8



5.9

Abbildung 5.7: Der Waiho-Fluss in Neuseeland als Schmelzwasserbach des Franz-Josef-Gletschers. Sommerliches Niedrigwasser, charakteristische Zopfmustermorphologie. Solche riesige Schmelzwasserflüsse haben die Gletschervorfelder des eiszeitlichen Mittellandes geprägt.

Abbildung 5.8: Edisried OW. Murgangablagern aus Seitental an den würmeiszeitlichen Aare-Brünig-Gletscher. Talseitig ist die Stau-terrasse steil abgegrenzt, dort ist vereinzelt eindeutig erratisches

Material (Kristallin) vorhanden, zudem sind Staucherscheinungen sichtbar.

Abbildung 5.9: Ausgeprägte Ereignisschichtung im unmittelbaren Vorfeld eines Alpengletschers; proximale Fazies mit flächenhafter Ablagerung (sheet flow) bei Hochwasser.



dazwischen liegt etwas Füllmasse, welche arm an Sand, aber reich an Silt und Ton ist. Weiche oder stark angewitterte Trümmer tragen zum wenig günstigen Bild bei. Bessere Bedingungen für einen Abbau bieten dagegen Schutthalden, welche ausschliesslich aus Trümmern von Kalk, Dolomit, Kieselkalk oder gut zementiertem Sandstein bestehen. Sie enthalten zwar nur wenig Sand und gelegentlich etwas Holz: im übrigen sind sie aber mit gebrochenen Gesteinen des gleichen Typs zu vergleichen. Der Anteil an Steinen und Blöcken kann beträchtlich sein; zudem kann lagenweise eine Verkittung durch Kalzit auftreten. Grobbankige bis massige kristalline Gesteine liefern blockigen Schutt mit etwas Sand und Silt in den Hohlräumen. Metamorphe Gesteine mit viel Glimmer oder Chlorit werden dagegen zu schiefrigem, rutschanfälligem Schutt.

Beim Abbau von Gehängeschutt muss beachtet werden, dass in vielen Fällen Steinschlaggefahr besteht. Massive Eingriffe können Instabilität im Einzugsgebiet provozieren.

### **Fluvioglaziale Ablagerungen, eiszeitliche Stauschotter**

Als fluvioglaziale Ablagerungen werden Sedimente bezeichnet, welche durch die vom Gletscher wegfliessenden Schmelzwasserflüsse transportiert und abgelagert werden (Abbildung 5.7). Im Alpenraum handelt es sich dabei mit ganz wenigen Ausnahmen um grobkörnige, also um kiesige Sedimente. Für ein solches natürliches Korngemisch mit vorwiegend gerundeten Grobkomponenten und mit einem wechselnden Sand- und meistens niedrigen Feinanteilgehalt wird auch der Begriff «fluvioglazialer Schotter» verwendet. Die Komponenten der fluvioglazialen Ablagerungen werden praktisch ausschliesslich durch Aussmelzen aus dem Gletscher dem Schmelzwasserbach übergeben, und nur ein verschwindend kleiner Teil stammt aus lateraler Erosion. Die fluvioglazialen Ablagerungen werden in zwei Faziesbereiche eingeteilt: die gletschernähe (*proximale*) und die gletscherferne (*distale*) Schmelzwasserfazies.

Die proximale Fazies ist generell durch einen erhöhten Feinanteilgehalt (v.a. Silt und wenig Ton) gekennzeichnet und enthält noch kaum sortierte, «moränenähnliche», massige Schichten und Linsen. Es handelt sich dabei um nur wenig verlagerte glazigene Schlammströme. Demgegenüber zeichnen sich die distalen Faziesbereiche durch generell niedrigere Feinanteilgehalte, also durch gut bis sehr gut sortierte Sedimente aus. Diese Ausscheidung einer proximalen und einer distalen Fazies ist zum einen eine reine Frage der Sortierung (Auswaschen der Feinanteile), zum andern bilden sich aber

auch analog einer zunehmenden Sortierung und Umlagerung charakteristische Sedimentstrukturen aus: Enthält die proximale Fazies noch massige, unsortierte Lagen, oft mit Einzelschüttungen, welche gradiert sind, also von unten nach oben feiner werden (Abbildung 5.9), so lassen sich im distalen Bereich einzelne Schichtgrenzen oft auf über 100 m Länge verfolgen. Es finden sich aber auch nachträglich aufgefüllte Erosionsrinnen (cut-and-fills) oder gut ausgebildete planare Kreuzschichtung mit häufigen, extrem gut sortierten Lagen. Der wechselhafte Aufbau der Sedimente im Längs- und Querprofil ist aus der Art der Schüttung zu verstehen: Schmelzwasserflüsse sind hydraulische Systeme mit ausgeprägten, zeitlichen Änderungen in der Wasserführung mit jahres-, beziehungsweise tageszeitlichen Zyklen und unperiodischem, zeitlich kurzfristigem Hochwasser; dabei werden wechselnde Sedimentmengen «wellenförmig» umgelagert, wobei es im proximalen Bereich noch zu einer typischen, flächenhaft ausbreiteten Ereignisschichtung kommt. Es entstehen die für einen Zopfmusterfluss (braided river) charakteristischen Kiesrücken, die das ganze Flussgerinne in ein vernetztes Rinnensystem mit Reliefunterschieden im Meterbereich gliedern (Abbildung 5.7). Die petrographische Zusammensetzung der Schotter ergibt Hinweise auf die Rohstoffqualität (Abbildung 5.10). Ablagerungen im Mittelland mit hohem Anteil an aufgearbeiteter Molassenagelfluh zeigen eine auffällige Anreicherung an Quarzit- und Gangquarzgeröllen (Restschotter).

Die quartären fluvioglazialen Ablagerungen bilden ausserhalb der im Maximum der Würmeiszeit ehemals vergletscherten Gebiete des Mittellandes grosse, zusammenhängende Lagerstätten, so zum Beispiel entlang des Jura-Südfusses, im Aaretal oder längs dem Hochrhein zwischen Schaffhausen und Basel. Aber auch innerhalb der maximalen Eisrandlagen entstanden während dem würmeiszeitlichen Eisabbau ausgedehnte Schottervorkommen. Es sind dies, gemeinsam mit glaziofluvialen Ablagerungen der grössten Eiszeit die grössten und qualitativ besonders wertvollen Rohstoffvorkommen unseres Landes für den Abbau von Kies und Sand, sieht man vom heute noch unbedeutenden Abbau von wenig zementierter Molassenagelfluh oder von Fels ab. Dabei ist zu beachten, dass die ungünstigere proximale Fazies – abhängig von der jeweiligen Lage der Gletscherfront bei der Schüttung – auch in grosser Entfernung von den Alpen auftreten kann.

Bei den spät- und postglazialen Ablagerungen wurde darauf hingewiesen, dass die rein fluvialen Sedimente häufig Seeablagerungen überdecken, welche bis zu mehreren 100 m Mächtigkeit erreichen können. Dies gilt auch für die fluvioglazialen



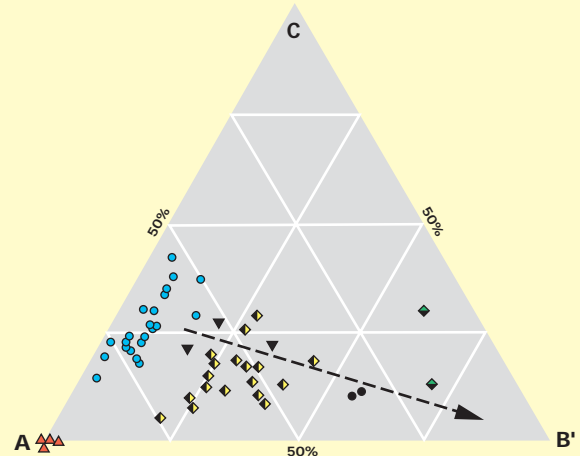
### Schotterpetrographie – Modelldreieck (Beispiele)

Dargestellt sind die geröllpetrographischen Mischtypen aus dem Aaregletscherbereich:

- Münsingen-Schotter (Thungschneit/Aaretal)
- ▲ Münsingen-Schotter-Äquivalent (Glütschtal)
- ◆ Büemberg-Schotter (Thungschneit/Aaretal)
- ◆ tiefgründige Verwitterungsdecke im Dach der Büemberg-Schotter
- ▼ extramöräne Aufschotterung (letzte Eiszeit) bei Signau (Mischtyp von umgelagerter Molassenagelfluh und frische alpine Belieferung)
- Zeller-Schotter (Lutherntal, Müller 1988; = umgelagerte Molassenagelfluh).

Der Pfeil zeigt die Restschotter-Entwicklung aus dem dargestellten Spektrum

- A Kalkgerölle  
B' rote Kristallingerölle + Quarzite + Gangquarze  
C grüne Kristallingerölle

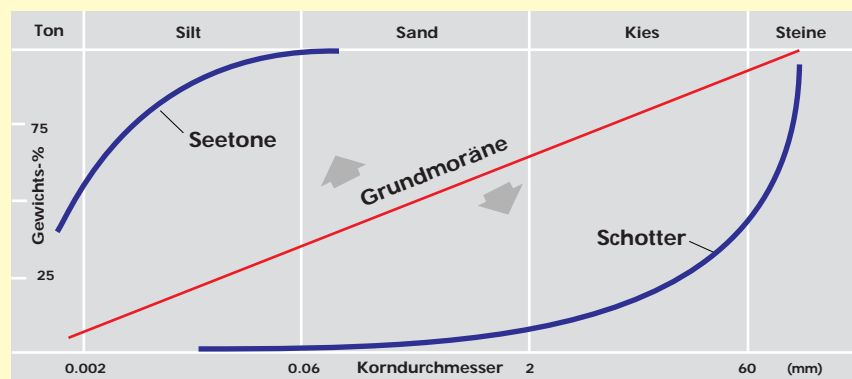


5.10

### Grundmoränenkorngemisch

Schematische Darstellung der Sortierung eines Grundmoränenkorngemisches (rote Kurve) mit entsprechender Fraktionierung.

Bei der Umlagerung eines Grundmoränenkorngemisches bleiben als Grobfractionen fluvioglaziale Schotter übrig (untere, blaue Kurve) und die als Gletschermilch ins nächste Sedimentationsbecken abtransportierten Feinfraktionen, die Seetone (obere, blaue Kurve).



5.11

Schüttungen, deren kiesreiche Deltaablagerungen hoch über der heutigen Talsohle und über dem Grundwasserspiegel liegen können, also leicht ausgebeutet werden können, so beispielsweise in der Kiesgrube Ennerberg (NW).

Eiszeitliche, verschwemmte Ablagerungen entstanden aber auch seitlich der grossen Talgletscher, dies im Mittelland wie auch in den Alpentälern besonders im Bereich der verschiedenen Stadien der letzten Eiszeit. Einerseits sind dies relativ schmale Terrassen, in welchen eine intensive Verzahnung von fluvioglazialen Material, von Schutt aus Seitenbächen und von Moräne zu beobachten ist. Andererseits können aber auch eisfrei gebliebene Seitentäler durch Gletschereis im Haupttal blockiert worden sein, so dass Stauablagerungen entstanden, welche sich kilometerweit verfolgen lassen (z.B. im Napfgebiet). Nach dem maximalen Schüttungsniveau sind dies meist flachgelagerte grobkörnige Bach- oder Flusssedi-

mente, welche gegen unten von Deltaschüttungen und von heterogen aufgestauten Seeablagerungen abgelöst werden können. Die Zusammensetzung der Kiese widerspiegelt oft die Petrographie des Einzugsgebietes, insbesondere falls das Material aus abgeschlossenen Talräumen stammt (Beispiel Lutherntal, siehe auch [Kapitel 5.3.2](#)). Da der Grad der Sortierung und Rundung, wie auch der Anteil an Feinmaterial, bei solchen Ablagerungen sehr stark streuen kann, muss deren Eignung als Rohstoff für die Gewinnung von Kies und Sand von Fall zu Fall geprüft werden.

### Glaziale Ablagerungen

Als glaziale Ablagerungen werden Sedimente bezeichnet, die vom Eis (Gletscher) transportiert und in direktem Eiskontakt abgelagert wurden. Solche Sedimente sind Grund- und

Abbildung 5.10: Petrographische Zusammensetzung verschiedener fluvioglazialer Schotter im nördlichen Alpenvorland. Der Pfeil dokumentiert die Entwicklung (petrographische Verarmung) zum Restschotter (nach Schlüchter, 1983).

Abbildung 5.11: Die Sortierung des Grundmoränenkorngemisches A mit entsprechender Fraktionierung: zurückbleibende Grobfractionen B (die fluvioglazialen Schotter) und die als Gletschermilch ins nächste

Sedimentationsbecken abtransportierten Feinfraktionen C (nach Schlüchter, 1983).

Wallmoränen. *Grundmoränen* (Primärmoränen) werden durch die Dynamik des Eises selbst, *Wallmoränen* (Sekundärmoränen) durch die geologischen Vorgänge im unmittelbaren Umfeld des Eises gebildet. Glaziale Ablagerungen sind in der Regel unsortiert, das heisst, dass alle Korngrössen vertreten sind (Ton + Silt + Sand + Kies + Steine ± Blöcke). Der Anteil von Ton schwankt stark, dies in Abhängigkeit von der Petrographie sowohl des Einzugsgebiets wie auch der Felsunterlage (wenig Ton im Kristallin). Im Vergleich mit den fluvioglazialen Ablagerungen spielen Moränen als Rohstoff für Kies und Sand eine untergeordnete Rolle, sie können aber wertvolle Vorkommen (auch von Stauschottern) entweder überlagern oder mit diesen verzahnt sein. In solchen Fällen werden sie oft mitverwertet.

Bei der Grundmoräne bilden die Feinanteile inklusive Sand eine charakteristische, massige Matrix, welche Kies- und Steinkomponenten allseitig umschliesst. Solche matrixgestützte, unsortierte Sedimente werden entstehungsneutral auch als *Diamikte* bezeichnet. Die Primärmoräne ist als Rohstoff für die Gewinnung von Kies und Sand infolge ihres hohen Anteils an Feinmaterial wenig interessant. Dagegen kann aus ihr das gesamte Spektrum der zugehörigen eiszeitlichen Ablagerungen (der glazialen, der fluvioglazialen und der Seesedimente) abgeleitet werden ([Abbildung 5.11](#)).

Die Sedimente des Eisrandes (meist Wallmoränen) zeigen eine grosse Variabilität (fein- bis grobkörnig, sortiert bis unsortiert) und sind häufig durch direkte Deformation infolge Bewegungen des Eisrandes überprägt. Da sie zudem häufig mit fluvioglazialen Material des proximalen Bereiches oder mit Ablagerungen von Seitenbächen in komplexem Kontakt stehen, sind sie oft sehr unberechenbar aufgebaut. Im Durchschnitt weisen die Sedimente des Eisrandes ein gröberes Korn auf als die Grundmoräne. Dies bedeutet, dass sie grosse Blöcke (Findlinge) führen können und die Matrix schwächer vertreten ist, weshalb sie an verschiedenen Orten als Rohstoff für Sand und Kies ausgebeutet werden, dies allerdings meist kombiniert mit dem Abbau von gleichaltrigen oder älteren fluvioglazialen Sedimenten (z.B. Neuheim-Menzingen, siehe auch [Kapitel 5.3.2](#)). Für höhere Verwendungsansprüche problematisch ist allerdings der unberechenbare Anteil an weichen, schieferigen oder angewitterten Gesteinen, wie auch die Streuung der Kornform (Nebeneinander von gerundet, kantig und plattig). Bei der Aufbereitung fällt viel Feinanteil an, andererseits müssen die zu groben Fraktionen (Steine, Blöcke) ausgeschieden oder gebrochen werden.

### ***Altquartäre fluvioglaziale Ablagerungen (Deckenschotter)***

Unter Deckenschottern versteht man kiesig-sandige Ablagerungen von früheiszeitlichen Schmelzwässern, welche einst im Alpenvorland in breiten Tälern oder auch in Erosionsrinnen abgelagert wurden. Heute findet man sie nur noch in der Nordschweiz als Erosionsrelikte ausserhalb der Talsohlen, meist auf bewaldeten Hügelkuppen. Je nach Transportweg sind die Gerölle mehr oder weniger gut gerundet. Gelegentlich finden sich auch grobe, schlecht aufbereitete, gletschernah entstandene Lagen, aber auch feinkörnige Einschaltungen. In Deckenschottern sind wegen ihres hohen Alters und ihrer Wasserdurchlässigkeit viele Komponenten oftmals angewittert, vergrust (z.B. Granite) oder teilweise gelöst (Kalk- und Dolomitgerölle). Andererseits führt die Ausscheidung von Kalzit lagenweise zu einer starken Verkittung. In Oberflächennähe dagegen kann weitgehende Entkalkung und ein Zerfall zu feinkörnigem Material erfolgen. Gegen die Tiefe hin vermindern sich in der Regel die ungünstigen Einflüsse.

Deckenschotter wurden früher in zahlreichen kleinen Gruben ausgebeutet. Da die meisten Vorkommen aber von Wald bedeckt sind und als Sammelgebiete für Grundwasser wirken, haben sie als künftige Kieslieferanten kaum grosse Bedeutung.

### ***Wenig bis mässig zementierte Nagelfluh der mittelländischen Molasse***

Die Molassenagelfluhen wurden durch grosse Flusssysteme in weiten, sich teilweise überlagernden Schuttfächern geschüttet. Die Zufuhr erfolgte grösstenteils aus den Alpen, untergeordnet auch aus dem heutigen Jura und dem Schwarzwald. Diese Komplexe von Konglomerat können lokal über 1000 m Mächtigkeit erreichen, stehen aber stets in Wechsellaagerung mit Sandsteinen und Mergeln. Mit zunehmendem Abstand von den Alpen werden die Nagelfluhen feinkörniger und gehen schliesslich in Sandsteine über, gleichzeitig nimmt die Mächtigkeit der einzelnen Bänke ab. Im subalpinen Bereich kann diese mehrere Dutzend Meter erreichen. Hier kann der Korndurchmesser in einzelnen Lagen auf mehrere Dezimeter steigen. In der mittelländischen Molasse dagegen sind die Kieskomponenten bedeutend kleiner (meist 3 bis 20 cm) und ausgesprochen gut gerundet. Die Matrix besteht aus Mittel- und Grobsand, in einzelnen Lagen können Silt und Ton angereichert sein.





5.12



5.13



5.14



5.15

Die Molassenagelfluhen sind zwar sehr viel älter als die Deckenschotter, waren aber dank ihrer geologischen Vorgeschichte und ihrer Kornverteilung weniger der Zirkulation von Grundwasser ausgesetzt. Die Verwitterung hält sich deshalb in Grenzen: Grobkörnige Kristallingerölle sind oft vergrust, jene aus Kalk weisen meist Lösungsdellen auf, einzelne Kalke oder Dolomite sind zersetzt. Daneben finden sich aber viele stabile, harte Komponenten wie beispielsweise Gangquarz, Radiolarit, Kieselkalk und kieslige Sandsteine. Der gelöste Kalk wurde als Kalzitzement in der sandigen Grund-

masse ausgeschieden. Der Grad der Zementierung ist im subalpinen Bereich derart hoch, dass ein kompaktes Konglomerat entstanden ist. Dieses ist gegen Verwitterung sehr resistent (z.B. Findlinge aus Speer-Nagelfluh oder Sturzblöcke bei Goldau); das Gestein zerbricht quer durch die Gerölle. Ganz anders verhält sich die flachgelagerte, mittelländische Molasse, welche einen viel niedrigeren Grad der Diagenese aufweist: Der Grad der Verkittung schwankt zwar regional und von Bank zu Bank, bleibt aber stets gering bis mässig. Zerbricht das Gestein unter dem Einfluss von Entspannung, Verwitterung oder

**Abbildung 5.12:** Nagelfluh der Oberen Süßwassermolasse, wenig zementiert, flachliegende Molasse. Die unterliegenden Mergel wurden vorerst von einem Fluss erodiert, später folgte eine grobe Schüttung von Kies. Bei Verwitterung entstehen wieder Kies und Sand. Kreuzegg-Gebiet (SG).

**Abbildung 5.13:** Fluvio-glaziale Schotter, glazial vorbelastet, Risseiszeit (?). Die hartgelagerten Kiese sind unregelmässig durch Kalzitausscheidung verkittet, die teilweise sedimentären Strukturen entsprechen. Kiesgrube nahe Basadingen TG.

**Abbildung 5.14:** Fluvio-glaziale Schotter im Vorfeld des würmeiszeitlichen Rheingletschers. Ein kleiner Gletschervorstoß hat die frisch abgelagerten Sedimente des Vorfeldes gestaucht und verfaltet, dies unter Permafrostbedingungen. Dar-

unter normal gelagerte Kiese. Ehemalige Kiesgrube ob Goldach SG.



Sprengung, so folgen die Trennflächen den Grenzen der Gerölle. Relativ rasch zersetzt sich das Gestein weiter und zerfällt in seine ursprünglichen Komponenten Kies und Sand. Dieser Prozess kann durch Waschen sehr stark beschleunigt werden. Dabei zerfallen die vergrusteten Gerölle zu Sand.

Wie Versuche bewiesen haben [Jäckli und Schindler, 1986], lässt sich aus Molassenagelfluh hochwertiger Kies-Sand gewinnen, dies aber ausschliesslich aus der wenig bis mässig zementierten mittelländischen Molasse. Nicht in Betracht kommen also die mächtigen, subalpinen Nagelfluhmassen der Unteren Süsswassermolasse. Das Hauptinteresse konzentriert sich demnach auf die Obere Süsswassermolasse, in bescheidenerem Masse auch auf die Obere Meeresmolasse und die Untere Süsswassermolasse. Die grössten Kubaturen nutzbarer Molasse finden sich im Hörnlschuttfächer (karbonatreich, Kristallinanteil meist unter 20%) und im Napfschuttfächer (oft weit unter 50% Karbonat, dafür viel Kristallin und Gangquarz). Francis de Quervain schrieb bereits 1969, dass sich bei den hochwertigen Alluvialkiesen eine Mangelsituation abzeichnen beginne: «Eine bessere Ausnützung der unerschöpflichen Nagelfluhmassen würde sehr im Landesinteresse liegen.» Hinzugefügt sei, dass die Nagelfluhen im Gegensatz zu fluvioglazialen oder warmzeitlichen Kiesablagerungen nur geringe Bedeutung als Grundwasserlieferanten haben. Ihre effektive primäre Porosität ist sehr bescheiden, so dass in ihnen das Wasser grösstenteils in Klüften, Spalten und Schichtfugen zirkuliert.

### 5.1.2 ROHSTOFFGEWINNUNG EINST UND JETZT

Alte geologische Karten, wie das Blatt Zürich von A. Wettstein (1885) oder die Aufnahmen von F. Mühlberg zu Beginn unseres Jahrhunderts im Kanton Aargau zeigen, dass damals an sehr vielen Stellen kieshaltiges Material entnommen wurde. Solche meist kleine Gruben betrieben Unternehmer, aber auch Gemeinden und Bauern, wobei neben hochwertigem Alluvialkies auch all die in [Kapitel 5.1.1](#) aufgezählten weiteren möglichen Rohstoffe abgebaut worden sind, inklusive mittelländischer Nagelfluh. Dies ist damit zu erklären, dass der Transport grosser Kubaturen von Material damals, mit Ausnahme der Verfrachtung mit Schiff oder Bahn, sehr mühsam und aufwendig war, also wenn möglich lokal verfügbare Rohstoffe verarbeitet wurden. Dies ging zwar auf Kosten der Qualität, konnte aber bei gezieltem Einsatz je nach Verwendungszweck trotzdem zu guten Ergebnissen führen (z.B. Abbau von Nagelfluh oder von kalkreichem Bergsturzschutt für

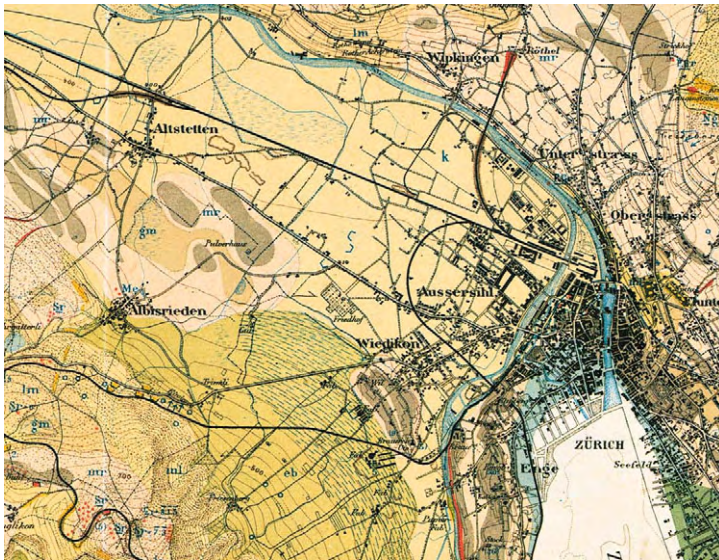
Naturstrassen). Francis de Quervain hat in minutiöser Kleinarbeit Daten über Kiesgruben und Steinbrüche in der Schweiz gesammelt (die Originalblätter 1:25'000 und 1:50'000 mit den Rohdaten für die Erarbeitung der beiden Ausgaben der Geotechnischen Karte der Schweiz (1:200'000) sind im Büro der Schweizerischen Geotechnischen Kommission, ETH-Zentrum, 8092 Zürich, einsehbar). Die erste Auflage der geotechnischen Karte der Schweiz 1:200'000 (P. Niggli und F. de Quervain 1934–1938) zeigt den Zustand vor dem Aufkommen des Transports durch Lastwagen, die zweite Auflage (F. de Quervain et al., 1963–1967) den Zustand in der ersten Phase der Hochkonjunktur der Nachkriegszeit. Die Zahl der Gruben hatte zwischen der ersten und der zweiten Kartendarstellung drastisch abgenommen, und es zeichnete sich ein Prozess der Konzentration ab. Der Abbau erfolgte teilweise aus dem Grundwasser. Die aufgelassenen Gruben wurden oft erst als Schlammweiher, dann für die Ablagerung von Abfall, Bauschutt und Aushub benutzt.

Die rasch wachsende Bedeutung des Werkstoffs Beton, aber auch die steigenden Qualitätsanforderungen für die beim Strassenbau verwendeten Materialien, liessen nach 1960 den Bedarf an hochwertigem Alluvialkies, Hartschotter und Splitt immer weiter ansteigen. Da dank Lastwagen die Transporte rascher und billiger wurden, nahm gleichzeitig die Bedeutung der lokalen Gruben ab. Viele wurden ausgefüllt. Der Konflikt mit andern Nutzungsansprüchen kam erst allmählich ins Bewusstsein, vorerst hauptsächlich wegen gelegentlicher Beeinträchtigung der Grundwasserqualität und Verminderung der Trinkwasserreserven. Hinzu kamen später Anforderungen des Landschaftsschutzes, Lärmschutzes und andere Einschränkungen, so dass die überlagernden Nutzungsansprüche und die Raumplanung bei vielen Kiesgruben zur Stillegung führten. Wie aus den [Abbildungen 5.19](#) und [5.27](#) ersichtlich ist, liegen heute fast alle bedeutenden Abbaustellen in einiger Entfernung von den grossen Verbrauchszentren. Zudem ist eine Konzentration zu grossen Betrieben festzustellen. Die Zahl der in Betrieb stehenden Kiesgruben hat stark abgenommen ([Abbildung 5.27](#) und [Tabelle 5.1](#)). Mangels geeignetem, den Ansprüchen des Umweltschutzes entsprechendem Auffüllmaterial werden sie in gewissen Regionen nach dem Abbau teilweise zu einer neuen Landschaft umgestaltet (siehe auch [Kapitel 5.4](#)).

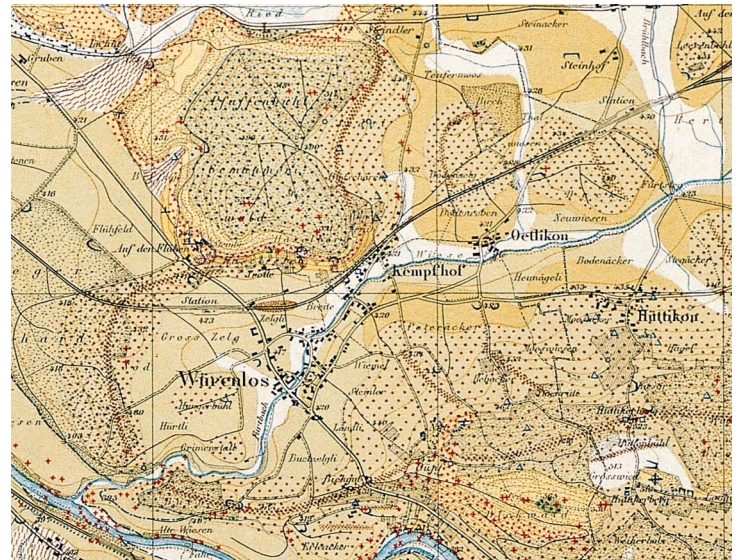
**Abbildung 5.15:** Stirnmoräne mit Schottervorfeld im Hintergrund. Komplexer Aufbau des Moränenwalls: Der Gletscher hat zweimal die fluviatilen Ablagerungen seines Vorfeldes (grau, flache Schichtung) überfahren, gestaut und mit Mo-

räne bedeckt (braungrau, zuoberst und oberhalb Strässchen). Bild aus dem Aadorfer Feld (ZH, TG).

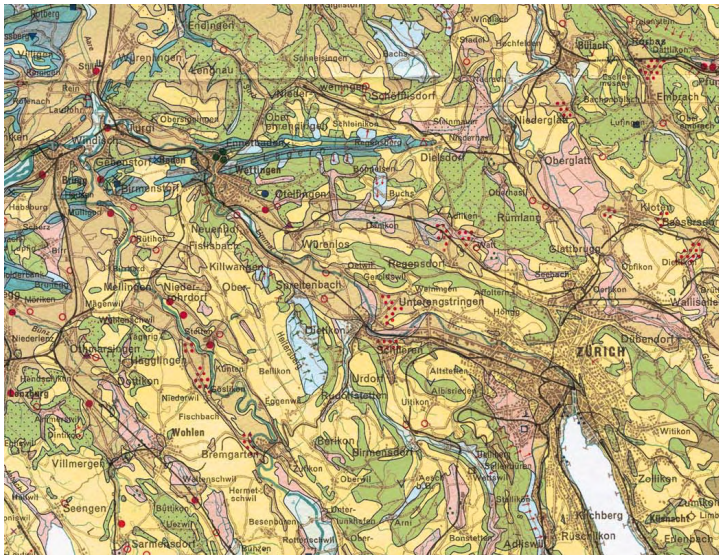




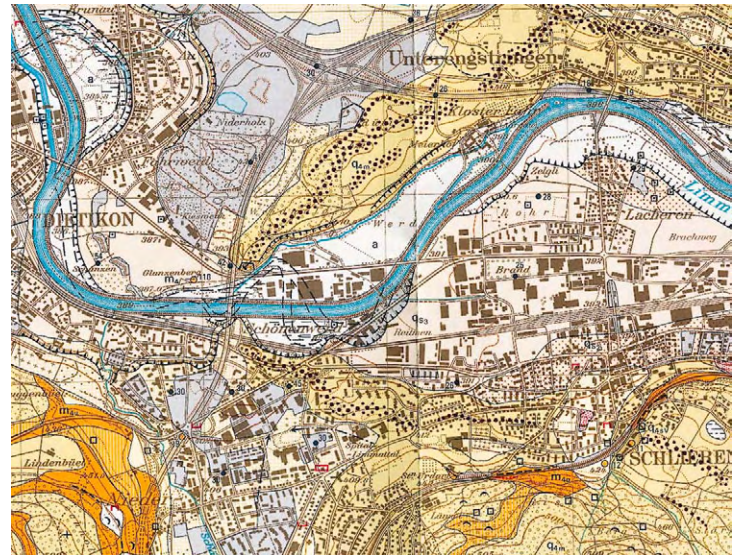
5.16



5.17



5.18



5.19

## Die Entwicklung des Kiesabbaus um Zürich

Kartendarstellungen von 1885 bis 1992

Abbildung 5.16: Ausschnitt aus der Geologischen Karte von Zürich und Umgebung 1:40'000 von A. Wettstein 1885: Nahe der Stadt befinden sich zahlreiche Kiesgruben in Schottern (Limmattal) und in Moränen (rot) sowie Steinbrüche in Molassegestein (gelb, südlich Albisrieden) und Lehmgruben (südlich Wiedikon).

Abbildung 5.17: Ausschnitt aus der Geologischen Karte der Lägererkette 1:25'000 von F. Mühleberg, 1901: Rund 15 Kilometer westnordwestlich der Stadt Zürich gibt es neben dem bedeutenden Steinbruch nordwestlich von Würenlos nur zahlreiche kleine Materialentnahmestellen (blaue Bogen, geknickte oder gestrichelte Linien), meist aus Moräne. Die Niederterrassenschotter talseits der Stirnmoräne von Würenlos werden nur lokal und geringfügig abgebaut.

Abbildung 5.18\*: Ausschnitt aus der Geotechnischen Karte der Schweiz 1: 200'000, Schweiz. Geotechnische Kommission, 2. Auflage, 1963: Mit Ausnahme der Lehmgruben im NE des Üetlibergs (blaues Quadrat) sind die Abbaustellen nahe von Zürich verschwunden, doch häufen sich nun rund 10 Kilometer vom Stadtzentrum grosse Kiesgruben (Schwarm von roten Punkten), ferner finden sich in grösserer Entfernung für die Versorgung auch anderer Zentren zahlreiche grössere (ausgefüllte rote Kreise) oder kleinere Kiesgruben (offene rote Kreise) sowie Steinbrüche.

Abbildung 5.19\*\*: Ausschnitt aus dem Blatt Zürich des geologischen Atlas der Schweiz, 1:25'000; Pavoni, Jäckli, Schindler, 1992: Einige Kilometer westnordwestlich des Stadtzentrums wurde der Kies an verschiedenen Stellen teilweise sehr grosszügig abgetragen und die Gruben nachträglich mit Deponie aufgefüllt (Flächenfarbe hell lila). Sie sind heute teils überbaut, teils von Verkehrswegen beansprucht und teils von Wald oder Kulturland bedeckt. Der Kiesabbau war vor 1985 gänzlich eingestellt worden, ebenso sind alle Steinbrüche in Molasse im Limmattal seit langem stillgelegt.

Abbildungen 5.16–5.19: Die Entwicklung des Kiesabbaus im Laufe der Zeit in der Umgebung der Stadt Zürich (Beschreibung der einzelnen Kartenausschnitte im [Textkasten](#)).

\*Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 16.6.1997.

\*\*Geologischer Atlas der Schweiz 1: 25'000, Blatt 1091 (Ausschnitt Schlieren). © Landeshydrologie und -geologie, BUWAL. Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 16.6.1997.



## 5.2 ROHSTOFFSITUATION UND ENTNAHMESTELLEN IN DEN KANTONEN

Bei der Besprechung der Vorkommen und bei der Übersicht der Entnahmestellen der einzelnen Kantone wurde einerseits Wert auf die Art und Verteilung der zur Gewinnung von Kies und Sand geeigneten Rohstoffe gelegt, andererseits auf die heutigen Abbaumengen. Aus der [Tabelle 5.1](#) kann die Lage der Entnahmestellen, ihre Geologie und die Grössenordnung der Produktion herausgelesen werden, wobei allerdings Vorkommen mit einer Produktion unter 50'000 Kubikmeter pro Jahr ausgelassen wurden. Auf die Erwähnung heute stillgelegter Gruben wurde in der Regel verzichtet, selbst wenn diese einst sehr bedeutend gewesen sind (z.B. Halbinsel Hurden oder das Weininger Feld im Limmattal ZH).

Eine Übersicht über die zahlreichen Einzelvorkommen, über ihre geographische Verteilung und über ihre Art soll die Karte 1:1'000'000 vermitteln ([Abbildung 5.27](#)). Zusätzlich zu allen in der [Tabelle 5.1](#) erwähnten Stellen erscheinen hier auch noch eine Anzahl kleinerer, noch aktiver Gruben.

*Bemerkungen zu kantonalen Planungskonzepten für den zukünftigen Abbau von Kies und zu den bewilligten Vorräten:* Bereits mehrfach erwähnt wurden die Nutzungskonflikte, welche sich im Zusammenhang mit dem Abbau von mineralischen Rohstoffen ergeben und welche im Falle von Kies und Sand oft besonders ausgeprägt und vielseitig sind. Da einerseits die verschiedenen Ansprüche gegeneinander abzuwägen sind, andererseits eine genügende Versorgung mit Kies und Sand anzustreben ist (dies ohne allzulange Transportwege), drängte sich die Erstellung eines planerischen Gesamtkonzepts auf. Dies bedingt langjährige Verfahren, für welche die Kantone zuständig sind und welche 1995 noch nicht in allen Gebieten fertiggestellt waren. Als ersten Schritt für dieses Vorhaben muss die heutige Situation inklusive geologische Vorräte, Hydrogeologie, Produktion und Bedarf abgeklärt werden – Grundlagen, welche für das Schreiben dieses Kapitels sehr wertvoll waren. Auf die gesetzlichen Rahmenbedingungen und das Verfahren bei der Bewilligung zusätzlicher Abbaugebiete wird in [Kapitel 13](#) teilweise eingegangen. Ziel der Kantone ist es, die Rohstoffversorgung für die nächsten Jahrzehnte auf Richtplan-Stufe festzulegen. Die Gemeinden sind gehalten, die Materialgewinnungsgebiete in die Nutzungsplanung aufzunehmen und entsprechende Materialgewinnungs-

zonen rechtskräftig auszuscheiden. Die heute für den Abbau bewilligten Vorräte können in verschiedenen Fällen nur den Bedarf weniger Jahre abdecken. Beim Entscheid über ihr Ausmass stehen planerische und politische Aspekte im Vordergrund, nicht geologische. Durch behördlichen Entscheid zur Freigabe zum Abbau kann sich die Situation rasch ändern, weshalb in diesem Buch auf die Besprechung der zur Zeit bewilligten verfügbaren Vorräte verzichtet wird.

### AARGAU

Der Aargau ist als Wasserschloss der Schweiz nicht nur reich an Grundwasservorkommen, er ist auch ein sehr kiesreicher Kanton. Bereits während der früheren Eiszeiten, als die Täler noch nicht so stark eingetieft waren, gelangten die ältesten, heute noch vorhandenen Schotter, die sogenannten Deckenschotter zur Ablagerung. Die Hügelzüge im nördlichen Kantonsteil zwischen Limmat und Rhein sowie der östliche Tafeljura tragen gebietsweise eine sehr mächtige Bedeckung mit solchen Deckenschottern. Die Deckenschotter sind stark verkittet, die Gerölle oft korrodiert und der Feinanteil ist hoch. Sie werden heute nicht in grossem Stil abgebaut, stellen aber für eine weitere Zukunft Kiesreserven von sehr grossem Ausmass dar, die aber auch mit bedeutenden Interessenkonflikten belastet sind (siehe [Kapitel 5.1.1](#); Altquartäre fluvioglaziale Ablagerungen).

Während der grössten Vergletscherung (Riss) stiessen die Eismassen bis ins Rheintal nach Möhlin vor und bedeckten den Kanton Aargau weitgehend. Nach ihrem Rückzug hinterliessen die Gletscher ausserordentlich mächtige Vorkommen mit sogenannten Hochterrassen-Schottern, welche vor allem beidseits des unteren Aaretals zwischen Brugg und Koblenz in Mächtigkeiten bis zu 100 Meter erhalten sind. Diese Hochterrassen-Schotter sind in der Regel nur wenig verkittet. Sie werden heute wegen ihrer Lage abseits der Verbrauchszentren erst in unbedeutendem Mass abgebaut, stellen aber für eine nahe Zukunft Kiesreserven von grosser Bedeutung dar.

In der letzten Eiszeit (Würm) stiessen die Gletscher nur noch bis ins südliche Kantonsgebiet vor. Die markanten Endmoränenwälle bei Killwangen, Mellingen, Mägenwil, Seon, Zetzwil und Staffelbach dokumentieren den Maximalstand der würmeiszeitlichen Gletscher in den verschiedenen Tälern. Durch Schmelzwasserflüsse wurden im jeweiligen Gletschervorfeld gewaltige Schottermassen, die sogenannten Niederterrassen-Schotter abgelagert. Diese erreichen gebietsweise eine



Mächtigkeit bis zu 50 Meter. Sie bildeten einst eine einheitliche Schotterflur in den Talsohlen aller Hauptflusstäler von der jeweiligen Gletscherstirn bis gegen Basel. Seit dem Ende der Würmeiszeit haben die Flüsse, namentlich die Aare, ihr Bett sukzessiv tiefer in diese alte Schotterflur eingeschnitten, unter Bildung markanter Erosionsterrassen.

Die grossen Kiesabbaugebiete im Kanton konzentrieren sich heute auf die Niederterrassen-Schotter. Gemäss einer neueren Studie wurde in den Jahren 1988 bis 1990 (Hochkonjunktur) jährlich durchschnittlich 2.7 Millionen Kubikmeter Kies (lose) abgebaut. Die grössten Abbaustellen liegen im unteren Seetal (0.53 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr) und in der Region Baden-Brugg (Birrfeld und unteres Aaretal; 1.1 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr). Demgegenüber werden beispielsweise im Freiamt nur unbedeutende Kiesmengen abgebaut, und im aargauischen Wiggertal findet gar kein Kiesabbau statt.

Seit 1995 existiert für den Kanton Aargau das Rohstoffversorgungs-konzept (RVK). Dieses wurde mit dem Ziel erstellt, eine langfristige, regionale Rohstoffversorgung bei möglichst geringen Transportdistanzen zu gewährleisten und die Nutzungskonflikte mit übergelagerten Schutz- und Nutzungsansprüchen zu minimieren. Um den Interessenkonflikt Grundwasserschutz/Kiesabbau zu entflechten, folgt das RVK der Zielsetzung, die künftigen Kies-Abbaugelände aus den Grundwassergebieten in der Talsohle heraus vermehrt in Grundwasser-Randgebiete und in die Kiesvorkommen über der Talsohle (Hochterrassen-Schotter) zu verlagern.

#### APPENZELL (AI, AR)

Im Kanton Appenzell gibt es – geologisch bedingt – keine bedeutenden Kiesabbaustellen. In bescheidenem Ausmass werden im Gebiet von Appenzell und von Urnäsch Molassenagelfluhen der Unteren Süsswassermolasse abgebaut, und aus der Sitter (Appenzell) wird gelegentlich rezenter Flusskies entnommen. In geringem Ausmass wird Hangschutt aus Kreidekalk auf der östlichen Schwägalp genutzt und südlich Waserauen lokales Moränenmaterial. Im übrigen werden beide Halbkantone vorwiegend aus dem Kanton St.Gallen versorgt.

#### BERN

Im Kanton Bern werden Kies und Sand aus einem breiten Spektrum geologischer Gegebenheiten entnommen. In der Reihenfolge der volumenmässigen Bedeutung sind dies eiszeitliche, fluvioglaziale Schotter der Talränder und Terrassen



5.20

im Mittelland, Flussdeltas in Seen, nacheiszeitliche Schwemmfächer und Flussschotter der Talauen (inklusive heutige Flussläufe), Schutthalden in den Alpen und im Jura, eiszeitliche gletschernähe Stauschotter, morphologisch hochliegende eiszeitliche Schotter (Höhenschotter) und – zunehmend bedeutungslos – Nagelfluh der Oberen Meeres- und Süsswassermolasse. Zentren hochwertiger Vorkommen sind die Hügelzone des Jurasüdfusses vom Neuenburgersee bis in den Oberraargau und die Region Bern mit dem Aaretal bis Uttigen, beziehungsweise bis zum Kanderdelta im Thunersee.

Die petrographische Zusammensetzung ändert entsprechend den wechselhaften geologischen Unterlagen und Herkunftsgebieten stark: Von den gesteinsmässig einfach und homogen zusammengesetzten Schutthalden des Berner Oberlandes oder des Juras über die stark kristallindominierten, umgelagerten Molassenagelfluhen bis zu den gemischten eiszeitlichen Geröllspektren. Die grossen Rohstoffvorkommen des bernischen Seelandes, des Oberraargaus und der Region Bern-Aaretal weisen noch ein weiteres gemeinsames Charakteristikum auf: die hier abgebauten Lockergesteine bestehen nicht aus einer einmaligen Schüttung, sondern sind aus mehreren Aufschotterungen zusammengesetzt. Dazwischen liegen alte Bodenoberflächen (Paläoböden) oder Reste von Moränen. Das heisst, dass diese Schottervorkommen während mehreren Gletschervorstössen ins Mittelland entstanden sind ([Abbildung 5.20](#)).

*Berner Oberland:* Die Rohstoffgewinnung im Berner Oberland beruht zur Hauptsache auf der Entnahme von Bach- und Deltaschotter sowie auf dem Abbau von Schutthalden. Volumenmässig an erster Stelle stehen die Materialförderungen aus

**Abbildung 5.20:** Kiesgrube Jaberg im Kanton Bern, in der oberen Bildmitte links Kirchdorf BE. Das ehemalige Grubenareal wird heute als Deponie genutzt. Die aktuellen Kiesabbaustellen in der Region befinden sich einige Kilometer weiter

südöstlich bei Bümberg, Heimberg (Foto aus dem Jahr 1992).

dem Kanderdelta im Thuner-, beziehungsweise dem Aaredelta im Brienzersee. Volumenmässig unbedeutend ist der Abbau von letzteiszeitlichen Eisrandterrassen und von spätglazialen, respektive neuzeitlichen Ufer- und Seitenmoränen. Ein Beispiel des letzteren ist der Abbau im Steinlimi-/Steingletschergebiet, der aus Gründen des Landschaftsschutzes im Gebirge nicht unbestritten ist.

*Alpenrand:* Am Alpenrand, östlich von Thun bis ins obere Emmental, und westlich vom oberen Gürbetal bis zum Schwarzwasser, liegen alle nennenswerten Abbaustellen in hoch-, beziehungsweise spätglazialen Stauschotter- und Eisrandbildungen. Wegen des in der Regel hohen Feinanteil- und Sandgehaltes und der räumlichen Begrenztheit der Vorkommen sind diese nur von lokaler Bedeutung und werden zunehmend aufgelassen. Häufig sind diese Lockergesteinsvorkommen des Eisrandes strukturell (glazitektonisch) stark gestört, was Abbauplanung und -betrieb erschwert (z.B. Jassbach bei Linden).

*Aaretal zwischen Bern und Thun:* Eine wichtige Berner Kiesprovinz ist das Aaretal zwischen Bern und Thun. Dieser Talabschnitt ist mächtig übertieft. Das heutige Aaretal entspricht also nicht der maximalen Ausräumung, sondern ist zu über 90 Prozent in eiszeitliche Lockergesteine «eingebettet». Die Schotterkörper können bis über 40 Meter nutzbare Mächtigkeiten erreichen (Jaberg, Thalgut, Bümberg). Mit Ausnahme von Uttigen (heute bereits verfüllt) gehören sie alle zu mehreren Aufschotterungen (Abbildung 5.20). Die geröllpetrographische Zusammensetzung der Kieskörper ändert hier gesetzmässig, indem von älteren zu jüngeren fluvioglazialen Zyklen der Anteil an aufgearbeiteter Molassenagelfluh abnimmt. Der Abbau von spätglazialem Stauschotter, beziehungsweise holozänen Alluvionen ist heute im Aaretal eingestellt, und die entsprechenden Stellen sind vollständig rekultiviert. Die grossen aktiven Abbaugelände im Aaretal sind heute Rubigen, Jaberg, Thalgut und Steinigand. Im Gürbetal fehlen die für das Aaretal charakteristischen, multizyklischen und mächtigen Aufschotterungen fast vollständig.

*Hügelgebiet des südlichen Berner Mittellandes:* Östlich und westlich des Aaretals fehlen mächtige Aufschotterungen. In diesen Hügelgebieten sind kleinräumige Stauschotter und Eisrandbildungen vorhanden, die einst für die lokale Rohstoffversorgung von sehr grosser Bedeutung waren. Reliktische, hochgelegene Stauschotter ausserhalb der letzteiszeitlichen Gletscheraushöhlung sind die sogenannten *Höhenschotter* um Schwarzenburg und im mittleren und oberen Emmental. Das wichtigste Abbaugelände liegt bei Landiswil (Kiesgrube Chratzme).

*Region Bern und zentrales Mittelland:* In der Region der Stadt Bern sind früher vor allem die sogenannten *Felderschotter* abgebaut worden, das heisst lokale, eisrandliche Aufschotterungen. Diese Abbaustellen sind heute aufgelassen. Im Hügelgebiet des zentralen, nördlichen Berner Mittellandes liegen zum Teil flächenhaft verbreitete, bis über 30 m mächtige Aufschotterungen auf dem Erosionsrelief der Unteren Süsswassermolasse. Ihre flächenhafte Ausdehnung ist vor allem im Forst (westlich von Bern) bedeutend, wo sie ein eigentliches Schotterplateau bilden. Dort sind denn auch bei Oberwangen die bedeutendsten der heutigen Abbaugelände. Solche «Plateauschotter» sind im Detail komplex aufgebaute, geologische Körper, die durchwegs von einer Deckmoräne wechselnder Mächtigkeit (bis über 10 m) überlagert sind. Diese Rohstoffreserven sind vor allem westlich von Bern bedeutend.

*Seeland und oberaargauisches Aaretal:* Mächtige und weit verbreitete Aufschotterungen sind im spät- und postglazialen Aareschuttfächer mit dem Schüttungszentrum bei Aarberg oder dem Emmeschuttfächer im unteren Emmental zu finden, aber auch in Form der *Seelandschotter* in talrandlichen, letzteiszeitlich überfahrenen Terrassenpositionen. Talrandliche Aufschotterungen sind bis in den letzteiszeitlichen Endmoränenbereich bei Wangen a.A. charakteristisch. Von dort an talabwärts findet sich in der alten Aaretalrinne von Niederbipp bis Gunzgen eine mächtige, glazigen nicht weiter überprägte Sander Ebene des letzteiszeitlichen Maximums. Analoge Aufschotterungen finden sich auch unterhalb von Wangen a.A. im heutigen Aaretal, doch sind sie dort spät- und postglazial durch die Aare teilweise bis auf die Molasse ausgeräumt worden. Grosse Abbaustellen liegen in den talrandlichen Terrassen, beziehungsweise in den Gletschervorfeldern des letzteiszeitlichen Maximums.

*Berner Jura:* Der Abbau von Kies und Sand im Jura ist bescheiden. Grössere Aufschotterungen fehlen, so dass lokale Vorkommen von Schutthalden, beziehungsweise deren geringfügigen, fluviatilen Umlagerungen für lokale Verwendung abgebaut werden. Grössere Vorkommen fluvioglazialer Schotter sind nicht vorhanden.

*Emmental:* Vorkommen von Kies und Sand im Emmental sind einerseits die letzteiszeitlichen Aufschotterungen im mittleren Emmental oberhalb von Burgdorf und den hauptsächlich Zuflüssen Grüne und Ilfis, andererseits die reliktschen und von mächtigen Verwitterungsdecken überzogenen «Höhenschotter» aus der «grossen Eiszeit» (vergleiche auch Hügelgebiet Berner Mittelland). Bei den Schotterterrassen im mittleren Emmental handelt es sich ausschliesslich um umgelagerte



Molassenagelfluh, wobei häufig zum Talrand, also zur anstehenden Molasse hin, der Übergang in kaum sortierten Gehängeschutt zu beobachten ist. Im mittleren Emmental liegen bedeutende Reserven solcher «Umlagerungs-Schotter»; allerdings sind sie aus Gründen des Gewässerschutzes nur bedingt als Baurohstoffe nutzbar. Grössere aktive Abbaugebiete liegen bei Rüegsauschachen, Waldhaus-Grünenmatt, Trachselwald, Gammenthal und Mutten-Signau.

1996 wurden im Kanton Bern etwa 60 grössere Kiesgruben aktiv betrieben. Diese produzierten gesamthaft über drei Millionen Kubikmeter Material. Weitaus den grössten Anteil daran lieferten die Abbaustellen im Aaretal (Kirchdorf, Wicht-rach, Rubigen), um Bern (Wangental, Mattstetten), im Oberaargau (Attiswil, Heimenhausen, Niederbipp) und aus dem Seeland (Safnern, Finsterhennen, Lyss).

#### BASEL (BS, BL)

Die Rheinebene wird von ausgedehnten fluvioglazialen Schottern unterlagert, welche einst in zahlreichen Gruben genutzt wurden. Weniger bedeutend und qualitativ schlechter sind die kiesigen Ablagerungen in der Sohle der Seitentäler. Auf Basler Stadtgebiet findet heute kein Kiesabbau mehr statt. Im Kanton Baselland ist zur Zeit auch nur noch eine einzige Kiesgrube (Obere Hard) der beiden Gemeinden Muttenz und Pratteln im Betrieb. Ungefähr 40'000 Kubikmeter Kies werden dort pro Jahr maschinell abgebaut.

#### FREIBURG

Im Kanton Freiburg finden sich zahlreiche Vorkommen von Lockergesteinen, welche sich zur Gewinnung von Kies und Sand eignen:

*Ältere Kiesablagerungen:* Diese Kiesablagerungen datieren in die Zeiten von Spätriss, Riss-Würm-Interglazial und der Würm-Interstadiale. Sie liegen oft unter einer Moränendecke mit relativ konstantem Kornaufbau. Die gut bekannten Vorkommen entstanden durch eine sukzessive Hebung der Vorflut infolge Stauung durch den vorrückenden Hauptgletscher. Das detritische Material wurde durch Schmelzwässer eines Nebengletschers zutransportiert, in einigen Fällen auch durch den gleichen Gletscher, welcher den Stau bewirkte. Solche Lagerstätten treten gehäuft entlang dem Tal der Saane auf.

*Fluvioglaziale Ablagerungen:* Darunter fallen die Ablagerungen der Rückzugsstadien nach dem Hochwürm. Diese Vorkommen sind heterogen und in teils kiesige, teils überwiegend

sandige bis siltige Schichten gegliedert. Da sie nur eine dünne Deckschicht aufweisen, wurden sie bis heute besonders intensiv genutzt, weshalb nur wenige grössere kiesige Ablagerungen dieser Art übriggeblieben sind. Die verbliebenen sind meist sehr sandig. Kiesgruben finden sich über den gesamten Kanton verstreut.

*Weitere Ablagerungen:* Für den Rohstoffabbau in Frage kämen *subrezente Flussablagerungen* in den Alluvialböden, die jedoch meist wenig ausgedehnt sind und oft unter dem Grundwasser- oder Flussspiegel liegen. Wegen hohem Grundwasserspiegel können *postglaziale Deltas* in rezente Seen oft nicht abgebaut werden. Wesentlich günstiger ist die Situation bei *Terrassen*, wie sie häufig im Greyerzerland vorkommen. Die Abbaubarkeit von *Bachschuttkegeln* muss von Fall zu Fall überprüft werden, da sie meist sehr heterogen aufgebaut sind (Beispiel Intyamon). Gelegentlich kann Kies aus Gewässern mit Neigung zu heftigen Hochwassern entnommen werden. Zur Nutzung in Frage kämen ferner risseiszeitliche Vorkommen von Sand, unter Moräne versteckte fluviatile Kiese und die stark kiesigen Gletscherrandablagerungen der Würmeiszeit.

Bedeutende Rohstoffvorkommen finden sich im Südteil des Bezirkes Gruyère, im Südteil des Bezirkes Sarine (Saane) und im Norden des Bezirkes See. Gemeinsam entsprechen sie mehr als der Hälfte der verfügbaren Vorräte. Der Südteil des Kantons liefert überwiegend grobkörniges Material, der Nordteil dagegen überwiegend sandiges. Im Jahre 1990 waren im Kanton Freiburg 67 Kiesgruben aktiv, eine Zahl, welche bis 1993 auf 63 zurückging. 1989 bis 1990 erreichte das mittlere jährliche Volumen der Kiesgewinnung 1.35 bis 1.5 Millionen Kubikmeter. Bezogen auf die Einwohnerzahl würde dies einem jährlichen Kiesbedarf von 6.75 bis 7.5 Kubikmeter pro Kopf entsprechen.

#### GENÈVE

Im Kanton Genf werden hauptsächlich kiesige Alluvionen abgebaut, welche alte Talläufe füllen, wobei die Ablagerung durch eine progressive Blockierung der Vorflut durch einen vorrückenden Gletscher ausgelöst wurde. Die Sedimentzufuhr erfolgte durch Schmelzwasser eines Nebengletschers, in einzelnen Fällen durch solche desselben Gletschers, welcher den Stau bewirkte. In den meisten Fällen entstanden in den alten Tälern vorerst feinkörnige glaziale Seeablagerungen, gefolgt von fluvioglazialen Sedimenten. Dieser Typ von Kiesvorkommen ist im Kanton Genf sehr verbreitet (ehemalige Flussläufe von Rhone und Arve). In der Regel liegen sie unter einer Deckschicht, welche aus Grundmoräne besteht, allen-

falls auch aus zusätzlichen Schichten. Der heutige Abbau erfolgt entlang dem Rhonelauf.

Junge fluviatile Ablagerungen kommen unter den Talsohlen vor, sie sind aber wenig bedeutend und können häufig nicht genutzt werden, da sie unter dem Flussbett liegen (Rhone und Arve). Rückzugschotter finden sich am Jurafuss.

Die wichtigsten Vorräte und Abbaustellen liegen im Süden des Kantons, dies in den drei Zonen Satigny–Aire-la-Ville–Russin, Avusy–Laconnex und Bardonnex. Die rund 10 aktiv betriebenen Kiesgruben im Kanton Genf produzierten 1995 etwa 0.85 Millionen Kubikmeter Material. Zusätzlich wurden etwa 0.3 Millionen Kubikmeter importiert, davon 30'000 Kubikmeter aus dem Kanton Waadt und 260'000 Kubikmeter aus Frankreich. Pro Einwohner und Jahr werden etwa 4 Kubikmeter Kies benötigt.

#### GLARUS

Im Kanton Glarus wird aus dem Linthdelta hochwertiger Kies gewonnen, zudem wird an rund 15 Stellen periodisch frisch abgelagertes Material aus der Linth sowie aus Bächen und Runsen entnommen. Die früher zahlreichen, meist kleinen Abbaustellen von Bergsturzsutt, Hangsutt und altem Runsensutt waren 1990 auf drei zurückgegangen, 1994 auf eine. Bei der Versorgung mit Kies spielen heute gebrochener Fels (Kalk) und Recycling von Aushub/Ausbruch eine sehr wichtige Rolle. Bei einer Nachfrage von rund 290'000 Kubikmeter im Jahre 1990 (7.7 Kubikmeter/Kopf) stammten nur rund 60'000 Kubikmeter aus dem Linthdelta und Entnahmestellen aus Fliessgewässern.

#### GRAUBÜNDEN

Im Kanton Graubünden eignet sich eine breite Palette von Rohstoffen zur Gewinnung von Kies und Sand. Während in früheren Jahren vor allem rezente Alluvionen gewonnen wurden, ist heute eine Entnahme aus Fliessgewässern durch verschiedene Auflagen und infolge einer abnehmenden Geschiebeführung der Flüsse (Verbauungen, Stauhaltung) eingeschränkt. Verbreitet ist die systematische Rohmaterialentnahme aus Ausgleichsbecken zur Erhaltung des Stauinhaltes. Vereinzelt erfolgt eine Gewinnung von Kies und Sand aus Seen mit Schwimmbagger (Lago di Poschiavo, Sufersee).

Im Hinterland der Hauptflüsse existieren nur wenige Gruben grösserer Kubatur. Der Abbau dieser Alluvionen älterer Generation ist unter anderem durch den in der Talsohle meist

hochliegenden Grundwasserspiegel beschränkt. Im Churer Rheintal wurde in nicht nutzbaren Bereichen des Grundwasserstromes ein Abbau mit Schwimmbagger unter besonderen Auflagen bewilligt. Die Nutzung von Moränenmaterial ist, wegen einem meist hohen Feinanteil, wenig wirtschaftlich respektive mit besonderen Aufbereitungsaufwendungen verbunden. Günstiger sind örtliche Vorkommen mit fluvioglazial umgelagertem Moränenmaterial. Weitere Gewinnungsstellen liegen in rezenten bis subrezentem Bachsuttflächen sowie im Gehänge-/Blocksutt; derartige Abbaustellen haben typischerweise ein nur kleines Einzugsgebiet und sind damit stark von der petrographischen Rohmaterialzusammensetzung abhängig. Zusätzliche mineralische Rohmaterialvorkommen werden durch Aufbereitung von Tunnelausbruch erschlossen (seit 1994: Promontogno, Crapteig, Sils, Crap Ses, Trin, Val Spelunca, Vereina); auch hier sind die Verwertungsmöglichkeiten in erster Linie von den petrographischen Verhältnissen abhängig. Zunehmend findet ein Ersatz qualitativ hochwertiger mineralischer Rohstoffe durch Recycling-Materialien, vor allem von aufbereitetem Beton- und Mischabbruch statt (siehe auch [Kapitel 9.3](#)). In erster Linie finden diese Sekundärrohstoffe als Kiessande für Foundationsschichten im Strassenbau Verwendung. Da der Kanton Graubünden aus orographisch wie geologisch sehr verschiedenen Regionen besteht, sei die Situation regional besprochen:

Das *Churer Rheintal* liefert ungefähr einen Drittel der im Kanton Graubünden aus Lockergestein gewonnenen Kiesprodukte. Grosse Abbaustellen beuten Schotter im Rhein-Hinterland mit Schwimmbaggern unterhalb des Grundwasserspiegels aus (Untervaz, Haldenstein; [Abbildung 5.21](#)). Die Grube Reichenau baut gravitativ sortierte Flutschotter ab (siehe [Kapitel 5.3.5](#)). Rezente Alluvionen werden in der Maschänzer-Rüfi bei Trimmis, beim Zusammenfluss der beiden Rheine bei Reichenau und bei der Einmündung der Landquart und der Plessur in den Rhein entnommen.

*Vorderrheintal*: Grössere Abbaustellen liegen am Vorderrhein, wo rezente Alluvionen gewonnen werden, zum Teil auch im Hinterland (Schleuis/Ilanz), sowie bei der Einmündung von Seitenbächen (Drunbach Sedrun, Zavruggia Zignau, Rein da Sumvitg Rabius). Flimser Bergsturzmateriel wird in der Grube Bergli Valendas gewonnen. Deltaschotter des alten, hinter dem Flimser Bergsturz gestauten Ilanzersees werden bei Sevgein abgebaut.

*Mittelbünden*: Die Schotterterrassen von Unterrealta sind weitgehend abgebaut, eine neue Abbaustelle wurde 1996 bei Paspels eröffnet. Abbaustellen im Prättigau befinden sich bei





5.21

Ganda Landquart (Hinterland), Schraubach Schiers, Furnabach Pragg-Jenaz und Arieschbach Fideris (rezente Alluvionen). Bei Davos-Frauenkirch sind die Schotterterrassen des alten Davosersees erschöpft, eine neue Konzession für den Abbau auf Junkerboden ist in Sicht. In Wiesen wird sandreiches verschwemmtes Moränenmaterial aus einer Grube gewonnen. Im Schanfigg wird bei St. Peter und Pagig verschwemmtes Moränenmaterial gewonnen, und auf der Lenzerheide stehen die Bachschuttfächer Bovas am Lenzerhorn im Abbau. Rezente Alluvionen der Albula werden aus dem Stausee bei Tiefencastel, der Albula bei Bergün und Filisur gewonnen, rezente Alluvionen der Julia im Oberhalbstein bei Salouf und Sur.

*Engadin und Südtäler:* Junge Bachablagerungen werden an zahlreichen, zum Teil weit voneinander entfernten Orten gewonnen: Bei Pontresina (Montebello) im Vorfeld des Morteratsch-Gletschers, auf dem Berninapass im Delta von Cambrena, bei Sils an der Mündung des Fexbachs, im Inn bei Ramosch, Strada, Sent und Zernez, im Bergell bei Casaccia, im Münsterthal (Rombach) bei Müstair, im Samnaun (Pfandshof), auf dem Flüelapass (Chant Blau), ferner aus dem Delta des Poschiavino im Lago di Poschiavo bei Le Prese. Gehänge- und Blockschutt wird abgebaut im Bergell (Promontogno; Granodiorit), am Flüelapass (Bleisch dal Piz dal Ras; Amphibolit) und im Münsterthal (Piz Daint Tschier; Dolomit) sowie im Puschlav bei Brusio (Mureda).

Im Kanton Graubünden sind zur Zeit über 100 Kieswerke beziehungsweise Materialabbaustellen konzessioniert. Jährlich werden etwa 1.2 Millionen Kubikmeter Kies und Sand gewonnen und als Zuschlagstoffe in der Bauwirtschaft verwendet (Durchschnitt der Jahre 1987–1991). Dabei sind die von



5.22

der petrographischen Zusammensetzung und der Genese her bedingten bedeutenden Qualitätsunterschiede zu beachten. Bezüglich Verwendungszweck und Region sind sehr unterschiedliche Verhältnisse anzutreffen, eine vergleichsweise grosse Versorgungssicherheit herrscht im Churer Rheintal und im Engadin. Andere Regionen sind kritisch, beispielsweise die Landschaft Davos, wo zur Zeit kein einheimischer Kiesabbau getätigt wird, weshalb die Erschliessung neuer Vorkommen erforderlich ist.

## JURA

Als Rohstoffe für die Gewinnung von Kies und Sand kommen im Kanton Jura folgende Lockergesteine in Frage:

*Quarzsande* (Hipparion-Sande) aus dem unteren Pliozän (Pontien). Solche Sande finden sich in der Ajoie östlich der Linie Vendlincourt–Bonfol. Sie wurden einst in ausgedehnten Gruben abgebaut und gewaschen, doch wurden diese vor einigen Jahrzehnten stillgelegt und sind heute verschwunden.

*Vogesenschotter* wurden im mittleren Pliozän durch Flüsse abgelagert. Sie enthalten sehr viel kieselige Gesteine. Die Schüttung erfolgte entlang einer ungefähr Nord-Süd-orientierten Rinne, mit Erosionsgebiet in den Vogesen. Das wichtigste Vorkommen liegt im Bois de Robe zwischen Develier und Bassecourt, doch wird es heute nicht mehr genutzt, da das Waschen und die Trennung der Fraktion zu aufwendig sind.

*Jungquartäre, alluviale Kiese und kalkige Sande* finden sich entlang den bedeutenden Flussläufen (Birs, Sorne, Scheulte, Allaine, Doubs) und in Talsohlen. Ihre Kornverteilung ist wechselhaft. Da der Grundwasserspiegel meist hoch liegt,

Abbildung 5.21: Kiesabbau bei Intervaz GR. Die Abbaustelle liegt im Grundwasserbereich, die Kieseentnahme erfolgt mittels Schwimmbagger. Über Förderbandanlagen gelangt das Rohmaterial zur Auf-

bereitungsanlage in der rechten Bildmitte (Luftaufnahme aus dem Jahr 1993).

Abbildung 5.22: Stauablagerung in einem relativ schwach vergletscherten Seitental; Sperrung des Tals durch den Rheingletscher. Gewaltige Anhäufung verschiedenartigen Lockergesteins während der Würm-

eiszeit durch Lokalbäche, Schutthalten, Moränen etc. Durch spät- und postglaziale Erosion Bildung von Erdpyramiden. Schanfigg, unterhalb Arosa GR.

wird heute nur noch eine Grube dieses Typs abgebaut, südlich von Delémont.

Vorkommen von *Hangschutt* sind entlang allen bedeutenden Hängen festzustellen und werden für den Unterhalt von Wegen und Lokalsträsschen an zahlreichen Orten temporär genutzt.

Im Jahre 1993 zählte der Kanton Jura nur noch zwei aktive Kiesgruben, jene von Courroux-Delémont und jene von Courrendlin. In den Jahren 1986 bis 1991 erreichte das mittlere jährliche Volumen der Kiesproduktion rund 29'000 Kubikmeter, dies bei einem für die Periode von 1992 bis 2007 geschätzten Verbrauch von 4.8 Kubikmeter pro Kopf und Jahr. Eine 1992 erteilte Bewilligung für den erneuten Abbau von Hipparionsanden wurde bisher nicht genutzt.

## LUZERN

Die wichtigen Kies- und Sandvorkommen im Kanton Luzern liegen im Ausdehnungsbereich der eiszeitlichen Gletscher, beziehungsweise in speziellen Staulagen der letzteiszeitlichen Maximalstände, wie bei Wolhusen und im Luthertal. Daneben werden in geringem Masse Alluvialkiese der heutigen Flüsse, Molassenagelfluh und hochgelegene Schotter der grossen Eiszeit (Höhenschotter) abgebaut. Hinzu kommt noch der Import von Kies und Sand auf dem «Seeweg», vor allem aus dem Kanton Uri.

Im wesentlichen liegen im Kanton Luzern zwei grosse Baurohstoff-Abbaugelände vor: Eschenbach und das Wigger beziehungsweise Luthertal oberhalb von Zell. Geologisch handelt es sich dabei um zwei ganz verschiedene Vorkommen. Die Eschenbacher Schotter sind letzteiszeitliche, distale bis proximale Vorstoss-Schotter mit der entsprechenden Grundmoränendecke und einer charakteristischen, alpinen Geröllzusammensetzung. Auf die speziellen Aufschotterungen im Luthertal wird im [Kapitel 5.3.2](#) eingegangen.

## NEUENBURG

Im Kanton Neuenburg finden sich – gegliedert vom ältesten zum jüngsten – folgende möglichen Rohstoffvorkommen zur Gewinnung von Kies:

*Gletscherrandbildungen*, zur Hauptsache in Form von Seiten- und Stirnmoänen. Diese liegen fast ausschliesslich auf der Südostflanke des Jura, wo sie häufig mit alluvialen Terrassen vergesellschaftet sind. Ihre Bildung begann mit dem Würmmaximum und endete im mittleren Spätglazial. Abbaustellen finden sich heute bei St-Blaise und Gorgier.

*Schottervorfelder* von Rückzugsstadien sind am Jura Fuss anzutreffen, wo sie heute beispielsweise bei Buttes und Coffrane abgebaut werden.

*Eisrandterrassen und Stauschotter*: Es sind dies Ablagerungen von Flüssen und Schmelzwässern entlang dem Eisrand, gelegentlich auch in einem kleinen Stausee. Solche Bildungen begleiten und markieren insbesondere die sukzessiven Stadien des Abschmelzens der Gletscher entlang den Flüssen, welche heute in den Neuenburgersee fliessen (Terrassen der Areuse im Gebiet von Boudry und Cortaillod oder in den Talflanken des Neuenburger Jura).

Vom Neuenburgersee *überflutete Teile von Deltas*. Solche kiesigen Ablagerungen finden sich vor jeder Flussmündung und werden heute mit Schwimmbaggern abgebaut (z.B. St-Blaise, St-Aubin). Die Schuttfuhr zu den Deltas war einst viel intensiver als heute.

*Hangschutt*, leicht erkenntlich am kantigen Korn und an der Lage am Fuss von Felswänden. Unter dem Namen «Groise» (entspricht dem aus dem Keltischen stammenden Ausdruck «Grien»; siehe auch unter Schaffhausen) werden derartige Vorkommen im ganzen Kanton lokal genutzt.

1995 standen 20 Kiesgruben in Produktion, wovon 3 von kantonalen Bedeutung sind (St-Blaise-Le Maley, Coffrane-Serroue und Coffrane-Rive). Zwischen 1978 und 1988 betrug der mittlere jährliche Verbrauch an Kies und Sand 720'000 Kubikmeter, wovon 350'000 Kubikmeter aus Kiesgruben und 370'000 Kubikmeter aus dem See stammten. Für die Periode 1989 bis 1992 (Hochkonjunktur) stieg er auf 1.3 Millionen Kubikmeter pro Jahr, das heisst auf 8 Kubikmeter pro Einwohner. Die bedeutendsten nutzbaren Reserven bilden die Eisrandterrassen und Stauschotter, gefolgt von den überfluteten Teilen der Deltas.

## NIDWALDEN

Im Kanton Nidwalden wird dem Vierwaldstättersee bei Stansstad ([Abbildung 5.23](#)) und aus dem Delta des Cholbachs bei Emmetten Kies entnommen, zudem wird der laufend anfallende Runsen- und Bachschutt an verschiedenen Stellen genutzt. Grosse Kubaturen von hochwertigem Flusskies liefert das heute weit über dem Talboden liegende, von Moräne überlagerte fossile jungquartäre Delta bei Ennerberg. Etwas ungewiss ist die Zukunft der verschiedenen Entnahmestellen aus dem Bergsturzgebiet des Kernwalds, wo das kalkige Trümmaterial und untergeordnet auch Runsenschutt abgebaut worden sind. 1994 waren die meisten dieser Gruben stillgelegt,





5.23

doch bestehen bedeutende Reserven, welche zur Zeit allerdings noch nicht für den Abbau freigegeben sind. An verschiedenen Stellen wird Kieselkalk gebrochen, ein hochwertiges Produkt, welches bei der Kiesversorgung eine bedeutende Rolle spielt.

In der Periode 1986/1987 wurden pro Jahr durchschnittlich etwa 530'000 Kubikmeter Lockergestein zur Gewinnung von Sand und Kies abgebaut, davon rund 85'000 Kubikmeter Bergsturzmaterial und Runsenschutt. 1990 wurde der künftige jährliche Bedarf auf ungefähr 560'000 Kubikmeter geschätzt.

#### OBWALDEN

Im Kanton Obwalden beschränkt sich die Kiesproduktion heute auf den Abbau von postglazialen Fluss- und Murgangablagerungen und auf das Recycling von Ausbruch- und Aushubmaterial. Neben der Entnahme aus dem Alpnachersee spielen

insbesondere die schuttreichen Bäche der linken Talflanke zwischen Giswil und Alpnach eine bedeutende Rolle. In ihrem Einzugsgebiet liegt überwiegend Flysch, welcher zähe, kieselige Sandsteine und Feinkonglomerate liefert. Die Nutzung von Stauschottern in der rechten Talflanke um Sachseln ist eingestellt worden, ebenfalls – wenigstens periodisch – der Steinbruch Guber, welcher hochwertige kieselige Sandsteine liefert. In den Jahren 1987/1988 erreichte die jährliche Produktion von Kies und Sand aus Lockergestein rund 90'000 Kubikmeter, was den Eigenbedarf nicht zu decken vermochte, weshalb rund 35'000 Kubikmeter importiert wurden.

#### SCHAFFHAUSEN

Die hochwertigen Klettgau-Rinnenschotter (Riss) bilden die Hauptkiesreserve des Kantons Schaffhausen. Sie sind bis zu 100 Meter mächtig, können aber wegen des Grundwasserspie-

Abbildung 5.23: Kiesbaggerschiff auf dem Vierwaldstättersee bei Risleten (Beckenried), Kanton Nidwalden.

gels nur bis auf maximal etwa 40 m Tiefe genutzt werden. Derzeit sind grosse Gruben südöstlich Beringen, nordöstlich Guntmadingen, südlich Hallau und bei Wilchingen-Unternewald im Betrieb. Zwischen 1980 und 1984, das heisst während fünf Jahren, wurden im gesamten Gebiet 237'000 Kubikmeter Kies pro Jahr produziert. Im Gebiet Rüdlingen-Buchberg hat der Kanton Schaffhausen Anteil am Kiesgebiet des Rafzerfeldes. Zwischen 1980 und 1984 wurden pro Jahr gegen 50'000 Kubikmeter gefördert, doch ist die Produktion rückläufig. Einen bedeutenden Anteil an der Schaffhauser Kiesproduktion hat mit rund 45'000 Kubikmeter pro Jahr die Kiesgrube Solenberg nordöstlich von Schaffhausen (Vorstoss- und Eisrandschotter, Würm?). Bis zu 24'000 Kubikmeter pro Jahr wurden im oberen Kantonsteil (Buch-Ramsen-Hemishofen-Stein am Rhein) produziert (inzwischen aufgelassen).

Traditionsgemäss wird im Gebiet Randen-Südranden Malmkalk-Hangschutt (sogenannter «Grien») zur Beschotterung von Waldstrassen abgebaut, doch sind die Mengen unbedeutend.

## SCHWYZ

Im Kanton Schwyz wurde einst an sehr vielen Stellen Lockergestein zur Gewinnung von Kies und Sand abgebaut, dies aus ganz verschiedenartigem Material: Wallmoräne (z.B. Schindellegi), Schmelzwasserschüttungen unmittelbar vor oder neben der Gletscherfront eines würmeiszeitlichen Rückzugsstadiums (z.B. Hurden, Reichenburg), Stauschotter (z.B. Rempfen im Wägital), postglaziale Flussablagerungen der Linth und der Wägitaler Aa, Hangschutt und weitere Lockergesteine. Die meisten derartigen Vorkommen sind heute erschöpft, qualitativ problematisch oder beispielsweise wegen des Grundwasserschutzes nur bedingt nutzbar. Heute liegt der Schwerpunkt des Kiesabbaus im südlichen Teil des Buchbergs, zwischen Tuggen und Wangen. Unter einer Moränendecke liegen hier gewaltige Mengen von flachgelagertem, fluvioglazialen Kies, nahe dessen Basis Schieferkohlen eingeschaltet sind. Darunter folgen in grosser Mächtigkeit Seebodenlehme. Ob die Kiese in der Würmeiszeit oder aber – mindestens im basalen Teil – früher geschüttet wurden, bleibt umstritten. Dieses qualitativ hochwertige Material wird schon seit langem im grossen Stil gewonnen. Dank der gegenüber der Talebene überhöhten Lage stellen sich keine grossen Probleme wegen des Grundwassers. Das gleiche gilt für das sehr viel kleinere, ebenfalls von Moräne überdeckte spätglaziale Kiesvorkommen, welches bei Küssnacht genutzt wird. Nahe Ein-

siedeln wird im Alptal eine spätwürmeiszeitliche Kiesterrasse abgebaut. Der laufend neu entstehende Bach- und Runsenschutt hat heute im Kanton Schwyz für die Kiesgewinnung wenig Bedeutung. Von den einst häufigen Gruben in Hangschutt, Moräne oder Runsenschutt blieb nur noch eine einzige bedeutende Abbaustelle für Hangschutt nahe Unteriberg übrig. Beim Bau der Zubringerlinie zum Gotthard-Basistunnel dürften grosse Mengen von Material anfallen, welches sich als Substitutionsmaterial eignet.

## SOLOTHURN

Der Kanton Solothurn verfügt über grosse Vorkommen an hochwertigem Alluvialkies. Die Vorkommen verteilen sich hauptsächlich auf drei Regionen im Mittelland: das *Wasseramt* als unterster Teil des Emmentals, das *Gäu* zwischen Dünern und Aare sowie das *Niederamt* zwischen Olten und Aarau. Daneben finden sich kleinere Vorkommen im Bereich Bucheggberg und Lebern westlich von Solothurn. Der Jura-Teil des Kantons verfügt nur über sehr kleine alluviale Kiesvorkommen, die grösstenteils entlang dem Dünern-Oberlauf, der Lüssel und der Birs zu finden sind.

*Wasseramt, Lebern, Bucheggberg:* In dieser Region kann zwischen älteren Hochterrassen-Schottern, Würm-Vorstossschottern sowie Niederterrassen-Schottern unterschieden werden. Die Niederterrassen-Schotter des Wasseramtes sind die Träger des untersten Teiles des bedeutenden Emmentaler Grundwasserstroms und weisen einen hohen Grundwasserspiegel auf, weshalb eine Nutzung dieses Vorkommens für die Kies- und Sandversorgung ausgeschlossen ist.

Die randlichen, teilweise mit Moränen bedeckten Vorstossschotter des Würms finden sich einerseits im untersten Emmental (Subinger-Deitinger Wald), andererseits in isolierten Vorkommen entlang der Aare oberhalb Solothurn. Die erstgenannten Schotter sind zwar durch einen Moränendeckel geschützt, aber mit dem Emmentaler Grundwasserstrom verbunden, also in der Regel nur oberhalb des Grundwasserspiegels nutzbar (bestehende Grube bei Deitingen, Produktion unter 50'000 Kubikmeter/Jahr). Die Vorkommen von Lüsslingen (Abbau) und Nennigkofen stellen das Ende einer Perlenkette von Vorstossrelikten dar, die im benachbarten Bernbiet rege abgebaut werden.

Die vergleichsweise kleinen Hochterrasse-Vorkommen werden zur Zeit in Lommiswil, Lüterkofen-Ichertswil und im Zusammenhang mit dem Bau der Nationalstrasse A5 bei Biberist abgebaut.



*Gäu (Bezirke Gäu und Olten-West):* Die Niederterrasse des alten, heute von der Dünnern durchzogenen Aarelaufes zwischen Niederbipp und Olten stellt ein wichtiges Grundwasserreservoir dar. Zudem wird die Landschaft intensiv durch Siedlungen, Industrie, Verkehrswege und Landwirtschaft genutzt. Ein Abbau dieses rund 500 Millionen Kubikmeter umfassenden Kies- und Sandvorkommens ist deshalb praktisch nicht möglich. Als Ausnahmen haben die grosse Grube von Aebischholz/Oensingen und die vergleichsweise kleine Grube von Gheid/Olten zu gelten.

Die Niederterrasse der jüngeren, ebenfalls verlassenen Aareläufe zwischen Schwarzhäusern BE und Boningen stellen ein weiteres grosses Kies- und Sandlager dar (rund 160 Millionen Kubikmeter). Sechs mittlere bis grosse Betriebe produzieren hier rund die Hälfte des solothurnischen Kiesausstosses. Die Kiesgruben produzieren durchwegs einen sehr hochwertigen, feinanteilarmen Kies. Aufgrund dieser hohen Qualität bestand bislang wenig Interesse, die Hochterrasse der Mittelgäuhügel abzubauen. Hier finden sich einzig einige Kleinstabbaustellen von lokaler Bedeutung.

*Niederamt (Bezirke Gösigen und Olten-Ost):* Die Niederterrasse des Aarelaufes unterhalb Olten kommt aus hydrogeologischen Gründen nur in ihren randlichen Bereichen für die Kiesgewinnung in Frage. Momentan wird dieser hochwertige Kies einzig südlich der Aare, bei Dulliken und Däniken, in grösserem Stil abgebaut. Zwei weitere Gruben finden sich in den teilweise stark sandigen, stellenweise stark verkitteten Hochterrassenschottern zwischen Lostorf und Niedererlinsbach.

*Jura (Bezirke Dorneck, Thierstein und Thal):* Im Bereich des Juras finden sich nennenswerte Alluvialkiesvorkommen nur in den Talauen, insbesondere im unteren Dünnerntal (Bezirk Thal), bei Breitenbach (Bezirk Thierstein) und bei Dornach (Bezirk Dorneck). Diese Vorkommen sind jedoch der Trink- und Brauchwasserversorgung vorbehalten. In knapp 20 Kleinabbaustellen, sogenannten Mergelgruben, wird jährlich um die 10'000 Kubikmeter Gehängeschutt (mehrheitlich Hauptrogenstein und Malmkalk) abgebaut. Das Material wird primär für den Bau von Forst- und Landwirtschaftswegen eingesetzt.

Im Kanton Solothurn standen 1990 rund 16 grössere Kiesgruben im Abbau, welche gesamthaft etwa 0.8 Millionen Kubikmeter Kies und Sand produzierten. Dieser Ausstoss ist aber sehr unregelmässig verteilt, entstammen doch 0.5 bis 0.6 Millionen Kubikmeter dem Gäu, welches Kies in die Juraregion des Kantons, hauptsächlich aber in das benachbarte Mittelland (BE, AG) exportiert. Die Bezirke Dorneck und Thier-

stein beziehen ihren Kies hauptsächlich aus dem Elsass. Gesamthaft konnte der Kanton Solothurn 1990 seinen Eigenbedarf von rund 1.2 Millionen Kubikmeter nicht decken. Viel Gewicht wird deshalb auf die Förderung von Recycling und die Aufbereitung von Alternativmaterialien gelegt. 1990 konnten 5% des Verbrauches auf diese Weise gedeckt werden; unter besten Voraussetzungen liesse sich dieser Anteil sicher noch steigern.

## ST. GALLEN

Der Kanton St. Gallen gehört eher zu den Kiesmangelgebieten. Würmeiszeitliche Rückzugsschotter werden vor allem noch im Wilerfeld (westlich Wil), nordöstlich Niederbüren, bei Schwarzenbach und im Toggenburg (Nassen, Mosnang, Unterrindal, Bütschwil) gewonnen. Spätglaziale Rückzugsschotter wurden früher in grossem Stil längs des Thurtals von Jonschwil über Henau bis Oberbüren abgebaut, heute noch nördlich von Schwarzenbach und nordöstlich von Niederbüren. Würmeiszeitliche Vorstoss-, Eisrand- und Stauschotter werden bei Kirchberg, Jonschwil, östlich Flawil und östlich Degersheim gewonnen, vergleichbare Schotter in noch bedeutenderem Umfang auch am Südrand der Linthebene (von Ernetschwil-Gommiswald bis Eschenbach). Lokale Vorkommen wurden beim Bau der Autobahn A1 um Gossau und zwischen St.Gallen und Goldach verwertet ([Abbildung 5.14](#)). Nur noch gelegentlich werden auch Molassenagelfluhen, teilweise aus der Unterlage pleistozäner Schotter, verwertet.

Früher wurden aus dem Rhein beträchtliche Mengen an rezentem Alluvialkies entnommen und bis nach Zürich geführt, doch fehlt heute weitgehend der natürliche Nachschub. In der sanktgallischen Rheinebene selbst treten Schotter nur in geringem Umfang und meist nur unmittelbar längs des Rheinlaufs auf. Sie haben kaum mehr praktische Bedeutung. Im St.Galler Oberland (Taminatal) und im Rheintal (Lienz-Salez) wird Hangschutt gewonnen.

Der Gesamtausstoss des St. Galler Kiesgewerbes erreichte 1991/92 rund 2 Millionen Kubikmeter pro Jahr. Davon entfielen auf Kies für Transportbeton 0.29 Millionen Kubikmeter, auf sonstiges, aufbereitetes Material (rund gebrochen) 1 Million Kubikmeter und auf Wandkies 0.3 Millionen Kubikmeter. Aus Deutschland wurden 0.28 Millionen Kubikmeter eingeführt, aus Österreich 0.13 Millionen Kubikmeter. Es besteht, wie im Falle Thurgau, ein reger Kiesaustausch mit den Nachbarkantonen, der aber nicht getrennt von anderen Baustoffen ausgewiesen ist. Die derzeit bewilligten Abbaustellen gehen

aus [Abbildung 5.27](#) hervor. Die für die Zukunft geplanten Abbaubereiche decken sich damit weitgehend.

## TESSIN

Bedingt durch die geologische Vielfalt der Gesteine und die Grösse der Einzugsgebiete ändert sich die Zusammensetzung des Lockergesteinsmaterials regional stark. Die heute noch aktiven Entnahmestellen befinden sich im Sopraceneri, das heisst im Bereich des Südrandes des Gotthardmassivs und der penninischen Decken. Das Ursprungsmaterial ist vorwiegend Gneis und Schiefer, der Glimmeranteil ist meist recht hoch. Die Flüsse und Bäche weisen allgemein ein steiles Längsprofil auf und haben daher vorwiegend die Eigenschaften von Wildbächen; die Ablagerungen sind häufig ungeordnet mit teilweise hohem Silt- und Glimmergehalt. Der Bedarf an Betonzuschlagstoffen für die grossen Wasserkraftanlagen (z.B. Maggia, Blenio) wurde seinerzeit mit dem Abbau von Moränen und fluvioglazialen Kiesen gedeckt. Der Kies für die Verzasca-Staumauer stammte aus einem Steinbruch im weiteren Bereich der Baustelle. Abgebaut werden heute die rezenten Geschiebe der Flüsse. Die meisten Aufbereitungsanlagen verarbeiten aber in zunehmendem Masse Aushubmaterial aus Baugruben und besonders im Bereich der Riviera Ausschussmaterial der Steinbrüche im granitischen Gneis. Ein erheblicher Anteil des Kies-Sandbedarfes des Kantons Tessin wird durch Importe aus Italien gedeckt. Zuschlagstoffe für Beton, der besonders hohen Ansprüchen genügen muss, stammen aus Kiesgruben der Nordostschweiz.

*Bedretto und Leventina:* In Ronco werden die rezenten Flussgeschiebe abgebaut und die Aushubmaterialien des Bedrettofensters des Furkatunnels aufbereitet. In Giornico werden die vorwiegend aus Leventinagneis bestehenden Geschiebe des Tessins abgebaut.

*Bleniotal:* Die rezenten Geschiebe des Brenno werden in Acquarossa, Motto und Biasca genutzt und in Osogna aufbereitet. Das Schuttmaterial des historischen Bergsturzes von Biasca (1512) wird in der «Buzza di Biasca» genutzt und wird dort, wie auch in Castione, aufbereitet. Das Material aus der tektonischen Einheit der Simanodecke ist recht plattig und glimmerhaltig.

*Riviera:* Ein Teil des in den Steinbrüchen beim Abbau der granitischen Gneise der Riviera anfallenden Schuttes wird in den Anlagen Osogna, Castione und Preonzo zu Kies aufbereitet. In Castione werden Kalksilikatgesteine abgebaut und zu Kies verarbeitet.

*Misox (GR):* Das Geschiebe der Moesa wird in Lostallo (GR) abgebaut und verarbeitet.

*Maggiatal:* In Cevio werden die rezenten Alluvionen der Maggia und vor allem die kontinuierlich anfallenden beträchtlichen Mengen von Geschiebe der Rovana (vom Bergrutsch Campo Valle Maggia stammend) abgebaut. Die Aufbereitungsanlage in Avegno verarbeitet Geschiebe der Maggia und dient der Wiederaufbereitung von Aushubmaterial.

*Locarnese:* Geschiebe des Tessinflusses wird an dessen Mündung in den Langensee genutzt. Die Anlage verarbeitet auch Aushubmaterial aus dem Locarnese und importiert Material aus Italien (Luino). Eine heute stillgelegte Anlage im obersten Centovalli (nahe der Grenze zu Italien) nutzte das Geschiebe der Melezza, das von den grossen Moränenvorkommen des Val Vigizzo stammt.

*Sottoceneri:* In Cadro werden Flussgeschiebe abgebaut und zusammen mit Aushubmaterial verarbeitet. Kalkstein wird in den Steinbrüchen von Arzo und von Salorino zu Kies verarbeitet.

Die Produktion von Sand und Kies im Kanton Tessin stützt sich also neben der Gewinnung von Flussgeschiebe und dem Bergsturz- und Murgangmaterial der Buzza di Biasca auf die Verwertung von Alternativmaterialien. Diese Möglichkeit könnte in Zukunft massiv gesteigert werden, falls der Gotthard-Basistunnel und sein südlicher Zubringer gebaut werden.

## THURGAU

Der Kanton Thurgau ist ein ausgesprochenes Kiesmangelgebiet, das derzeit auf bedeutende Importe aus dem deutschen Bodenseegebiet angewiesen ist (30 bis 60%).

Heute noch von einiger Bedeutung sind die Niederterrassen-Schotter im Gebiet von Diessenhofen, doch sind die Vorräte sehr beschränkt. Die jungen Schotter der Thurtalsole zwischen Frauenfeld und Bischofszell werden derzeit nur noch in kleineren Gruben genutzt. Immerhin wird angenommen, dass zwischen Bürglen und Weinfelden noch mit einigen Reserven gerechnet werden kann, wobei aber zunehmend Interessenkonflikte zu berücksichtigen sein werden. Die Niederterrasse zwischen Kaltenbach und Eschenz enthält nur noch relativ bescheidene abbaubare Reserven.

Die grossen Schotterfelder von Aadorf (spätglazial und teilweise mit Moränen kombiniert) befinden sich in einem fortgeschrittenen Stadium des Abbaus. Es sind dort ebenfalls noch beträchtliche Vorräte vorhanden, deren Abbau aber von diversen anderweitigen Nutzungen tangiert wird.





5.24

Von Moränen überlagerte, vermutlich risszeitliche Schotter werden gegenwärtig am Hüerbüel zwischen Basadingen und Unterschlatt im nordwestlichsten Kantonsgebiet abgebaut und weiter erkundet. Bedeutende gleichartige Vorkommen liegen südlich von Frauenfeld im Gebiet von Weinigen-Hüttwilten (Ittinger Schotter). Sie werden in mehreren Gruben abgebaut, und es wird mit bedeutenden Vorräten gerechnet; ein Zusammenhang mit dem Gebiet Basadingen wird vermutet. Vergleichbare Vorkommen werden auch bei Hohentannen nördlich von Bischofszell genutzt.

Der Kiesbedarf des Kantons Thurgau erreichte um 1989/90 rund 1 Million Kubikmeter pro Jahr. 1989 wurden 0.65 Millionen Kubikmeter Kies und gebrochene Steine (statistisch nicht differenziert) aus Süddeutschland eingeführt plus 0.13 Millionen Kubikmeter Bausand, 1992 nur noch halb soviel. Mittelfristig wird mit einem Kiesbedarf von etwa 0.75 Millionen Kubikmeter pro Jahr gerechnet, bei einem Eigenabbau von 0.5 Millionen Kubikmeter. Es besteht ein Kiesaustausch mit den Nachbarkantonen (Zürich, Schaffhausen, St.Gallen), was regional-geographisch bedingt ist. 1992 betrug der Import aus Zürich 42'037 Kubikmeter, aus Schaffhausen 21'400 Kubikmeter und aus St.Gallen 38'486 Kubikmeter, der Export nach Zürich 25'868 Kubikmeter, nach Schaffhausen 4750 Kubikmeter und nach St.Gallen 38'030 Kubikmeter.

#### URI

Im Kanton Uri wird hochwertiger Kies aus dem Reussdelta bei Flüelen gewonnen. Noch wenig genutzt sind die bedeutenden Mengen von laufend anfallendem Bach- und Rüsichutt. Ebenso steht viel Hangschutt von guter Qualität zur Verfü-

Abbildung 5.24: Wallmoräne, sehr grobkörnig, nahezu ohne Ton, aber mit viel Silt und Sand (Einzugsgebiet zur Hauptsache Kristallin). Ablagerung des Allalinger Gletschers.

Abbau zur Erstellung des Erddammes Mattmark VS (Aufnahme: Sommer 1964).



5.25

gung, doch wird solcher zur Zeit nur im Urserental bei Zumdorf genutzt. Andererseits liefert der Steinbruch Attinghausen qualitativ hochstehenden Hartschotter aus kieseligen Sandsteinen des Flysch und stellt Ausbruch- und Aushubmaterial für das Recycling zur Verfügung. Der Umbau des Kraftwerks Amsteg, in noch grösserem Masse aber der geplante Gotthard-Basistunnel samt Zubringerlinie, werden für längere Zeit dieses Angebot massiv steigern.

#### WAADT

In der Reihenfolge von alt nach jung weist der Kanton Waadt verschiedene Typen von Lockergestein auf, welche für eine Gewinnung von Kies und Sand von Bedeutung sein können:

*Alte fluvioglaziale Ablagerungen* (älter als Hochwürm), meist in Form von Füllungen ehemaliger Täler. Sie entstanden in der Regel durch eine Hebung des Vorflutniveaus durch einen vorrückenden Gletscher. Die Sedimentzufuhr erfolgte durch Schmelzwasser eines Nebengletschers, in einzelnen Fällen durch solche desselben Gletschers, welcher den Stau bewirkte. Meist entstanden in den alten Tälern vorerst feinkörnige glaziale Seeablagernngen, gefolgt von grösseren fluvioglazialen Sedimenten. In der Regel liegen sie unter einer Deckschicht, welche aus Grundmoräne besteht, allenfalls auch zusätzlichen Schichten. Derartige Schotter wurden beispielsweise bei Claire-aux-Moines (Savigny) abgebaut.

*Ältere fluvioglaziale Ablagerungen im Vorfeld der abschmelzenden Würm-Gletscher.* Dieser hier wenig verbreitete Typ bildet einzig im Westen von Cossonay eine bedeutende, bei Dizy-En-Fayet genutzte Lagerstätte (Alter: Beginn Mittelmwürm).

*Gletscherrandbildungen*, dies zur Hauptsache in Form von

Abbildung 5.25: Stauschotterablagung infolge Abdämmung des Val d'Entremont durch den Gletscher aus dem Val Ferret bei Orsières. Gletschnahe, schlecht sortierte

und wenig gerundete Sedimente mit Einstreuung von Blöcken und Sandlagen. Kiesgrube SE Orsières VS.

Seiten- und Stirnmoränen. Diese liegen fast ausschliesslich auf der Südostflanke des Jura, wo sie häufig mit alluvialen Terrassen vergesellschaftet sind. Ihre Bildung begann mit dem Würmmaximum und endete im mittleren Spätglazial.

Terrassenförmige *Alluvionen im Bereich der Vereinigung von Seitengletschern mit dem Hauptgletscher*, wo meist ein Stauraum und damit Deltaschichtung entstand. Ablagerungen dieses Typs finden sich am Fuss der Südostflanke des Jura, zwischen Nyon und Orbe.

*Fluvioglaziale Ablagerungen* der ausgehenden Würmeiszeit treten am Juraufuss auf, wo sie abgebaut wurden (Bière, Montricher).

Ähnliche Alter weisen *Eisrandterrassen* und kleine *Stauschottervorkommen* auf. Solche Bildungen markieren insbesondere die sukzessiven Stadien des Abschmelzens der Gletscher entlang den Flüssen, welche heute dem Genfer- und dem Neuenburgersee zuströmen (z.B. Terrassen der Aubonne, einst bei Lavigny abgebaut).

*Spät- bis postglaziale alluviale Terrassen*, welche sich einst als Delta bei der Einmündung von Gewässern in ehemalige grosse Seen bildeten oder in noch existierende Seen, deren Spiegel aber seither absank. Solche Terrassen sind um den Genfersee recht verbreitet, wo sie 3 bis 30 m über dem heutigen Seespiegel zu beobachten sind. Man findet sie aber auch im unteren Teil des Tals der Venoge (Morges), im Tal der Broye zwischen Payerne und Moudon und im Tal des Joux. Als Beispiel einer Abbaustelle sei Allaman-La Frésaire erwähnt.

*Vom See überflutete Teile von Deltas*. Solche kiesigen Ablagerungen finden sich vor jeder Flussmündung und werden teilweise mit dem Schwimmbagger abgebaut. Die Schuttzufuhr zu den Deltas war einst viel intensiver als heute, dies insbesondere in der Rhoneebene. Ältere Deltaablagerungen finden sich bei Aigle und vermutlich bis Bex, sie sind aber nicht auf der gesamten Breite der Ebene zu erwarten. Abbaustellen liegen beispielsweise bei Aigle-Les Iles, bei Villeneuve-Les Grangettes und bei Le Bouveret-La Bretagne (Konzession im Wallis). *Hangschutt* am Fuss von Felswänden im Jura und in den Préalpes.

Anfangs 1996 hatten im Kanton Waadt 50 Kiesgruben eine Betriebsbewilligung, wovon allerdings nur 30 effektiv produzierten. 1992 und 1993 erreichte die mittlere Jahresproduktion der Kiesgruben gesamthaft 1.6 Millionen Kubikmeter, jene der Entnahmen aus dem See 0.35 Millionen Kubikmeter. Zusätzlich wurden 0.23 Millionen Kubikmeter importiert. Der mittlere jährliche Kiesbedarf pro Einwohner kann für die Jahre 1982 bis 1988 auf 5.7 Kubikmeter geschätzt werden.

## WALLIS

Grosse Vorräte an hochwertigem Alluvialkies haben die Rhone und die Flüsse der grossen Seitentäler im Spät- und Postglazial geschüttet. Im Rhonetal soll die Lockergesteinsfüllung laut seismischen Untersuchungen bis zu 1000 m Mächtigkeit erreichen. Viele Gruben im Haupttal bauen den Kies auch heute noch bis unter den Grundwasserspiegel ab. An zahlreichen Orten wird in den Seitentälern aus lokalen Gewässern Runsenschutt oder Bachsediment gewonnen, wobei trotz des Baus von vielen Stauseen noch reichlich Geschiebe anfällt, das Material aber an vielen Orten etwas feinkörniger geworden ist. Bergsturzmaterial und Hangschutt stehen an vielen Orten zur Verfügung, werden zur Zeit aber nur lokal und in bescheidenen Kubaturen abgebaut. Die grossen Gletscher der Seitentäler hinterliessen im Spätglazial gewaltige Mengen an Wallmoräne, welche in den kristallinreichen Einzugsgebieten nur wenig Ton enthält und als Rohstoff genutzt werden kann ([Abbildung 5.24](#)). Bei der Einmündung von kleineren Seitentälern oder bei der Vereinigung von zwei bedeutenden Talsystemen entstand im Spätglazial an verschiedenen Orten ein Stau durch den Hauptgletscher, weshalb recht häufig Stauschotter oder Seeablagerungen zu beobachten sind. So hat beispielsweise bei Orsières der aus dem Val Ferret stammende Gletscher das Val d'Entremont kurzfristig abgedämmt, was zur Bildung von ausgedehnten Schottervorkommen führte ([Abbildung 5.25](#)). Zahlreich treten auch spät- oder postglaziale Schotterterrassen oder heute weitgehend passiv gewordene Bach- oder Runsenschuttkegel auf, welche sich je nach Einzugsgebiet als Rohstoff zur Kiesgewinnung eignen können.

Die grosse geologische Vielfalt des Kantons mit helvetischen, penninischen und ostalpinen Decken sowie Zentralmassiven führt zu einer breiten, lokal stark variierenden Palette in der petrographischen Zusammensetzung der nutzbaren Kiesvorräte. Das Einzugsgebiet der Bäche und Flüsse, aber auch der eiszeitlichen Gletscher wirkt sich hier sehr stark aus. Links der Rhone bis hinunter nach St-Maurice fällt kristallines Material aus dem Penninikum, dem Gotthardmassiv und dem Aiguilles-Rouges- sowie dem Mont-Blanc-Massiv an, hinzu kommen überwiegend schiefrige Sedimentgesteine. Rechts der Rhone stammt das detritische Material bis hinunter nach Leuk zur Hauptsache aus dem Aarmassiv, weiter talabwärts dagegen fallen fast nur Sedimentgesteine an, unter welchen Kalk besonders häufig ist. Diese starke Abhängigkeit der Zusammensetzung der Kiesfraktion vom Einzugsgebiet zeigt



sich exemplarisch in folgenden Beispielen: Bei Collonges im Unterwallis besteht die Kiesfraktion (Schuttkegel) aus 93% Kristallin und 7% Kalk, bei Sion (Les Iles) aus 75% Gneis und quarzreichen Gesteinen, 4% Glimmerschiefer und 21% Sandsteinen und Konglomeraten. Weiter talaufwärts, bei Brig-Glis (Gamsen) sind 70–80% Gneise und quarzitisches Gneise, 15–18% Glimmerschiefer und Kalkschiefer, 1–3% Marmor und 2–12% diverse Gerölle in der Kiesfraktion enthalten. Im Vispertal bei Stalden schliesslich zeigt das Geröllspektrum 41% Gneis und Glimmerschiefer, 23% helle, granitische Gneise, 25% Ophiolithe, 8% Quarzite sowie 3% Marmor und Dolomit. Die Gesteine verschiedener Herkunft werden in den Alluvionen des Haupttales durchmischt.

Anfangs 1994 standen im Kanton Wallis 89 Kiesgruben und 32 Steinbrüche in Betrieb. 37 Entnahmestellen für Kies erreichten einen Jahresausstoss von mindestens 10'000 Kubikmeter, 8 einen solchen von über 50'000 Kubikmeter. Gesamthaft wurde im Kanton Wallis in den Jahren 1990 bis 1991 rund 1.5 Millionen Kubikmeter Kies und Brechschotter pro Jahr gewonnen, was ungefähr dem Verbrauch des Kantons entspricht und pro Kopf einen Jahresverbrauch von 7 Kubikmeter ergibt. Der Autobahnbau in der Region Sion–Sierre brachte zeitweise einen zusätzlichen Bedarf, doch ist seit 1990 der Kiesverbrauch rückläufig, dies teilweise auch wegen der Rezession im Bausektor. Generell wurde auch weniger Kies aus der Rhoneebene entnommen (1982: rund 400'000 Kubikmeter; 1992 etwa 250'000 Kubikmeter). Falls der Lötschberg-Basistunnel gebaut wird, könnten voraussichtlich bedeutende Anteile des Ausbruchmaterials als Rohstoff für die Gewinnung von Kies und Sand dienen.

Die infolge der geschilderten geologischen Verhältnisse, aber auch infolge schwieriger Zugänglichkeit oder unterschiedlicher Bewilligungspraxis ungleichmässig über den Kanton verteilten Kiesentnahmestellen können regional wie folgt skizziert werden:

*Goms:* Die wichtigsten Entnahmestellen liegen in der Alluvialebene oder im heutigen Flusslauf der Rhone.

*Rhonetal zwischen Brig und Leuk:* Viel Material wird hier den Alluvionen und den Flussläufen von Rhone, Vispa und Lonza entnommen, dies teilweise unterhalb des Grundwasserspiegels (die so entstandenen Seen werden «Gouilles» genannt). Am Rande der Rhone wird auch Material aus dem riesigen Schuttfächer des Pfynwalds entnommen, ferner wird lokal Bergsturzmaterial abgebaut. Dieser Talabschnitt liefert innerhalb des Kantons die grössten Kiesmengen.

*Rhonetal zwischen Leuk und Sion:* Entnahme aus Rhoneallu-

vionen, oft unterhalb des Grundwasserspiegels, zudem aus Seitenflüssen und aus Schuttfächern.

*Rhonetal zwischen Martigny und dem Genfersee:* Wie zwischen Leuk und Sion, zudem erfolgen Kiesentnahmen bei der Rhonemündung.

*Südliche Seitentäler:* Hier werden sehr mannigfaltige Typen von Material zur Kiesgewinnung abgebaut, so Moräne (z.B. nahe Liddes im Val d'Entremont), Stauschotter (z.B. bei Orsières im Val d'Entremont; [Abbildung 5.24](#)), Murgangablagerungen (z.B. bei Randa im Matternal), lokal aber auch Schutthalde, Bergsturz und Schuttkegel. Gesamthaft erreicht die abgebaute Menge von Rohstoffen eine beachtliche Kubatur, dies im Gegensatz zu den nördlichen Seitentälern, wo einzig die Entnahme von Kies aus dem Bach des Fieschertals 10'000 Kubikmeter pro Jahr übertrifft.

## ZUG

Der Kanton Zug zeichnet sich durch sehr grosse Vorräte an fluvioglazialen Kies aus. Dies gilt insbesondere für den Bereich zwischen Sihlbrugg, Neuheim, Menzingen und dem Sihllauf, wo einst zwischen dem hochwürmeiszeitlichen Reuss- und Linthgletscher ein komplexer Stauraum lag (siehe auch [Kapitel 5.3.2](#); regionales Beispiel Menzingen–Neuheim). Die Ablagerung erfolgte teilweise chaotisch, mit Einschaltung von Moränenlagen. Die fluviatilen Transportwege waren kurz. Bei der Aufbereitung entsteht deshalb eine bedeutende Menge Kieswaschschlamm. Den grossen Reserven für einen weiteren Abbau steht der weitverbreitete Wunsch entgegen, diese eigenartige Landschaft zu erhalten. Anders liegen die Verhältnisse in der grossen Grube Oberwil nördlich Cham, wo eine tiefe Erosionsrinne mit glaziofluvialen Schottern gefüllt und nachträglich vom Reussgletscher überfahren wurde. Früher existierten im Kanton Zug viel mehr Abbaustellen aller Art. Die meisten davon sind heute aufgefüllt, ebenso Teile der noch aktiven Gruben. Zur Zeit laufen mehrere Projekte für das Recycling von Aushub und Bauschutt.

Einst gab es im Kanton Zug eine Vielzahl kleinerer und kleinster Gruben, welche diverse Typen von Lockergestein förderten. 1990 war ihre Zahl auf sieben geschrumpft, 1995 auf fünf, davon zwei Kieswerke mit einem jährlichen Ausstoss von mehr als 50'000 Kubikmeter (Menzingen, Neuheim; [Abbildung 5.26](#)). Die Produktion von Kies und Sand erreichte 1991 trotz dieser kleinen Zahl rund 0.6 Millionen Kubikmeter – hier ist die Konzentration auf wenige Grossbetriebe weit fortgeschritten.



## ZÜRICH

Der Kanton Zürich verfügt über reichhaltige Vorkommen an hochwertigem Alluvialkies, die intensiv bewirtschaftet werden. Zusätzlich zum Abbau von hochwertigen Alluvialkiesen der Talsohlen werden Alluvialkiese über den Talsohlen, welche stellenweise verkittet sein können, und in geringerem Mass andere kiesige Lockergesteine (Wallmoräne, Drumlins, kiesiger Bachschutt) sowie geeignete verwertbare Festgesteine (Nagelfluh, Kalke) abgebaut.

Die zahlreichen Gletschervorstösse während der Eiszeiten des Quartärs bewirkten einerseits eine nachhaltige Erosion und Durchtalung der Molasse, andererseits lieferten sie in verschiedenen Generationen kiesige Alluvial-Schotter. Material der ältesten Eiszeiten wurde aufgrund des damals noch schwächer ausgeprägten Reliefs in Form von *Deckenschottern* abgelagert, die heute die Kuppen der meisten Hochplateaus bedecken, so beispielsweise die Vorkommen von Egg nördlich Oberweningen, des Stadlerberges, des Laubberges, des Irchels, des Cholfirstes und des Stammerberges. Die Deckenschotter sind in der Regel verkittet, die Gerölle oft korrodiert oder

verwittert. Heute finden sich in diesen Schottern keine aktiven Abbaustellen mehr.

Vor und während der grössten Eiszeit wurden die fluviatil angelegten Talsysteme durch glaziale Erosion ausgeweitet und zum Teil stark übertieft. Dies betrifft vor allem das Reusstal, das Zürichsee- und Limmattal, das Glattal und das Thurtal, wobei vereinzelt die Felssohle bis auf Meeresniveau oder tiefer ausgehobelt wurde. Ablagerungen dieser grössten Vergletscherung finden sich in Form von *Hochterrassen-Schottern* vorwiegend an den Talrändern und auf Hochplateaus im nördlichen Kantonsteil, beispielsweise zwischen dem

Strassberg und Glattfelden, sowie bei Wasterkingen, Weiach und Bachs. Hochterrassen-Schotter werden zur Zeit nicht mehr abgebaut.

Die Gletscher der jüngsten Vereisung (Würm) sind im Laufe der letzten 70'000 bis 80'000 Jahre mehrmals bis nahe an den hochwürmeiszeitlichen Maximalstand vorgestossen. Von besonderer Bedeutung für die Kiesvorkommen im Kanton Zürich ist der frühwürmeiszeitliche Eisvorstoss, welcher vor gut 40'000 bis 50'000 Jahren im Glattal mindestens bis Oberglatt, im Limmattal mindestens bis Zürich-Höngg und im Thurtal mindestens bis Andelfingen vorgestossen ist. Beim Eisrückzug hinterliessen die Schmelzwässer dieser Gletscher ausserordentlich grosse Schottermassen, welche im Glatt-Limmat-Gebiet unter dem Begriff *Aathal-Schotter* zusammengefasst werden. Im Glattal wurden diese älteren, würmeiszeitlichen Schotter durch den späteren Eisvorstoss nicht mehr vollständig ausgeräumt, sondern mehrheitlich überfahren, so dass sie heute über weite Gebiete von Rüti bis nach Kloten ausgedehnte Hochplateaus bilden. Abbaustellen im Aathal-Schotter befinden sich bei Dürnten, Wermatswil–

Abbildung 5.26: Kiesabbau in moränenüberprägter Landschaft bei Neuheim im Kanton Zug.



Uster, Volketswil, Wangen und Dietlikon. Auch im Thurtal und im Weinland sind solche älteren Schotter bekannt, welche durch den hochwürmeiszeitlichen Gletschervorstoss nicht ausgeräumt, sondern überfahren wurden und heute unter einer zum Teil beträchtlichen Moränenbedeckung eine grössere Ausdehnung besitzen (z.B. Henggart). Ähnliches gilt für die ausgedehnten Schottervorkommen im südlichen Knonauer Amt (Obfelden, Maschwanden, Knonau) und für die sehr mächtige Schotterabfolge unter dem Hirzel zwischen Richterswil und Sihlbrugg.

All diese älteren Schotter wurden durch den hochwürmeiszeitlichen Gletschervorstoss vor rund 20'000 Jahren überfahren, mancherorts vollständig erodiert, stellenweise aber auch nur aufgeschürft und mit Moräne überkleistert. Dieser grösste würmeiszeitliche Gletschervorstoss führte zu den klassischen Endmoränenständen von Mellingen (Reuss-Gletscher), Killwangen, Würenlos, Steinmaur/Hochfelden (alle drei Linth-Gletscher) und Lottstetten (Thur- und Rheingletscher). Ausserhalb dieser Endmoränenwälle wurden durch die eiszeitlichen Schmelzwässer sogenannte *Niederterrassen-Schotter* abgelagert, welche zum Teil mächtige Relikte älterer Schotter überdecken, beispielsweise im Rafzerfeld (Hüntwangen, Wil, Rafz), im Windlacherfeld, bei Glattfelden, bei Weiach und im Embrachertal. In den Niederterrassen-Schottern finden sich die wichtigsten heutigen Abbaustellen des Kantons.

Der etappenweise Rückzug der würmeiszeitlichen Gletscher führte zu verschiedenen, alpenwärts zurückgestaffelten Wallmoränenstadien (im Limmattal: Schlieren, Zürich; Hurd). Jeweils im Vorfeld wichtiger Wallmoränenstadien wurden als jüngstes Schichtglied über Seeablagerungen Schotterfluren mit *Rückzugsschottern* geschüttet. Diese teilweise ausgedehnten und mächtigen Vorkommen werden heute noch im Niederholz zwischen Rheinau, Marthalen, Andelfingen und Flaach, im Glattal bei Hegnau-Volketswil, im Aadorferfeld und im Furttal bei Regensdorf abgebaut. Noch vor 20 Jahren lieferte dieser Typ von Schottern den grössten Anteil von Kies im Kanton; die entsprechenden Abbaugelände sind heute stillgelegt (beispielsweise Limmattal bei Weiningen und Urdorf, Gebiet Uster-Hegnau, nahe Winterthur).

Das Tösstal blieb während des hochwürmeiszeitlichen Gletschervorstosses eisfrei. Es wirkte als randliche Rinne für abfliessende Schmelzwässer und wurde bei dieser Gelegenheit mit mächtigen fluvioglazialen Schottern aufgefüllt.

Ergänzend zu den quartären Kiesablagerungen und angesichts der Menge von untergeordneter Bedeutung werden im Kanton Zürich auch Nagelfluhschichten der Oberen Süsswas-

sermolasse (beispielsweise im Hörnli-Bergland) für den Lokalbedarf aufbereitet und als Kiesersatz verwendet. Mesozoische Gesteine (Malmkalke), die im Kanton praktisch nur an der Lägernkette auftreten, können bei geeigneter Aufbereitung zu Brechschotter als Kiesersatz dienen, werden aber momentan nur in kleinen Mengen bei Dielsdorf abgebaut.

Der Kanton Zürich ist in elf Planungsregionen unterteilt. Jährlich werden vom kantonalen Amt für Gewässerschutz die «Zahlen zur Kieswirtschaft» veröffentlicht. Im Zeitraum von 1989 bis 1994 reduzierte sich der jährliche Kiesabbau um rund 30% von 3.9 auf 2.5 Millionen Kubikmeter. 1990 wurden beispielsweise im ganzen Kanton Zürich 3'110'416 Kubikmeter Kies (Festmasse) abgebaut, wobei eine Fläche von 624 Hektaren beansprucht wurde. Weit an der Spitze mit über 2.5 Millionen Kubikmeter abgebautem Kies (1990) liegt die Planungsregion Zürcher-Unterland mit den grossen Kiesabbaugeländen von Rafz-Hüntwangen-Wil-Weiach, gefolgt von der Planungsregion Zürcher Weinland. Das mittlere Glattal lieferte 1990 mit etwas über 30'000 Kubikmeter ebenfalls einen beträchtlichen Anteil. Wichtig sind aber nicht nur die tatsächlich abgebauten Kieskubaturen, sondern auch die möglichen Kiesreserven der einzelnen Planungsregionen, worüber die kantonalen Zusammenstellungen und die 1995 herausgegebene Rohstoffkarte Kies (mit Erläuterungen) Auskunft geben [Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich, 1996]. Kiesimporte aus anderen Kantonen sowie aus Deutschland machten 1992 rund 435'000 Kubikmeter aus, im gleichen Jahr wurden rund 531'000 Kubikmeter Kies in andere Kantone exportiert.

Die früheren Abbaugelände in nächster Nähe der Verbraucherzentren um Zürich im oberen Limmattal und im oberen Furttal, um Winterthur im Eulacherfeld gegen Wiesendangen und zwischen Dinhard und Rickenbach sind heute bedeutungslos geworden. Die einstigen Gruben in diesen Gebieten sind längst aufgefüllt, rekultiviert oder überbaut. An deren Stelle treten Abbaugelände abseits von Siedelungen, mit tiefer Lage des Grundwasserspiegels, an der Spitze das Rafzerfeld mit einer aktuellen Abbaufäche von 71 Hektaren und einer bereits rekultivierten einstigen Abbaufäche von 57 Hektaren (siehe auch [Kapitel 5.3.1](#)).

### 5.2.1 TABELLE UND KARTE DER WICHTIGSTEN KIESABBAUSTELLEN

Die nachfolgende [Tabelle 5.1](#) und die dazugehörige Karte ([Abbildung 5.27](#)) sollen einen Überblick der aktuellen Kiesabbaustellen in der Schweiz geben. Ungefähr 300 Abbaustellen wurden für die Kartendarstellung (Massstab 1:1'000'000) eingetragen. Dabei wurden nur diejenigen Gruben berücksichtigt, die mehr als 10'000 Kubikmeter Material pro Jahr abbauen. In der Tabelle sind aus Platzgründen lediglich die Betriebe mit mehr als 50'000 Kubikmeter Jahresausstoss aufgeführt und nummeriert. Ergänzend zur Kartendarstellung sind in der Tabelle Angaben zur geographischen Lage sowie zur Geologie und Petrographie der einzelnen Kiesvorkommen enthalten. Mit einem Symbol wird auf die Grössenordnung des Abbaues eingegangen, die Farbe der Symbole auf der Karte weist zusätzlich auf die Art des abgebauten Materials hin.

Es erwies sich aus verschiedenen Gründen als recht schwierig, ein vollständiges Inventar der aktuellen Kiesabbaustellen zusammenzutragen. Die Datengrundlage wurde von den zuständigen kantonalen Stellen, von Hochschulinstituten, von Geologiebüros sowie von Privatpersonen geliefert. Der unterschiedlichen Qualität der eingegangenen Daten wegen weisen die Informationen in der Tabelle eine gewisse Heterogenität auf. Zu beachten ist auch, dass die Kiesabbauzahlen unter Umständen von Jahr zu Jahr stark variieren können.

Die [vorliegende Tabelle](#) erhebt deshalb keinen Anspruch auf Perfektion, dürfte aber als Orientierungshilfe wertvoll sein. Korrekturen und Ergänzungen werden jederzeit gerne entgegengenommen (Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH-Zentrum, 8092 Zürich).

Tabelle 5.1: Die wichtigsten Kiesabbaustellen in der Schweiz

REGION	LAGE/ NAME	KOORDINATEN		GEOLOGIE / PETROGRAPHIE / BESONDERES	ABBAU (m³/Jahr)	NR. AUF KARTE
KANTON AARGAU					1995	
Birmenstorf	Niederhard	660000	257000	Niederterrassenschotter, Rückzugsschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	▼	1
Böttstein	Rodig	659650	268350	Niederterrassenschotter, Rückzugsschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	▼	2
Döttingen	Grüt - Wasen	661000	267000	Niederterrassenschotter, Rückzugsschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	▼	3
Kaisten	Chaisterfeld West	646000	266450	Niederterrassenschotter, Rückzugsschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	▼	4
Mülligen	Eichrüteli	660800	256000	Niederterrassenschotter, Rückzugsschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	◆	5
Schafisheim	Zelgli	653700	248700	Niederterrassenschotter, Rückzugsschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	◆	6
Staffelbach	Unterhüsli	646500	237300	Niederterrassenschotter, Rückzugsschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	▼	7
Staufen	Steinacher	653800	247250	Niederterrassenschotter, Rückzugsschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	▼	8
Wettingen	Tägerhard Ost	668700	256000	Niederterrassenschotter, Rückzugsschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	▼	9
KANTON BERN					1996	
Aaretal	Ried - Türliacher, Kirchdorf	609500 609200	184100 185500	Fluvioglaziale Schotter mehrerer Gletschervorstösse unter Moräne / Kristallin- und Sedimentgesteine	◆	10
Aaretal	Utteloo-Bachtelen, Niederwichtrach	610300	190100	Münsingenschotter unter Moräne / Kristallin- und Sedimentgesteine	▼	11
Aaretal	Blumisberg - Eichholz, Rubigen	607400	195450	Münsingenschotter unter Moräne / Kristallin- und Sedimentgesteine	▼	12
Bern	Chrützacker, Deisswil bei Münchenbuchsee	601800	209700	Moräne, verschwemmte Moräne, fluvioglaziale Schotter / Kristallin- und Sedimentgesteine	▼	13

Abbaumenge (m³/Jahr), Symbol auf der Karte : ▼ 50'000 – 100'000 ; ◆ > 100'000



Tabelle 5.1: Die wichtigsten Kiesabbaustellen in der Schweiz (Fortsetzung)

REGION	LAGE / NAME	KOORDINATEN		GEOLOGIE / PETROGRAPHIE / BESONDERES	ABBAU (m³/Jahr)	NR. AUF KARTE
KANTON BERN (FORTSETZUNG)					1996	
Bern	Silbersboden, Mattstetten	606500	208250	Fluvioglaziale Schotter, teilweise unter Moräne / Kristallin- und Sedimentgesteine	◆	14
Bern	Inselwald, Niederwangen; Oberwangenhübel, Oberwangen	593900 593600	196500 195650	Plateauschotter mit Grundmoränenbedeckung, Riss-Würm / Kristallin- und Sedimentgesteine	◆	15
Biel - Seeland	Chugelwald, Safnern	591600	223400	Plateauschotter über Molasse / Kristallin- und Sedimentgesteine	◆	16
Burgdorf	Dicki - Eichholz, Hasle bei Burgdorf	616500	206500	Stauschotter des Emmentales / Kristallin, Nagelfluhgerölle	◆	17
Burgdorf	Pfaffenboden - Waldhaus, Lützelflüh	622250 620230	207300 206250	Stauschotter des Emmentales / Kristallin, Nagelfluhgerölle	◆	18
Burgdorf	Tannwald, Rumendingen	615800	216700	Vorstoss- und Terrassenschotter der letzten Eiszeit (Würm) / siltiger Kies, Kristallin, Nagelfluhgerölle	▼	19
Erlach - östliches Seeland	Oberfeld, Finsterhennen - Treiten	580100	207400	Seelandschotter mit Grundmoränenbedeckung / Kristallin- und Sedimentgesteine	◆	20
Erlach - östliches Seeland	Gräntschel, Lyss	590700	214840	Seelandschotter mit Grundmoränenbedeckung / Kristallin- und Sedimentgesteine	◆	21
Grenchen - Büren - ob. Buchegg	Buchrain, Arch; Mettlen, Leuzigen	600200 601600	223800 225400	Plateauschotter mit Moränenüberdeckung / Kristallin- und Sedimentgesteine; Seelandschotter mit Moränenbedeckung / Kristallin- und Sedimentgesteine	▼	22
Kandertal	Beim Tanzboden, Kandergrund	618200	151900	Bergsturzmaterial, Bachschutt / Kalkblöcke, Schotter	▼	23
Oberaargau	Bannwald, Aarwangen	623500	232100	Niederterrassenschotter / Kristallin- und Sedimentgesteine	▼	24
Oberaargau	Bernerschachen, Attiswil	613600	231700	Niederterrassenschotter / Kristallin- und Sedimentgesteine	◆	25
Oberaargau	Breiti - Hinderfeld - Wolfgrubenacher, Heimenhausen	619100	229500	Vorstossschotter, Würm / Kristallin- und Sedimentgesteine	◆	26
Oberaargau	Tubeode, Niederbipp; Hinterfeld, Walliswil bei Niederbipp	620500 619000	233500 231900	Niederterrassenschotter / Kristallin- und Sedimentgesteine; Niederterrassenschotter unter Moränen / Kristallin- und Sedimentgesteine	◆	27
Oberaargau	Guegilocho, Wynau	629100	233850	Niederterrassenschotter / Kristallin- und Sedimentgesteine	▼	28
Oberes Emmental	Kratzmatt, Landiswil	617600	200150	Stauschotter des Emmentales / Kristallin- und Nagelfluhgerölle	▼	29
Oberland - Ost	Lütschinendelta, Bönigen	635000	171000	Lütschinenschotter (Seeentnahme) / Kristallin- und Sedimentgesteine	▼	30
Thun - Innertport	Bümburg, Heimberg	611300	183400	Münsingenschotter / Kristallin- und Sedimentgesteine / temporär stillgelegt	◆	31
Thun - Innertport	Ei - Allmend - Steini, Wimmis	616200	170000	Kanderschotter / Sedimentgesteine	◆	32
KANTON FREIBURG					1990	
Broye	Granges-de-Vesin	554900	185200	Rückzugsschotter (Würm) / leicht kiesige Sande	▼	33
Broye	Ménières	557700	182000	Rückzugsschotter (Würm) / kiesige Sande	◆	34
Gruyère	La Roche-Villaret	575950	170850	Rückzugsschotter (Würm) / kiesige Sande und Sande	▼	35
Gruyère	Villarbeney et Villarvolard	574550	165050	Spät- bis postglaziale Ablagerungen / heterogene Kiese und Sande	▼	36
Murten	Liebistorf	581600	195250	Ablagerungen aus dem Riss-Würm-Interglazial / sandige Kiese und heterogene Sande	▼	37
Sarine-Sud	Corpataux, Tuffière	573900	177900	Ablagerungen aus dem Riss-Würm-Interglazial mit Moränenüberdeckung / sandig-siltige Kiese	◆	38
Sarine-Sud	Estavayer-le- Gibloux-Grands Champs	568900	175050	Rückzugsschotter (Würm) / kiesige Sande und Sande	▼	39

Tabelle 5.1: Die wichtigsten Kiesabbaustellen in der Schweiz (Fortsetzung)

REGION	LAGE / NAME	KOORDINATEN		GEOLOGIE / PETROGRAPHIE / BESONDERES	ABBAU (m³/Jahr)	NR. AUF KARTE
KANTON FREIBURG (FORTSETZUNG)					1990	
Sarine-Sud	Grenilles	570350	175600	Rückzugsschotter (Würm) / sandige Kiese	▼	40
Sense	Alterswil	584700	182800	Rückzugsschotter über Würm-Moräne / sandige Kiese, bisweilen siltig	▼	41
Sense	Düdingen-Galmisberg	583200	189990	Rückzugsschotter (Würm) / sandige Kiese	▼	42
KANTON GENÈVE					1993	
Avusy	Forestal, Sur Moulin, Creux de Boisset, Champs Pointus	490500	110900	Niederterrassenschotter, Rückzugsschotter / sandig-siltige Kiese	▼	43
Bardonnex	La Combe	496500	111350	Ältere fluvioglaziale Ablagerungen, von Löss überdeckt	▼	44
KANTON GLARUS					1990	
Mollis	Linthmündung	727600	220900	Deltaablagerung rezent / überwiegend Sedimentgesteine / Schwimmbagger	▼	45
KANTON GRAUBÜNDEN					1995	
Churer Rheintal	Plessurmündung, Chur	757700	192250	Rezente/subrezente Alluvionen aus dem Rhein	▼	46
Churer Rheintal	Grube Oldis, Haldenstein	759900	195600	Alluvionen älterer Generation ("Hinterland") / Entnahme mit Schwimmbagger	▼	47
Churer Rheintal	Tardis, Maienfeld	760650	204300	Rezente/subrezente Alluvionen aus dem Rhein	▼	48
Churer Rheintal	Grube Reichenau, Reichenau	750850	187600	Flutschotter in Bergsturzgebiet	▼	49
Churer Rheintal	Grube Herti, Intervaz	761000	199700	Alluvionen älterer Generation ("Hinterland") / Entnahme mit Schwimmbagger	◆	50
Engadin und Südtäler	Montebello, Pontresina	791800	148000	Rezente/subrezente Alluvionen aus der Ova da Bernina	▼	51
Mittelbünden	Grube Tuleu, Paspels	752400	180100	Flutschotter / Grube 1996 eröffnet, Abbauangaben für 1997	▼	52
Mittelbünden	Furnabach, Pragg-Jenaz	771900	200850	Rezente/subrezente Alluvionen aus dem Furnabach	▼	53
Mittelbünden	Schraubach, Schiers	771800	204850	Rezente/subrezente Alluvionen aus dem Schraubach	▼	54
Vorderrheintal	Vorderrhein und Grube Isla, Schluein	737200	182700	Rezente/subrezente Alluvionen aus dem Vorderrhein und aus dem "Hinterland"	▼	55
KANTON LUZERN					1994	
Amt Hochdorf	Waldhus - Schlettli, Eschenbach; Pfannenstil - Unt. Höchi; Ballwil	666100 667150	220950 221800	Vorstossschotter der letzten Eiszeit	◆	56
Hinterland	Zellerallmend - Baren, Zell; Lehalde, Ruefswil	636700 635720 636100	220450 217940 218180	umgelagerte Molassenagelfluh, Aufschotterungen mehrerer Eiszeiten / saubere bis leicht siltige Kiese und Kiessande	◆	57
KANTON NEUCHÂTEAU					1995	
Neuenburgersee	Vaumarcus	548500	191500	Alte Deltaablagerungen / heterogen aufgebaut	◆	58
Val de Ruz	Coffrane	555500	205900	Würmeiszeitliche Schotter / Kiese	▼	59
KANTON NIDWALDEN					1990	
Oberdorf	Ennerberg	672500	201800	Glazial vorbelastete Deltaablagerungen, Jungquartär / hauptsächlich helvetisches Mesozoikum und Tertiär	◆	60

Abbaumenge (m³/Jahr), Symbol auf der Karte : ▼ 50'000 – 100'000 ; ◆ &gt; 100'000

132

128



## Die wichtigsten Kiesabbaustellen in der Schweiz

Kartengrundlage: Bundesamt für Landestopographie  
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 16.6.1997

Angegeben ist meist die Standort-  
gemeinde und nicht die genaue  
Lokalität.  
Auslassungen oder unrichtige  
Zuordnungen sind wegen unter-  
schiedlicher Qualität der Quellen  
möglich.

Die Nummern 1-95 beziehen sich  
auf die in der **Tabelle 5.1** (Seiten 127-133)  
aufgeführten Kiesabbaustellen.

### Grössenordnung des Abbaus

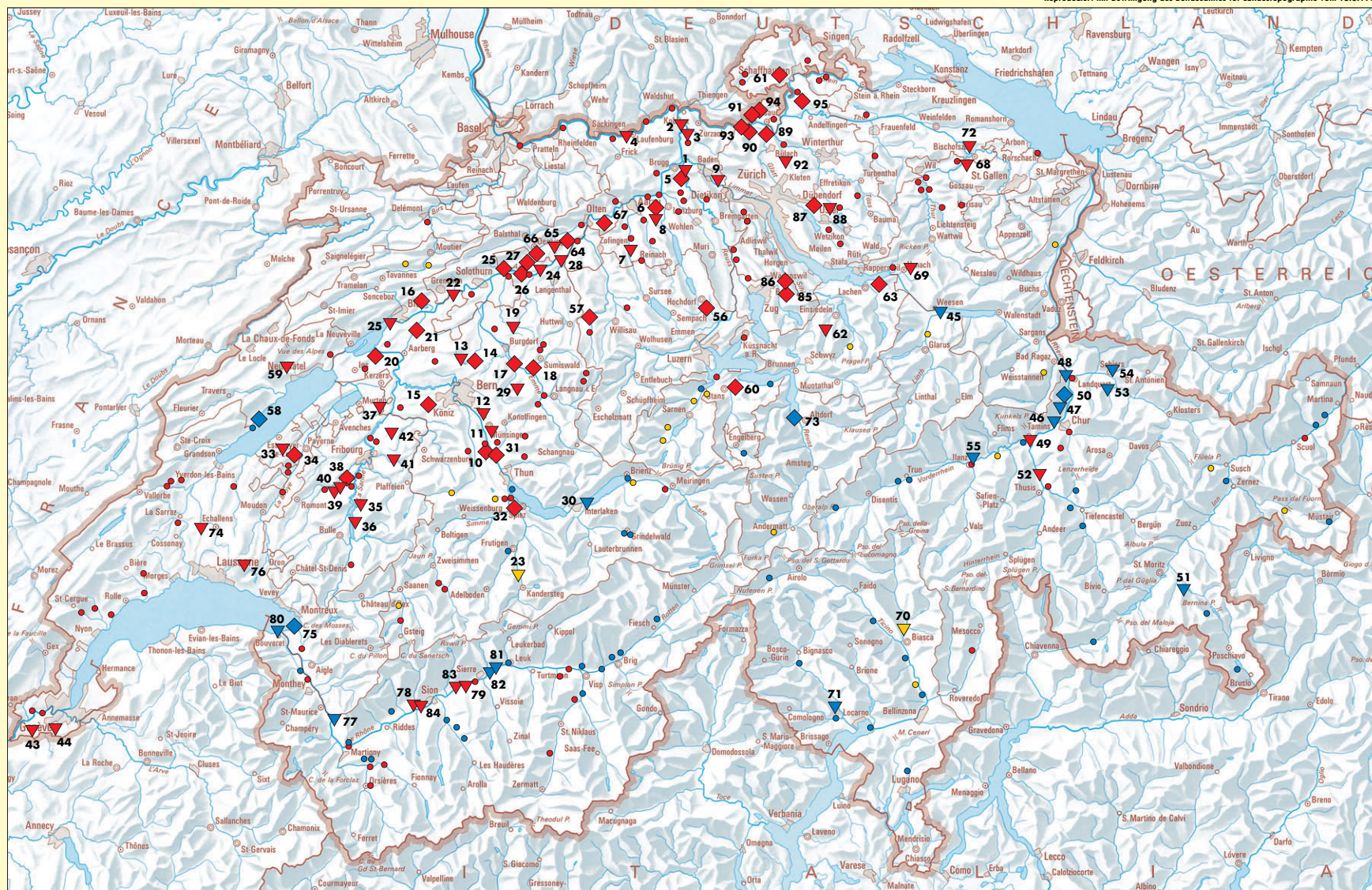
- 10'000 - 50'000 m<sup>3</sup>/Jahr
- ▽ 50'000 - 100'000 m<sup>3</sup>/Jahr
- ◇ > 100'000 m<sup>3</sup>/Jahr

### Art des Materials

- ▼ Entnahme aus Schotter  
oder Moräne
- ▲ Entnahme aus Fluss oder  
See, rezente Schüttungen
- ▲ Entnahme aus Runsen-  
schutt, Hangschutt oder  
Bergsturz

1:1'000'000

0 10 40 km



zurück zur Startseite

nächstes Kapitel

vorangehendes Kapitel

Tabelle 5.1: Die wichtigsten Kiesabbaustellen in der Schweiz (Fortsetzung)

REGION	LAGE / NAME	KOORDINATEN		GEOLOGIE / PETROGRAPHIE / BESONDERES	ABBAU (m³/Jahr)	NR. AUF KARTE
KANTON SCHAFFHAUSEN					1995	
Oberklettgau	Beringen - Engi - Guntmadingen	686000	283000	Vorstossschotter, Rinnenschotter / 83–90% alpine mesozoische Sedimente, 5–9% Kristallin, bis 18% lokaler Malmkalk, Hegauvulkanite	◆	61
KANTON SCHWYZ					1990	
Einsiedeln	Trachslau	697600	217400	Rückzugsschotter Würm, Alptalgletscher / kieselige Sandsteine, Kalk, Dolomit	▼	62
Wangen, Tuggen	Rütihof - Bachtellen - Girendorf - Oberluft	710100	228600	Jungquartäre Schotter, glazial vorbelastet / hauptsächlich Kalk und Sandstein, relativ wenig Kristallin	◆	63
		711400	228400			
		712400	228700			
		712900	228200			
KANTON SOLOTHURN					1995	
Gäu	Allmend, Gunzgen/Boningen	630340 631250	239400 239000	Niederterrasse	◆	64
Gäu	Aegerten, Neuendorf; Unt. Allmend, Härkingen	628000 629500	237350 238150	Niederterrasse	▼	65
Gäu	Aebisholz, Oensingen	622300	235400	Niederterrasse	◆	66
Niederamt	Hard, Dulliken/Däniken	639450 640000	244260 244350	Niederterrasse	◆	67
KANTON ST.GALLEN					1995	
nördliches Untertoggenburg	Niederbüren	733900	258650	Hochterrassenschotter, Vorstossschotter (oft verkittet) / hoher Anteil an Thurmaterial aus dem Toggenburg	▼	68
See	ENE Uznach (Haslen - Cher, Schönenbach)	718800	232500	Hochterrassenschotter, Vorstossschotter (oft verkittet) / Mischschotter Linthgletscher und Walensee-Rheingletscher	▼	69
KANTON TESSIN					1993	
Bleniotal	Buzza di Biasca	718000	139000	Bergsturzmaterial	▼	70
Maggiatal	Avegno	700500	118500	rezente Flussablagerungen	▼	71
KANTON THURGAU					1995	
Bischofszell	Hohentannen	734400	264100	Hochterrassenschotter, Vorstossschotter (oft verkittet)	▼	72
KANTON URI					1995	
Flüelen	Urnersee	689000	195000	Deltaablagerungen der Reuss / hauptsächlich Kristallin, Kalk, kiesliger Sandstein / Schwimmbagger	◆	73
KANTON WAADT					1993	
Gros-de-Vaud	Bettens - Angolliaux, (Bioley-Orjulaz)	534600	164250	Jungquartäre fluvioglaziale Ablagerungen unter Moräne / Kies und kiesiger Sand	▼	74
Lac Léman	Villeneuve, Les Grangettes	558000	138400	überflutete Deltaablagerungen, Ausbeutung unter Wasser / Kiese und Sande	◆	75
Lavaux	Pétozan, Savigny	544500	154100	Fluvioglaziale Füllung eines alten Tales, von Moräne bedeckt / siltiger Kies	▼	76



Tabelle 5.1: Die wichtigsten Kiesabbaustellen in der Schweiz (Fortsetzung)

REGION	LAGE / NAME	KOORDINATEN		GEOLOGIE / PETROGRAPHIE / BESONDERES	ABBAU (m³/Jahr)	NR. AUF KARTE
KANTON WALLIS						
					1993	
Collonges		568800	114350	Alluvionen, Bachschuttkegel / 75% Kristallin, 6.5% Kalk	▼	77
Conthey		590000	117600	Alluvionen im Grundwasser, Kies aus der Rhoneebene	▼	78
Grône		603200	122700	Moräne	▼	79
Port Valais		555500	138050	Rhonekies, Gewinnung aus Genfersee und Rhone	▼	80
Salgesch		610220	127600	Alluvionen, Kiesgewinnung in der Rhone	▼	81
Sierre		608900	126800	Alluvionen, Kiesgewinnung in der Rhone	▼	82
Sierre / Grône		600800	122800	Alluvionen im Grundwasser, Kies aus der Rhoneebene	▼	83
Sion	Les Iles	591500	117750	Alluvionen im Grundwasser, Kies aus der Rhoneebene / 75% Gneis und quarz- reiche Gesteine; 21% Sandsteine und Konglomerate; 4% Glimmerschiefer	▼	84
KANTON ZUG						
					1991	
Menzingen	Bethlehem	686300	225400	Gletscherne Schotter, untergeordnet Moräne. Würm / Staubereich Reuss- Linthgletscher, wenig fluviatiler Transport	◆	85
Neuheim	Tal - Winkel - Hof	687300	228200	Moräne, Stauablagerungen, Schotter. Würm / Staubereich Reuss-Linth- gletscher, wenig fluviatiler Transport	◆	86
KANTON ZÜRICH						
					1995	
Glattal	Hard - Berg, Volketswil; Nänikon, Uster	695000 695000	249000 248000	Würmeiszeitliche Rückzugsschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	◆	87
Zürcher Oberland	Acherbüel, Freudwil	696700	248100	Ältere würmeiszeitliche Schotter (Alluvialkiese über der Talsohle)	▼	88
Zürcher Unterland	Zelgli, Bülach/Glattfelden	682200	267250	Niederterrassenschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	◆	89
Zürcher Unterland	Rütifeld - Steinächer - Zweidlerhard, Glattfelden	678300	267600	Niederterrassenschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	◆	90
Zürcher Unterland	Burgacker, Hüntwangen (Rafzerfeld)	678850	271300	Niederterrassenschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	◆	91
Zürcher Unterland	Langacker - Juch, Lufingen	687850	260600	Niederterrassenschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	▼	92
Zürcher Unterland	Im Hard, Weiach	676000	269000	Niederterrassenschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	◆	93
Zürcher Unterland	Langfuri - Reieten, Wil (Rafzerfeld)	681000	272500	Niederterrassenschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	◆	94
Zürcher Weinland	Niedermartelen - Steinacher, Marthalen	690000	274700	Würmeiszeitliche Rückzugsschotter (Alluvialkiese in der Talsohle)	◆	95

Abbaumenge (m³/Jahr), Symbol auf der Karte : ▼ 50'000 – 100'000 ; ◆ &gt; 100'000

5 Kies und Sand



134



### 5.3 AUSGEWÄHLTE BEISPIELE VON KIES-ENTNAHMESTELLEN

Wie bereits die vorangehende Zusammenstellung der Kiesentnahmestellen in den verschiedenen Kantonen der Schweiz gezeigt hat, sind grosse regionale Unterschiede einerseits in der Grösse der Kiesentnahmestellen, andererseits in der petrographischen Zusammensetzung des Rohmaterials vorhanden. Anhand von fünf ausgewählten Regionen soll exemplarisch auf einige geologische, rohstoffspezifische und zum Teil auch auf logistische Probleme respektive auf die regionale Kiesverteilung eingegangen werden. Ausgewählt wurden die Kiesgruben im Rafzerfeld ZH, im Lutherntal LU, das Abbauggebiet Bioley-Orjulaz VD, die Kiesabbaustellen von Menzingen-Neuheim ZG und das Kieswerk in Reichenau GR.

#### 5.3.1 RAFZERFELD ZH

Das Rafzerfeld, im nördlich des Rheins gelegenen Teil des Kantons Zürich, ist zusammen mit dem geologisch und geographisch dazugehörigen Weiacherfeld ([Abbildung 5.28](#)) das grösste Kiesgebiet des Kantons. Einen kleinen Anteil daran hat bei Rüdlingen der Kanton Schaffhausen. Die Schotterfläche des Rafzerfeldes umfasst rund 13 km<sup>2</sup>.

Die Rafzerfeldschotter gehören zum vorwürmzeitlichen Rinnensystem des östlichen Hochrheingebietes und müssen in diesem Zusammenhang betrachtet werden. Die Rafzerfeld-Rinne zweigt im Rheinfallgebiet von der Hegau-Klettgau-Rinne ab und verläuft über das eigentliche Rafzerfeld dem Hochrhein entlang mit Unterbrüchen bis zur Aaremündung. Zwischen der Rafzerfeld-Rinne und der Klettgau-Rinne bestehen enge genetische und materialmässige Beziehungen. Die Kiese beider Rinnen bestehen aus Mischschottern des Bodensee-Hegau-Rheingletscher-Systems und des in neuester Zeit bis nach Schaffhausen nachgewiesenen Linthgletscher-Systems. Dies bezeugen für den vom Bodenseegebiet via Hegau nach Schaffhausen vorstossenden Rheingletscher Leitgerölle von Phonolith, seltener auch anderer Hegau-Vulkanite, die einerseits bis in den westlichen (deutschen) Klettgau, andererseits über Rheinau-Marthalen, das Rafzerfeld, Weiach und Zurzach bis mindestens nach Kadelburg zu finden sind ([Abbildung 5.28](#)). Für den Linthgletscher sind violette Spilite (Melaphyre) als exklusives Leitgestein aus der Verrucanodecke des

Glarner Freibergs nachgewiesen worden bis ins Stadtgebiet von Schaffhausen und von dort einerseits durch die ganze Klettgau-Rinne, andererseits über Rheinau und das Rafzerfeld dem Rhein entlang über Zurzach hinaus nach Westen. Auch Taveyannaz-Sandsteine aus dem Glarner Hinterland und mannigfache Verrucano-Gesteine vom Glarnertyp kommen vor. Die Schotter enthalten allgemein etwa 90% an Geröllen aus alpinen mesozoischen Sedimentgesteinen (vorwiegend Kalke) und nur etwa 5% Kristallin. Dabei ist zu berücksichtigen, dass dem in Richtung Schaffhausen vorstossenden Teil des Linthgletschers über die Transfluenz von Sargans und das Walenseetal etwa 80% an Geschiebe aus dem Rheingletschersystem zugemischt wurde, weshalb Gerölle aus dem Einzugsgebiet Graubünden (Vorderrheintal, Plattadecke) keinen exklusiven Leitwert haben und für den Bodensee-Rheingletscher im Hochrheingebiet nur Hegau-Phonolith eindeutig ist.

Die in der Klettgau- wie auch in der Rafzerfeld-Rinne gleichartig zusammengesetzten Mischschotter deuten auf vorwürmzeitliche, gleichartige und zeitweilig simultane Beschotterung der beiden Rinnensysteme. Erst spätrisseiszeitlich wurde der Rhein definitiv von Schaffhausen nach Süden abgelenkt. Würmzeitliche Überprägung der Schotterfläche im Rafzerfeld mit Rinnenbildung und teilweiser Umlagerung ist anzunehmen. Der Felsunterbau liegt hauptsächlich im Bereich der Unteren Süsswassermolasse ([Abbildung 5.29](#)). Im westlichen Teil der Grube (Burgacker, 1 km ost-südöstlich von Wasterkingen) wurde 1994 am Fuss der nördlichen Abbauwand, etwa 40 m unter der ehemaligen Oberfläche, kompakter, rötlichbrauner Boluston mit eingestreuten Bohnerzkörnern angefahren. Die Schotteroberfläche liegt im Osten auf etwa 420 m ü.M. und fällt gegen Westen auf etwa 380 m ü.M. ab. (Mächtigkeitsangaben finden sich in [Abbildung 5.30](#).)

*Entwicklung des Kiesabbaus im Rafzerfeld:* Entsprechend seiner Entstehung ist der Rafzerfeldschotter ein hochwertiger alluvialer Rundkies und angesichts der Ausdehnung des Vorkommens auch von hohem wirtschaftlichem Interesse. Bis in die späten sechziger Jahre bestanden im Rafzerfeld (wie auch im Klettgau) nur wenige, sehr kleine Kiesgruben für den Lokalbedarf ([Abbildung 5.30](#)). Erst um 1970 und vor allem seit 1980 entwickelte sich eine intensive Nutzung der hochwertigen Kiesvorkommen, die das Bild der Landschaft entscheidend veränderten ([Abbildungen 5.30 und 5.31](#)). Von 1986 bis 1991 wurden jährlich etwa 1.5 Mio. Kubikmeter abgebaut (im Klettgau in der gleichen Periode etwa 230'000 m<sup>3</sup>/Jahr). Derzeit werden die Rafzerfeldschotter von drei grossen Unternehmen





5.31



5.32



5.33

Abbildung 5.31: Kieswerk Hüntwangen. Materialabbaugebiet süd-östlich von Wasterkingen mit Förderanlage. Werkfoto Kieswerk Hüntwangen AG.

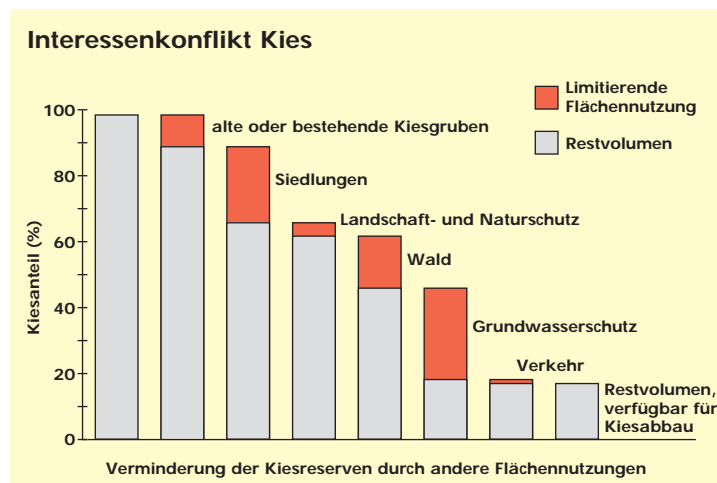
Abbildung 5.32: 92 Prozent des aufbereiteten Kieses werden in Hüntwangen per Bahn zu den Verbraucherzentren transportiert. Werkfoto Kieswerk Hüntwangen AG.

Abbildung 5.33: Beispiel der Rekultivierung (Reben) in einem Teil der abgebauten Kiesgrube bei Hüntwangen. Werkfoto Kieswerk Hüntwangen AG.



abgebaut und aufbereitet ([Abbildung 5.30](#)). Die folgenden Angaben beziehen sich auf das Kieswerk Hüntwangen AG (Holderbank Gruppe), einen der grössten Betriebe in der Region.

**Abbau in der Grube:** Die Kiesschichten werden von einer wenig mächtigen Verbraunungs- und Humusdecke überlagert, die vor Beginn des Abbaus abgetragen und für die spätere Rekultivierung separat gelagert wird. Die Schotter sind im Abbaubereich von Hüntwangen etwa 50 m mächtig, wovon 30 bis 40 m abgebaut werden können. Einige Meter unter der Abbausohle liegt unangetastet der Grundwasserstrom. Das Rohmaterial wird je nach Mächtigkeit in drei bis fünf Stufen (Terrassen) abgetragen und über eine Förderbandanlage zur Rohmaterialdeponie beim Werkgebäude transportiert ([Abbildung 5.31](#)). Im Werkgebäude befindet sich die Aufbereitungsanlage mit Waschtrommeln, Siebmaschinen, Förderanlagen und Brechern. Hier wird das Rohmaterial gewaschen und klassiert. Grössere Steine werden gebrochen und ebenfalls in die normierten, marktgängigen Kornfraktionen aufgeteilt. Die Anlage produziert jährlich bis zu 1 Million Kubikmeter Kies und Sand. Das aufbereitete Material wird derzeit zu 92% per Bahn in Kies-Blockzügen an Umschlagplätze in den Verbraucherzentren (vorwiegend im Kanton Zürich) geliefert ([Abbildung 5.32](#)).



5.34

Das Abbau-/Aufbereitungsschema von Hüntwangen, das auch repräsentativ für viele weitere Kieswerke ist, findet sich im [Kapitel 5.4](#) ([Abbildung 5.65](#)). Die [Tabelle 5.2](#) zeigt einige Zahlen, die eine Übersicht über einen heutigen, modernen Kiesgewinnungsbetrieb vermitteln.

**Rekultivierung:** Für die Gestaltung des Grubenareals nach beendetem Abbau wird laufend Aushubmaterial aus den Bauzentren benötigt. Es wird mit speziell dafür gebauten, firmeneigenen Blockzügen nach Hüntwangen geführt und kann über eine 2.5 km lange Gleisanlage am Rand der Grube deponiert werden, wodurch die Grubenränder als Böschungen neu gestaltet werden können. Mit der Rekultivierung wird unmittelbar hinter dem Abbaubereich begonnen, damit das Gelände möglichst rasch einer Folgenutzung (Land- und Forstwirtschaft, Naturgebiete) zugeführt werden kann. Zum Schutz des Grundwassers wird nur klassifiziertes Rückführmaterial verwendet. Das neu gestaltete Areal wird mit dem aufbewahrten ehemaligen Deckschichtmaterial belegt. Ein Ergebnis dieser Rekultivierungsaufwendungen zeigt die Rebbeepflanzung einer ehemaligen Abbauwand ([Abbildung 5.33](#)).

**Zukunftsperspektiven und Planung:** [Abbildung 5.34](#) gibt einen Überblick über das Kiesabbaugebiet Rafzerfeld mit den bestehenden und potentiellen Abbaubereichen gemäss Gesamtkonzept zum Kiesabbau und zur Gestaltung des Rafzerfeldes [Baudirektion des Kantons Zürich, 1992]. Für Details sei auf diese Unterlagen verwiesen. Die Angaben über die Kiesreserven in den verschiedenen potentiellen Abbaubereichen schwanken zwischen 5 und 30 Jahren, wobei aber noch nicht in allen Fällen Abbaubewilligungen vorliegen.

**Tabelle 5.2: Kieswerk Hüntwangen AG (Unternehmen der "HCB") in Zahlen**

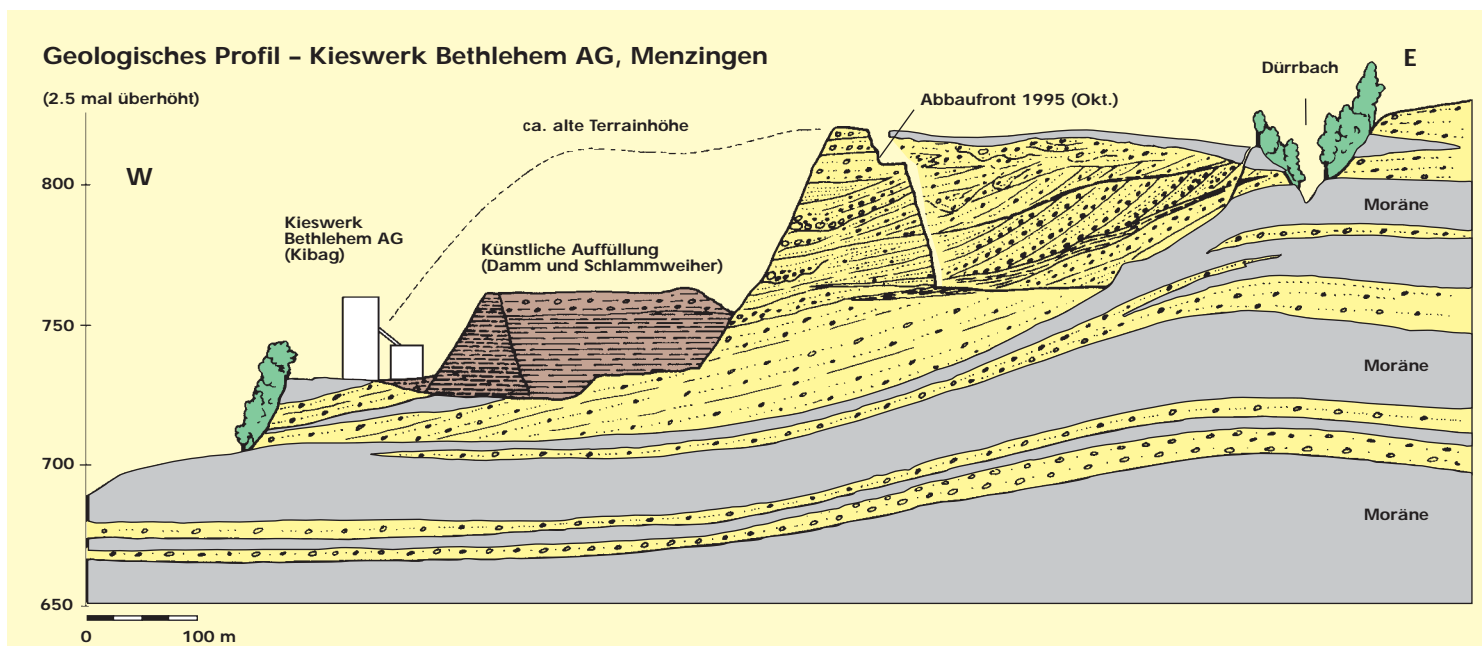
<b>Maschinen</b>	
Materialabbau:	Radlader 4.2 m <sup>3</sup> Schaufelinhalt
Wiedergestaltung:	Radlader 6.0 m <sup>3</sup> Schaufelinhalt Bagger mit Klappschaufel Dumper Raupentrax Moorraupe
Verlad:	Radlader 2.7 m <sup>3</sup> Schaufelinhalt
Produktionsleistung:	ca. 550 t/h (ca. 300 m <sup>3</sup> /h aufbereitetes Material)
Produktionsprogramm:	Sand 0-4 mm Rundkies 4-8/8-16/16-32/32-45 mm Brechsand trocken 0-3 mm Splitt 3-6/6-11/11-16/16-22 mm
Geleiselänge total:	4800 m
Eisenbahn-Wagenmaterial:	72 Schüttgutwagen (60 t) für Kies & Sand 56 Kippwagen (57 t) für Schüttgut, Kies & Sand 128 Wagen total Ein Blockzug kann bis zu 20 Wagen umfassen
Verladeleistung im Bahnverlad:	1000 t/h
Transportanteile:	Bahn: ca. 92%; Strasse: ca. 8%
Förderbandlänge Grube und Werk:	3500 m

**Abbildung 5.34: Verminderung der abbaubaren Kiesreserven im Rafzerfeld durch andere Flächennutzungen**  
(nach: Rohstoffkarte Kies des Kantons Zürich, Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich, 1996)





5.35



5.36

Abbildung 5.35: Flugaufnahme der Kiesgrube Bethlehem, Menzingen. Im Bild zu erkennen ist die Abbaufont, rechts davon das Schlammabsetzbecken, darüber (westlich) ein aufgefüllter und rekultivierter Kiesgrubenbereich. Aufnahme vom 30. Mai 1994.

Abbildung 5.36: Geologisches Profil Kieswerk Bethlehem, Menzingen. Verschiedene Kieskörper sind durch Einschaltungen von Moräne getrennt. Beim deltaartig aufgebauten Kieskörper handelt es sich um die

Füllung eines zwischen dem Rhein-Linth- und Muota-Reuss-Gletscher eingestauten Sees.



## 5.3.2 MENZINGEN/NEUHEIM ZG

Das Gebiet der beiden zugerischen Gemeinden Menzingen und Neuheim zeichnet sich aus durch eine vielgestaltige hügelige Landschaft mit zahlreichen Moränenhügeln und dazwischenliegenden torfigen Mulden, Schotterterrassen sowie, etwa zum Sihltal parallel verlaufenden, Flusstälern alter Schmelzwasserabflüsse. Diese einmalige glaziale Hügellandschaft zwischen dem Lorzetobel und dem Sihltal verdankt ihre Entstehung der besonderen geographischen Lage im «Dreieck» zwischen den beiden zusammenfliessenden eiszeitlichen Gletscherarmen des Rhein-Linth-Gletschers einerseits und des Muota-Reuss-Gletschers andererseits sowie der eisfreien Höhrnenkette im Süden. Bei jedem Vorrücken der Gletscher wurden die randglazialen Gletscherbäche zunehmend in Richtung der Höhrnenkette abgedrängt. Dabei wurden bereits abgelagerte Schotterfluren vom vorrückenden Gletschereis überfahren und mit mächtigen Moränenablagerungen überdeckt. Kurze Rückzugs- und Vorstossphasen der Gletscher führten zu einer sich talseits verzahnenden Wechsellagerung von gut durchlässigen Schottern und kompakten dichten Moränen. Mit zunehmender Eishöhe wurde durch das Zusammentreffen der beiden Gletscherarme die Vorflut der am Gletscherrand abfliessenden Bäche abgeschnitten. Das Schmelzwasser konnte nicht mehr frei abfliessen und staute sich zwischen der Höhrnen und den beiden Eisströmen in Gletscherseen, welche allmählich mit Seetonen und Schottern aufgefüllt wurden. Erst mit dem Abschmelzen des Gletschereises wurde die Vorflut wieder tiefer gelegt. Dabei erodierten die Schmelzwasserbäche neue Abflussrinnen in die zuvor deponierten Schotter und in die darunter folgenden Moränenschichten. Dieser Vorgang wiederholte sich mit jeder neuen Vergletscherung, wobei die eiszeitliche Akkumulation während der Vorstösse viel grösser war als die Erosion beim Abschmelzen. So wurde im Laufe der letzten 500'000 Jahre die alte, vor mindestens 780'000 Jahren angelegte, tiefe Felsrinne, welche von Richterswil nach Zug zieht und deren Sohle unter Menzingen bis etwa zur Kote 300 m ü.M. absinkt, mit Moränenablagerungen und Schottern aufgefüllt. Dabei erreichten die quartären Ablagerungen im Raume Menzingen eine maximale Mächtigkeit von über 500 Meter.

In Menzingen und Neuheim werden zahlreiche kleinere und grössere Kiesgruben betrieben. Viele ehemalige Kiesgruben sind heute weitgehend aufgefüllt und rekultiviert ([Abbildung 5.41](#)). Praktisch in allen Kiesgruben wurden nur Moränen und Vorstoss-Schotter der letzten Eiszeit abgebaut. Die tiefer

liegenden, älteren Schottervorkommen wirken als Grundwasserleiter, welche die zahlreichen genutzten Quellen speisen. Ein Abbau dieser grundwasserführenden Schottervorkommen kommt wegen des Grundwasserschutzes nicht in Frage.

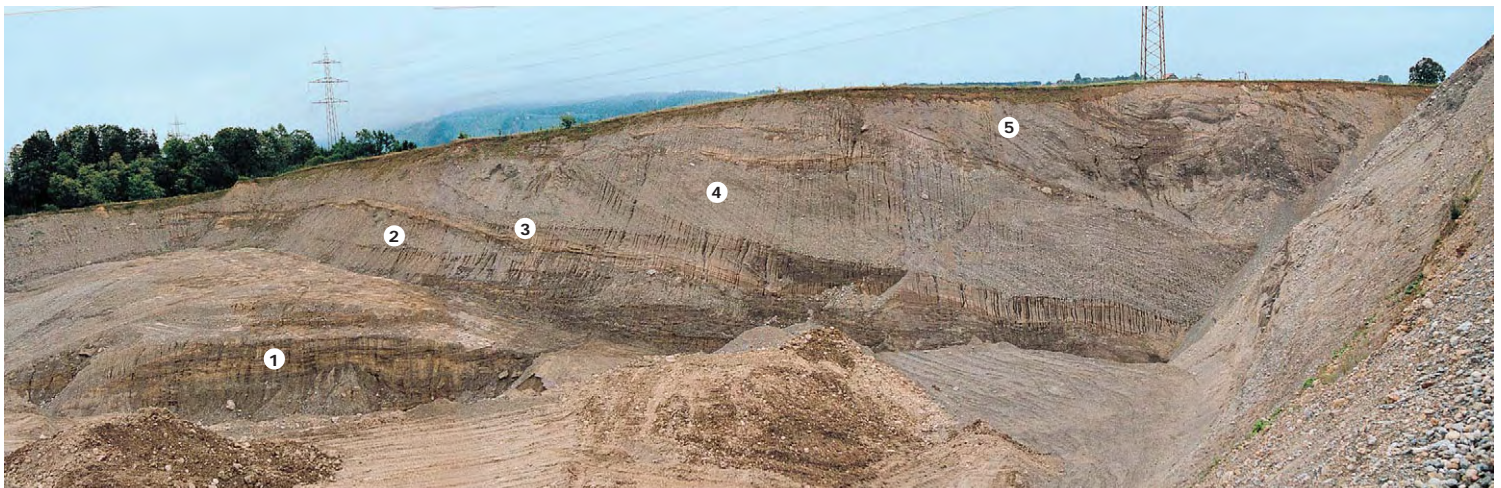
**Kieswerk Bethlehem AG, Menzingen**

Das Kiesgrubenareal Bethlehem liegt zwischen 700 und 800 m ü.M. und umfasst den nordwestlichen Randbereich der ausgeprägten hochliegenden Schotterebene von Schurtannen. Entstanden ist diese Ebene während der letzten Eiszeit, als die Gletscher ihre maximale Ausdehnung erreichten. Zwischen den beiden Gletscherarmen des Rhein-Linth- und des Muota-Reuss-Gletschers und der eisfreien Höhrnenkette bildete sich ein grosser See, welcher durch die randglazialen Schmelzwasserflüsse aufgeschottert wurde. Die in den Kiesgrubenwänden zu erkennenden ausgeprägten Schrägschichtungen ([Abbildungen 5.35, 5.37–5.40](#)) dokumentieren die deltaartige Aufschotterung dieses Sees. Einschaltungen von feinlaminierten Silt- und Feinsandlagen in den schräggeschichteten Schotterlagen reflektieren Zwischenzeiten mit geringer Strömung. Entsprechend dieser Entstehung besitzt das Schottervorkommen in der Kiesgrube Bethlehem eine sehr heterogene Zusammensetzung. In den schräggeschichteten Bereichen liegt eine deutliche Gradierung vor, von sandfreiem Kies zu kiesfreien Feinsandlagen. Im nordwestlichen Abschnitt treten in geschichteten Sanden eingeschaltet grobblockiges Material und Kies auf.

Die Kieswerk Bethlehem AG wurde in den ersten Tagen des Jahres 1933 gegründet. Das Kieswerk Bethlehem ist das wahrscheinlich älteste heute noch in Betrieb stehende Kieswerk in der Region. Die wirtschaftlich schwierigen Zeiten in den ersten Betriebsjahren haben dazu geführt, dass sich die Besitzverhältnisse mehrmals änderten. Seit 1959 ist die Kieswerk Bethlehem AG im Besitz der KIBAG-Gruppe. Im Gründungsjahr bauten sechs Mann mit Pickel und Schaufel (auf ca. 2000 Quadratmeter Land auf dem Gemeindegebiet von Menziken) jährlich etwa 5000 Kubikmeter Kies ab. Erst im Jahre 1943 hielt die Mechanisierung mit der Anschaffung eines Tieflöffelbaggers in Bethlehem Einzug. Der Standort des heutigen Kieswerkes wurde bereits im Jahre 1947 gewählt. Die damalige Verbindung zur Abbaustelle erfolgte mit einer Seilbahn, heute mit Förderbändern.

1983 wurde mit knapp 455'000 Kubikmeter das grösste je registrierte Verkaufsvolumen erzielt. 1989 wurde der Ausstoss aufgrund des Baugesetzes auf 423'600 Kubikmeter beschränkt. In den letzten vier Jahren schwankte der Verkauf zwischen





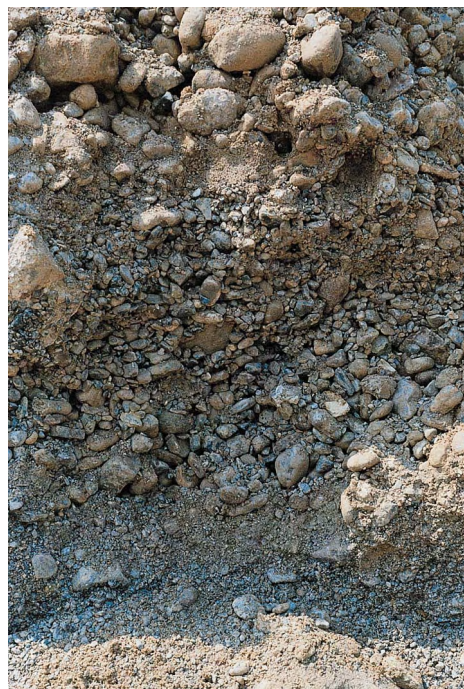
Kiesgrube Bethlehem, Menzingen ZG. Blick gegen Süden.

- Die Nummern im Bild bedeuten:
- 1 Moränenunterlage
  - 2 Schotter mit Einschaltungen siltiger Feinsande
  - 3 Seeablagerungen. Feinlaminierter Sande und Silt
  - 4 Deltaschotter von Bethlehem; aus südöstlicher Richtung in den zwischen den beiden vorstossenden Gletschern (Rhein-Linth-Gletscher und Reuss-Muota-Gletscher) eingestauten See geschüttet.
  - 5 Zuerst etwas Moräne mit Findlingen, darunter glazial deformierter Schotter.

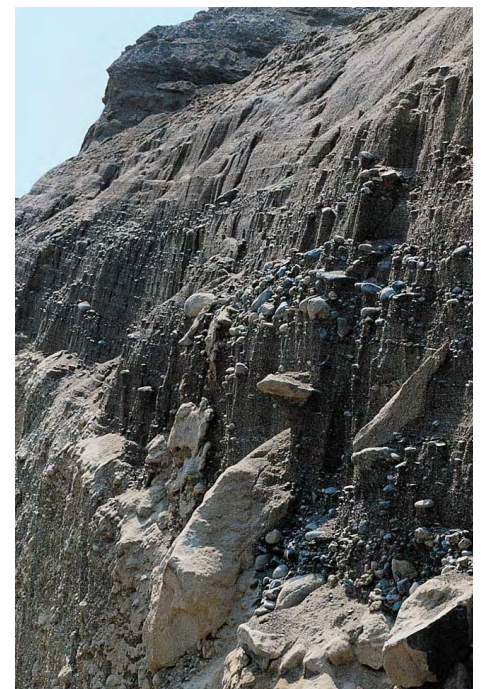
5.37



5.38



5.39



5.40

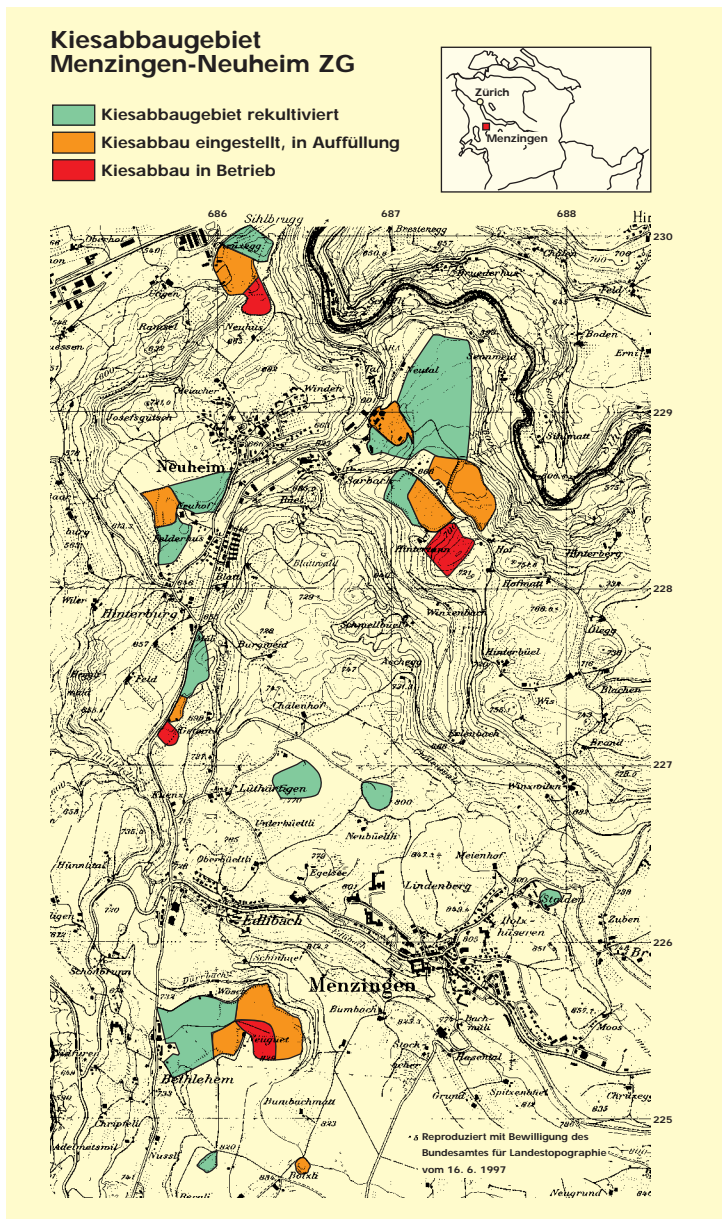
Abbildung 5.37: Fotomontage der Kiesgrube Bethlehem, Menzingen ZG. Blick gegen Süden.

Abbildung 5.38: Delta-Schotter von Bethlehem. Wechsellagerung von sandfreien Kieslagen mit grobsandigen Kieslagen.

Abbildung 5.39: Delta-Schotter von Bethlehem. Kieslage von ca. 1.5 m Mächtigkeit, im mittleren Teil sandfrei und etwas verkittet.

Abbildung 5.40: Feingeschichtete Sande im Bereich des äusseren Deltaufusses mit unregelmässig eingelagerten Geröllen, an der Basis z.T. mit schlecht gerundeten, eckigen Findlingsblöcken (siehe auch [Abbildung 5.42](#)).

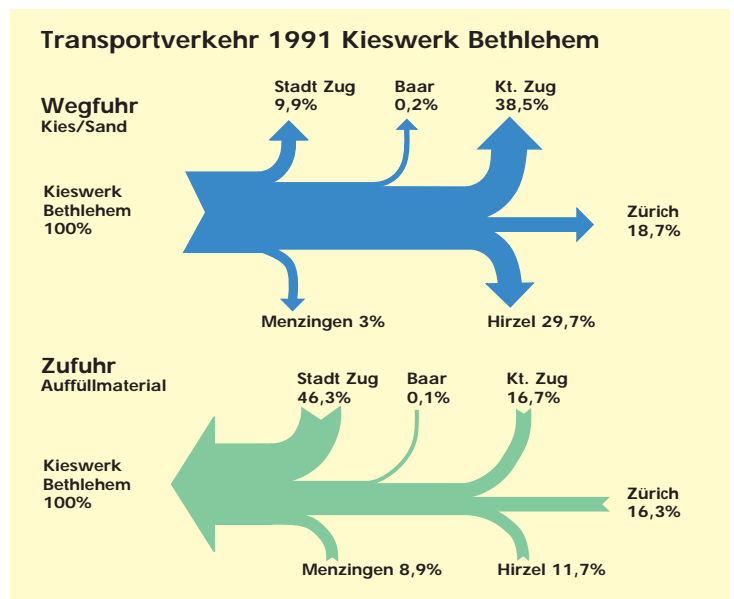




5.41



5.42



5.43

320'000 Kubikmeter (1990) und 190'000 Kubikmeter (1993). Die relativ stabile prozentuale Verteilung von Kiestransporten aus den Gruben und Auffüllmaterial in die Gruben auf die Region ist in [Abbildung 5.43](#) skizziert. 80% der gesamten Kiestieferungen erfolgen innerhalb eines Radius von 10 Kilometern. Das Kieswerk Bethlehem ist der wichtigste Lieferant für aufbereitetes Material im Kanton Zug, da obige Verkaufszahlen nahezu 100% aufbereitetes Material umfassen.

Die sehr heterogene Zusammensetzung und insbesondere der ausgeprägte lithologische Schichtaufbau des abbaubaren

Abbildung 5.41: Kiesabbaugebiet Menzingen-Neuheim ZG. Eingezeichnet sind die bestehenden Kiesabbau-Areale, Flächen in Auffüllung, mit eingestelltem Kiesabbau und bereits rekultivierte Kiesabbaugebiete (Datenstand 1995).

Abbildung 5.42: Feingeschichtete Sande im Bereich des äusseren Deltaufbaues mit unregelmässig eingelagerten Geröllen (siehe auch [Abbildung 5.40](#)).

Abbildung 5.43: Transportbilanz 1991; Abtransport von Kies und Zufuhr von Auffüllmaterial im Kieswerk Bethlehem ZG (gemäss Angaben KIBAG).





5.44



5.45



5.46

Abbildung 5.44: Kiesgrubenwand Zell-Allmend. Gut zu erkennen sind die Mittleren Zeller Schotter, welche feinkörniger und im oberen Teil mit viel schwarzem, organischem Material durchsetzt sind (oberhalb und nahe unterhalb des Baggers).

Die obersten Lagen der Unteren Zeller Schotter sind rostig verfärbt.

Abbildung 5.45: Abbaustelle Zeller Allmend: Ein unterirdisches Förderband wird am Grubenrand per Muldenkipper mit Rohkies beschickt, von wo es zur Station Zell-Briseck transportiert wird.

Abbildung 5.46: Nach rund 700 m unterirdischem Transport erreicht das Rohmaterial die Verladestation Zell-Briseck, von wo aus der Bahntransport ins Aufbereitungswerk Gettnau erfolgt.



### 5.3.3 ZELL UND GETTNAU, LUTHERNTAL LU

Im Wigger- bzw. Lutherntal gestatten zwei grosse Abbaugelände oberhalb von Zell Einblick in die Geologie mächtiger Schotter. Es handelt sich um die Kiesgruben in der nördlichen Zeller Allmend und um die Abbaugelände am Baren mit der Fortsetzung weiter talaufwärts bis zur Hofstatt. Zeller Allmend und Baren sind ausgeprägte Plateaus der maximalen Aufschotterungshöhe, in die mit steilen Terrassenrändern das heutige Lutherntal eingetieft ist. Dieses Gebiet ist sowohl wegen seiner lithologischen wie auch wegen seiner räumlichen Verhältnisse rohstoffgeologisch interessant.

*Lithologische und petrographische Verhältnisse:* Die als Zeller Schotter bezeichneten grobkörnigen Sedimente füllen ein altes, in die Molasse eingetieftes Tal bis auf das Niveau der Zeller Allmend auf. Im zentralen Teil der alten Rinne sind Rohstoffe bis zu 30 Meter Mächtigkeit abgebaut worden (Zeller Allmend, Hofstatt). Der Aufbau des Rohstoffkörpers ist in der Zeller Allmend dreiteilig ([Abbildung 5.44](#)); die *Unteren* und die *Oberen Zeller Schotter* sind Sedimente eines verzweigten Flusslaufes (braided river-Typ, siehe auch [Abbildung 5.9](#) im [Kapitel 5.1](#)), während die *Mittleren Zeller Schotter* durch wandernde Mäander gekennzeichnet sind, wobei vorwiegend Sedimentumlagerung stattgefunden hat. In abgeschnittenen Mäandern kam es dabei zu einer Wechsellagerung von Torf und feinkörnigen Hochflutsedimenten. Die zeitliche Stellung der Zeller Schotter ist noch nicht befriedigend geklärt, doch dürfte es sich bei der oberen Einheit um einen latestezeitlichen Schuttfächer handeln [Küttel 1989, Wegmüller 1992].

Die in Zell abgebauten Schotter bestehen aus aufgearbeiteter und umgelagerter Napfagelfluh; die petrographische Zusammensetzung ist praktisch monomiktisch. Die Gerölle sind vorwiegend Quarzite, Gangquarze und vereinzelt Hornsteine beziehungsweise Radiolarite, welche als erosionsresistente Lithologien die mehrfachen Verwitterungen respektive Umlagerungen überstanden haben. Dadurch liegt hier petrographisch praktisch ein Restschotter vor, das heisst ein Geröllspektrum aus ausschliesslich erosionsresistenten Gesteinen (siehe auch [Abbildung 5.10](#) im [Kapitel 5.1](#)). Die abgebauten Schotter wirken verwittert, vor allem dort, wo sie noch teilweise oder ganz zersetzte kristalline Komponenten enthalten. Die vollständig kalkfreien Verwitterungsdeckschichten sind für eine Entwicklung auf latestezeitlichen Ablagerungen dementsprechend mächtig (über 2 Meter).

*Räumliche Verhältnisse:* Der Kiesabbau in der erwähnten alten Molasserinne zeigt, zumindest lokal und streckenweise, den Verlauf dieser Rinne, deren Basis tiefer liegt als die des heutigen Lutherntales. Dabei zeigt sich, dass die Kleingeometrien dieser Rinne mit verschiedenen Stufen und Verebnungen alles andere als einfach ist (im Baren zeitweise gut aufgeschlossen) und ähnliche Hanggeometrien aufweist wie das heutige Lutherntal.

Die Zeller Schotter stellen bedeutende Rohstoffreserven dar, bedingen aber für den Abbau sorgfältige geologische Abklärungen, da der Hauptgrundwasserstrom des Lutherntales ebenfalls der eingeschotterten Rinne folgt und da im Baren das eingeschotterte Molasserinnerelief kompliziert ist. Nur die dünne Deckschicht sowie die feinkörnigen, mit organischem Material durchsetzten Teile der mittleren Zeller Schotter müssen auf Deponie geführt werden. Pro Jahr werden in den beiden Gruben bei Zell 300'000 bis 400'000 Kubikmeter abgebaut. Mehr als die Hälfte davon werden im 5 Kilometer entfernten Werk Gettnau aufbereitet, der Rest wird als «Kies ab Wand» verkauft. Die Anlagen der Makies AG sind deswegen bemerkenswert, weil sie den Anliegen von Umweltschutz und Recycling in hohem Masse Rechnung tragen und weitgehend automatisiert sind.

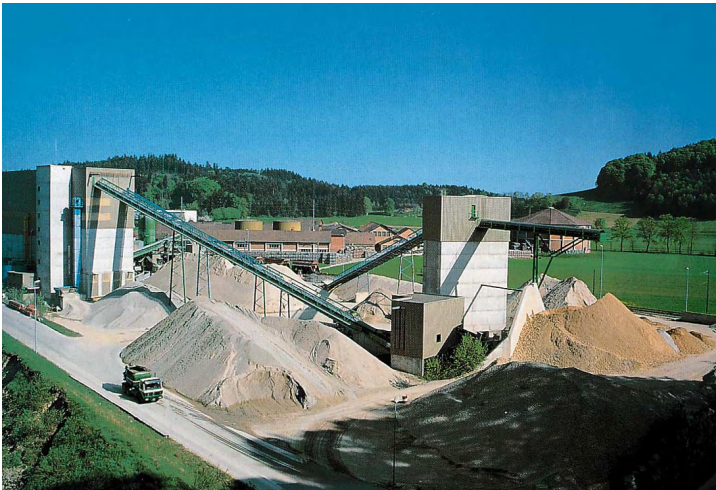
In der Grube Allmend, der Kiesabbaustelle, wird das Rohmaterial seit 1991 per Muldenkipper auf unterirdische Förderbänder gebracht ([Abbildung 5.45](#)), welche über eine Distanz von gut 700 m das Abbaugelände mit einem Zwischendepot bei der Verladestation Zell-Briseck an der Bahnlinie Huttwil-Wolhusen verbinden ([Abbildungen 5.46, 5.47](#)). Unter diesem Depot wird über verschiedene Schieber und Bänder der Rohkies abgezogen und über eine weitgehend automatisierte Verladestation auf werkeigene Zugkompositionen verladen. Etwa 35 Minuten werden zur Füllung von neun Kieswagen benötigt (32 Kubikmeter resp. 56 Tonnen pro Wagen), welche anschliessend zum Aufbereitungswerk bei Gettnau geführt werden. Dort wird an der Entladestelle ([Abbildung 5.48](#)) der Kieszug entladen. Das Material fällt in eine Grube und wird vorerst in ein Silo mit dem Fassungsvermögen eines ganzen Kieszuges transportiert. Anschliessend erfolgt das Vorbrechen, dann gelangt es wieder per Band in die Wasch- und Sortierwerke, welche gegen Lärm- und Staubimmissionen abgeschirmt sind ([Abbildung 5.49](#)). Die Kiesprodukte lagern anschliessend in 14 Silos, die einzeln oder in Kombination entleert und wahlweise auf Lastwagen oder, für grössere Transportdistanzen, wieder in Schüttgutwagen verladen werden. Über 100'000 Kubikmeter pro Jahr verlassen das Werk per



5.47



5.48



5.49



5.50

Bahn in diesem Zustand. Ein grosser Teil wird im angegliederten Betonwerk weiterverarbeitet; der dazu benötigte Zement wird ebenfalls per Bahn antransportiert. Heute werden die Fertigprodukte gesamthaft zu 60% mit der Bahn abtransportiert, der Rest mit Lastwagen.

In der Vorberecherei werden in vier Grossbrechern nicht nur die in den Gruben anfallenden Grobkomponenten zu hochwertigem Splitt verarbeitet, sondern auch zusätzlich antransportiertes Material. Durch den Ausbau des SBB-Kraftwerkes in Amsteg UR bedingt, werden seit 1994 jeweils drei Züge pro Woche mit Tunnelausbruchmaterial zur Aufbereitung nach Gettnau geführt. Dies kann zeitweise Engpässe auf den Schienenanlagen (Abstellflächen, Zugslängen) bewirken und führte unter anderem dazu, dass eine nochmalige Erweiterung der Bahnverladeanlagen in Angriff genommen werden musste. Gut gelöst im ganzen Kiesaufbereitungsprozess ist auch die

Wasseraufbereitung. Für den Waschprozess werden bis zu 6000 Liter Wasser pro Minute benötigt. Durch Flockulierung kann ein beträchtlicher Teil gereinigt werden, während der verbleibende, gerade noch pumpfähige Schlamm durch zwei Kammerfilterpressen bis zu einer Endfeuchtigkeit von 23% entwässert wird (Abbildung 5.50). Das ausgepresste, fast klare Wasser wird erneut dem Waschprozess zugeführt, während der stichfeste Schlamm in Ziegeleien als Komponente bei der Herstellung von Backsteinen Verwendung findet. Als Ersatz für Wasserverluste und zusätzlich auch für die Betonaufbereitung werden einer Grundwasserfassung pro Minute rund 500 Liter Wasser entnommen. Verarbeitungsvorgänge, welche mit gebrochenem Material in Zusammenhang stehen, sind an eine Entstaubungsanlage gekoppelt. Die der Abluft entzogenen Staubpartikel werden in einem Silo gesammelt und als Filler in der Asphaltaufbereitung wiederverwendet.

Abbildung 5.47: Bahnverladeanlage Zell-Briseck.

Abbildung 5.48: Anlieferung des Rohmaterials (Wandkies aus Kiesabbau Zeller Allmend) im Aufbereitungswerk Gettnau. Entleerung der Bahnwagen in kurzer Zeit (15 Sekunden pro Wagenladung, etwa 50 Minuten pro ganzer Zug).

Abbildung 5.49: Kiesaufbereitungs- und Aufbereitungsanlage der Makies AG bei Gettnau. Im Mittelgrund die Bahnlinie, vorne Silos und Zwischenlager und Wasch- und Aufbereitungsanlage mit Verladeeinrichtungen für Fertigprodukte auf Bahn und Strasse.

Abbildung 5.50: Durch Kammerfilterpressen entwässertes, nun stichfester Wäscheschlamm, welcher nachher in Ziegeleien gebracht wird und dort als Rohstoff für die Herstellung von Backsteinen mitverwendet wird.





5.51

### 5.3.4 BIOLEY-ORJULAZ VD

Die Region von Bioley-Orjulaz befindet sich etwa 10 km nordnordwestlich von Lausanne, in einer Landschaft, die mit den teilweise bewaldeten Moränenhügeln typisch ist für das «Gros-de-Vaud». Die Kiesgrube von Bioley-Orjulaz liegt in einer Senke, die sich von Süden nach Norden erstreckt, vom Dorf Boussens zum Tal des Talent. Diese Vertiefung ist im Osten begrenzt durch einen südwärts verlaufenden Molasse Rücken und im Westen von einem sich ebenfalls südwärts erstreckenden Hügelzug, ohne Molasseaufschluss, der Paradis heisst. Weniger als ein Kilometer westlich von Paradis entspringen die Quellen der Molomba, die im vergangenen Jahrhundert in einem Kiesaufschluss gefasst wurden ([Abbildung 5.52](#)).

Der Kiesabbau von Bioley-Orjulaz spielt seit mehr als einem Jahrhundert eine wichtige Rolle in der Kiesversorgung des Kantons Waadt. 1871 begann ein Landwirt die Kiese und Sande von Bioley-Orjulaz abzubauen, um sein eigenes Haus zu bauen und anschliessend auch die Bedürfnisse an Baumaterialien in der Region zu befriedigen. Die anfänglich mit Pickel und Schaufel ausgebeutete Kiesgrube von Bioley-Orjulaz wurde 1886 vom Kanton Waadt übernommen. 1930 setzte die Mechanisierung ein, die den Abbau mehr und mehr beschleunigte, bis er zu Beginn der 60er Jahre ein Maximum erreichte. 1984 wurde dieses grösste Kieswerk des Kantons Waadt an eine private Gesellschaft vermietet, die gezwungen war, den Perimeter der Nutzungsfläche zu erweitern, um die grosse Nachfrage in der Region decken zu können. 1993 ging die bewilligte

Abbaumenge zur Neige, und neue Untersuchungen mussten vorgenommen werden, um die Beschickung der Aufbereitungsanlage sicherzustellen.

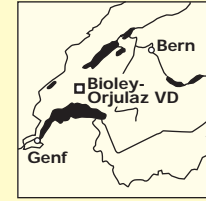
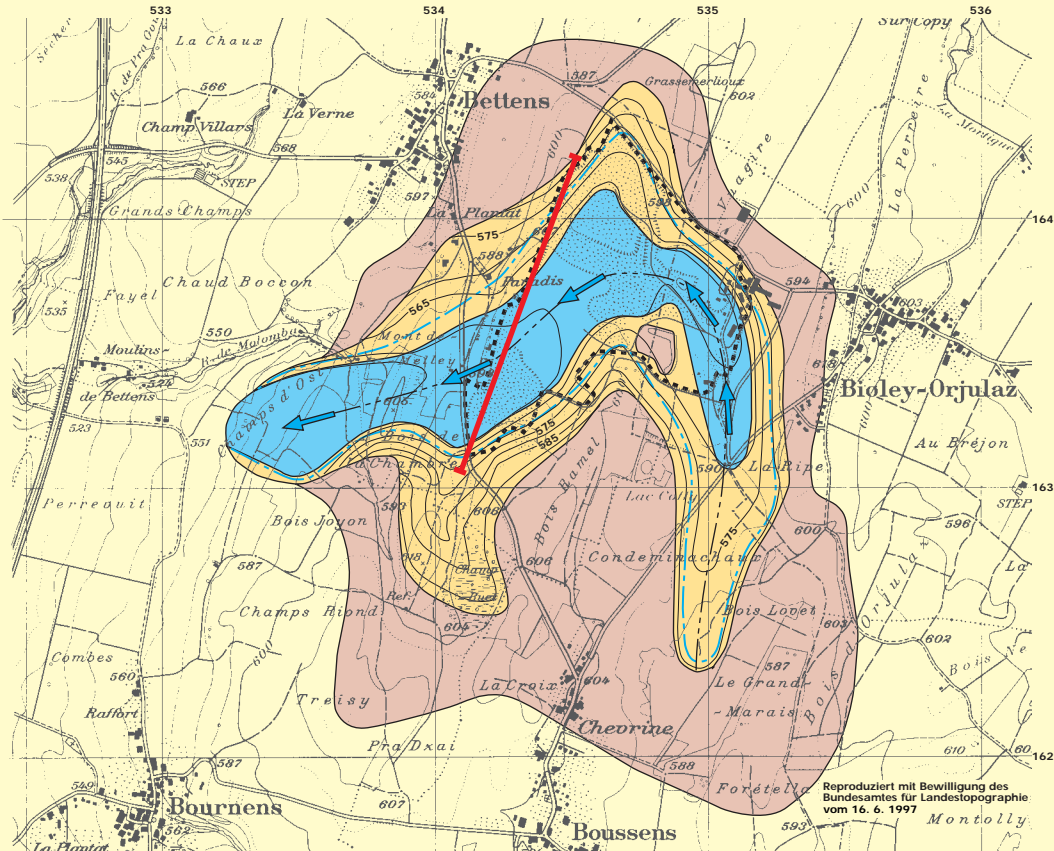
Das seit dem Beginn des Abbaus in mehreren Zeitphasen gewonnene Volumen lässt sich nur schwer abschätzen. Es dürfte aber bei etwa 10 Mio. m<sup>3</sup> liegen. Im derzeitigen Richtplan für Kiesgruben des Kantons Waadt sind rund 6.7 Mio. m<sup>3</sup> Vorräte ausgewiesen, deren Verfügbarkeit jedoch noch von verschiedenen Bewilligungsverfahren abhängt.

*Geologie:* Die Schotter von Bioley-Orjulaz sind mindestens zwei Vorstössen des Rhonegletschers zuzuordnen, einem ersten vor etwa 34'000 Jahren, der bis zur Höhe 600 m ü.M. reichte und einem zweiten vor etwa 25'000 Jahren, der wahrscheinlich dem Würm-Maximum entspricht. Die heutige Schotterrinne ist Grundwasserträger für die Quellen von Molomba, deren Schüttung 1600 Liter pro Minute beträgt. Die Schotter füllen eine alte, schluchtartig in die horizontal liegenden Molasseschichten eingeschnittene Erosionsrinne aus, deren Untergrund mit einer Neigung von 0.9% relativ flach ist. Steilstufen liegen in Abständen von 300 bis 500 m. Die hydrogeologische Karte ([Abbildung 5.52](#)) zeigt deutlich den gewundenen Verlauf der Rinne und die Lage eines Zuflusses nahe Champ Buet.

Die Geologie der Region war Gegenstand zahlreicher Publikationen, weil in den Kieshorizonten Fossilien von Wirbeltieren entdeckt wurden, welche die Altersdatierung der Schichten ermöglichten. An Wirbeltierfossilien wurden beispielsweise Reste von Mammut, wollhaarigem Nashorn, Auerochse, Hirsch und Pferd gefunden. Die meisten Funde wurden zu Beginn des Jahrhunderts gemacht, als noch mit Pickel und Schaufel gearbeitet wurde. In den letzten Jahrzehnten wurden die Funde, verglichen mit der Grösse des gewonnenen Kiesvolumens, wegen der allgemeinen Verwendung grosser Abbaumaschinen bedeutend seltener. Proben von siltigem und sandigem Ton wurden von mehreren Horizonten, in unterschiedlichen Tiefen sowohl aus Bohrungen wie aus der Abbauwand entnommen und auf ihren palynologischen Inhalt untersucht. Man fand dabei Pollen von Pinus, Betula und Alnus, nebst einem grossen Anteil Gräser und Juniperus. Diese Pflanzengemeinschaft, in welcher diejenige der Steppe gegenüber dem Birken- und Kiefernwald überwiegt, weist auf subarktisches Klima hin. Einige Pollen von Wasserpflanzen deuten zudem an, dass die Sedimentation in einem See oder in den Schleifen eines ruhig mäandrierenden Flusses erfolgte, was übrigens durch die Lithologie bestätigt wird.

Abbildung 5.51: Kiesgrube Bioley-Orjulaz. See und Klippen. Die steilen Klippen bilden ideale Brutstandorte für Uferschwalben (siehe auch [Kapitel 13.3.2](#)).

## Kiesabbaugebiet Bioley-Orjulaz VD

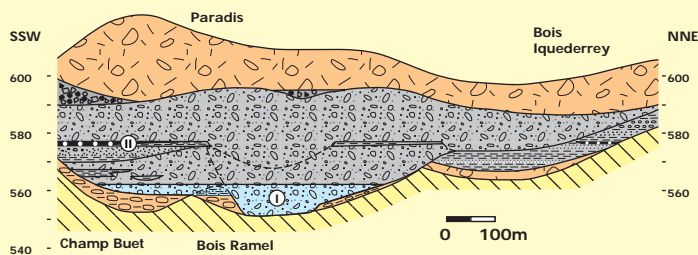


### LEGENDE

- Molasse unter geringmächtiger Bedeckung
- Trockener Kies (tiefer Grundwasserstand)
- Kies im Grundwasserbereich (tiefer Grundwasserstand)
- Seitliche Begrenzung des Grundwasserspiegels (Hochwasserstand)
- Achse des kiesgefüllten Molassegrabens
- Fließrichtung des Grundwassers
- Perimeter der Kiesgrube von Bioley-Orjulaz
- Isohypsen der Molassefelloberfläche
- Geologisches Profil (Abbildung 5.53)

5.52

## Geologisches Profil Bioley-Orjulaz



Altersbestimmungen (C<sup>14</sup>)  
 I: 34'600 ± 2700  
 II: 25'090 ± 550

- Organisches Material (Pflanzenreste)
- Moräne, einschliesslich umgelagertes Moränenmaterial und glaziolakustrische Sedimente
- Grundmoräne des Rhonegletschers

- Periglaziale Kiese
- Fluvio-glaziale Sande und Kiese
- Fluvio-glaziale Sande und Kiese im Grundwasserbereich
- Feinkörnige See-, Sumpf- und Flussablagerungen
- Molasse (Chattien)

5.53



5.54

Abbildung 5.52: Geologische Karte des Kiesabbaugebietes Bioley-Orjulaz.

Abbildung 5.53: Geologisches Querprofil durch das Kiesabbaugebiet Bioley-Orjulaz (Profilsur siehe [Abbildung 5.52](#))

Abbildung 5.54: Teilansicht der Kiesgrube Bioley-Orjulaz.



*Petrographie und Hydrogeologie:* Zahlreiche Geröllbestimmungen dokumentieren eine petrographisch monotone Zusammensetzung des Schotters. Mehrere statistische Zählungen an jeweils 1000 zufällig entnommenen Geröllen und Formen zeigen auch, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen Basis, Mittelteil und Dach der Kiesformation bestehen. Im Mittel ergeben sich Anteile von 39% Kristallin (Granite, Gneise, Serpentine) und 61% Sedimente (Kalke, Sandsteine, Konglomerate, Quarzite). Die maximale Abweichung der Mittelwerte aller Zählungen liegt bei lediglich 7%. Die Kiese der 20 bis 40 Meter mächtigen Formation werden von einem durchziehenden, 0.5 bis 1 Meter mächtigen Horizont siltigen Tones unterbrochen. Das Kiesvorkommen ist typisch für eine fluviatile Ablagerung: horizontale Schichtung mit geringer seitlicher Ausdehnung, häufige, kleinräumige Kreuzschichtung, verzahnte Komponenten, die nach der Fliessrichtung orientiert sind. Das Übersichtsprofil ([Abbildung 5.53](#)) zeigt, dass das Kieslager durch eine Grundmoräne in Geschiebelehmfazies, die weniger als 10 Meter bis mehr als 20 Meter mächtig sein kann, überlagert wird. Die kiesführende Erosionsrinne umfasst ein Areal von etwa 1'700'000 Quadratmeter. Der Grundwasserspiegel bedeckt ein Areal von 750'000 Quadratmeter bei Niedrigwasser und von bis zu 1.2 Millionen Quadratmeter bei Hochwasser, was einem Volumen von 1–4 Millionen Kubikmeter benetztem Kies entspricht. Das natürliche mittlere Gefälle des Grundwassers erreicht 0.6% bei Niedrig- und 0.7% bei Hochwasser. Die mittlere Durchlässigkeit des Kiesel wurde aufgrund der Messungen in zwei Abflussabschnitten mit  $7.5 \cdot 10^{-4}$  m/s berechnet.

*Abbau und Aufbereitung:* Wegen den zeitlich weit auseinanderliegenden Abbauphasen wurden zahlreiche Bewilligungen, von Fall zu Fall abhängig von den Vorräten des Unternehmers und den Bedürfnissen des Marktes, erteilt. 1960 wurden die Grenzen der Abbautiefe auf Grund von Piezometer- und Wasserstandsmessungen festgelegt. Im allgemeinen wird eine zwei Meter mächtige Kiesschicht über dem höchsten Grundwasserstand nicht abgebaut. Unter Berücksichtigung der Hangstabilität wurde die maximale Neigung der Kiesgrubenböschungen mit 1:1 in der Grundmoräne und mit 5:1 im Kies festgelegt. Das abgebaute Material wird einer zentralen Aufbereitungsanlage innerhalb der Kiesgrube zugeführt, bevor es vorwiegend in die Region Lausanne transportiert wird.

*Natur und Umwelt:* Seit Beginn der achtziger Jahre, schon bevor die Vorschriften über den Umweltschutz in Kraft traten,

untersuchte man den Einfluss der Kiesgrube von Bioley-Orjulaz auf die Umwelt, und es wurden Vorschläge über zweckentsprechende Kompensationsmassnahmen für die Erhaltung der Natur gemacht. Seit etwa einem Jahrhundert hat der Mensch mit seiner Abbautätigkeit das natürliche Gleichgewicht zerstört, weil entblösste (wüstenartige) Zonen, frei von pflanzlicher Bedeckung, entstanden. Da der Abbau aber in Segmenten erfolgte und einzelne Gebiete über Jahre unberührt blieben, haben Flora und Fauna die Grube rekolonialisiert. Verschiedenartige ökologische Lebensgemeinschaften bildeten sich, ausgehend von Pionierflora bis zum Wald, inbegriffen Feuchtbiootope. Auch die Fauna ist mit seltenen Arten gut vertreten: Uferschwalbe, Kreuzkröte, Geburtshelferkröte, Wanderfalke, Flussregenpfeifer. Zahlreiche Ausgleichsmassnahmen wurden vorgeschlagen, um die durch den Kiesgrubenbetrieb laufend zerstörten Biotope in nächster Umgebung zu ersetzen, so beispielsweise durch das Aufschütten eines Hügels von 5000 Quadratmetern für Pioniervegetation, durch die Schaffung eines Weihers und durch das Festlegen einer Schutzzone.

Während vieler Jahre mussten die Kiestransporte die Dörfer Boussens und Cheseaux passieren. Heute ist die Situation verbessert worden, indem die Lastwagen nun über eine Umfahrungsstrasse bei Boussens direkt zur Autobahn gelangen.

Die Zukunft des Abbaus in Bioley-Orjulaz, mit dem seit mehr als einem Jahrhundert die Kiesversorgung der Region Lausanne sichergestellt wird, hängt wesentlich von Kriterien der Umweltverträglichkeit ab. Beschränkungen, die sich aus überlagernden Nutzungsansprüchen ergeben, können das nutzbare Kiesvolumen drastisch verkleinern (vergleiche dazu auch [Kapitel 5.1](#), Einleitung und [Kapitel 13](#)).





5.56

### 5.3.5 REICHENAU GR

Die Landschaft beim Zusammenfluss von Vorder- und Hinterrhein bei Reichenau ist geprägt durch die Auswirkungen der grossen spät- und nacheiszeitlichen Bergstürze von Flims und Tamins ([Abbildung 5.56](#)). Die Bergsturzlandschaft setzt sich rheinabwärts bis gegen Chur und entlang dem Hinterrhein talaufwärts ins Domleschg fort. In die chaotisch abgelagerten Bergsturstrümmer sind mächtige Kiessand-Ablagerungen eingebettet. Diese Bonaduzer Schotter werden in der Kiesgrube Reichenau abgebaut.

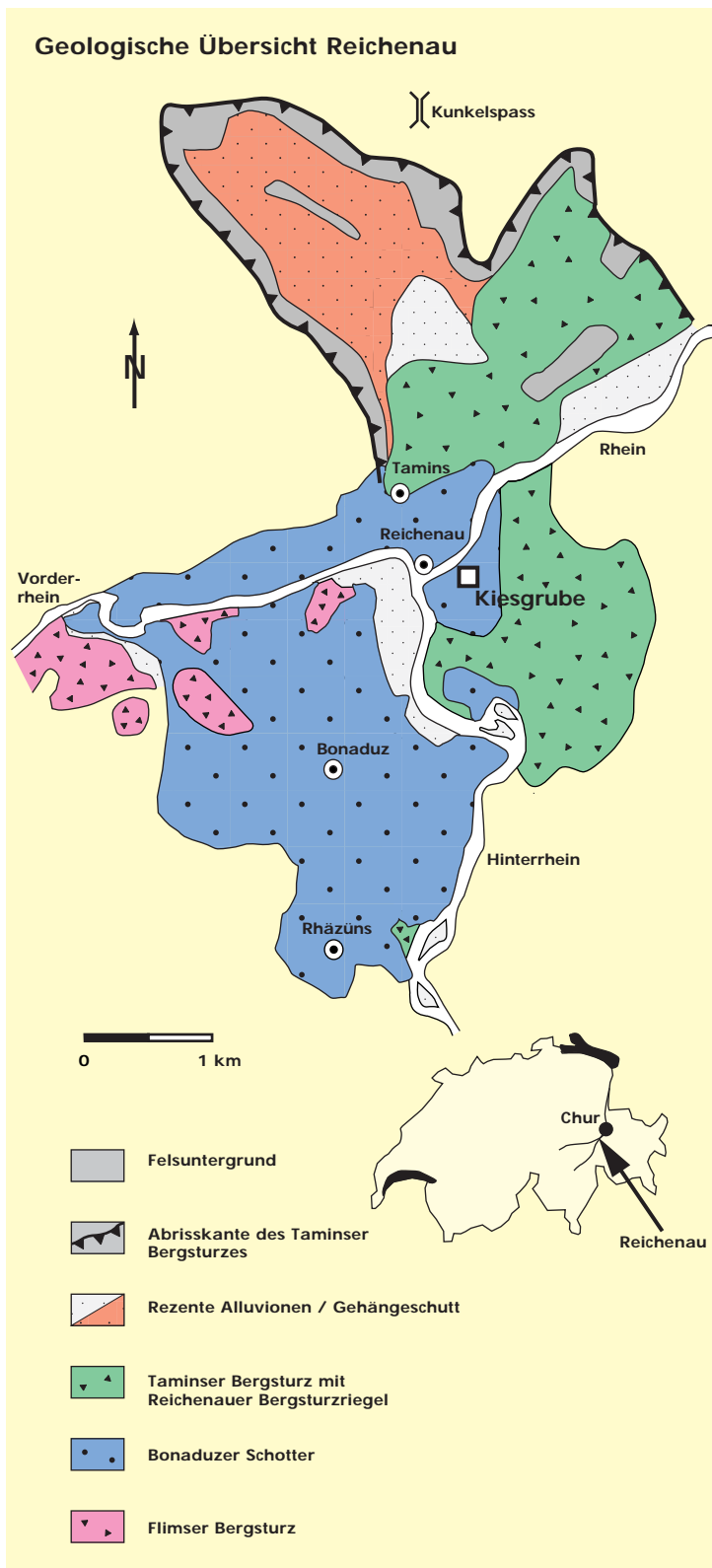
In der bis 60 m tiefen Kiesgrube Reichenau sind die Bonaduzer Schotter in ihrer gesamten Mächtigkeit aufgeschlossen. An der Basis (ca. 590 m ü.M.) liegen grobkörnige, stark sandige Kiese mit Steinen dem Bergsturz auf. Gegen oben werden die Ablagerungen zunehmend feinkörniger; im obersten Teil der Kiesgrube (ca. 650 m ü.M.) sind nur noch siltige Feinsande vertreten. Gegen Osten steigt die Grenze zum Bergsturz steil

an und die Mächtigkeit der Kiessand-Ablagerungen nimmt ab. Aus der südlichen und östlichen Kiesgrubenwand wurden aus verschiedenen Niveaus Proben entnommen und bezüglich Korngrössenverteilung untersucht. Die Resultate der Sieb-/Schlammanalysen sind in [Abbildung 5.60](#) als Summationskurven dargestellt; deutlich kommt eine Gradierung in vertikaler und lateraler Richtung (gegen Osten) zum Ausdruck. In die Kiessande eingebettet sind vereinzelt dezimeter- bis metergrosse Schollen von laminierten, tonigen Silten mit organischen Anteilen. Meist sind die feinkörnigen Schollen linsenartig geformt und, vor allem im unteren Bereich der Kiesgrube, subhorizontal eingeregelt. An einzelnen Aufschlüssen können zerrissene und deformierte Siltlinsen beobachtet werden, in deren Zerrspalten das umgebende Kiesmaterial eingeflossen ist. Die Kiessande im unteren Teil der Grube zeigen Fließstrukturen. Plattige Komponenten sind subhorizontal eingeregelt, und Siltschollen werden von den Grobanteilen umflossen beziehungsweise zeichnen deren Umrisse nach

Fig 5.56: Kiesabbaugebiet von Tamins-Reichenau-Bonaduz (Luftbild aus dem Jahr 1996). In der Bildmitte liegen die Abbaustellen, gut geschützt gegen Sicht durch den umgebenden Wald. Die Verladeanlagen liegen unmittelbar beim Bahn-

hof Reichenau; damit ist ein optimaler Gleisanschluss an das Schienennetz der Rhätischen Bahn gegeben.





5.57



5.58

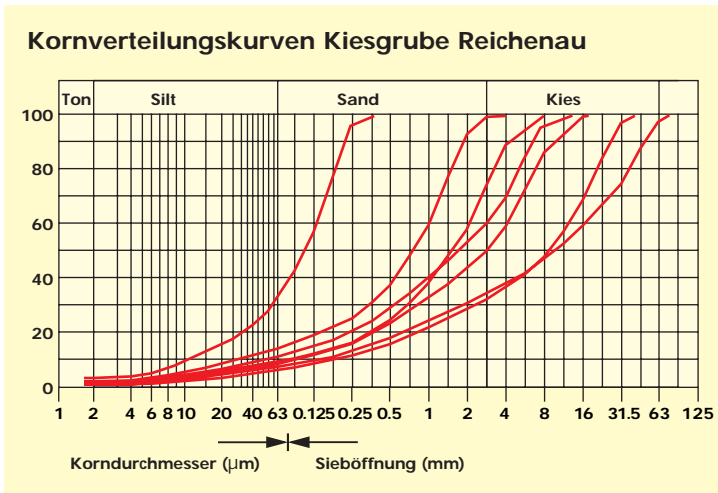


5.59

Abbildung 5.57: Geologische Kartenskizze der Bergsturzlandschaft von Tamins-Reichenau-Bonaduz [nach Trümpy & Trommsdorff, 1980].

Abbildung 5.58: Tonig-siltige Scholle im groben Kiessand der Basis-schichten. Die Kieskomponenten umfassen den «Fremdkörper».

Abbildung 5.59: Kaminartige aus-gewaschene Bereiche aus saube-rem, grobem Kies. Im Basisbereich der Kiesgrube sind diese Entwässerungsröhren einige Meter hoch und haben einen Durchmesser von ein bis zwei Dezimetern.



5.60

(Abbildung 5.58). Die Kiessand-Ablagerungen sind von kaminartigen Röhren durchsetzt (Abbildung 5.59). Charakteristisch ist hier das Fehlen von Sand- und Feinanteilen, was auf Auswaschungsvorgänge schliessen lässt. Pavoni [1968] vermutet, dass sich wassergesättigte Ablagerungen während der Konsolidation entlang solcher Sickerröhren entwässert haben.

*Genese der Bonaduzer Schotter:* Früher wurden die Bonaduzer Schotter als Grundmoräne gedeutet [Gsell, 1918]; heute vermuten verschiedene Autoren eine Ablagerung aus einem wassergesättigten Lockergesteinsbrei [Pavoni, 1968, oder Nabholz, 1975]. Nach Rückzug des würmeiszeitlichen Rheingletschers wurde das Rheintal mit Alluvionen gefüllt; örtlich entstanden auch feinkörnige, tonig-siltige Ablagerungen. Mehrere Bergstürze aus dem Gebiet des Kunkelspasses (siehe Abbildung 5.57) führten in und unter die junge Talfüllung. Die vor der Sturzfront liegenden Alluvionen wurden schockartig zu einem Lockergesteinsbrei verflüssigt, über die Talsohle angehoben und flossen beidseits der Bergsturzmasse in Richtung Chur und auch rheinaufwärts ins Domleschg ab, Bergsturz-Trümmer mit sich tragend. Der Lockergesteinsbrei füllte das Gebiet von Bonaduz–Reichenau–Rhäzüns bis auf Kote 670–680 m ü.M. und lagerte sich als Bonaduzer Schotter zwischen den Bergsturztrümmern ab. Eine andere Deutung [Abele, 1970] geht von einer Flutkatastrophe aus, die als Folge eines Bruchs von Toteismassen oder Moränenplomben unterhalb Ilanz entstanden ist. Dabei entleerte sich der «Ilanzer See», und ein Wasser-Kiessand-Gemisch schoss zum kurz zuvor niedergebrochenen Reichenauer Bergsturziiegel, schwappte am Hindernis zurück und ergoss sich durch die Talenge bei Rothenbrunnen bis ins Domleschg.

Die über die gesamte Kiesgrubentiefe (ca. 60 m) zu beobachtende Gradierung lässt sich als Folge eines einmaligen Sedimentationsereignisses der Bonaduzer Schotter deuten. Aus einer Kiessand-Wasser-Suspension sinken die groben Komponenten (Steine und Kies) rasch zur Basis, während Sand und Feinanteile sich nur langsam ablageren und heute die oberen Grubenbereiche bilden (Abbildung 5.60). Offen ist die Frage, wieso die erwähnten Siltschollen in diesem energiereichen Murgang-Milieu nicht vollständig zerstört worden sind. Möglicherweise erfolgte ein Transport in gefrorenem Zustand als Teile eines Permafrostbodens.

*Bautechnische Qualität und Verwendung der Kiessande aus der Grube Reichenau:* Aus der Kiesgrube Reichenau werden jährlich etwa 100'000 m<sup>3</sup> Rohmaterial gewonnen und als Zuschlagstoffe für Beton und bituminöses Mischgut verwendet. Für eine Verwendung als Kiessande für Foundationsschichten (Kiessand I bzw. II) sind die Bonaduzer Schotter überqualifiziert. Im Kieswerk Reichenau werden die Bonaduzer Schotter durch Waschen, Brechen und Fraktionieren zu Rund- und Brechkomponenten aufbereitet. Rundsand und Rundkies (mit einem kleinen Brechkorn-Anteil aus dem Vorbrecher) werden im angegliederten Werk der Calanda-Beton AG für die Betonproduktion verwendet, die Brechkorn-Anteile (Prallmühle) dienen als Zuschlagstoffe für Asphaltmischgut.

Die Bonaduzer Schotter bestehen aus einem petrographisch heterogenen Korngemenge. Der gewichtsmässige Anteil sedimentärer Komponenten, vor allem Karbonate, liegt bei ca. 55%; kristalline Gesteine sind mit knapp 30% vertreten, Aderquarze mit etwa 15%. Petrographisch ungeeignete Anteile bestehen überwiegend aus verwitterten Komponenten beschränkter Druck- und Frostbeständigkeit; im weiteren sind grobspätige Kalzite kleiner Druckfestigkeit sowie untergeordnet schichtsilikatreiche, schiefrig-phyllitische Anteile vertreten. Bezogen auf ein Standardbetonrezept (0/32 mm) erreichen die petrographisch ungeeigneten Anteile innerhalb der gesamten Zuschlagstoffe eine Summe von 4.5 Gew.-%.

Abbildung 5.60: Korngrössenverteilungen von Proben aus der Kiesgrube Reichenau. Rechts im Diagramm sandige Kiese von der Basis, links siltige Sande aus den obersten Grubenbereichen.



## 5.4 KIESABBAU: PLANUNG, METHODEN

Voruntersuchungen für den Abbau von Lockergestein (Kies) geben dem Unternehmer Auskunft über Qualität und Lage der Rohstoffe sowie über geologische Zusammenhänge mit dem umgebenden Gelände. Die Voruntersuchung wird durch Umweltschutzbestimmungen und kantonale Richtlinien beeinflusst. In den meisten Kantonen liegen Versorgungskonzepte vor oder sind Richtpläne in Arbeit, in denen Grössenangaben von Kiesvorkommen, allfällige Einschränkungen und Kiesbedürfnisse der Regionen und andere für den Abbau von Rohstoffen relevante Daten genannt werden. Solche Unterlagen sind ein Verwaltungsinstrument für die kantonalen Behörden, welche die Abbaubewilligung erteilen. Die Gemeinden müssen die Vorgaben aus den Richtplänen verfeinert angehen. Die bundesrechtlichen Grundlagen für den Abbau von Kies und Sand finden sich im Bundesgesetz über die Raumplanung (RPG) vom 22. Juni 1979 und im Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG) vom 7. Oktober 1983 (vergleiche dazu auch [Kapitel 12](#), Rechtliche Grundlagen für die Rohstoffnutzung und für andere geologische Aktivitäten und speziell zum Vorgehen bei der Umweltverträglichkeitsprüfung das [Kapitel 13](#)).

### 5.4.1 VORUNTERSUCHUNGEN

Einen ersten Schritt in der Beurteilung von Kiesvorkommen bildet das Studium der vorhandenen geologischen und geotechnischen Unterlagen. Bewährt haben sich insbesondere die im Massstab 1:25'000 gezeichneten Karten des geologischen Atlas der Schweiz (noch nicht flächendeckend für die ganze Schweiz vorliegend; Bezug über Bundesamt für Landestopographie). Erwähnt seien auch die zahlreichen, an Universitäten und an den Eidgenössischen Technischen Hochschulen entstandenen Diplomarbeiten und Dissertationen zum Thema Lockergesteine. Eine Beurteilung des Geländes nach morphologischen Kriterien und eine Abschätzung der Gesteinsqualität des eventuell nutzbaren Vorkommens anhand vorhandener Aufschlüsse oder im Vergleich mit benachbarten Vorkommen darf in dieser ersten Phase ebenfalls nicht fehlen.

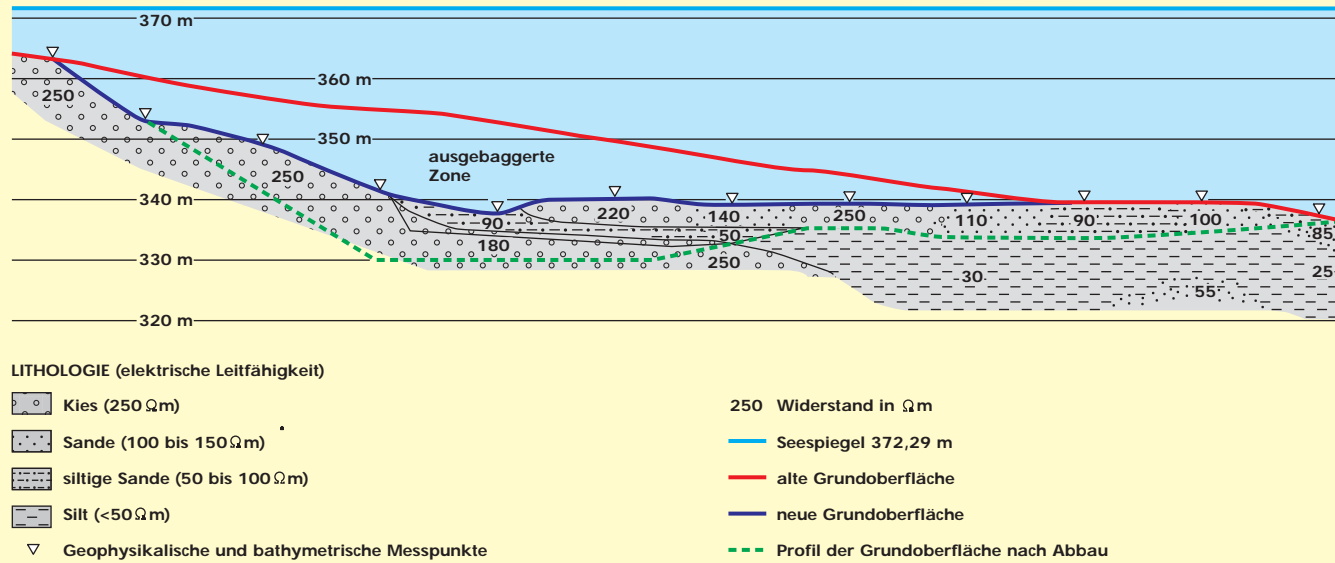
Im Zuge weiterer Vorabklärungen kommen häufig *geophysikalische Untersuchungsmethoden* zur Anwendung. Erwähnenswert sind insbesondere geoelektrische Messverfahren (spontan oder induziert), Radarverfahren (Georadar) oder ähnliche, auf der Auswertung verschiedener Frequenzspektren

beruhende Verfahren (VLF [very low frequency] = passive Ausnutzung von bestimmten Radiofrequenzen), aber auch seismische Verfahren (Reflexionsseismik und/oder Refraktionsseismik). Es würde zu weit gehen, diese Verfahren und die zugrunde liegenden physikalischen Gesetze hier zu erklären. Dafür sei auf die umfangreiche Fachliteratur verwiesen, die von den geophysikalischen Hochschulinstituten oder über spezialisierte Firmen und Anbieter von Messgeräten erhältlich ist. Allen Methoden gemeinsam ist, dass man versucht, Leitfähigkeitskontraste oder Dichtekontraste in den Lockergesteinsschichten auszunutzen und aufzuzeichnen, und mittels Referenzwerten versucht, den mutmasslichen Aufbau der Lockergesteinsschichten zu deuten. Solche Dichtekontraste können beispielsweise durch Wechsellagerungen von siltigen, sandigen und kiesigen Schichten bedingt sein, unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit (scheinbarer spezifischer Widerstand) kann durch unterschiedlichen Tonmineralgehalt oder durch Wassersättigung (Grundwasser) hervorgerufen werden. Allgemein zeichnen sich Kies und Sand (schlecht leitend) durch hohe, Silt und Ton (gut leitend) durch niedrige Widerstände aus. Mittels geeigneter Messanordnung (Messnetze, spezielle Anordnung von Messsonden) können potentielle Vorkommen sowohl in lateraler wie auch in vertikaler Richtung untersucht werden. Manche dieser Methoden eignen sich auch für die Erkundung von Kieskörpern unter der Wasseroberfläche (See, Fluss; siehe auch [Abbildung 5.61](#)).

Der Vorteil geophysikalischer Methoden ist, dass in relativ kurzer Zeit über eine grössere Ausdehnung und mit vertretbarem personellem und finanziellem Aufwand ein potentielles Abbaugbiet prospektiert werden kann. Voraussetzung ist natürlich, dass sich das Gelände für diese Art der Untersuchung eignet (mehr oder weniger ebene Flächen, nicht zu stark bewaldet oder überbaut, keine grösseren «Störfaktoren» wie Hochspannungsleitungen, unterirdische Bauwerke etc.). Dies ist, bedingt durch die Entstehung der (alluvialen) Kiesvorkommen, in der Praxis oft der Fall.

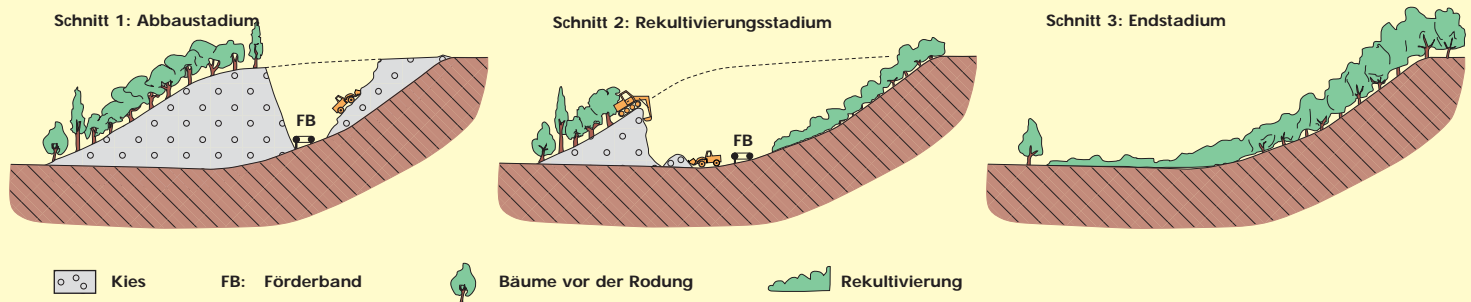
In der Praxis wohl am verbreitetsten sind Voruntersuchungen, die auf einer Kombination von geologischer Grundlagenbeschaffung (mit oder ohne geophysikalische Methoden) und dem Vergleich mit bestehenden oder speziell dafür ausgeführten *mechanischen Sondierungen* (Bohrungen, Sondierschächte und -schlitze, evtl. Rammsondierungen) beruhen. Die Aussagekraft dieser Sondierungen ist unterschiedlich und hängt von verschiedenen Faktoren ab (örtliche Gegebenheiten, Finanzmittel). Baggerschlitze und Sondierschächte sind in der Tiefe beschränkt auf einige Meter anwendbar. Wesentlich

## Kiesabbau unter der Wasseroberfläche



5.61

## Abbau- und Rekultivierungsetappen



5.62

teurer, jedoch fast in beliebige Tiefe anwendbar sind Bohrungen (Spülbohrungen, Kernbohrungen). Dem hohen Preis von Kernbohrungen stehen die detaillierten petrographischen und hydrogeologischen Resultate gegenüber, zudem hat man den Vorteil, Proben für physikalische und chemische Prüfungen (z.B. Kornverteilung, Druckfestigkeit, Verwitterungsanfälligkeit) und andere für die zukünftige Verwendung wichtige Analysen herausziehen zu können.

Die vorstehend genannten Arbeiten und Arbeitsschritte werden anschliessend in Form von geologischen Profilen, von Isohypsenkarten der Kiesbasis und der Kiesmächtigkeit, von räumlichen Darstellungen des Grundwasserspiegels und von anderen Parametern dargestellt, um Form und Lage der zu-

künftigen Lagerstätte sichtbar zu machen. Vielfach werden dazu heute auch geeignete Computerprogramme verwendet (Modellierung). Basierend auf diesen Resultaten kann das theoretische (geologische) Abbauvolumen berechnet werden. Diese Kubatur wird aber in den meisten Fällen durch verschiedene gesetzliche Auflagen wesentlich reduziert (siehe [Seite 153](#) sowie [Kapitel 13](#)), in Einzelfällen auf einen Bruchteil der geologischen Reserven. Dies kann einen Abbau von vornherein wirtschaftlich uninteressant machen oder die Abbaubedingungen stark einschränken. Über die Berücksichtigung der geologischen Grenzen des Vorkommens hinaus müssen also auch *ökologische und ökonomische Aspekte* in die Voruntersuchung eingeschlossen werden. Zu beachten sind insbeson-

**Abbildung 5.61:** Spezialfall, Kiesabbau unter der Wasseroberfläche. Das Wasser über dem geoelektrischen Messsystem erschwert die Deutung der Messdaten. In der Auswertung muss der Stromfluss in der Wasserschicht mit berücksichtigt werden. Die Resultate der Messun-

gen des spezifischen Widerstandes im Seegrund ermöglichen es gleichwohl, ein schematisches geologisches Profil zu zeichnen. (Kiesabbau an Land: siehe Profile in den regionalen Beispielen im [Kapitel 5.3](#))

**Abbildung 5.62:** Schema eines fortschreitenden Kiesabbaus mit Darstellung von drei verschiedenen Abbaustadien (Bretonnières VD)



dere Bundes-, Kantons- und Gemeindeerlasse (siehe auch [Kapitel 12](#)), der Schutz der oberirdischen und unterirdischen Gewässer (Vorsichtsmassnahmen in der Nähe von Fassungen und Wasserhorizonten), optische und akustische Belästigungen aus Kieswerkverkehr und von Aufbereitungsanlagen (Lärm, Staub, Luftverschmutzung), die Beeinträchtigung von Wald und Landschaft während und nach dem Abbau, die Gefährdung schützenswerter Ökosysteme (Nass- und Trockenbiotope, Hecken) sowie auch die Beeinträchtigung der Landwirtschaft und der Schutz historischer Stätten. Ökonomisch zu berücksichtigen sind beispielsweise die tatsächlich abbaubare Kubatur und Qualität des Rohmaterials, die Entfernung zwischen Abbauort und Verwendungsregion, Eigentumsverhältnisse (Grundstücke) oder spätere Nutzungsmöglichkeiten der Grube (z.B. als Deponiestandort).

#### 5.4.2 GESETZLICHE GRUNDLAGEN FÜR DEN KIESABBAU

Gesetze von Bund und Kantonen schreiben vor, welche Unterlagen eingereicht werden müssen, um eine Abbaubewilligung zu erhalten. Der Antrag muss sowohl den Abbaubeschrieb als auch das Bewilligungsgesuch enthalten (siehe auch [Kapitel 12 «Rechtliche Grundlagen für die Rohstoffnutzung und für andere geologische Aktivitäten»](#) und [13 «Abbau- und Rekultivierungsplanung»](#)). In diesem Teilkapitel werden die für den Kiesabbau relevanten Gesetze und Bestimmungen nur gestreift. Für genauere Informationen sei auf die oben erwähnten Kapitel respektive auf die dort erwähnten Gesetze und auf die Fachliteratur verwiesen.

Bei der Erarbeitung eines Gesamtkonzeptes wird üblicherweise der Inhalt der einzelnen Unterlagen schon während der Planung mit den zuständigen Behörden besprochen. Gegenwärtig erwarten sowohl Behörden als auch Naturschutzorganisationen zudem eine zusammenfassende Darstellung der voraussichtlichen Umweltauswirkungen.

Ein Kiesabbauvorhaben wird der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) unterworfen, wenn es ein Volumen von mehr als 300'000 Kubikmeter betrifft, wie dies in der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) vom 19. Oktober 1988 vorgeschrieben ist. Was den Zeitrahmen für die Untersuchung und Planung betrifft, so ist mit einem bis zwei Jahren zu rechnen, bis ein Abbaugesuch eingereicht werden kann und, je nach Kanton, nochmals mit bis zu zwei Jahren, bis die Bewilligung erteilt wird. Diese Zeitdauer kann um viele Jahre verlängert werden, wenn Einsprachen erfolgen.

*Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP):* Die Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung vom 19. Oktober 1988 schreibt vor, welche Anlagen und Maschinen der UVP obligatorisch unterstehen. Die Umwelteinwirkung kann sowohl durch die Anlage selbst, als auch durch den Anlagebetrieb ausgelöst werden. Kiesgruben und Steinbrüche werden hier als Sonderfälle betrachtet, weil sie im Prinzip weder Bauten noch Anlagen sind, sondern es sich vielmehr um eine zeitlich limitierte, teils reversible, teils irreversible Veränderung der Umwelt durch Abbau handelt. Abbauvorhaben, Abbaufortschritt und UVP sind daher eng miteinander verknüpft. Die Prüfung kann sich auch auf mehrere Abbauprojekte erstrecken, um die Auswirkungen ihrer Umwelteinflüsse miteinander zu vergleichen und die am wenigsten nachteilige Variante zu wählen.

*Grundwasser:* Zum Schutz des Grundwassers sind besondere Vorsichtsmassnahmen nötig, weil Kieslager gleichzeitig Infiltrationszonen, Filter und Speicher für Trinkwasser sind. Im Bundesgesetz vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer sind die entsprechenden Vorschriften festgehalten ([siehe unten](#)). In der Praxis bedeutet dies, dass beim Kiesabbau einerseits ein bestimmter Abstand von Quellen eingehalten werden muss (was im Regelfall einer Schutzzone mit einer Abflusssdauer von 20 bis 40 Tagen entspricht). Andererseits muss eine trockene Kiesschicht (im Kanton Zürich beispielsweise zwei Meter) über dem höchsten Stand des Grundwasserspiegels liegen bleiben. Diese Schutzschicht kann variieren in Abhängigkeit vom Abstand zu den Fassungen, von der Kiesqualität, von der Unsicherheit über die Schwankungen des Grundwasserspiegels und von anderen Parametern. Hydrogeologische Untersuchungen sind deshalb hauptsächlich auf die Bestimmung dieser Grössen ausgerichtet. Der Grundwasserschutz ist auch hinsichtlich einer möglichen Verschmutzung durch Kohlewasserstoffe, die im Kiesgrubenbetrieb zwangsweise benötigt werden (Treibstoffe, Maschinenöle, Fette etc.), durch geeignete Sicherheitsmassnahmen zu gewährleisten. In einigen Kantonen wird den Unternehmen eine hydrogeologische Überwachung, ausgeführt von privaten geologischen Büros, vorgeschrieben, um die Einhaltung der kantonalen Bestimmungen sicherzustellen. Rund 480 Abbaustellen werden vom Inspektorat des schweizerischen Fachverbandes für Sand und Kies (FSK) besucht, betreut und inspiziert.

*Oberflächengewässer:* Die Forderungen für den Schutz der Oberflächengewässer in bezug auf Kiesabbau sind weniger ein-

Bundesgesetz vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer (GSchG); Art. 44 Ausbeutung von Kies, Sand und anderem Material.

<sup>1</sup> Wer Kies, Sand oder anderes Material ausbeuten oder vorbereitende Grabungen dazu vornehmen will, braucht eine Bewilligung.

<sup>2</sup> Die Bewilligung für solche Arbeiten darf nicht erteilt werden:  
a. in Grundwasserschutzzonen;  
b. unterhalb des Grundwasserspiegels bei einem Grundwasservorkommen, das sich nach Menge und Qualität für die Wassergewinnung eignet;  
c. in Fliessgewässern, wenn der

Geschiebehaushalt nachteilig beeinflusst wird.  
<sup>3</sup> Bei einem Grundwasservorkommen, das sich nach Menge und Qualität für die Wassergewinnung eignet, kann die Ausbeutung oberhalb des Grundwasserspiegels bewilligt werden, wenn über dem höchstmöglichen

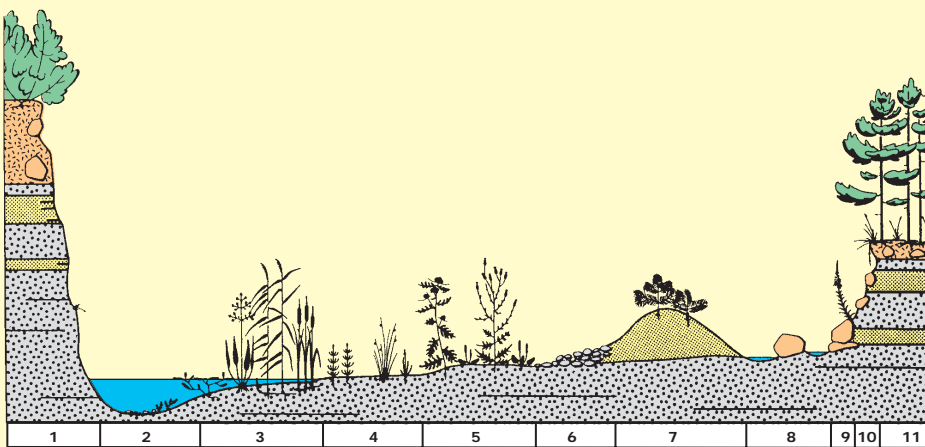
Grundwasserspiegel eine schützende Materialschicht belassen wird. Diese ist nach den örtlichen Gegebenheiten zu bemessen.



**Typische Grubenbereiche einer Kiesabbaustelle**

- 1 Zentrale Aufbereitung
- 2 Zentrale Lagerung
- 3 Lager-Areal
- 4 Absetzbecken
- 5 Neue Abbaufront
- 6 Alte Abbaufront
- 7 Abbaurichtung (Rodung)
- 8 Rekultivierter Abschnitt (Aufforstung)
- 9 Quellengebiet
- 10 Kantonsstrasse, Bahn

5.63



**Lebensraum Kiesgrube**

- 1 Ehemalige Abbauwand mit Sandlinsen
- 2 Weiher in tiefer Abbauzone
- 3 Untiefes Ufer (am Verlanden)
- 4 Zone wechselnder Feuchtigkeit
- 5 Trockener Kies mit Trümmerflora
- 6 Steinhäufen
- 7 Trockener Sandhaufen
- 8 Tümpel
- 9 Erratische Blöcke
- 10 Steiler, der Sonne ausgesetzter Hang
- 11 Trockener Föhrenwald

5.64

schneidend als jene für das Grundwasser. Um die Verschmutzung eines Gewässers in Betriebsnähe zu verhindern, kann oberflächlich abfließendes Wasser im Normalfall über Absetzbecken, Retentionsbecken und Ölabscheider abgeleitet werden.

**Lärmbelästigungen:** Im allgemeinen werden Messungen vorgenommen, um den Lärmpegel gegenüber Wohngebieten festzustellen und um gegebenenfalls, wenn Grenzwerte der Lärmschutz-Verordnung (LSV) überschritten werden, einschreiten zu können. Vielfach können die akustischen Belästigungen durch Betriebseinrichtungen (Industrielärm, Strassenlärm)

Abbildung 5.63: Bezeichnung der verschiedenen Grubenbereiche einer Kiesabbaustelle, dargestellt am Beispiel eines Abbaus im Waldgebiet (Bretonnières VD).

Abbildung 5.64: Schematische Darstellung einer Kiesgrube mit ihren diversen Biotopen: Sekundäre Umwelt, welche die verschwundene ursprüngliche ersetzt. Bezeichnung der einzelnen Lebensräume.



durch geeignete Massnahmen wie Erddämme, Holzwände oder Schallisolation vermindert werden. Weitere Möglichkeiten zur Abhilfe sind (gedeckte) Förderbänder für interne Transporte, Reduktion des Abbaurhythmus, Begrenzung der täglichen Arbeitszeit und eventuell die Schaffung einer Eisenbahnverbindung zwischen Abbauort und regionalen Verteilzentren (siehe dazu auch regionales Beispiel Hüntwangen ZH, [Kapitel 5.3.1](#)).

**Luftreinhaltung:** Zur Reinhaltung der Luft sind die Vorschriften der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) zu beachten, die auch den Stickoxidausstoss ( $\text{NO}_x$ ) und die Staubentwicklung betreffen. Um Staubbelästigungen zu bekämpfen, hilft es, bei trockener Witterung den zu transportierenden Kies zu benetzen, die Räder jener Fahrzeuge, die öffentliche Strassen benützen müssen, zu reinigen, von Lastwagen befahrene Wege und Verladeanlagen periodisch zu reinigen oder eine Deckschicht auf den Verbindungswegen zwischen der Grube und den wichtigsten Strassen aufzutragen.

**Landschaftsschutz:** Vorschriften über Landschafts- und Naturschutz sind während und nach dem Abbau wichtig. Mit den in der UVP genannten Massnahmen sollen die Eingriffe in die Landschaft so gering als möglich gehalten werden. Während des Abbaus können folgende Vorkehrungen getroffen werden: Abbau am Hang von oben nach unten, unter Belassung eines niedrigen Walles oder Waldstreifens an der oberen Böschungskante ([Abbildung 5.62](#)); Rekultivierung der Böschungen unmittelbar nach beendetem Abbau; Hecken erhalten, um den Landschaftscharakter zu bewahren und die Sicht auf Grubenlöcher zu verdecken. Beim Endzustand ist auf naturnahe Gestaltung zu achten.

Die Kiesgrube ist ein wertvoller Lebensraum in unserer Kulturlandschaft geworden ([Abbildung 5.64](#)). Während der Abbau-phase bemühen sich die Kiesunternehmen, durch geeignete Massnahmen, eine Auswahl von Kiesrohböden, Trockenböschungen und anderen Lebensräumen anzubieten (Wanderbiotop-Konzept), das eine spontane Besiedlung fördert. Die Kiesgruben bewegen sich dynamisch durch die Landschaft und schaffen so neue Flächen und Substrate für den Beginn der Entwicklung der Natur (Sukzession). Nach dem Abbau werden wenn möglich ökologische Folgenutzungen oder Teilnutzungen angestrebt.

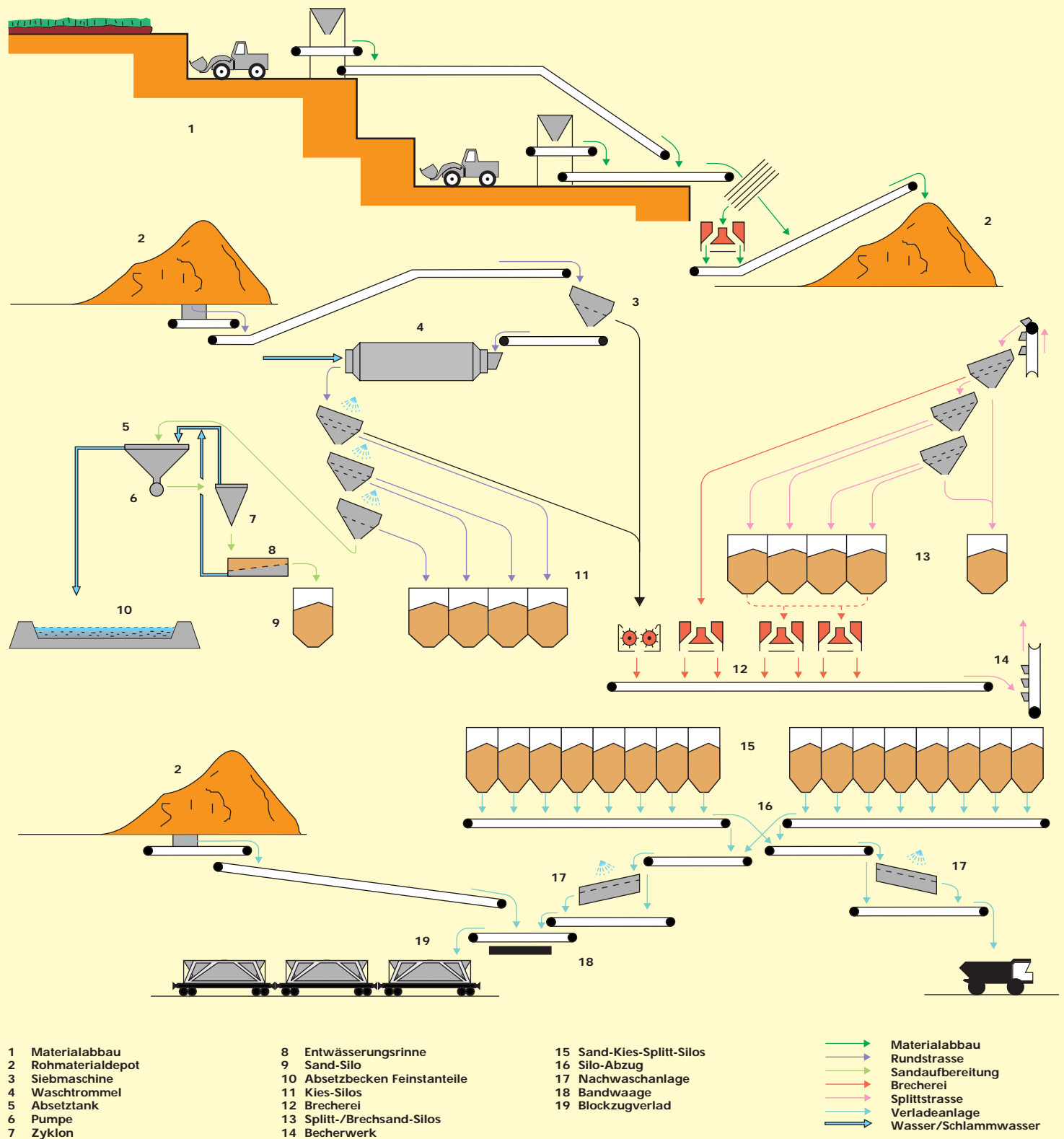
### 5.4.3 ANLAGEN UND ABBAUMETHODEN

Eine typische Kiesgruben-Anlage, wie sie für viele Regionen in der Schweiz repräsentativ ist, wird in [Abbildung 5.65](#) gezeigt (Kieswerk Hüntwangen ZH). Verschiedene Grubenbereiche sind räumlich voneinander getrennt. So wird unterschieden zwischen einem zentralen Teil mit der Aufbereitung, dem eigentlichen Kieswerk, einem aktuellen Abbau-Areal, bereits aufgefüllten und/oder rekultivierten Kiesgrubenabschnitten sowie einem grösseren Rohstofflager-Bereich und dem Kiesschlamm-Absetzbecken. Die verschiedenen Bereiche verändern sich dynamisch, zeitlich oft sehr schnell ([Abbildung 5.63](#)). Einige spezielle Lebensräume, welche in aufgelassenen oder temporär stillgelegten Kiesgruben möglich sind, werden

Tabelle 5.3: Methoden und Geräte für den Kiesabbau

Art des Abbaus	Methoden/Geräte	Verwendung
Trockener Abbau (horizontal)	Bulldozer	in hartgelagertem Material, z.T. mit Aufreisser (Ripper)
	Scraper (Schrapper)	abbauen, laden, transportieren (ein- oder zweimotorig) für grossflächige Lagerstätten
	Scraper auf Raupen	für Lockergesteine (Humus, Deckschichten)
Trockener Abbau (vertikal)	Sprengung	für Abbau aus fester Wand
	Hochdruckspülung	ein Wasserstrahl wird auf den Fuss der Abbauwand gerichtet
	Radlöffelbagger	sehr beweglich, braucht festen Boden
	Raupenlöffelbagger	sehr beweglich, auch auf schlechten Böden
	Schleppkabel (Schleppkübel)	ermöglicht Abbau über Maschinenstandort
	Hydrauliklöffelbagger	für hart gelagertes Material
	Radbagger mit Eimertrommel	für grosse, lockere Kiesflächen
	Schleppkabel mit Kübeln	ermöglicht den Abbau bis auf 1/5 der Kabellänge
Abbau im Wasser	Schleppschaufelbagger	für kleinräumigen Abbau (kleiner Aktionsradius)
	Eimerkette für Kanäle und Flüsse	bis zu 15 m Tiefe (selten gebraucht)
	Schwimmbagger mit Greifern	für Abbau in stehenden Gewässern, bis in grosse Tiefe
	pneumatischer Schwimmbagger	für relativ lockeres Gestein, bis 60 m Tiefe
	Saugbagger	für relativ lockeres Gestein, bis 20 m Tiefe
	Kettenbagger	für Wasserläufe
	Schwimmbagger mit Fräse	für hartgelagertes Material
	Greifbagger auf Ponton montiert	für Abbau von Lockergestein oder Sprengschutt

# Kies und Sand: Abbau, Aufbereitung und Verlad



5.65

Abbildung 5.65: Schematische Darstellung des Kiesabbaus und der Kiesaufbereitung mit Bezeichnung der einzelnen Anlagenteile (Kieswerk Hüntwangen ZH).





5.66



5.67

in [Abbildung 5.64](#) anhand eines ausgewählten Biotops (Kiesgrube Bretonnières VD) gezeigt. Ein Bestreben vieler Kiesgrubenbetreiber ist es, einen möglichst geringen temporären Eingriff in Flora und Fauna im betreffenden Gebiet zu erreichen (siehe auch [Kapitel 3.3.5.1](#)).

Die Abbaumethoden von Kies und Sand sind, wie die Rohstoffe selbst, vielfältig. Sie richten sich primär nach der Lagerung (Kompaktierung) der Vorkommen, den Besonderheiten des Geländes und nach den im Planungskonzept und in der Betriebsbewilligung genannten Auflagen. Der Schweizerische Fachverband für Sand & Kies (FSK; Adresse im Anhang) hat eine Sammlung der Vorschriften und Richtlinien für den Abbau von Sand und Kies erlassen, die diese Fragen umfassend behandelt.

In den Gruben werden am häufigsten Bagger, Pneulader oder ähnliche Maschinen auf Rädern oder auf Raupen eingesetzt ([Abbildung 5.66](#) und [Tabelle 5.3](#)). In der [Tabelle 5.3](#) sind einige weitere, gebräuchliche Abbaumethoden zusammengefasst. Die zu erreichende Abbauhöhe ist im Falle von Pneulader-Abbau beschränkt und erfordert unter Umständen einen terrassierten Abbaufortschritt. Der abgebaute Rohstoff wird ab Wand mit dem geeignetsten Transportmittel (Förderband, Bulldozer, Lastwagen) zur Aufbereitungsanlage befördert. Längere Wege vom Kiesabbauort zur Kiesaufbereitung und insbesondere von der Aufbereitung zu den Verbraucherzentren werden mit verschiedenen Transportmitteln überbrückt: Autotransport (direkt, kein Umlad, zusätzliche Belastung der Strassen, beträchtliche Emissionen), Bahntransport (für sehr lange Strecken kostengünstig; benötigt Be- und Entlade-Anlagen), Schifftransport (billig, geringe Umweltbelastung; Entladung aus Ladeluken mit Greifer oder Förderband oder Selbst-

entladung), Förderband (flexibel, direkte Beförderungslinie, weitgehend geräuschloser Lauf) oder mit Seilbahn (für Materialtransport in schwer zugänglichem Gelände).

Ein allgemeines Abbauschema ist in [Abbildung 5.65](#) wiedergegeben und im folgenden kurz erläutert.

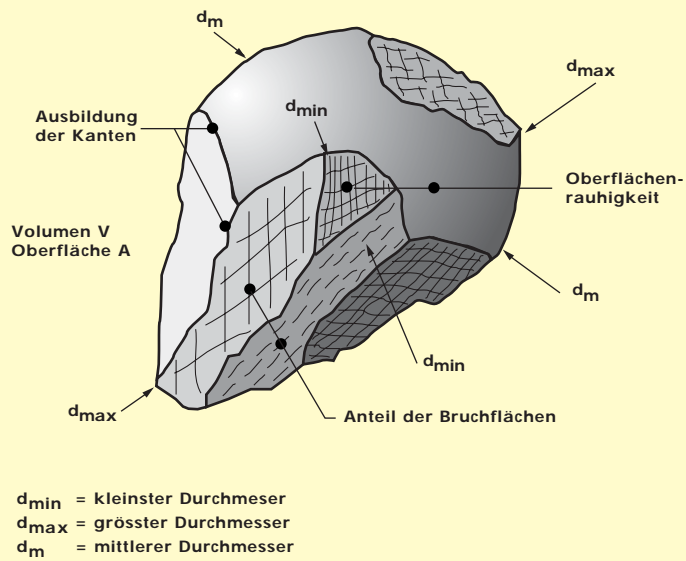
Vom Rohmaterialdepot, wo bei geeigneten Vorkommen bereits ein Bezug von Kies ab Wand möglich ist, gelangt das Rohmaterial über Sieb- und Waschanlagen über verschiedene Stufen in die Silo-Anlagen, wo die angebotenen Gradierungen in den gängigen Normen zwischengelagert werden. Im Baugeerbe etabliert haben sich folgende Kornabstufungen für Sand und Rundkies: 0–4, 4–8, 8–16, 16–32, 32–50 mm; für Betonkies 0–16, 0–32 und 0–50 mm. Die beim Siebdurchgang anfallenden grossen Blöcke werden aussortiert, der Brechanlage zugeführt und dort mechanisch auf die gängigen Korngrössenbereiche gebrochen. Für gebrochenes Material üblich sind folgende Abstufungen: 0–3, 3–6, 6–10, 10–16, 16–22, 22–32 und 32–63 mm. Splitt und Brechsand werden getrennt vom Rundkies gelagert. Über meist vollautomatische, oft computergesteuerte Verladeanlagen wird je nach Bedarf die gewünschte Kies-/Sandmischung direkt auf Bahnwagen oder Lastwagen abgefüllt und in die regionalen Verteilzentren gebracht (siehe [Kapitel 5.3.1](#)).

Der in der Kies- und Sandindustrie nicht verwertbare Feinanteil (Ton- und Siltfraktion, Teile des Feinsandes), welcher in der Waschtrommel und in der Siebkolonne anfällt, wird über Absetztanks und Pumpensysteme in ein Absetzbecken (Schlammweiher) geleitet. Ein Grossteil des Waschwassers kann im Aufbereitungsprozess wiederverwendet werden. Der sedimentierte Feinanteil, sogenannter Kiesschlamm, kann bei guter Eignung in verschiedenen Industrien (beispielsweise in Ziegeleien) verwendet werden (siehe dazu [Kapitel 9.2.2](#)).

**Abbildung 5.66:** Kiesabbau mit Hochdruck-Wasserstrahl (rechts) und Pneutrax. Mit dem Wasserstrahl wird die Abbauwand unterspült, der an den Hangfuss rutschende Kies wird mit dem Trax zu den Förderbändern geführt. Kiesgrube Stadel ZH, 1989.

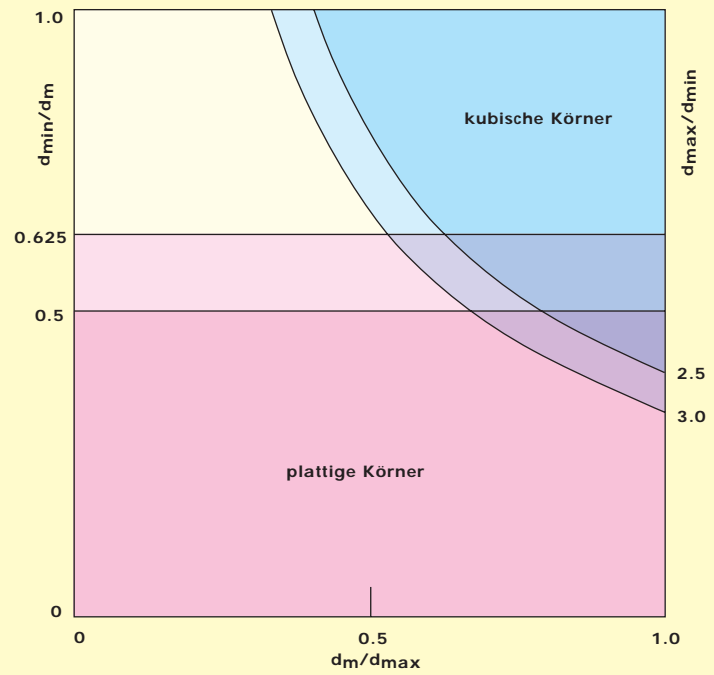
**Abbildung 5.67:** Kiestransport von der Abbauwand zur Aufbereitungsanlage mittels teilweise gedeckter Förderbandanlage (Staubschutz, Lärmschutz). Kiesgrube Wil ZH, 1989.

### Beschreibung eines Einzelkornes



5.68

### Kornform, Durchmesser-Verhältnisse, Definitionsbereiche



5.69

Abbildung 5.68: Beschreibung der geometrischen Parameter eines Einzelkornes aus einer Sand-/Kiesfraktion.

Abbildung 5.69: Bezeichnung der Kornform aufgrund der Durchmesser-Verhältnisse; Definitionsbereiche.



## 5.5 KIES UND SAND: EIGENSCHAFTEN UND ANFORDERUNGEN

Sand und Kies werden sehr vielfältig verwendet. Im Hoch- und Tiefbau, worauf sich die folgenden Ausführungen beschränken, wird Zuschlag für Mörtel, Beton und bituminös gebundene Beläge, aber auch für hydraulisch oder nicht gebundene Schichten eingesetzt. Dabei wird unter dem Begriff «Zuschlag» auch Kiessand verstanden, der durch Brechen von Festgestein oder grösseren Brocken «künstlich» hergestellt wurde.

An Zuschlag sind sehr verschiedene Anforderungen zu stellen, je nachdem, ob er beispielsweise für Mauermörtel oder für die Deckschicht einer stark befahrenen Strasse gebraucht wird und für die Verwendung in Hochleistungsbeton sind andere Eigenschaften des Zuschlags wichtig als für das Schotterbett von Bahngleisen.

Entsprechend ihrer Art können die Zuschlagseigenschaften in geometrische, physikalische und chemische unterteilt werden. Eine exakte Definition der Eigenschaften ist allerdings nur in Ausnahmefällen möglich. Meistens sind die Eigenschaften als Resultat einer Prüfung definiert und damit einerseits keine reinen Materialkennwerte, andererseits Mittelwerte für eine grosse Anzahl von Körnern. Da aber die Eigenschaften von einzelnen Körnern nur selten massgebend sind und da im allgemeinen keine eindeutigen und direkten Beziehungen zwischen den Einzelkorneigenschaften und jenen des Gemenges bestehen, genügen diese groben Konventionsdefinitionen vollständig.

Wie die Definitionen, sind auch die Anforderungen auf die Prüfungen bezogen. Beide sind weitgehend in nationalen Normen festgelegt, die zur Zeit (1994) auf europäischer Ebene harmonisiert werden. Dabei zeigt sich, dass die Anforderungen nicht nur vom Verwendungszweck, sondern auch von der Bautradition und der Art der vorhandenen Rohstoffe abhängig sind. In der Schweiz sind die Normvorschriften geprägt davon, dass im Überfluss qualitativ sehr hochwertiger Zuschlag vorhanden war, der die festgelegten Anforderungen praktisch immer ohne weiteres erfüllte. Die Beziehungen zwischen den geforderten Zuschlagseigenschaften und den Eigenschaften der Endprodukte spielten deshalb kaum eine Rolle und die Stichhaltigkeit der festgelegten Grenzwerte konnte kaum überprüft werden.

Die Rohstoffsituation hat sich in den letzten Jahren grundsätzlich geändert, und in Zukunft wird es notwendig sein, jeden Zuschlag entsprechend seiner Eignung zu verwenden.

Dies bedeutet, dass man sich von der Beurteilung gemäss bestehender Normen lösen und die tatsächlichen Beziehungen zwischen den wesentlichen Zuschlagseigenschaften und den jeweiligen Endprodukten kennen und berücksichtigen muss. In diesem Sinn sind die folgenden Ausführungen zu verstehen.

### 5.5.1 GEOMETRISCHE EIGENSCHAFTEN

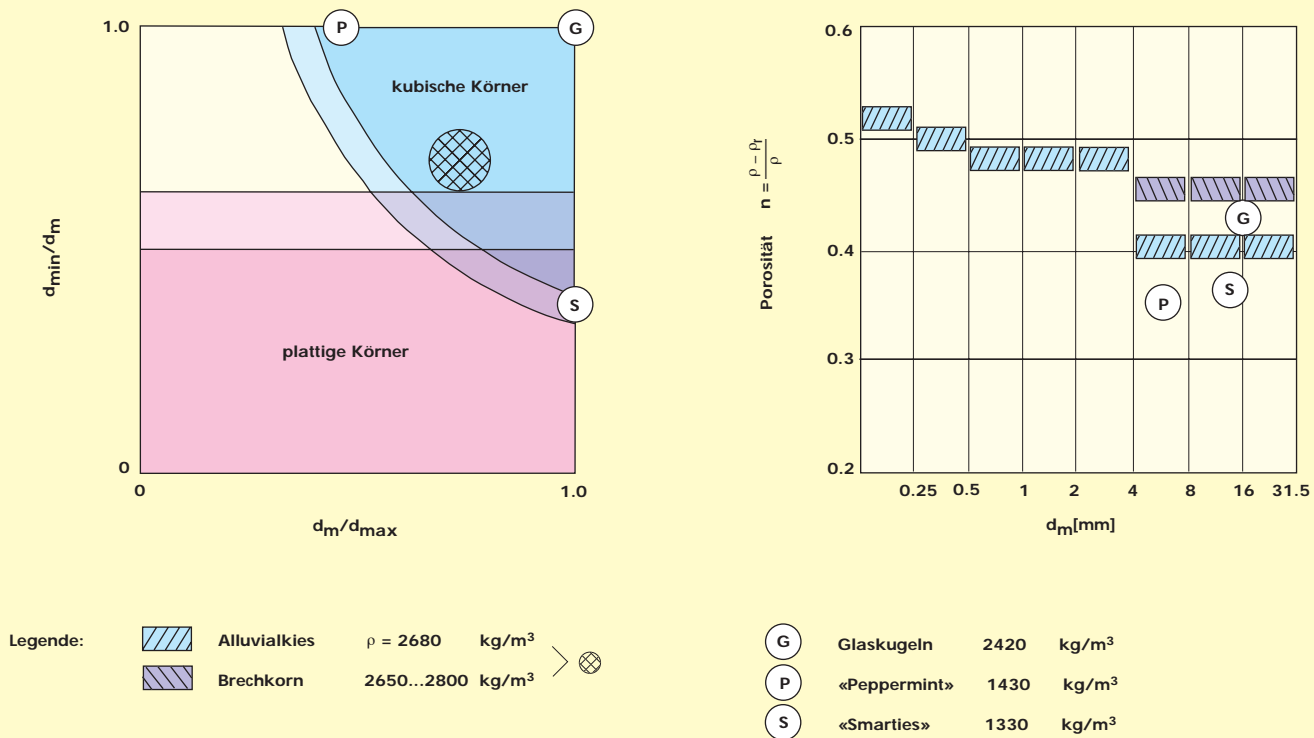
Die geometrischen Eigenschaften können mit den Begriffen *Kornform* und *Korngrösse* für die Einzelkörner und *Korngrössenverteilung* und *Packungsdichte* für das Gemenge zusammengefasst werden. Die geometrischen Eigenschaften sind bei der Produktion respektive bei der Aufbereitung vergleichsweise einfach zu beeinflussen und haben für praktisch alle Anwendungen eine ausschlaggebende Bedeutung. Sie sind für die Deklaration von Zuschlag unabdingbar.

Für die geometrische Beschreibung eines Zuschlagkornes sind eine ganze Reihe miteinander verknüpfter Parameter notwendig ([Abbildung 5.68](#)). Es ist nicht möglich, alle diese Parameter mit vernünftigem Aufwand zu erfassen. Gerade hier haben sich deshalb grobe, prüfungsbezogene Definitionen eingebürgert und bewährt. So wird die Grösse der Einzelkörner und dementsprechend die Korngrössenverteilung des Gemenges durch Sieben bestimmt. Ein Korn hat die «Grösse»  $d_1/d_2$  [mm] oder, anders ausgedrückt, gehört zur Fraktion  $d_1/d_2$ , wenn es durch das Sieb mit Öffnungsweite  $d_2$  durchfällt und auf dem Sieb mit Öffnungsweite  $d_1$  zurückbleibt, was bedeutet, dass sein mittlerer Durchmesser  $d_m$  ([Abbildung 5.68](#)) zwischen  $d_1$  und  $d_2$  liegt.

$$\text{Korngrösse } d_1/d_2 \rightarrow d_1 \leq d_m \leq d_2 \text{ [mm] (1)}$$

Für die Bestimmung der Korngrösse werden Siebe mit quadratischen Öffnungen (Maschen- oder Quadratlochsiebe) verwendet, deren Weiten eine geometrische Reihe bilden. International hat sich die ISO-Siebreihe R20 mit dem Faktor  $k = d_i + 1/d_i = 10^{1/20}$  durchgesetzt, wobei im allgemeinen jedes dritte (Faktor:  $\sim \sqrt{2}$ ) oder jedes sechste (Faktor:  $\sim 2$ ) Sieb dieser Reihe genügt. Feinere Siebe als 0.063 mm werden nicht verwendet, da unter dieser Grenze eine zuverlässige und vollständige Siebung nur mit grossem Aufwand möglich ist (Luftstrahlsieb). Die Grösse kleinerer Körner wird mit einer Sedimentation oder mit Hilfe von Laserdiffraktometrie bestimmt, womit sich auch die Definition der Korngrösse grundsätzlich ändert und ein direkter Vergleich mit der «Sieb»-korngrösse nicht mehr möglich ist.

## Kornform und Packungsdichte von Einzelkörnungen



5.70

Als Korngrößenverteilung wird der volumenmässige Anteil der einzelnen Fraktionen am Gemenge verstanden, wobei im allgemeinen die Summen der Siebdurchgänge verwendet (=Siebkurve, [Abbildung 5.73](#)) und unter Annahme einer konstanten Dichte der Körner nicht die Volumen-, sondern die Massenanteile bestimmt werden. Es liegt auf der Hand, dass mit der Grössendefinition (1) die wirkliche Grösse der Körner und damit die Korngrößenverteilung nur dann einigermaßen zutreffend erfasst wird, wenn die Kornform nicht stark variiert.

Bei der Definition der Kornform beschränkt man sich auf die Durchmesser-Verhältnisse und den Anteil der Bruchflächen an der Gesamtoberfläche. Die Ausbildung der Kanten und die Oberflächenrauigkeit dienen in speziellen Fällen – als «subjektive Grössen» – als zusätzliche Kriterien.

In bezug auf die Durchmesser-Verhältnisse werden die Körner einerseits aufgrund des Verhältnisses  $d_{\max}/d_{\min}$  in kubische und nichtkubische, andererseits aufgrund des Verhältnisses  $d_{\min}/d_m$  in plattige und nichtplattige aufgeteilt. Es ist einfach einzusehen, dass diese beiden Unterteilungen unab-

hängig voneinander sind ([Abbildung 5.69](#)). Dass sie trotzdem alternativ gebraucht werden können zur Beurteilung der Kornform, hängt damit zusammen, dass die Verhältnisse  $d_{\min}/d_m$  und  $d_m/d_{\max}$  bei Zuschlagskörnern nicht stark voneinander abweichen und deshalb erfahrungsgemäss gilt:

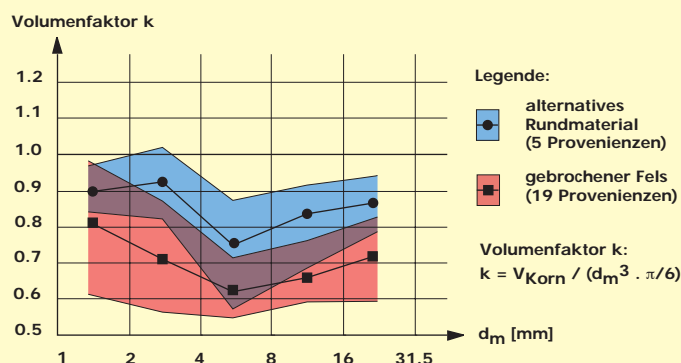
$$d_{\min}/d_{\max} \approx (d_{\min}/d_m)^2 \quad (2)$$

Ein weiterer Grund für die Austauschbarkeit besteht darin, dass nicht der Mittelwert und die Streuung der Durchmesser-Verhältnisse als Beurteilungskriterium dienen, sondern der massenmässige Anteil der plattigen respektive nicht kubischen Körner an der Gesamtfraktion. Der Anteil an nichtkubischen Körnern wird durch direktes Messen der Durchmesser einer Anzahl von Einzelkörnern bestimmt. Als Grenze zwischen kubischen und nichtkubischen Körnern gilt in der Schweiz  $d_{\max}/d_{\min} = 2.5$ , in Deutschland respektive in der kommenden europäischen Norm  $d_{\max}/d_{\min} = 3$ . Für die Bestimmung des Anteils an plattigen Körnern nützt man die Tatsache aus, dass die Körner durch Siebe mit quadratischen

Abbildung 5.70: Zusammenhang zwischen der Kornform und der Packungsdichte von Einzelkörnungen.

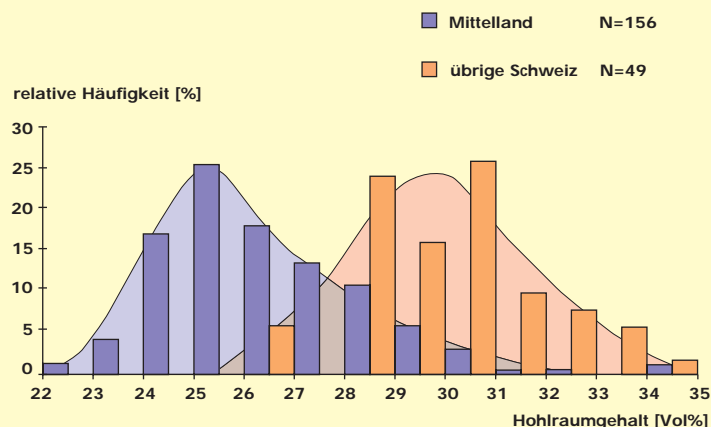


### Volumenfaktor k: Mittelwerte und Streubereich



5.71

### Hohlraumgehalt (Porosität) von Betonrundkies



5.72

Öffnungen ( $d_q$ ) nach ihrem mittleren (siehe Definition Korngrösse), durch Parallelstabsiebe ( $d_p$ ) nach ihrem kleinsten Durchmesser klassiert werden:

$$d_p/d_q = d_{\min}/d_m \quad (3)$$

Der massenmässige Anteil des Durchgangs durch ein Parallelstabsieb mit Öffnung  $d_p$  an einer engen Fraktion  $d_{q1}/d_{q2}$  entspricht dem Anteil an plattigen Körnern, wobei die Grenze zwischen plattigen und nichtplattigen Körnern bei  $d_{\min}/d_m = 0.5-0.625$  liegt. Die Definitionsbereiche der Kornform sind in [Abbildung 5.69](#) eingetragen.

Entsprechend dem Anteil der Bruchflächen respektive der natürlichen Abrollflächen an der gesamten Kornoberfläche werden die Körner als *Brechkorn*, *Rundkorn* oder *teilweise gebrochenes/gerundetes Korn* bezeichnet. Da der Flächenanteil von Auge geschätzt wird, ist nur eine grobe Einteilung in praktisch vollständig gebrochene ( $\leq 20\%$  Abrollflächen) Brechkörner, in praktisch vollständig gerundete ( $\geq 80\%$  Abrollflächen) Rundkörner und in die restlichen teilweise gerundeten Körner möglich. Diese Einteilung hat sich in der Schweiz auch bewährt, wobei als Beurteilungskriterium auch hier der zahlen- resp. massenmässige Anteil der verschiedenen Kornarten an der Gesamtmenge des Zuschlags dient.

Als Mass für die Packungsdichte kann der Volumenanteil  $\alpha$  des Zuschlags im Haufwerk oder die Porosität  $n$  verwendet werden. Die Packungsdichte ergibt sich aus einer Bestimmung der Rohdichte des Haufwerkes  $\rho_R$  und der (Roh)dichte der Einzelkörner  $\rho$ .

$$\alpha = \rho_R/\rho = 1 - n \quad (4)$$

$$n = (\rho - \rho_R)/\rho \quad (5)$$

Abbildung 5.71: Gemessene Mittelwerte und Streubereiche für den Volumenfaktor k (mit k wird das Verhältnis zwischen dem Kornvolumen und dem Volumen einer Kugel mit gleichem mittlerem Durchmesser bezeichnet).

Abbildung 5.72: Hohlraumgehalt (Porosität) von Betonkies der Fraktion 0/32 mm. Histogramme aus EMPA-Untersuchungen.

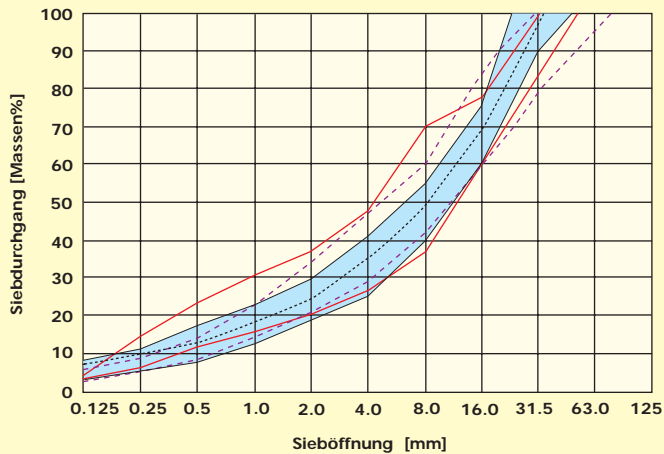
Zwischen den geometrischen Eigenschaften der Einzelkörner und des Gemenges bestehen enge Beziehungen. Eine der wichtigsten ist jene zwischen Kornform, Korngrössenverteilung und Packungsdichte, da letztere in vielen Fällen massgebend ist für die Leistungsfähigkeit des Zuschlags im Endprodukt. Gerade diese Beziehung ist aber äusserst kompliziert.

Aus [Abbildung 5.70](#) geht hervor, dass die Packungsdichte von Einzelkörnungen nicht von der Kornform, ausgedrückt durch die Durchmesserhältnisse, abhängt, dass aber der Bruchflächenanteil und das Verhältnis zwischen Oberflächenrauigkeit und Dichte einen wesentlichen Einfluss ausübt.

Für Kiesfraktionen kann bei Rundkorn mit einem Hohlraumgehalt von 40 Vol.%, bei Brechkorn mit 45 Vol.% gerechnet werden, was einer Achter- respektive Siebnerpackung von gleichgrossen Kugeln entspricht. Für Sandfraktionen ist mit  $n \sim 50$  Vol.% zu rechnen, unabhängig davon, ob es sich um Rund- oder Brechsand handelt. Der Unterschied in der Packungsdichte zwischen Rund- und Brechkies lässt sich zumindest teilweise damit erklären, dass gebrochene Körner ein kleineres Volumen haben als Rundkörner der gleichen «Grösse», das heisst mit gleichem mittlerem Durchmesser ([Abbildung 5.71](#)).

Es liegt auf der Hand, dass die Packungsdichte von Zuschlag durch die Korngrössenverteilung beeinflusst werden kann, da kleinere Körner je nach ihrem Anteil und ihrer relativen Grösse eher die grösseren Körner «auseinanderdrücken» oder eher nur die Zwischenräume füllen. Daraus wird abgeleitet, dass eine ideale Siebkurve existieren muss, mit welcher die maximale Packungsdichte erreicht wird. Es hat sich gezeigt, dass dies zwar zutrifft, dass die ideale Siebkurve aber nicht

### Siebkurve und Hohlraumgehalt



Legende:

..... Fuller-Kurve  $\text{Siebdurchgang} = \frac{\text{Sieböffnung}}{\text{Grösstkorndurchmesser}} \cdot 100\%$

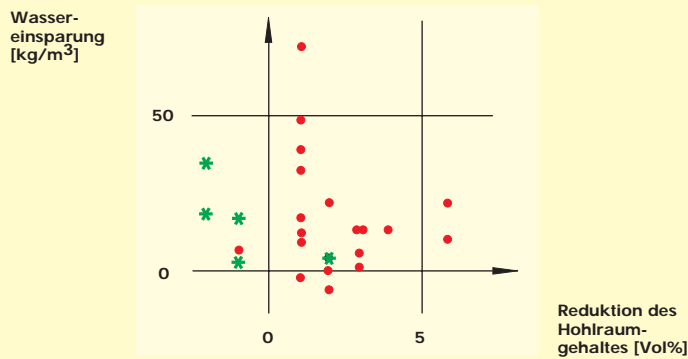
■ Normbereich

— extreme Siebkurven für einen Hohlraumgehalt zwischen 25 und 26 Vol.%

— extreme Siebkurven für einen Hohlraumgehalt zwischen 30 und 31 Vol.%

5.73

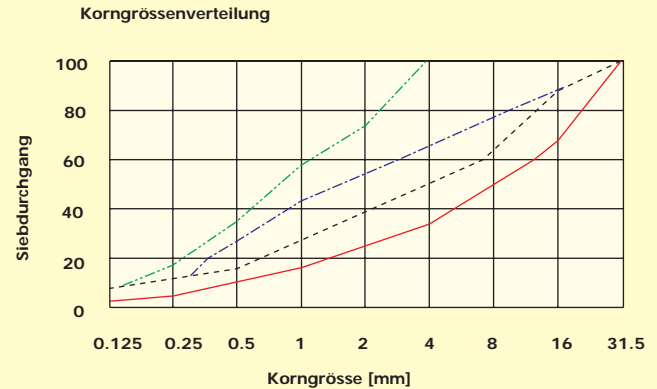
### Wasserbedarf und Hohlraumgehalt



Legende: ● gebrochenes Material \* alternatives Rundmaterial

5.74

### Wassergehalt und Rohdichte des Haufwerkes



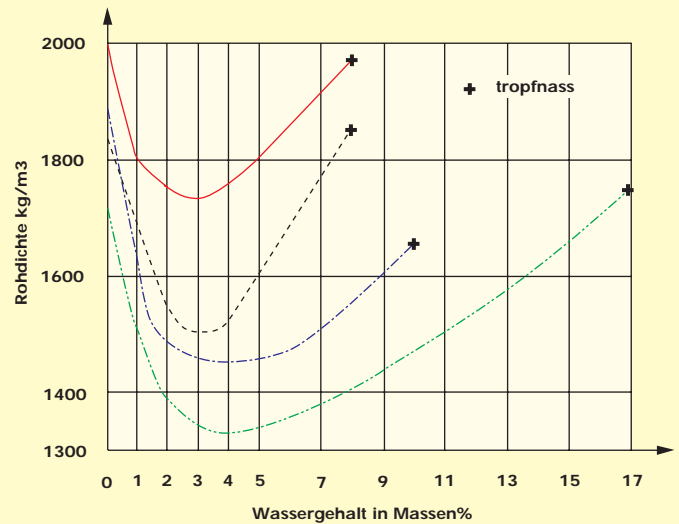
Legende:

— gerundetes Material, SIA-Kurve

--- gebrochenes Material

--- gerundetes Material, sandreich

--- Feinsand 0...4 mm



5.75

allgemeingültig festgelegt werden kann (z.B. Fuller-Kurve), sondern praktisch für jeden Zuschlag anders aussieht. Zur Illustration dieser Aussage sind in [Abbildung 5.72](#) die Häufigkeitsverteilungen der Porosität von lose geschüttetem trockenem Betonkies 0/32 mm aus der Schweiz aufgezeichnet und in [Abbildung 5.73](#) individuelle Siebkurven angegeben, die zu einem Hohlraumgehalt von 25–26 Vol.% respektive 30–31 Vol.% führen.

Die Häufung bei einem Hohlraumgehalt von 25–27 Vol.% hat übrigens die Betontechnologie in der Schweiz stark geprägt: Sie ist die Ursache für die Regel, dass plastischer Beton mit 300 kg/m³ Zement eine Festigkeit von 300 kg/cm² (= 30 N/mm²) erreicht und dafür, dass in der Praxis die Angabe der Zementdosierung zur Charakterisierung der Betonqualität als ausreichend galt. Mit 300 kg/m³ Zement (9.5 Vol.%), 150 kg/m³ Wasser (15 Vol.%) und den «natürlichen» 1.5 Vol.% Verdich-

Abbildung 5.73: Die ideale Siebkurve kann nicht allgemeingültig festgelegt werden, sie sieht für jeden Zuschlag anders aus. Zwischen Siebkurve und Hohlraumgehalt besteht keine direkte Beziehung (Betonkies der Körnung 0/32 mm).

Abbildung 5.74: Beziehung zwischen dem Wasserbedarf für eine bestimmte Betonkonsistenz und dem Hohlraumgehalt des Zuschlags. Änderungen infolge einer Angleichung an die Fuller-Kurve

(Kiessand der Körnung 0/32 mm, Zementgehalt 300 kg/m³).

Abbildung 5.75: Beziehung zwischen dem Wassergehalt und der Rohdichte des Haufwerkes.



tungsporen kann der Hohlraum von 26 Vol.% ausgefüllt und ein Beton mit plastischer Konsistenz gewährleistet werden. Mit Rundmaterial, das nicht aus dem Mittelland stammt, (Abbildung 5.72) und vor allem auch mit gebrochenem Material sind die erreichbaren minimalen Hohlraumgehalte im allgemeinen höher, und die Regel stimmt nicht mehr. Zudem zeigte sich, dass der Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und Zementleimbedarf für eine bestimmte Verarbeitbarkeit offenbar von verschiedenen weiteren Faktoren abhängt (Abbildung 5.74). Schliesslich kann aus den Hohlraumgehalten respektive Bindemittelgehalten von bituminösen Belägen abgeleitet werden, dass bei Verdichtung in dünnen Schichten auch mit gebrochenem Material Packungsdichten in der Grössenordnung von bis zu 85 Vol.% erreichbar sind.

### 5.5.2 PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN

Zu den wesentlichen physikalischen Eigenschaften zählen die (Roh)dichte der Einzelkörner, die Rohdichte des Gemenges, die mechanische Widerstandsfähigkeit und die Frostbeständigkeit. Sie ergeben sich aus der petrographisch-mineralogischen Zusammensetzung des Zuschlags und können praktisch nicht beeinflusst werden. Auch diese Eigenschaften werden bezogen auf Prüfmethode definiert – also nicht «physikalisch» – und sind teilweise mit den geometrischen Eigenschaften verknüpft.

Dichte und Rohdichte sind volumenbezogene Massen, wobei jene nur den Feststoff, diese auch die Hohlräume und darin enthaltene Feuchtigkeit berücksichtigt. Aus dem Verhältnis zwischen der (Roh)dichte der Einzelkörner und der Rohdichte des Gemenges ergibt sich die Packungsdichte.

Für die Bestimmung und Definition der mechanischen Widerstandsfähigkeit sind Methoden üblich, in welchen die Änderung der Korngrößenverteilung einer engen Ausgangsfraction infolge einer empirisch festgelegten Mahl-, Schlag-, oder Druckbelastung gemessen wird. Dabei ist die Beanspruchung der Einzelkörner praktisch unbekannt und die Art und der Umfang der Zerstörung von einzelnen Körnern wird nicht berücksichtigt. Eine direkte Beziehung zur «Bruchfestigkeit» der Körner besteht darum nicht. In der Schweiz besteht die grösste Erfahrung mit dem *Los-Angeles-Versuch* und mit der *Zertrümmerungsprüfung*.

Im Los-Angeles-Versuch werden 5 Kilogramm einer Ausgangskörnung 3/6 bis 22/32 Millimeter zusammen mit 6–12

Stahlkugeln (Durchmesser 46.8 mm) in eine Mahltrommel gegeben und damit 500 respektive 700 Umdrehungen ausgeführt. Der massenmässige Anteil der dabei entstehenden Bruchstücke feiner als durchschnittlich 1.6 Millimeter an der Ausgangskörnung wird als Los-Angeles-Koeffizient bezeichnet und als Mass für die Widerstandsfähigkeit des Zuschlags gegen Schlag und Abrieb verwendet.

Im Zertrümmerungsversuch werden 10 respektive 15 Kilogramm einer Ausgangskörnung 4/6 bis 22/32 ( $W_1/W_0$ ) in einem Stahlzylinder (Durchmesser 220 mm) einer Druckkraft von 500 kN ausgesetzt. Aus dem nach dieser Belastung gemessenen Durchgang durch die Siebe mit Öffnungsweiten  $W_1$  ( $D_1$ ) und  $W_0/4$  ( $D_2$ ) ergibt sich der Zertrümmerungsgrad  $Z$

$$Z = 0.21 D_1 + 0.47 D_2 \quad (6),$$

der als Mass für die Widerstandsfähigkeit des Zuschlags gegen Zertrümmerung verwendet wird.

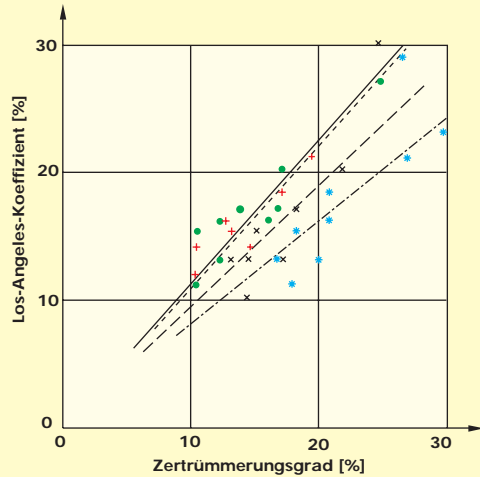
Der Polierwiderstand ist ein weiterer Aspekt der mechanischen Widerstandsfähigkeit. Als Mass dafür dient die Oberflächenrauigkeit einer Splittprobe (8/11) nach einer definierten Reibungsbeanspruchung, der sog. Polished Stone Value (PSV).

Die Frostbeständigkeit wird mit Hilfe einer petrographischen Untersuchung, vor allem aufgrund des Anteils an weichen und frostgefährdeten Körnern abgeschätzt. Direkte Bestimmungen, in welchen die Schädigung von wassergesättigtem Zuschlag infolge einer Anzahl von definierten Frostwechseln gemessen wird, sind nur für spezielle Anwendungen üblich (z.B. Bahnschotter).

Die Beziehungen zwischen Kornform und Korngrößenverteilung einerseits und Packungsdichte respektive Rohdichte des Gemenges andererseits sind im Kapitel 5.5.1 beschrieben. Die Rohdichte des Gemenges wird aber auch durch den Feuchtigkeitsgehalt stark beeinflusst, wobei die Beziehung je nach den geometrischen Eigenschaften variiert (Abbildung 5.75). Diese Abhängigkeit muss insbesondere bei der volumenmässigen Dosierung von Beton und bei der Umrechnung von Volumen in Massen bei der Zuschlagslieferung berücksichtigt werden. Schliesslich hängt die Haufwerksrohichte natürlich auch von der Dichte – eigentlich ist es die Rohdichte – der Einzelkörner ab, die ihrerseits durch die mineralogische Zusammensetzung und die Porosität bestimmt wird. Die Dichte der Körner bewegt sich zwischen etwa 2400 und 3100 kg/m<sup>3</sup>, im Mittel beträgt sie etwa 2650 bis 2750 kg/m<sup>3</sup>, bei Porositäten in der Grössenordnung von Bruchteilen von Vol. %.

Mit zunehmender Porosität nimmt neben der Rohdichte auch die Festigkeit und die Frostbeständigkeit der Körner ab,

Los-Angeles-Koeffizient und Zertrümmerungsgrad

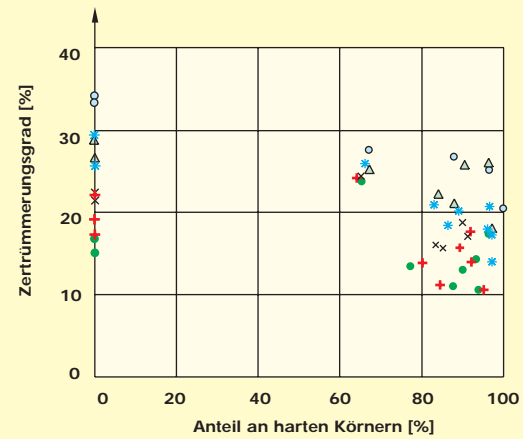


Symbol	Körnung	Regressionsgeraden
●	3/6	LA = 1.13Z <sub>D</sub>
+	6/10	LA = 1.11Z <sub>D</sub>
x	10/16	LA = 0.95Z <sub>D</sub>
*	16/25	LA = 0.81Z <sub>D</sub>

s(LA) = ±2–3%

5.76

Zertrümmerungsgrad und Anteil an harten Körnern



Körnungen	
●	3/6
+	6/10
x	10/16
*	16/25
△	25/40
○	40/63

5.77

woraus sich eine Beziehung zwischen diesen Eigenschaften ergibt. Die Beziehung zwischen der (Druck)festigkeit  $f(n)$  und der Porosität der Körner kann mit folgender Beziehung beschrieben werden:

$$f(n) = f(n=0) \cdot [(100-n)/100]^6 \quad (7)$$

mit  $f(n=0)$  : Festigkeit des Feststoffes  
 $n$  : Porosität in Vol. %

Die Beziehung zwischen der Frostbeständigkeit und der Porosität beruht darauf, dass Zuschlagskörner nur dann durch Frost geschädigt werden, wenn sie über einen kritischen Wert hinaus mit Wasser gesättigt sind. Dass unter einer gewissen Porosität der entstehende «Gefrierdruck» auch bei vollständiger Wassersättigung nicht ausreicht, um das Korn zu zerstören, ist leicht einzusehen. Ebenso, dass die Struktur des Porensystems einen Einfluss auf die Höhe sowohl des kritischen als auch des maximal erreichbaren Sättigungsgrades hat. Die Beziehung zwischen Porosität und Frostbeständigkeit kann deshalb nicht in eine Formel gefasst werden.

Die Auswirkung von porösen Körnern auf die Frostbeständigkeit von Beton ist widersprüchlich. Einerseits zeigt sich ein grosser Teil der Frost(-Tausalz)-Schäden an Betonbauten in Form von kraterförmigen Abplatzungen über unbeständigen,

nahe an der Oberfläche liegenden Zuschlagskörnern, andererseits können grobporige, an sich frostgefährdete Zuschlagskörner im Betoninnern, wo sie vollständig vom äusserst feinporigen Zementstein umgeben sind, ähnlich wie die Luftporen eine Verbesserung der Frostbeständigkeit bewirken.

Auch die Beziehungen zwischen den beiden Massen für die mechanische Widerstandsfähigkeit sind kompliziert (Abbildung 5.76).

Im Los-Angeles-Versuch ist die Beanspruchung der Einzelkörner in der Ausgangskörnung von der Korngrösse abhängig, da sich mit ihr das zahlen- und massenmässige Verhältnis zwischen Körnern und Mahlkugeln extrem verändert. Durch das Sieben mit einem 1.6-mm-Sieb wird bei der Ausgangskörnung 3/6 mm auch das Spalten in grössere Bruchstücke, bei der Ausgangskörnung 22/32 jedoch nur die weitgehende Zertrümmerung der Körner und das Absplittern von Kanten und Ecken erfasst.

In der Zertrümmerungsprüfung steigt zwar die Belastung der Einzelkörner etwa proportional zum Quadrat des Durchmessers, die dadurch entstehenden Spaltzugspannungen sind aber praktisch unabhängig von der Korngrösse, und die Kornzerkleinerung wird mit Sieben bestimmt, deren Öffnungsweiten immer im gleichen Verhältnis zur Ausgangskorngrösse stehen, womit sowohl die Spaltung in grössere Bruchstücke als

Abbildung 5.76: Beziehung zwischen dem Los-Angeles-Koeffizienten und dem Zertrümmerungsgrad. (Gebrochenes Material aus 8 Provenienzen, EMPA/LAVOC-Untersuchungen).

Abbildung 5.77: Beziehung zwischen dem Zertrümmerungsgrad und dem Anteil an harten Körnern. (Gebrochenes Material aus 8 Provenienzen, EMPA-Untersuchungen).



auch Absplitterungen und Abrieb erfasst werden. Der Zertrümmerungsgrad nimmt mit zunehmender Korngrösse eher zu, da grössere Körner im allgemeinen mehr Fehlstellen enthalten als kleinere und deshalb schwächer sind. Obwohl die Zertrümmerungsprüfung eine Art «Druck»festigkeitsprüfung an einer Anzahl Körner darstellt, ist der Zusammenhang zwischen dem Zertrümmerungsgrad und dem Anteil an harten Körnern nicht sehr ausgeprägt (Abbildung 5.77). Durch Variation der Höchstlast und getrennte Berücksichtigung der beiden oben erwähnten «Brucharten» scheint es aber möglich zu sein, aus der Zertrümmerungsprüfung genauere Aussagen über die mechanische Festigkeit der Körner im Haufwerk zu gewinnen.

### 5.5.3 CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

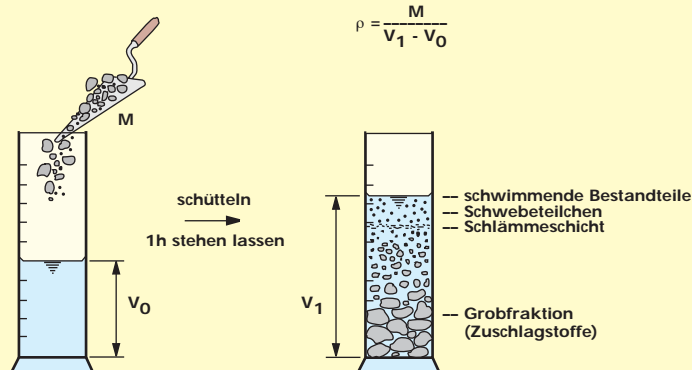
Bei den chemischen Eigenschaften ist die in der Einleitung erwähnte «negative» Betrachtungsweise am deutlichsten sichtbar, sind doch nur die ungeeigneten und schädlichen Bestandteile von praktischem Interesse. Auch hier gibt es keine klaren Grenzen zu den physikalischen und geometrischen Eigenschaften.

Als ungeeignet oder schädlich werden Bestandteile bezeichnet, die eine oder mehrere Eigenschaften des Endproduktes zu stark ungünstig beeinflussen. Damit ist klar, dass bei der Definition der «Schädlichkeit» nicht nur die beteiligten Stoffe, sondern auch deren Konzentration und «Verfügbarkeit» sowie der Verwendungszweck berücksichtigt werden müssen.

Für die Verwendung in Mörtel und Beton können Stoffe schädlich sein, die die Hydratation des Bindemittels beeinträchtigen (z.B. Humusstoffe), die für Stahleinlagen korrosionsfördernd wirken (v.a. Chloride), die zu Treiberscheinungen führen (v.a. amorphe Kieselsäure → Alkali-Aggregat-Reaktion; Sulfate → Ettringitbildung, Gipstreiben) oder die das Aussehen der Oberfläche beeinflussen (z.B. Kohle). Als Grenzfall zwischen chemisch und physikalisch wirksamen Stoffen können die Schichtsilikate (v.a. Glimmer), die Tonminerale sowie Holz und andere Pflanzenreste genannt werden, die im Gegensatz zu den «rein chemisch» wirkenden Stoffen auch für die Verwendung in bituminös, hydraulisch oder nicht gebundenen Schichten eine Rolle spielen. In der Schweiz ist der Gehalt an Humusstoffen, Sulfaten, Glimmer, Tonminerale, Holz und anderen Pflanzenresten von Bedeutung.

Der Gehalt an Humusstoffen wird anhand eines Vergleichs der Verfärbung einer bestimmten Menge dreiprozentiger Natronlauge durch eine bestimmte Menge Sand mit einer Stan-

### Einfacher Sedimentationsversuch



5.78

dardfarbe abgeschätzt. Bei zu hohem Gehalt sind weitere Versuche notwendig, mit welchen die Auswirkung auf den Beton oder Mörtel direkt bestimmt werden, da einige unschädliche Stoffe ebenfalls eine Verfärbung ergeben.

Bei den Sulfaten wird unterschieden zwischen dem Gesamtgehalt an  $\text{SO}_3$  (Eigenbeständigkeit der Zuschlagkörner) und dem Gehalt an wasserlöslichem Sulfat (Treiberscheinungen, Störung des Abbindens). Wie der Name sagt, geht es im ersten Fall um die chemische Zusammensetzung der Zuschlagkörner, während im zweiten Fall ermittelt wird, wieviel Sulfat durch einen Waschprozess in Lösung gehen kann.

Der Gehalt an Glimmerblättchen wird durch Auszählen einer Anzahl Körner aus einer engen Fraktion bestimmt. Der Gehalt an Holz und anderen Pflanzenresten wird mit Hilfe eines einfachen Sedimentationsversuchs abgeschätzt, der auch einen ersten Anhaltspunkt über den Gehalt an Tonmineralien gibt (Abbildung 5.78). Allerdings wird Holz in Flussablagerungen so kaum erfasst, da dessen Dichte zum Teil grösser als  $1000 \text{ kg/m}^3$  ist.

In bezug auf den Tonmineralgehalt gilt das gleiche wie für den Gehalt an Humusstoffen. Deshalb ist ein stufenweises Vorgehen bei der Bestimmung angezeigt. In einer ersten Stufe wird der Feinanteilgehalt unter  $0.063 \text{ mm}$  durch Siebung bestimmt. Liegt er über einer zulässigen Grenze – der Wert wird europaweit festgelegt – so wird in einem zweiten Schritt der Sandäquivalent-Test durchgeführt. Dabei handelt es sich um einen Sedimentationsversuch mit Sand unter  $2 \text{ mm}$ , bei welchem mit Hilfe eines Flockulierungsmittels erreicht wird,

Abbildung 5.78: Einfacher Sedimentationsversuch zur Bestimmung der Sauberkeit von Zuschlagstoffen (Prüfung Nr. 12 gemäss SIA-Norm 162/1, 1989)

dass die schädlichen Tonminerale das Messergebnis eher stärker beeinflussen als die übrigen Feinanteile. Der Test gibt also nicht nur über den Feinanteilgehalt Auskunft, sondern auch über dessen Schädlichkeit.

Liegt das Sandäquivalent unter einer zulässigen Grenze, so wird in einem dritten Schritt der Methylenblautest durchgeführt. Hier wird gemessen, wieviel Farbstoff durch eine bestimmte Menge von Feinanteilen absorbiert werden kann. Da expansive und deshalb schädliche Tonminerale ein hohes Absorptionsvermögen haben, ermöglicht dieser Test eine stichhaltige Beurteilung der Anwendbarkeit des Zuschlags. Eine weitere Möglichkeit, den Gehalt an Tonmineralien zu bestimmen, ist die Messung der Korngrößenverteilung der Feinanteile. So wurde in der Schweiz der Anteil unter 20 Mikrometer durch Sedimentation gemessen, und mit Laserdiffraktion ist es möglich, den Tonanteil ( $d \leq 2 \mu\text{m}$ ) direkt zu ermitteln.

Über die Beziehungen zwischen dem Gehalt an ungeeigneten und schädlichen Bestandteilen und den Eigenschaften der Endprodukte liegen relativ wenige Kenntnisse vor, da man zweifelhaften Zuschlag im allgemeinen nicht verwendete oder durch verschiedene Massnahmen bei der Aufbereitung den Gehalt auf ein unbedenkliches Mass reduzierte.

#### 5.5.4 ANFORDERUNGEN AN ZUSCHLAGSTOFFE

Wie einleitend zu [Kapitel 5.5](#) dargelegt, bestehen für praktisch alle Eigenschaften des Zuschlags in Normen festgelegte Anforderungen. Wenn man die vielen Querbeziehungen zwischen den einzelnen Zuschlagseigenschaften betrachtet und zudem berücksichtigt, dass die Eigenschaften «empirisch» definiert sind, so kann man sich schwer vorstellen, dass es für die einzelnen Eigenschaften tatsächlich fixe Grenzwerte geben kann, bei deren Überschreiten eine bestimmte Anwendung nicht mehr möglich ist. Dies gilt insbesondere für die Verwendung in Mörtel oder Beton, deren Eigenschaften von anderen Faktoren zumindest gleich stark beeinflusst werden wie vom Zuschlag. Aber auch bei der Verwendung in bituminös, hydraulisch oder nicht gebundenen Schichten dürften die meisten Grenzwerte nur unter bestimmten Voraussetzungen gültig sein. Deshalb drängt sich eine Überprüfung der Normenvorschriften auf. Wesentlich für die Eignung von Zuschlag für alle Verwendungszwecke ist aber, dass die Eigenschaften genau bekannt sind und möglichst wenig variieren.

## 5.6 STATISTISCHE ANGABEN ZUR KIES- UND SANDPRODUKTION IN DER SCHWEIZ

In der Schweiz wurden während der Hochkonjunktur der späten achtziger Jahre jährlich rund 32 bis 35 Millionen Kubikmeter (55–60 Millionen Tonnen) Kies und Sand benötigt (als Umrechnungsfaktor von Tonnen zu Kubikmetern kann bei Kies ein Faktor von etwa 0.58–0.62 angenommen werden (Tonnen geteilt durch spezifisches Gewicht ca. 1.6). Mit einem durchschnittlichen pro Kopf Verbrauch von 10 bis 14 Tonnen pro Jahr verzeichnet die Schweiz weltweit einen sehr hohen Wert.

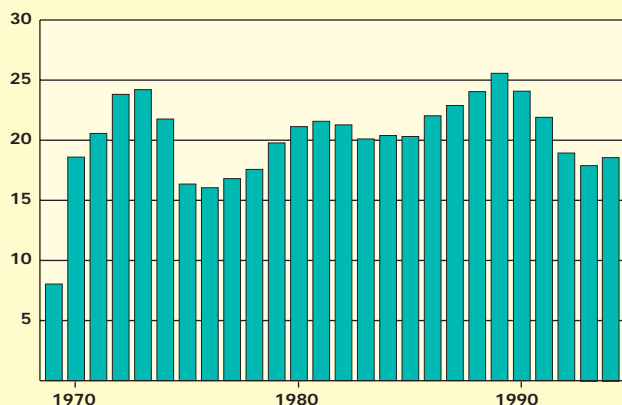
In der [Tabelle 5.4](#) sind einige statistische Kennzahlen betreffend der gesamtschweizerischen Kies- und Sandproduktion sowie einige Angaben über Import-/Export und Verwendung zusammengestellt. [Abbildung 5.79](#) zeigt anhand verschiedener graphischer Zusammenstellungen interessante Zusammenhänge in Bezug auf Werkgrösse, Ausstosskapazität und Transportarten von Kies. Alle Daten stammen vom Schweizerischen Fachverband für Sand und Kies (FSK), von dessen Mitgliedern rund drei Viertel der gesamten schweizerischen Kies-, Sand-, Splitt- und Schotterproduktion erfasst werden. Die Daten sind hochgerechnet auf gesamtschweizerische Werte (die Produktion von Werken, welche nicht im Fachverband vertreten sind, dürfte schätzungsweise jährlich etwa fünf bis sechs Millionen Kubikmeter Kies und Sand ausmachen). Die jährlichen Importmengen sind relativ klein (unter 12%) und beschränken sich vorwiegend auf das eng benachbarte Ausland. Exporte aus der Schweiz in umliegende Länder betragen lediglich einige Tausend Kubikmeter und werden hier vernachlässigt.

Der Wert des gesamtschweizerischen Kiesumsatzes liegt bei jährlich rund 1.2 Milliarden Franken. Die Sand- und Kieswirtschaft trägt damit einen bedeutenden Teil zur Wirtschaft unseres Landes bei. Gesamtschweizerisch waren anfangs der neunziger Jahre rund 7000 Arbeitnehmer in der Kiesbranche beschäftigt. Auf die einzelnen Abnehmer bezogen betrugen die Kies- und Sand-Lieferungen an Hoch- und Tiefbau 50%, an Transportbetonwerke 33% und an Schwarzelagsanlagen 10%. Die restlichen 7% gingen an diverse Kunden. Die Transporte ab regionalen Verteilzentren zum Endverbraucher erfolgen zu 90% auf der Strasse. Für die Versorgung regionaler Verteilzentren wird, wo diese weit von den Abbaustellen entfernt liegen, zur Hauptsache die Bahn eingesetzt (siehe auch [Kapitel 5.3.1](#) und [5.3.3](#)).

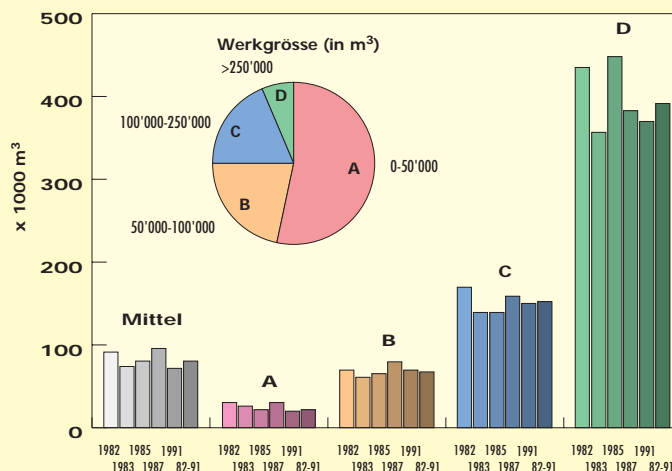


## Statistische Daten Kies und Sand (Basierend auf Informationen des Fachverbandes für Sand und Kies, FSK)

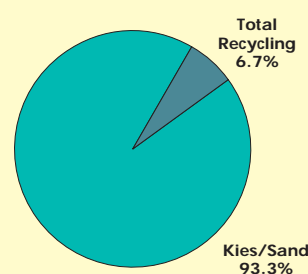
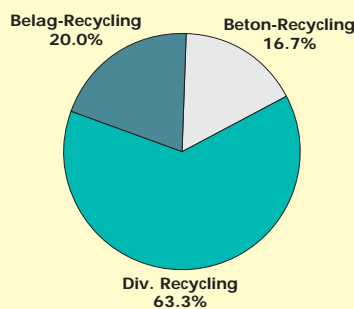
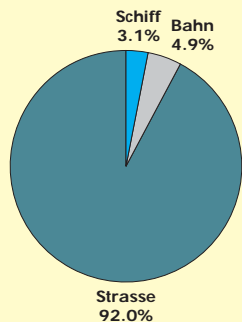
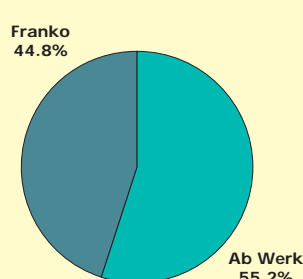
### Ausstoss an Kies und Sand (in Mio. m<sup>3</sup>) (nur FSK-Mitglieder)



### Gruppierung der Werke und Ausstoss pro Kategorie



### Transport und Recycling



5.79

Tabelle 5.4: Kennzahlen der schweizerischen Kieswirtschaft 1990-1994

Jahr	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Ausstoss FSK Mitglieder (in Mio. m <sup>3</sup> )	24.08	21.90	19.38	18.19	19.26	17.00*
Nicht-FSK-Mitglieder		5.50				
Kiesimporte (in Tonnen)**						
Deutschland		2852530	1987884	1583196	1315472	1057900
Frankreich		3837058	3214168	2937811	3233241	3351109
Italien		925483	748317	672403	608527	603549
Niederlande		287	184			
Österreich		430248	296495	366485	352033	374033
Dänemark			248	202		
Diverse		109	37	64	2115	105
Total (in Tonnen)		8045715	6247333	5560161	5511388	5386697
Total (in Mio. m <sup>3</sup> )		5.03	3.90	3.48	3.44	3.37
Gesamttotal (in Mio. m <sup>3</sup> )		32.43				

\* Prognose

\*\* Gemäss Angaben der Oberzolldirektion Bern (Jahresstatistik 1991)

Die Kiesexporte machen wenige tausend Tonnen aus. Sie sind in dieser Zusammenstellung nicht erfasst.

Abbildung 5.79: Statistische Daten über Sand und Kies. Zusammenge- stellt nach Angaben des Fachver- bandes für Sand und Kies FSK.

Der Anteil an Recyclingmaterial der FSK-Mitglieder betrug 1991 (bezogen auf eine Ausstossmenge von knapp 22 Millionen Kubikmeter) 7 Prozent, wobei der Anteil der verschiedenen Recyclingmaterialien unterschiedlich war ([Abbildung 5.79](#)).

Den Belangen des Umweltschutzes und der Raumplanung wird in hohem Masse und mit beträchtlichen finanziellen Aufwendungen Rechnung getragen. Im Mittel der letzten zehn Jahre wurden 0.3 Hektaren pro Jahr und Werk mehr rekultiviert als neueröffnet. Damit hat sich der Landbedarf der Kieswerke in diesem Zeitraum merkbar verringert. Vorarbeiten (Evaluation, UVP, Verträge) und die definitive Ausarbeitung eines Abbauprojektes brauchen im allgemeinen rund zehn Jahre. Eine mittlere Bewilligungsdauer, vom Zeitpunkt der Einreichung des Gesuches an gerechnet, beträgt fünf Jahre. Im Durchschnitt betragen die bewilligten Reserven nur gerade 14 Produktionsjahre. Sie sind damit für einen langfristigen Planungshorizont, für Investitionen und für eine kontinuierliche Entwicklung sehr niedrig. Den theoretischen (geologischen) Kiesreserven stehen, wie bereits in den [Kapiteln 5.1 und 5.4](#) erwähnt, vielfältige Einschränkungen entgegen (Gewässerschutz, Siedlungsraum, Forst- und Landwirtschaft etc.). Prognosen und langfristige potentielle Rohstoffreserven sind deshalb immer auch anhand der zugrundeliegenden limitierenden (gesetzlichen) Parameter zu werten.



## 6 FESTGESTEINE FÜR BAUZWECKE

### Übersicht

#### 6.1 Historische Bausteine der Schweiz

- 6.1.1 *Vorbemerkungen und Hommage an*
- 6.1.2 *Steingewinnung und -anwendung im Lauf der Zeiten*
- 6.1.3 *Wichtige historische Bausteine der Schweiz*
  - 6.1.3.1 *Sandsteine der Trias*
  - 6.1.3.2 *Sandsteine des Tertiärs*
  - 6.1.3.3 *Muschelkalksteine der Molasse*
  - 6.1.3.4 *Kalksteine des Juragebirges*
  - 6.1.3.5 *Alpine Kalksteine und Marmore*
  - 6.1.3.6 *Tessiner Marmore (Arzo und Castione)*
  - 6.1.3.7 *Tessiner Gneise*
  - 6.1.3.8 *Granit*
  - 6.1.3.9 *Lavezstein (Giltstein, Speckstein, Ofenstein) und Serpentin*
  - 6.1.3.10 *Spezielle Gesteinsarten und -vorkommen*
- 6.2 *Abbau und Prüfung von Festgestein*
  - 6.2.1 *Abbauverfahren im Steinbruch*
  - 6.2.2 *Steinbruchtypen*
  - 6.2.3 *Prüfverfahren*
    - 6.2.3.1 *Festigkeitsprüfungen*
    - 6.2.3.2 *Weitere physikalische Kennwerte*
    - 6.2.3.3 *Beständigkeitsprüfungen*
    - 6.2.3.4 *Prüfungen an gebrochenem Festgestein*
    - 6.2.3.5 *Normenverzeichnis*
- 6.3 *Schweizerische Naturbausteine*
  - 6.3.1 *Natursteinverarbeitung*
  - 6.3.2 *Natursteinprodukte*
  - 6.3.3 *Anforderungen und Eigenschaften*
    - 6.3.3.1 *Gesteinseigenschaften*
    - 6.3.3.2 *Gesteinsbeständigkeit*
    - 6.3.3.3 *Einwirkungen bei verschiedenen Anwendungen*
  - 6.3.4 *Natursteine des Jura*
    - 6.3.4.1 *Kalksteine*
    - 6.3.4.2 *Sandsteine*

#### 6.3.5 *Natursteine des Mittellandes (Molasse)*

- 6.3.5.1 *Granitische Sandsteine*
- 6.3.5.2 *Plattensandsteine*
- 6.3.5.3 *Berner/Freiburger Sandsteine*
- 6.3.5.4 *Muschelkalke*
- 6.3.5.5 *Weitere Gesteine der Molasse*
- 6.3.6 *Natursteine der Alpen*
  - 6.3.6.1 *Östliche Alpen*
  - 6.3.6.2 *Zentralalpen/Tessin*
  - 6.3.6.3 *Westliche Alpen*
- 6.3.7 *Karten und Tabellen zu schweizerischen Steinbrüchen – Technische Werte von schweizerischen Gesteinen*

#### 6.4 Gebrochene Festgesteine

- 6.4.1 *Definition*
- 6.4.2 *Produkte und Verfahren*
- 6.4.3 *Anforderungen und Eigenschaften*
- 6.4.4 *Produktion gebrochener Gesteine*
  - 6.4.4.1 *Gebrochene Gesteine aus dem Jura*
  - 6.4.4.2 *Gebrochene Gesteine aus den Alpen*

#### 6.5 Verwitterung und Erhaltung von Naturstein an Bauwerken und denkmälern

- 6.5.1 *Steine an Altbauten und Denkmälern*
- 6.5.2 *Verwitterung von Bau- und Kunstwerken aus Stein*
- 6.5.3 *Verwitterungsvorgänge*
  - 6.5.3.1 *Luftverschmutzung*
  - 6.5.3.2 *Verwitterung durch Salze*
  - 6.5.3.3 *Alkalische Baustoffe*
- 6.5.4 *Auswirkungen der Verwitterung*
  - 6.5.4.1 *Schadenformen*
  - 6.5.4.2 *Schadensituationen*
- 6.5.5 *Verwitterung als Geschehen*
- 6.5.6 *Steinkonservierung in der Denkmalpflege*
  - 6.5.6.1 *Beurteilung der Gefährdung*
  - 6.5.6.2 *Erhaltungsmassnahmen*

#### 6.6 Zukünftige Entwicklung und Aussichten



# 6 FESTGESTEINE FÜR BAUZWECKE



**Kapitelinhalt**



- Autoren: Dr. Peter Eckardt, Eckardt Natursteine AG, Seefeldstrasse 198, 8034 Zürich (Koordinator; Kapitel 6.2, 6.3, 6.6)  
Dr. Toni P. Labhart, Austrasse 26, 3084 Wabern (Kapitel 6.1)  
Dr. Andreas Arnold, Institut für Denkmalpflege, ETH-Z, Hardturmstr. 181, 8005 Zürich (Kapitel 6.5)  
Dr. Martin Gerber, Verband Schweizerischer Hartsteinbrüche, Alte Schmiede, Ortschaftswabenstr. 3+3a, 3043 Üttligen (Kapitel 6.4)  
Dr. Philipp Rück, Materialtechnik am Bau, Schlossgasse 2, 5600 Lenzburg (Kapitel 6.2)  
Dr. Adrian Baumer, Dr. A. Baumer SA, Via Locarno 60, 6612 Ascona (Kapitel 6.3)
- Fotos: Eidg. Archiv für Denkmalpflege, Bern (6.6), Andreas Arnold, Zürich (6.96–6.122), Amt für Bundesbauten, Bern (6.10), Isa Anderegg, Köniz (6.21), Bernhard Anderes, Rapperswil (6.22), Association vaudoise des métiers de la pierre, Lausanne (6.59), Markus Baumgartner, Zürich/Bank Leu Zürich (6.27a–c, 6.29), Burgerbibliothek Bern (6.7), DESAIR AG, Heinz Leuenberger, Wermatswil (Titelbild, 6.50, 6.51, 6.75, 6.84, 6.92–6.95), Peter Eckardt, Zürich (6.46, 6.48, 6.57, 6.58, 6.68–6.72, 6.76–6.82, 6.124, 6.125), Nicolas Faure, Meyrin (6.1), Martin Gerber, Üttligen (6.85–6.87, 6.89, 6.91), Granito Piretta SA., Lodrino (6.47, 6.49, 6.54), Juriens SA, Payerne (6.15), Rainer Kündig, Mettmensstetten (6.56), Karin Labhart, Wabern (6.12a), Toni Labhart, Wabern (6.3, 6.9, 6.12b+c, 6.14, 6.16, 6.18, 6.20, 6.31, 6.32, 6.36, 6.37, 6.38, 6.39, 6.40, 6.41, 6.44, 6.67), Toni Labhart, Wabern/Patrice Heilmann, Bern (6.26), Toni Labhart, Wabern/Felix Thierstein, Bern (6.17, 6.24, 6.25a–d, 6.28, 6.30), Ernst Leisi, Pfaffhausen (6.11, 6.13), Jean Mulhauser/Kunstdenkmäler Freiburg (6.8), Musée d'Art et d'Histoire Fribourg (6.19), PRO Naturstein, Bern (6.61–6.66), Romano Pedetti/Photo Tiara, Rothenbrunnen (6.0, 6.73), Hansruedi Pfeifer, Lausanne (6.33, 6.34, 6.35), Schweiz. Geologische Dokumentationsstelle SGD, Ittigen (6.23, 6.45; aus F. de Quervain: Gesteinsarten an historischen Bau- und Bildwerken, SGD 24137, 24141) Römermuseum Augst (6.2), Ernst Ruch, Ladholz (6.42, 6.43), Alois Winiger, Bätterkinden (6.4), Fotograf unbekannt (6.5).

---

**Abbildung auf Vorderseite: Maggia-  
gneis-Abbau im steilen Südhang  
der Rovana bei Campèa westlich  
von Linescio im Valle di Campo.  
(Aufnahme vom 30. Mai 1996).**

## ÜBERSICHT

Dieses Kapitel, das sich mit dem Abbau und der Verwendung von Festgestein befasst, ist wie folgt gegliedert:

- Ein [erster Abschnitt](#) zeigt die *historische Bedeutung* von Naturstein auf.
- In einem [zweiten Abschnitt](#) werden der *Abbau von Festgestein* in Steinbrüchen sowie die verschiedenen *Prüfmethoden*, mit denen Festgestein untersucht wird beschrieben; hier findet sich zudem eine *Karte aller grösseren Steinbrüche* der Schweiz.
- Der [dritte Abschnitt](#) beschreibt die Verarbeitung der im Steinbruch gewonnenen Blöcke zu *Naturbausteinen* und deren Verwendung.
- Im [vierten Abschnitt](#) wird die andere «Produktelinie» von Festgestein, die sogenannten *Brechgesteine* (Schotter und Splitte) dargestellt.
- Der [fünfte Abschnitt](#) schliesslich ist dem Problem der *Verwitterung* und der *Erhaltung alter Bauten aus Naturstein* gewidmet.

Die Gewinnung von Festgestein, das heisst das Losbrechen von Blöcken jeglicher Form und Grösse direkt vom anstehenden Fels, seltener auch von bereits losen Sturzblöcken und Findlingen, dient zur Hauptsache zwei verschiedenen Anwendungen: Erstens zur Herstellung von *Natursteinen* (auch *Naturbausteine*, in Deutschland *Naturwerksteine* genannt), also Steinen für die direkte Verwendung am Bau, als Bildhauerstein, Grabmal und zu vielen anderen Zwecken, wobei jeder Stein sozusagen «individualisiert» ist, das heisst als eigenständiges Produkt auftritt. Zweitens als Ausgangsmaterial zum Brechen (*Brechgestein*), der gewaltsamen mechanischen Zerkleinerung im Brecher mit dem Ziel, Steinkörnungen verschiedener Grösse zu erhalten (Bahnschotter, Beton- und Belagsgutzuschlagstoffe, Splitte, Sande, Koffermaterial). Den Unterschied zwischen *Naturstein* und *gebrochenem Festgestein* kann man auch so definieren, dass jeder Naturstein in seinem Werdegang vom Menschen in die Hand genommen, bearbeitet und versetzt wird, während beim Brechgestein nur mechanische Mittel zur Produktion, zum Mischen und zum Einbau eingesetzt werden.

Konkret beginnt der kleinste Naturstein etwa mit dem Pflastersteinwürfel mit einer Kantenlänge von 4 bis 6 cm und endet mit dem grösstmöglichen Werkstück von im Extremfall

weit über 10 m Länge (Säulen, Obelisksen). Beim Brechgestein ist die kleinste Komponente der Staub, knapp über 0 mm gross und erreicht beim Bahnschotter 60 bis 70 mm, in Koffermaterial auch 100 mm und mehr. Eine gewisse Zwischenstellung nimmt der *Blockwurf* ein, grössere, formwilde Blöcke, wie sie aus Sprengungen resultieren und oft beispielsweise für Uferverbauungen oder Blockmauern ohne weitere Bearbeitung angeschüttet werden.

Wenn im folgenden von Naturstein gesprochen wird, ist damit immer der Naturbaustein in seinen vielfältigen Formen gemeint, im Gegensatz zum Brechgestein. Die beiden Produktelinien werden denn auch in verschiedenen Abschnitten behandelt. Die Anforderungen, die an Felsgestein gestellt werden, hängen von seinem späteren Verwendungszweck ab:

Bei *Natursteinen* steht vielfach die Ästhetik, also Farben und Strukturen im Vordergrund, und technische Eigenschaften sind sekundär; handelt es sich aber beispielsweise um Stell- und Randsteine für den Strassenbau, sind eher gute technische Werte gefragt und das Erscheinungsbild tritt zurück. Vor der Mechanisierung der Transporte (gegen Ende des letzten Jahrhunderts, beginnend mit der Eisenbahn) kam als weiteres, manchmal allein entscheidendes Kriterium die Transportdistanz hinzu. Nur nahe gelegene Steinbrüche, auch wenn sie qualitativ schlechtes Gestein lieferten, kamen für den Massenaufbau in Frage. Seen und Flüsse erweiterten dabei oft das Verwendungsgebiet eines Gesteins, da sich auf ihnen auch schwere Ladungen mühelos bewegen liessen. Für Prunkbauten und Ausstattungen von Sakralbauten wurden aber schon vor Jahrhunderten weite und mühsame Antransporte in Kauf genommen. Die Schweiz war stets in der komfortablen Lage, in allen Landesteilen genügend und meist auch qualitativ befriedigende Bausteine gewinnen zu können.

*Brechgesteine* werden fast ausschliesslich nach ihren technischen Werten beurteilt, denn ob im Beton, im Schotterbett der Bahn oder in einem Strassenkoffer das Gestein rot, grün oder gelb, oder wie bei uns meist grau ist, spielt keine Rolle. Festgestein hat gegenüber aus Lockergesteinen gewonnenen Schottern, Kiesen und Sanden den Vorteil, dass der Fels nach seinen technischen Eigenschaften ausgewählt werden kann, während Lockergesteine fast immer «assortiert» sind. Bei Brechgesteinen spielt die Transportdistanz immer noch eine wichtige Rolle, da der Anteil der Frachtkosten am Gesamtpreis hoch ist. Kann man mit der Eisenbahn transportieren, sind die





6.0

«Kilometer» zwar billiger, bedingen aber Geleiseanschluss im Werk wie am Verbrauchsort, weil ein Wechsel der Transportmittel wegen des Zwischenumschlags immer Kosten verursacht. Als Naturbaustein oder Brechgestein geeignete Festgesteine liegen nun leider nicht immer gerade dort, wo der Abbau und der Abtransport einfach wären (im Gegensatz zu Lockergesteinen, die abbaufreundlich sind und meist in den flachen Talböden, also transportnah bei den Verbrauchern liegen). Sind die hellen Tessinergneise in der Leventina und der Riviera noch einfach zu gewinnen, so sind für den Abbau von besonderen Gesteinen, wie etwa dem «Walliserquarzit», dem «Uznaberger Sandstein» oder dem «Vert de Salvan» schon recht abenteuerliche Anlagen wie Stollen, Schächte oder Gebirgsstrassen notwendig.

Die Art der in der Schweiz abgebauten Festgesteine steht in direktem Zusammenhang mit dem geologischen Aufbau unse-

res Landes. Ausgehend von den drei Grosslandschaften *Jura*, *Mittelland* und *Alpen* charakterisieren folgende Merkmale die gewonnenen Gesteine:

Der *Jura* liefert mit einer Ausnahme (Keupersandstein) nur relativ dichte Kalksteine von beiger, gelblicher bis leicht rötlicher, seltener hellgrauer oder fast weisser Farbtonung. Sie sind splittrig hart, neigen unter Witterungseinflüssen oft zum «Bröckelzerfall» oder flachen Ausbrüchen, halten sich aber trotzdem bei richtiger Anwendung über Jahrhunderte.

Im *Mittelland* werden als Bausteine vorwiegend Sandsteine und in geringer Menge Muschelkalke gewonnen. Nur lokal werden gelegentlich auch Konglomerate (Nagelfluh) abgebaut.

Die *Alpen* sind, ihrer geologischen Vielfalt entsprechend, die eigentliche Fundgrube für Natursteine. In den nördlichen

Abbildung 6.0: Für eine Sprengung wird Schwarzpulver zum Bohrloch hinaufgetragen. Solche Sprengungen können bis zu 1000 kg Sprengstoff benötigen. Das Bild stammt aus dem Steinbruch Polti in Arvigo im Calancatal TI. Es zeigt eindrück-

lich das Zusammenwirken von «Mensch und Stein» und entbehrt trotz Eingriff in die Natur nicht einer besonderen Ästhetik.



Decken überwiegen Kalksteine und Flyschsandsteine (beide meist nur noch als Brechgestein verwendet) und etwas Verrukano. Aus den zentralen Massiven stammen (echte) Granite und einige Spezialitäten wie Serpentine und Specksteine. Die grösste Vielfalt jedoch bieten die penninischen Decken, in denen Gneise in hellweisser bis grauschwarzer, lichtbronze bis dunkelgrüner Farbe mächtige Bänke bilden. Hinzu kommen helle bis stark gezeichnete echte Marmore einerseits und dunkelgrün-schwarze Serpentine, Prasinite und, ältestes heute gewonnenes Gestein, ein Konglomerat aus dem Karbon, andererseits. Die Südalpen tragen mit dem polychromen Liaskalk von Arzo, dessen lebhaften Farben (rot, gelb, braun, grau, weiss) und ebenso lebhaften brekziösen Strukturen zur Vielfalt der alpinen Gesteine bei.

Das nachfolgende Kapitel geht auch auf die historische Bedeutung des Natursteins in einem besonderen Abschnitt ein, der sich teilweise an die 1969 erschienene Ausgabe des Buches «Die nutzbaren Gesteine der Schweiz» von F. de Quervain hält (siehe auch [Kapitel 6.1.1](#)). Es war aber selbstverständlich nicht möglich, die unzähligen Detailangaben von de Quervain zu übernehmen, was auch nicht der Sinn des neuen Buches war. Es ist vielmehr darauf angelegt, dem Leser den heutigen Stand des Einsatzes von Festgesteinen vorzustellen: Die Steinbrüche, die Gewinnung und Verarbeitung von Festgestein zu Naturbausteinen einerseits und Brechprodukte andererseits. Auf die Problematik alter Naturstein-Bauwerke wird in einem besonderen Abschnitt über deren Erhaltung und Instandsetzung eingegangen.

Naturgemäss war es besonders schwierig, vollständige und zuverlässige Angaben über alle bestehenden Steinbrüche, ihre Produktion und die technischen Werte der abgebauten Gesteine zu eruieren. Erstens sind Schliessungen oder Wiederinbetriebnahmen von alten Steinbrüchen häufig; zweitens gibt mancher Betrieb seine Produktionszahlen nicht gerne bekannt und drittens wurden die technischen Werte von vielen Gesteinen überhaupt noch nie bestimmt. Um mit möglichst aktuellen Zahlen aufwarten zu können, wurde anfangs 1993 eine Umfrage bei allen uns bekannten Steinbrüchen durchgeführt; bei einem Rücklauf von 70 Prozent bleiben natürlich Lücken bestehen. Dabei hat erstaunt, dass ein Grossteil der Brüche über keine technischen Daten der abgebauten Gesteine verfügt. Sehr hilfreich bei dieser Umfrage war die 1983 erschienene Dissertation von Hanspeter Schwarz «Die Steinbrüche in der Schweiz» (Universität Zürich), die akribisch alle damals

produzierenden Steinbrüche der Naturstein- Schotter- und Bindemittelindustrie auflistete.

Da sich unsere Erhebungen über einen Zeitraum von drei Jahren erstreckten, mögen gewisse Daten schon wieder veraltet oder unvollständig sein, während andere, neuere, keinen Eingang mehr fanden, wofür wir den Leser um Nachsicht bitten. Die Schweizerische Geotechnische Kommission ist dankbar für entsprechende Informationen, die in einer Datenbank nachgeführt werden sollen (Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH Zentrum, 8092 Zürich).

Das Kapitel «Festgesteine für Bauzwecke» ist von verschiedenen Autoren gestaltet, jeweils gute Kenner der einzelnen Gebiete. Es ist daher unvermeidlich, dass jeder Abschnitt eine andere Handschrift trägt. Die Autoren haben sich bemüht, alle heute in Betrieb stehenden Steinbrüche zu besuchen und möglichst viele Daten zu erheben, was nicht immer einfach war.





6.1



6.2

Abbildung 6.1: Megalithgruppe bei Yverdon VD aus dem Neolithikum. Höhe des grössten Steins etwa 4.5 Meter.

Abbildung 6.2: Entlastungsbögen an einer Hangstützmauer in Augusta Raurica aus der Mitte des 2. Jahrhunderts n. Chr. (Grabung 1992.51). Charakteristische römische Bauweise mit kleinformatigen

Quadern, hier aus Plattenkalk des Hauptmuschelkalkes der Trias und Kalktuff.



## 6.1 HISTORISCHE BAUSTEINE DER SCHWEIZ

### 6.1.1 VORBEMERKUNGEN UND HOMMAGE AN FRANÇOIS DE QUERVAIN

In den verschiedenen Auflagen des Vorläuferbandes «Die nutzbaren Gesteine der Schweiz» ist Francis de Quervain bei der Beschreibung praktisch aller Gesteinsvorkommen immer auch auf das Geschichtliche eingegangen. Für das vorliegende Werk hat man sich aus Gründen der Übersichtlichkeit für ein anderes Vorgehen entschlossen, nämlich eine Zusammenfassung der historischen Gegebenheiten in einem einzigen Kapitel.

Diese Übersicht ist zweigeteilt. Im [ersten Teil \(6.1.2\)](#) werden Abbau und Verwendung von Naturstein in der Schweiz in einen geschichtlich-wirtschaftlich-kulturellen Zusammenhang gestellt. Es wird der Frage nachgegangen, welche Bedeutung der Naturstein in den verschiedenen Epochen der Schweizergeschichte gehabt hat. Dabei muss auch kurz auf die Bedeutung importierter Gesteinsarten eingegangen werden.

Im umfangreicheren [zweiten Teil \(6.1.3\)](#) werden die wichtigsten *historischen Bausteine* der Schweiz beschrieben. Beide Begriffe bedürfen einer Präzisierung. *Historisch* bedeutet hier generell «vor dem Ersten Weltkrieg». Der Begriff *Baustein* wird weit gefasst: Zwar liegt das Schwergewicht selbstverständlich auf der Anwendung nicht gebrochener Steine im Hoch- und Tiefbau und in der Innenarchitektur. Es erschien aber sinnvoll, von Fall zu Fall auch auf weitere Anwendungen einzugehen (z.B. Brunnenbecken, Mühlsteine oder Skulpturgesteine).

Es gibt in unserem Land kaum ein Gestein, welches nicht im Verlaufe der Zeit für irgend einen baulichen Zweck verwendet worden wäre. Vollständigkeit ist in dieser gerafften Übersicht nicht zu erwarten, und wird auch nicht angestrebt. Wir haben uns beschränkt auf besonders *wichtige* und besonders *interessante* Gesteine. Aus Gründen der Lesbarkeit wurde darauf verzichtet, Literaturzitate in den Text einzubauen. Viele Fakten sind den Werken von F. de Quervain [1969] und A. Moser [1970] sowie der Dissertation von H.-P. Schwarz (1983) entnommen; dabei konnte nur im Ausnahmefall auf die dort zitierte, meist schwer greifbare Primärliteratur zurückgegriffen werden. Eine sehr beschränkte Auswahl wichtiger und neuerer Arbeiten ist im Literaturverzeichnis zusammengestellt.

Nirgendwo in diesem Buch ist die Erinnerung an Francis de Quervain und sein Werk gegenwärtiger als in diesem Kapitel, das der bevorzugten Thematik seines letzten Lebensabschnitts gilt. Er selber hat es so ausgedrückt: «Seit jeher fesselten mich die an historischen Bau- und Bildwerken angewandten Gesteinsarten», und «In den letzten Jahrzehnten wurde die historische Steinforschung zu meinem Lieblingsstudium, vor allem nach meinem Rücktritt von der ETH». In dieser Zeitspanne ist er zum von den Kunst- und Bauhistorikern ausserordentlich geschätzten Spezialisten auf diesem Gebiet geworden, dank seinen umfassenden Kenntnissen in Petrographie, Regionalgeologie und Rohstoffkunde und seinem Interesse für Denkmalpflege und Geschichte. Sein Tod hat hier eine Lücke gerissen, welche – das Klischee ist für einmal am Platz – nicht zu füllen ist. Was uns bleibt, ist ein überaus reicher schriftlicher Nachlass: Zwischen 1961 und 1982 hat er über 30 Einzelpublikationen zu dieser Thematik veröffentlicht. Der grösste Teil davon ist 1979, neu bearbeitet, im Band «Steine schweizerischer Kunstdenkmäler» zusammengefasst worden. Ab etwa 1954 hatte F. de Quervain die Resultate seiner Feldbeobachtungen, Laboruntersuchungen und Literaturrecherchen auf Karteikarten niedergelegt. Es hätte die Grundlage sein sollen zu einem grossen Übersichtswerk. Wohl in der realistischen Einschätzung, dass ihm die Zeit dafür nicht mehr gegeben war, begann er anfangs der Achtzigerjahre, diese Karten thematisch zusammenzustellen und in Sammelbänden hektographiert herauszugeben. Den Anfang bildete 1982 der Band «Geologisch-petrographischen Notizen über Steinanwendungen an historischen Bau- und Bildwerken in der Schweiz». Zwischen 1983 und 1985 erfolgte dann die Herausgabe der zehn, nach Kantonen geordneten Bände «Gesteinsarten an historischen Bau- und Bildwerken der Schweiz». Die ersten sieben Bände sind noch von François de Quervain persönlich zusammengestellt worden, die restlichen nach seinem Tode im Jahr 1984 durch seine Frau Annemarie. In diesen Bänden ist ein unglaublich reiches Material über viele tausend Einzelobjekte zusammengetragen, welches als eigentliches Erbe von Francis de Quervain noch viele Jahrzehnte lang die Basis aller weiterführenden Arbeiten bleiben wird.

Der Autor (T. L.) ist dankbar für die Unterstützung, die ihm von vielen Seiten gewährt worden ist. Ganz besonderer persönlicher Dank gebührt Dr. A. Moser, Erlach, für seine kompetente und uneigennützigte Beratung auf dem Gebiet der Denkmalpflege und der Geschichte.





6.3

### 6.1.2 STEINGEWINNUNG UND -ANWENDUNG IM LAUF DER ZEITEN

In der Epoche, welche den Namen unseres Rohstoffs trägt, der *Steinzeit*, waren die Möglichkeiten der Steinverarbeitung auf Gerätschaften des Alltags beschränkt. Dennoch ist bemerkenswert, mit welcher Sicherheit der Neolithiker geeignetes Material aufgespürt und ausgewählt (falls nötig auch aus entfernten Vorkommen importiert) hat, seien es nun Silexknollen aus dem Jurakalk der Löwenburg bei Pleigne im Jura für Klingen, zähe Grüngesteine aus den Moränen des Rhonegletschers für Äxte und Beile, erratische Granite für Mehl-Reibschalen (Vorläufer der Mühlsteine sozusagen) oder feuerfester Taveyannaz-Sandstein für ein Öllämpchen. Als jungsteinzeitliche Hochbauten können die Menhirgruppen – wohl Kult- und Versammlungsorte – in der Umgebung des Neuenburgersees angesprochen werden. Bearbeitung, Transport und Aufrich-

tung der bis zu fünf Tonnen schweren Findlingsblöcke deuten auf ein beachtliches technisches Können hin ([Abbildung 6.1](#)).

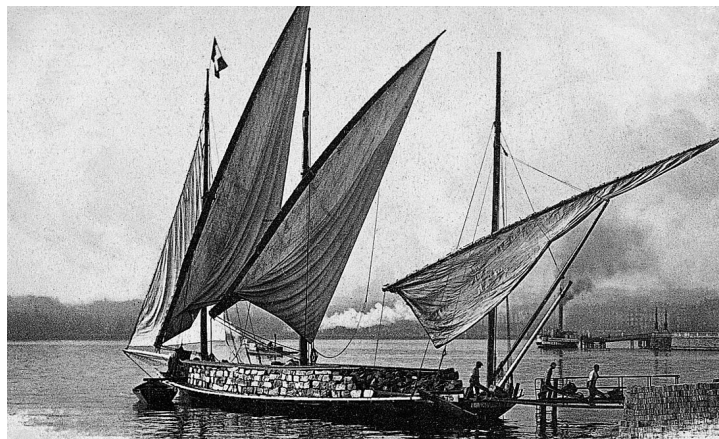
In gallo-römischer Zeit brachten die Römer ihre grosse Erfahrung im Aufsuchen geeigneter Steinarten, im Steinbruchbetrieb und der Steinverarbeitung mit. Die Baumaterialien der grossen Siedlungen Vindonissa (Windisch), Augusta Raurica (Augst; [Abbildung 6.2](#)) und Aventicum (Avenches), aber auch viele, weit verstreute Einzelfunde, dokumentieren eindrücklich ihre Vorliebe für weiche, leicht zu bearbeitende Materialien: Kalktuff, Muschelkalkstein, viele Jurakalksteine (unter anderen solche der Trias, des Rauraciens, des Kimmeridgiens, des Hauteriviens und «Urgons»). Mehrere Abbaustellen sind bekannt, zum Beispiel La Lance VD (Urgonien; [Abbildung 6.21](#)), Dittingen BL (Rauracien), Würenlos AG (Muschelkalk), Leuzigen BE und Niedergösgen SO (Tuff), andere können nicht oder nicht mehr mit Sicherheit

Abbildung 6.3: Ruine Alt-Bechburg  
bei Holderbank SO (11./12. Jahrhundert).





6.4



6.5

lokalisiert werden. Kristalline Gesteine sind nur in Einzelfällen verarbeitet worden (einige wenige Mühlsteine, Inschriftsteine und Sarkophage aus Granit oder Gneis). Der Transport grösserer Steinmengen erfolgte vorwiegend auf dem Wasserweg (beispielsweise Hauterive/St-Blaise–Avenches). Für besondere Zwecke wurde auch Material eingeführt, etwa italienische und griechische Marmore oder Lavezstein aus dem südlichen Alpenraum für Statuen, Kultgegenstände und Gefässe.



6.6

Grab- und Ornamentplatten karolingischen Alters – 8./9. Jahrhundert – aus Marmor von Lasa/Laas (Vinschgau) in Chur und Schänis SG belegen, dass auch im Frühmittelalter mit seinen schlechten Verkehrswegen bei Bedarf Material von weit her beschafft wurde ([Abbildung 6.6](#)).

Bei den erhaltenen Steinbauten des Mittelalters stammt das Baumaterial in der Regel aus der unmittelbaren Umgebung. Häufig ist die Kombination von Mauersteinen oder -quadern aus dem Anstehenden (gewonnen beim Aushub des Kellers oder des Burggrabens) mit hertransportierten Findlingsblöcken aus Moränen und Bollensteinen aus nahegelegenen Flussläufen. Bei vielen auf felsigen Anhöhen errichteten Burgen erweckt die Identität des Materials von Untergrund und Gebäude den Eindruck der Autochthonie ([Abbildung 6.3](#)).

Eine beliebte, weil ausser dem Transport wenig aufwendige Art der Materialgewinnung war bis in die Neuzeit hinein die Wiederverwendung vorgefertigter Steine älterer Bauten («Spoliensteine»). In Frage kamen für dieses frühe «Recycling» von

Baustoffen vorerst römische Bauwerke, später geschleifte Burgen und Stadtmauern. Während Jahrhunderten wurden Steinbrüche immer bloss lokal für bestimmte Bauvorhaben eröffnet oder wiedereröffnet. Zu einem regelmässigen, kontinuierlichen Abbau ist es erst im Verlaufe des Spätmittelalters in der Nachbarschaft der grösseren Städte gekommen, namentlich als die bedeutenden gotischen Kirchenbauten in Angriff genommen wurden und als der Steinbau nach den verheerenden Stadtbränden auch für Bürgerbauten behördlich gefördert und vorgeschrieben wurde. Auch hier blieb die Transportfrage der entscheidende Faktor. Die Brüche lagen entweder direkt auf Stadtgebiet oder nur wenige Fuhrstunden davon entfernt (Bern, Freiburg, Lausanne, Solothurn, Luzern, Schaffhausen), oder aber sie waren mit der Stadt durch ein schiffbares Gewässer verbunden (Obersee–Zürich, Rorschach–Bodensee–Schaffhausen, Berner Oberland–Bern, Genferseeregion–Genf und Lausanne).



6.7

**Abbildung 6.4:** Transportwagen für Steinblöcke, wie er in Solothurn bei der Unternehmung Borer/Bargetzi noch im 20. Jahrhundert verwendet wurde. Durchmesser der Hinterräder 140 cm, Breite der Stahlfelge 22 cm, Dicke 2 cm.

**Abbildung 6.5:** Steintransportschiff auf dem Genfersee (Bild anfangs 20. Jahrhundert).

**Abbildung 6.6:** Karolingische Ornamentplatten der Altarmensa in der Krypta der Kirche von Schänis SG (9. Jahrhundert). Heller, mittelkörniger Marmor aus dem Vinschgau.

**Abbildung 6.7:** Mittelalterliche Steinbearbeitungs- und Bautechnik, dargestellt in der Amtlichen Bernerchronik des Diebold Schilling.





6.8

Abbildung 6.8: Hauptaltar der ehemaligen Jesuitenkirche St. Michael in Freiburg, gefertigt 1766–1768 durch Vater und Sohn David III und Jean François Doret. Verwendete Gesteine: Kalksteine von Yvorne

(Rouge jaspé, Gris de Roche), reich geadelter, alpiner, grauer Kalkstein, Grindelwaldnermarmor, Kalkstein von St. Triphon (schwarz) und gelber Jurakalkstein.



Längere Transportdistanzen wurden nur für besonders begehrte oder lebenswichtige Objekte in Kauf genommen. Charakteristische Beispiele dafür sind Mühlsteine und Brunnenbecken bzw. -figuren. *Mühlsteine* waren seit der Römerzeit diejenigen Steinobjekte, für welche wohl die kontinuierlichste Nachfrage bestand. Da sich relativ wenige Gesteine dafür eigneten, vorab die Muschelkalke und -nagelfluhen von La Molière, Ins/Brüttelen, Schnottwil ([Abbildung 6.16](#)) und Würenlos, der Sandstein von Mels und Findlingsgranite, war der Versand über weitere Distanzen, ja selbst ein Export ins Ausland, nicht unüblich. Umgekehrt wurden um die Jahrhundertwende auch Mühlsteine importiert, darunter die bekannten aus der Champagne.

Zur Verbesserung der Wasserversorgung, aber auch zu Repräsentationszwecken, wurden ab dem 16. und 17., vor allem aber dann im 18. und 19. Jahrhundert tausende von steinernen *Brunnenbecken* aufgestellt. Auch hier stammt der Grossteil aus einigen wenigen Steinbrüchen bzw. Abbaugebieten, und der oft weite Transport der gewichtigen Objekte an den Ort der Aufstellung gestaltete sich mühsam und aufwendig. Wichtige Zentren waren St-Triphon, der Waadtländer Jura (Vaulion), Corbières, Laufen, Solothurn und Würenlos. Weil vielfach an Ort und Stelle verfügbar, waren Findlingsgranite für die Herstellung von Brunnenbecken sehr beliebt und gesucht, im Raum Zürich (d.h. im Verbreitungsgebiet des eiszeitlichen Linthgletschers) auch Konglomerate des Verrucano («roter Ackerstein»). Für Brunnenfiguren und -säulen ist vor allem im 16. und 17. Jahrhundert die «Pierre jaune» von Neuenburg weitherum versandt worden, neben den grossen Zentren Bern, Zürich, Lausanne, Basel und Freiburg auch in viele Kleinstädte ([Abbildung 6.19](#)). Längere Transportwege bedingte die während der Renaissance aufkommende Verwendung von polierten Kalksteinen und Marmoren für kirchliche und weltliche Repräsentationsbauten. In der Zentral- und Ostschweiz setzte der Gebrauch von Schwarzmarmoren (dunkle, weiss geaderte, alpine Kalksteine) für Sakralzwecke um 1630 in grossem Umfang ein, für Taufbecken, Altäre, Grabmonumente, Säulen und Portale. Herausragende Beispiele sind die Pfarrkirche St. Peter in Stans (1641–1647), die Hofkirche Luzern (um 1635) oder die Klosterkirche Pfäfers (um 1690; [Abbildung 6.21](#)). Die Schwarzmarmore, in einigen Regionen kombiniert mit Alabaster, erfreuten sich etwa hundert Jahre lang grosser Beliebtheit. Sie fanden – als Möbelplatten und Cheminées – auch Verwendung in Bauten der Aristokratie. Diese Modeströmungen wurden im Spätbarock, in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts, abgelöst von einer Vorliebe für bunte Marmore und vielfältig-

üppige Innenausstattungen ([Abbildungen 6.8 und 6.26](#)). In dieser Zeit sind die reichsten Marmorkirchen der Schweiz entstanden: auf der Alpennordseite zum Beispiel die Klosterkirche Fahr (1745), die Stiftskirche Einsiedeln (1749–51), die Domkirche Arlesheim (1761), St. Ursen in Solothurn (1769–72) oder die Pfarrkirche St. Verena in Wollerau (1786–89). Ihre farbigen Marmore stammen zum Teil aus der Schweiz (Arzo, Grindelwald, Rhonetal), zum Teil aber aus dem benachbarten Ausland, welches damals bereits über hundert Marmorsorten anzubieten hatte. Es war die Blütezeit erfolgreicher Kunsthandwerkerfamilien, wie Doret in Vevey und Funk in Bern. Dabei wurde bei Doret auch viel ausländisches Rohmaterial verarbeitet, während sich Funk auf einheimisches beschränkte; beliefert wurden das In- und Ausland.

Noch viel verbreiteter sind Kirchen mit bunten Marmoren auf der Alpensüdseite (Tessin und Misoix). De Quervain schätzt ihre Zahl auf mindestens 400, diejenige der Altäre auf mindestens 800. Verarbeitet worden sind jeweils im Normalfall über ein Dutzend (oft 16–18) Marmorsorten in immer ähnlichen Kombinationen. Neben einheimischem Material aus Arzo kam die reiche Palette von oberitalienischen Marmoren (Verona, Trentino, Bergamasker Alpen) zur Anwendung. Der «Rouge Incarnat» von St. Nazaire (Hérault), Frankreichs bekanntester Buntmarmor des Barocks, war sehr beliebt; er findet sich praktisch in jeder zweiten Tessiner Kirche.

Der Klassizismus brachte um 1800 eine Rückkehr zu kühlen, ruhigen Farben wie schwarz, weiss und grau und den entsprechenden Gesteinsarten, unter ihnen namentlich der aus Italien importierte Carrara-Marmor.

Die politischen Wirren nach dem Franzoseneinfall und dem Untergang der Alten Eidgenossenschaft bewirkten zu Beginn des 19. Jahrhunderts eine weitgehende Lähmung der Bautätigkeit. Eine Wiederbelebung machte sich zuerst bemerkbar in den Hauptstädten der neuen Kantone, zum Beispiel in Lausanne und Aarau. Sie führte schlussendlich in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zum Höhepunkt der Natursteingewinnung und -verarbeitung in der Schweiz. Die Gründung des Bundesstaates, wirtschaftlicher Aufschwung und Industrialisierung, Bevölkerungs- und Städtewachstum sowie die Entwicklung von Tourismus und Verkehr hatten den Bau unzähliger öffentlicher und privater Gebäude zur Folge: Regierungs- und Verwaltungsbauten von Bund und Kantonen, Postämter, Schulen, Universitäten, Theater, Kirchen, Museen, Bahnhöfe, Banken, Hotels und Brücken ([Abbildungen 6.9, 6.10, 6.11, 6.24, 6.25, 6.27, 6.29, 6.30](#)). Und es wurde nicht nur viel gebaut, es wurde mit *Stein* gebaut. Die Architekturströ-





6.9

verbesserten Transportverhältnisse möglich gewordene Austausch zwischen den schweizerischen Steinbruchregionen und das Einströmen ausländischen Materials (siehe Kasten) ergab einerseits eine grosse Vielfalt, bedeutete aber andererseits das Ende der stadt spezifischen Steinarten. Viele bestehende Steinbrüche verzeichneten mit dem Anschluss an das Bahnnetz einen grossen Aufschwung, beispielsweise St-Triphon, Solothurn, Bern, aber auch innerjurassische, wie Laufen oder St-Imier. Andere verdanken ihre Existenz der Anlage einer bestehenden Bahnlinie: klassi-

schung dieser Zeit, der Historismus, war gekennzeichnet durch die Wiederaufnahme historischer Baustile und ihrer Variation und Kombination mit neuen Techniken und Materialien. Der Stein spielte dabei eine wichtige Rolle: Es entstanden viele Bauten mit reichen Hausteinfassaden und einer in der Schweiz einmaligen Gesteinsvielfalt am Äusseren und im Inneren. Gesellten sich dann noch national-repräsentative Elemente dazu, wie etwa bei den drei Bundeshäusern in Bern, dann ergaben sich eigentliche nationale Gesteinsschauen. Herausragendste Beispiele dafür sind das Bundeshaus Ost (1888–92) und das Parlamentsgebäude (1894–1902), für welche rund dreissig einheimische Gesteinsarten verarbeitet worden sind, viele davon in Werkstücken einmaliger Grösse und Qualität (Abbildungen 6.10, 6.17, 6.24, 6.25, 6.30). Auch der Jugendstil im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts schätzte das Material Stein, und zeichnete sich aus durch einen sorgfältigen Umgang mit ihm.

Von entscheidendem Einfluss auf diese Gesteinsvielfalt war die Erstellung des schweizerischen Eisenbahnnetzes in den Jahrzehnten nach 1850. Schon für den Bau als solchen wurden riesige Steinmengen benötigt: allein an der Gotthardstrecke zwischen Immensee und Lugano wurden gegen eine halbe Million Kubikmeter Gestein für Stützmauern, Brücken und Tunnel verbaut, den Gotthardtunnel nicht eingerechnet (benötigte noch einmal 100'000 Kubikmeter). Der durch die

sche Beispiele sind die Gneisbrüche der Leventina und die Granitbrüche im Urner Reusstal.

Den konjunkturellen Höhepunkt bildeten die neunziger Jahre des 19. Jahrhunderts mit über 700 aktiven Steinbrüchen (wenn auch mit einem hohen Anteil an Kleinbetrieben). Einen guten Einblick in die Vielfalt des Angebots vermitteln die Kataloge der Schweizerischen Baumaterialien-Ausstellung in Olten 1865 und der Landesausstellung 1883 in Zürich.



6.10

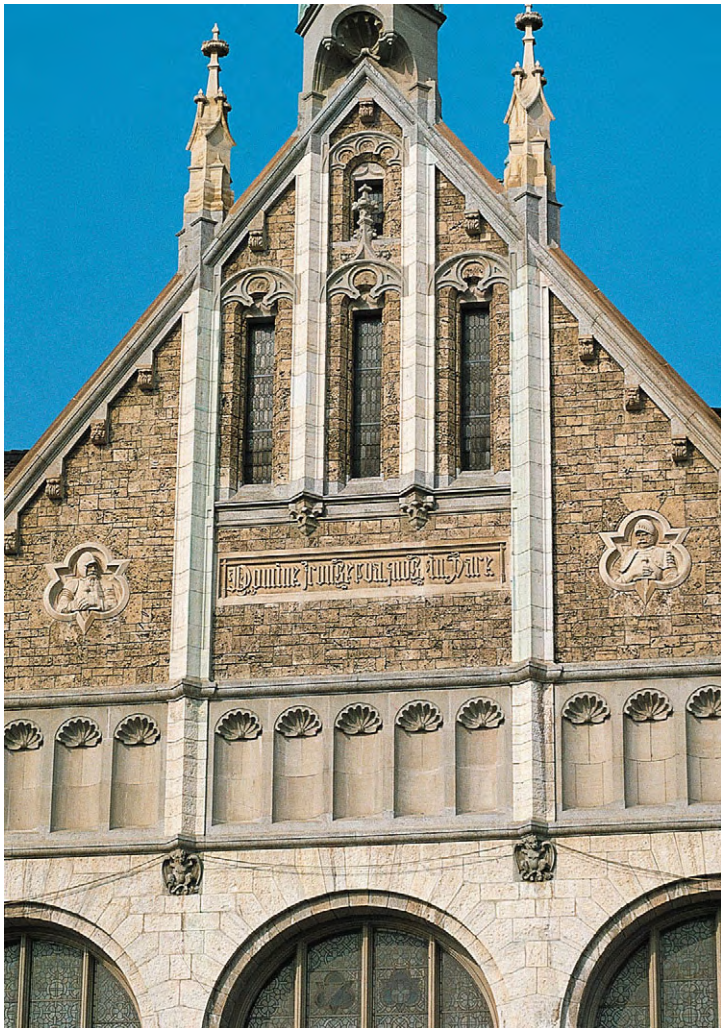
Abbildung 6.9: Dreifaltigkeitskirche Bern (Ende 19. Jahrhundert). Architektur anlehnend an norditalienische Vorbilder, vor allem an San Zeno in Verona (Säulen von Rosso Verona im Innern). Fassade: Gelbe

Jurakalksteine von St. Imier und Laufen. Sockel: Aaregranit von Wassen.

Abbildung 6.10: Vorraum des Bundesratszimmers im 1. Stock des Bundeshaus Ost in Bern. Türgewände: Algenkalkstein von Ragaz; grosse Säulen: Solothurnerstein; Sockel: Portlandkalkstein von

Mühletal SG; kleine Säulen: Broccatello d'Arzo; Kapitelle: Carraramarmor; Bodenbelag: Carraramarmor und schwarzer Kalkstein. Türgewände: Steinimitation (bemaltes Holz und Stuck).





6.11

Diesem Höhenflug folgte nun aber innerhalb weniger Jahrzehnte ein rascher und brutaler Niedergang der Natursteinindustrie. Wieder trafen mehrere Ursachen zusammen, diesmal in negativem Sinne: es wurde weniger gebaut, und es wurde immer weniger mit Stein gebaut. Die industrielle Fabrikation von hochwertigem Backstein, der Siegeszug des Betons (und damit auch des Kunststeins) und dann die Fortschritte des Metallbaus verdrängten den Naturstein mehr und mehr aus dem Hoch- und Brückenbau. Das Verschwinden der Massivbauweise zugunsten von (im besten Falle) Fassaden mit vorgeblendeten, dünnen Platten in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts verringerte die Nachfrage nach Naturstein mengenmässig noch einmal drastisch. Zu alldem gesellte sich ein Einbruch in der Baukonjunktur kurz nach der Jahrhundertwende, welcher sich im Ersten Weltkrieg und in der Zwischenkriegszeit fortsetzte. Hier wurde ein Tiefststand erreicht: 1929

## Ausländische Gesteinsarten

Ausländische Gesteinsarten sind für verschiedene grenznahe Regionen seit Jahrhunderten von Bedeutung gewesen. Mit dem Aufkommen der Bahnen nahmen nun aber die Importe in die ganze Schweiz deutlich zu. Obschon ab 1851 eine Aussenhandelsstatistik geführt wurde, sind die Zahlen für das 19. Jahrhundert wegen mangelnden Detaillierungsgrades nicht leicht zu interpretieren. Aussagekräftiger werden die Statistiken ab 1905: Zwischen 1905 und 1913 wurden zwischen 300'000 und 350'000 Tonnen ausländische Ware importiert (die Zahlen fielen mit dem Ausbruch des Ersten Weltkriegs praktisch auf Null und erreichten diese Höhe bis heute nie mehr). Im Stichtag 1910 betrug die Einfuhr von «Steinmaterial» total 786'000 Tonnen. Nach Abzug von 462'000 Tonnen «Kies und Sand» verbleiben 323'000 Tonnen Festgestein; eliminiert man den Posten «Bruchsteine roh» von 224'600 Tonnen, bleiben rund 100'000 Tonnen edlere, hochwertigere Materialien; das sind rund 40'000 Kubikmeter. Die Ausfuhr erreichte lediglich 8% dieser Menge; wertmässig waren es immerhin 16% (Mittel 1906–13). Zur selben Zeit betrug die Werksteinproduktion in der Schweiz um 700'000–800'000 Kubikmeter pro Jahr; davon waren zwei Drittel Kalkstein, knapp ein Viertel Sandstein und etwa 5% Gneis. Aus diesen Zahlen lässt sich schliessen, dass die ausländische Konkurrenz zwar spürbar, aber keineswegs erdrückend war.

Einige Gesteinsarten waren besonders beliebt:

**Kalkstein von Savonnière** (Dép. Meuse, Frankreich), zwischen 1890 und dem ersten Weltkrieg. Beispiele: Weisses Schloss, Zürich (1893), Pauluskirche Bern (Kanzelwand; 1902–05), Parlamentsgebäude Bern (vier Grossplastiken auf dem Kuppeldach; 1896–1904). Bei der Universität Zürich (Bau 1911–14) lag eine Ausführungsvariante in Savonnièrstein vor.

**Kalkstein von Hauteville** (Département Ain, Frankreich): Vor der Jahrhundertwende vor allem in Genf sehr beliebt. Auch im Bundeshaus Ost in Bern (1888–92).

**Rosso Verona** (Italien): 12 Säulen in der Dreifaltigkeitskirche Bern (1892–98).

**Botticino** (Kalkstein von Brescia, Italien): Plastik «Drei Eidgenossen» im Parlamentsgebäude in Bern (1913?), mit gegen 24 Tonnen wohl die gewichtigste Plastik des Landes.

**Granit von Baveno** (Italien): Zwischen 1890 und 1908 sehr geschätzt, und vor allem in Zürich, Luzern und Bern für Säulen, Treppenstufen und Denkmalsokkel verwendet. Bemerkenswert sind die Obelisken und Postamente der Kornhausbrücke in Bern (1895–97).

**Tiefensteiner- oder Albitalgranit** (Schwarzwald): Im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts in Zürich und Basel für Sockel, Randsteine und Treppenstufen verwendet. Quaibrücke Zürich (1882–84). Nach der Eröffnung der Gotthardbahn von Gneis und Aaregranit verdrängt.

Der weitaus grösste Teil der ausländischen Gesteine stammt aus den Nachbarländern. Nur ganz ausnahmsweise wurde Material von weit her importiert, beispielsweise schwedische Granite (Bankverein St. Gallen, 1892, und Escherdenkmal Zürich, 1889) oder griechische Marmore (Casino Bern, 1905).

gab es in der Schweiz noch 167 Steinbrüche. Der Niedergang traf allerdings nicht alle Regionen im gleichem Ausmass. Betroffen waren in erster Linie die hauptsächlich Baustein produzierenden Brüche des Mittellandes und des Juras. Hartgesteine profitierten von der erhöhten Nachfrage nach Schotter und Splitt für Strassen- und Bahnbau sowie nach Pflaster- und Randsteinen.

Die gegenwärtige Situation und die Zukunftsaussichten der schweizerischen Natursteine sind ab [Kapitel 6.2](#) behandelt.

Abbildung 6.11: Landesmuseum Zürich (1893–98), Giebel Mittelpartie der Südfassade. Historisierende Bauweise mit Stilelementen der Gotik und der Renaissance. Hauptsächliche Materialien: Kalktuff von

Bütschwil (Toggenburg), Lägerikalkstein und Bollinger-Sandstein.





6.12a



6.12b



6.12c

### 6.1.3 WICHTIGE HISTORISCHE BAUSTEINE DER SCHWEIZ

#### 6.1.3.1 Sandsteine der Trias

Entsprechend ihren Oberflächenvorkommen sind diese Gesteine nur in der Nordschweiz von Bedeutung.

**Buntsandstein:** Zwei verschiedene Typen sind von besonderer Wichtigkeit: Der *diagonalgeschichtete*, blassrote bis fast weissliche Sandstein des mittleren Buntsandsteins ist in der Stadt Basel vom 10. bis ins 19. Jahrhundert geläufig (später untergeordnet) für einfachere Arbeiten wie Mauerquader und Stufen verarbeitet worden. Auf Schweizergebiet ist dieses Gestein nur am Rheinufer zwischen Rheinfelden und Augst aufgeschlossen, und es ist hier bereits von den Römern abgebaut worden. Die Hauptmenge bezog die Stadt Basel aus den Brüchen von Degerfelden auf badischem Territorium. Der sogenannte *Plattensandstein* des oberen Buntsandsteins ist

gleichmässiger und feiner gekörnt und von dunklerem Rot. Er diente in Basel vom 11. bis ins 19. Jahrhundert zu Mauerwerk, aber auch zu feineren Steinmetz- und Bildhauerarbeiten. Auch hier stammt der Grossteil des Materials aus dem Ausland (Wiesental/Deutschland). Brüche geringerer Bedeutung befanden sich in Riehen, Maisprach und Buus. Für beide Gesteine finden sich viele hervorragende Anwendungen in der Basler Altstadt, vorab natürlich am Münster ([Abbildungen 6.12a–c](#)).

**Schilfsandstein:** Dieses Gestein wurde früher im Basler, Aargauer und Schaffhauser Tafeljura in vielen Brüchen gewonnen, und es war längs des Rheins und im Fricktal ein beliebter Bau- und Skulpturstein. Tiefrote Schilfsandsteine aus dem Klettgau und von Schleithelm sind in Stadt und Kanton Schaffhausen an Bauten des 11. bis 16. Jahrhunderts verbreitet (z.B. Münster Schaffhausen, Bildhauerobjekte im Museum Allerheiligen, Kirche Hallau, anfangs 15. Jahrhundert). Der Abbau ist Ende des 19. Jahrhunderts praktisch zum Erliegen gekommen (mit Ausnahme eines kleinen Steinbruches bei Oberhofen AG).

Abbildung 6.12a: Sandsteine an der Westfassade des Basler Münsters (13./14. Jahrhundert): Diagonalgeschichteter Sandstein des mittleren Buntsandsteins ([Detail 6.12b und c](#)); wenig Plattensandstein des

oberen Buntsandsteins; sehr helle, ursprünglich rot gestrichene Tertiärsandsteine; viel gleichmässig roter Buntsandstein aus dem Maingebiet (Deutschland) als Flickmaterial aus neuerer Zeit.



### 6.1.3.2 Sandsteine des Tertiärs

Die Sandsteine des Molassebeckens sind gesamthaft gesehen die bedeutendsten Bausteine der Schweiz. Sie waren leicht zu gewinnen und zu bearbeiten, und sie standen in grossen Steinbrüchen nahe bei den Siedlungen des Mittellandes in beliebigen Mengen zur Verfügung. Die Steinbruchaktivität reicht von der Römerzeit bis in die Gegenwart, mit einer Hauptabbauperiode zwischen 1200 und 1900 und einer Blütezeit in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts. Wir müssen uns in der Folge auf einige wenige, historisch bedeutsame Typen bzw. Abbaugebiete beschränken.

*Oligozäne Sandsteine der flachen Molasse:* Im *Genferseegebiet* sind diese Sandsteine, hier «Molasse grise» genannt, vom 12. bis etwa ins 18. Jahrhundert von grosser Wichtigkeit gewesen; später wurden sie durch beständigere Sandsteinsorten völlig verdrängt. Bedeutende Brüche befanden sich im Gebiet von Lausanne; sie belieferten neben der Stadt auch eine weitere Umgebung, so Evian (1271), Chillon (ab 1336), Aigle (1683), St-Maurice (gegen 1700) und Genf (bis ins 18. Jahrhundert). Bei Morges und am Westende des Léman wurden einige Vorkommen hart am Seeufer abgebaut, so dass die Brüche nur zur Winterszeit bei Niedrigwasser betrieben werden konnten.

In der *zentralen und östlichen Schweiz* (Kantone Luzern, Aargau, Zürich, Thurgau und St. Gallen) sind derartige Sandsteine zwischen dem 12. und der Mitte des 19. Jahrhunderts vielerorts in kleinem Masstab abgebaut worden. Hergestellt wurden Mauerquader und Hausteinobjekte, auch Ofenplatten. Man trifft den Stein etwa am Kirchturm Baar (12. Jahrhundert), an der Klosterkirche Kappel (13./14. Jahrhundert), am Südturm der Stadtkirche Winterthur (15. Jahrhundert) und an vielen jüngeren Bauten dieser Stadt.

*Granitische Sandsteine der Unteren Süsswassermolasse:* Diese Sandsteine sind hauptsächlich in der Umgebung von St. Margrethen, beidseits des Zürcher Obersees (Bollingen, Jona, Schmerikon, Neuhaus, Uznaberg, Buchberg) sowie bei Ägeri und bei Lothenbach am Zugersee («Zugerstein») abgebaut worden. Noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts standen gegen 40, zum Teil sehr grosse Steinbrüche in Betrieb. Heute sind es noch ihrer sechs (siehe [Kapitel 6.3.5.1](#)). Diese Gesteine, welche sich maschinell und steinmetzmässig gut bearbeiten lassen und sich auch ausgezeichnet für die Bildhauerei eignen, wurden am häufigsten verwendet für Fassaden in reichem Haustein, ferner zu Sockeln, Säulen und Pfosten.

Hauptverbreitungsgebiet sind die grösseren Ortschaften der östlichen Schweiz. In Zürich, welches das Material seit der Römerzeit auf dem Wasserweg vom Obersee beschaffte, dominieren granitische Sandsteine beim mittelalterlichen Quadermauerwerk, und sie blieben auch im 16. und 17. Jahrhundert fast einziger Sichtbaustein. Nach einem schwer erklärbar, fast hundertjährigen Unterbruch erscheinen sie wieder ab 1750. Sie bilden auch das Material der vielen, zwischen 1860 und 1910 erstellten repräsentativen Steinfassaden Zürichs. Seit dem Mittelalter waren granitische Sandsteine auch das weitaus wichtigste Baumaterial der Stadt Zug. Sie wurden lange Zeit aus dem Gebiet von Lothenbach bezogen, erst im 19. Jahrhundert wurde Ägeri bedeutsam. Nach der Erstellung des Bahnnetzes weitete sich das Anwendungsgebiet aus, vor allem gegen Westen (z.B. Parlamentsgebäude und andere Bundesbauten wie Bundesarchiv und Eidg. Münzstätte in Bern, alle zwischen 1896 und 1905).

Bekannte historische Bauwerke in granitischem Sandstein sind ferner St. Oswald in Zug (1478–83 und spätere Bauetappen), die Stiftskirche und Kloster Einsiedeln (ab 16. Jahrhundert), Grossmünster, Fraumünster und Zunfthaus zur Meisen (1752–57; [Abbildung 6.13](#)) in Zürich oder die Plastiken an der Stiftskirche St. Gallen (1755–66, Stein von Teufen).



Abbildung 6.13: Zunfthaus zur Meisen in Zürich (1552–57). Fassade aus granitischem Sandstein vom Zürcher Obersee.





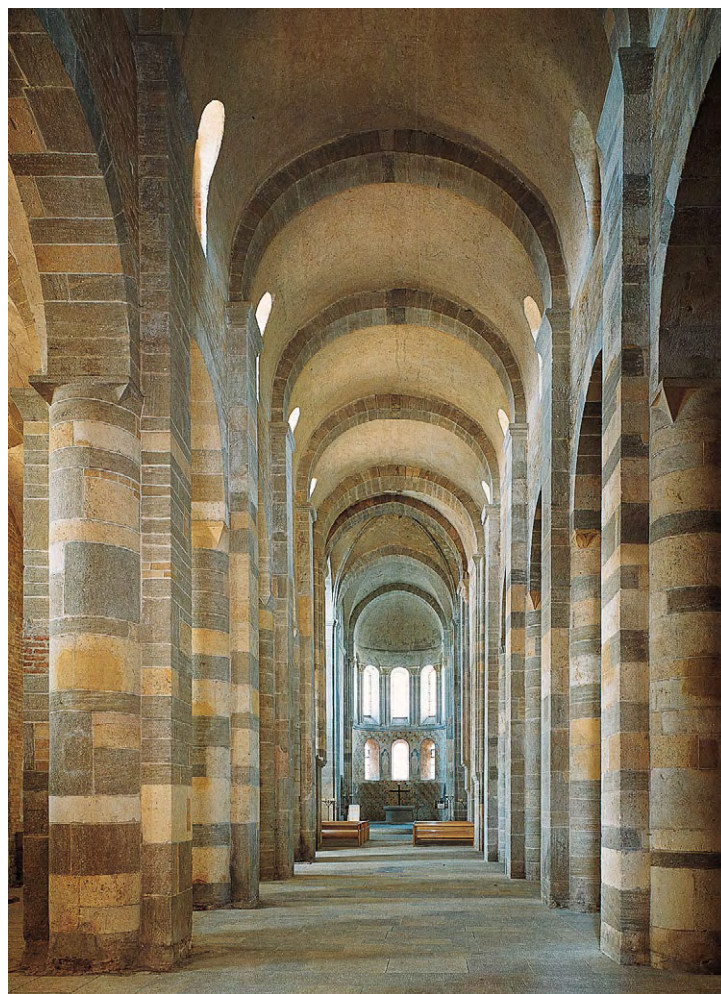
6.14

*Sandsteine der flachen Oberen Meeresmolasse (Bernersandstein):* Dieser Typ Sandstein ist im Raum Burgdorf–Bern–Freiburg seit dem Mittelalter an unzähligen Stellen abgebaut worden. Grössere Steinbrüche entstanden in der Umgebung der Städte Bern und Freiburg, ab dem 15. Jahrhundert mit kontinuierlichem Betrieb (Münsterbau; Stadtbrände). In und um Bern waren es die Brüche Sandfluh, Gurten, Ostermundigen, Stockeren und Krauchthal, in Freiburg Pérolles, Beauregard und andere. Ostermundigen war nach 1870 der grösste Steinbruch der Schweiz (siehe auch [Kapitel 6.3.5.3](#)).

Verwendet wurde der Sandstein ganz überwiegend zu Mauersteinen, aber auch für Steinmetzarbeiten. Einzelne Vorkommen eignen sich als Ofensteine. Die geringe Wetterfestigkeit vor allem an beregneten Fassaden führte in Bern zu entsprechenden Bauvorschriften (weit vorspringende Dächer, sogenannte Vogeldielen). Der Bernersandstein prägt den Charakter der alten Stadtkerne von Bern und Freiburg, wo das Material für Restaurationen baureglementarisch vorgeschrieben ist.

Abbildung 6.14: Berner Münster. Unterer, im 15. und 16. Jahrhundert erstellter Teil, aus Berner Sandstein vom Gurten und von Ostermundigen. Später mit Sandsteinen unterschiedlicher Proveni-

enz ausgebessert. Kalksteinsockel aus dem 18. Jahrhundert.



6.15

Unter vielen Sandsteinbauten in Bern seien erwähnt das Münster (Baubeginn 1421), das Rathaus, Barockbauten wie das Kornhaus (1711) und das Hôtel de Musique, das heutige Restaurant Du Théâtre (1767–70), die drei Bundeshäuser (Bau zwischen 1854 und 1904), das Stadttheater (1899–1903) und das Obergericht (1908–10). Mit der Eröffnung der Bahnlinien, insbesondere dem Bahnanschluss des Steinbruchs Ostermundigen, wurde viel Sandstein in andere Schweizerstädte verkauft, vor allem nach Basel, Zürich, Winterthur, Lausanne und Genf. Beispiele: Bundesgericht Lausanne (1886), Stadthaus Winterthur (1865–68), ETH-Zürich (1861–64, später grösstenteils durch Kunststein ersetzt), Hauptbahnhof Zürich (1865–71) und mindestens zwei Dutzend Bauten in Basel zwischen 1861 und 1896. Gleichzeitig wurde aber in Bern selber der einheimische Sandstein an exponierten Stellen durch widerstandsfähigere Steinsorten ersetzt, beispielsweise bei der Vollendung des Münsterturms 1889–93 durch den deutschen Obernkirchner-Sandstein.

Abbildung 6.15: Innenraum der Romanischen Abbaye Payerne VD (11. Jh.). Verschiedenartige Tertiär-Muschelkalksteine aus dem nahen Broye-Bezirk VD.



*Sandsteine der subalpinen Oberen Meeresmolasse (Plattensandstein):* Im Verbreitungsgebiet zwischen Rorschach und dem Entlebuch finden sich als Schwerpunkte der historischen Abbautätigkeit die Region Rorschach–St. Gallen, der Zürichsee (Bäch, Freienbach, Wollerau), das Stadtgebiet von Luzern, Kriens (Renggloch) und einige Brüche im Entlebuch. Um 1900 waren noch gegen 40 Plattensandsteinbrüche in Betrieb, heute sind es noch drei (St. Margrethen-Fuchsbad, Buchen-Staad, Rooterberg; siehe auch [Kapitel 6.3.5.2](#)). Infolge seiner plattigen Beschaffenheit ist dieser Gesteinstyp vor allem als roher oder behauener Mauerstein, dann aber auch für Bodenplatten, Fenstereinfassungen, Gesimse, Treppenstufen, Ofen- und Grabplatten sowie für feinere Steinmetz- und Bildhauerarbeiten verwendet worden.

Das Hauptanwendungsgebiet deckt sich mit demjenigen der Vorkommen. Der Rorschacherstein ist im Gebiet beidseits des Bodensees und rheinabwärts weit verbreitet, etwa in St. Gallen und besonders in Schaffhausen, wo er vom 15. bis ins 19. Jahrhundert sehr bedeutsam war. Bemerkenswert sind Anwendungen in Deutschland, etwa in Ravensburg, Salem (Münster, 14. und 15. Jahrhundert), Überlingen (Münster, 15./16. Jahrhundert) und sogar am Münster in Ulm (1430–80).

Zürich bezog seine Plattensandsteine überwiegend von Bäch; sie wurden hier von 1650 bis 1750 anstelle granitischer Sandsteine für Sichtmauerwerk gebraucht (Fraumünster, Rathaus), später unter Verputz. In Luzern wurde während vielen Jahrhunderten das Material der Brüche auf Stadtgebiet und der unmittelbaren Umgebung eingesetzt. Das Löwendenkmal ist aus einer alten Steinbruchwand herausgehauen ([Abbildung 6.96](#)).

### 6.1.3.3 Muschelkalksteine der Molasse

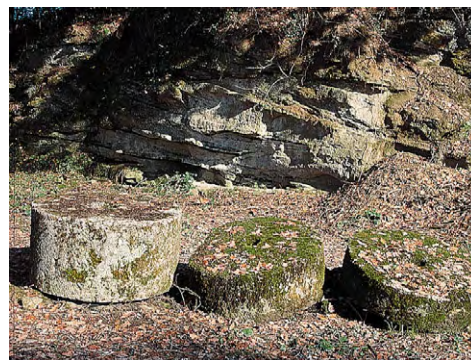
Trotz ihres räumlich sehr beschränkten Vorkommens sind die Muschelkalksteine der marinen Molasse von der Römerzeit bis zum heutigen Tag intensiv abgebaut und verwendet worden (siehe auch [Kapitel 6.3.5.4](#)). Entsprechend den zwei Hauptfundgebieten gibt es auch zwei getrennte Gebiete der Anwendung, die Nordostschweiz einerseits und die Westschweiz mit Zentrum Neuenburgersee/freiburgischer Broye-Bezirk andererseits. Das gut zu bearbeitende und witterungsbeständige Gestein war sehr vielseitig verwendbar, im Hochbau wie auch für Steinmetz- und Bildhauerarbeiten. Besonders beliebt war es wegen seiner sich beim Abrieb regenerierenden rauhen Oberfläche für Bodenplatten, Treppenstufen, Schwellen und insbesondere für Mühlsteine. Verwendet wurde es ferner für Mauerquader, Sockelbänder, Portale, Fensterge-

wände, Säulen, Brunnen, Sarkophage, Wegkreuze, Denksteine, Skulpturen und Grabplatten.

Mittelalterliche Anwendungen im Hochbau sind vor allem im Broyegebiet häufig (Turmhaus Avenches um 1100, Priorskirche Payerne, 11. Jahrhundert, Hauptturm Schloss Murten, um 1260; [Abbildung 6.15](#)). Später sind im Raum Freiburg, im Berner Seeland, im Gebiet des Neuenburgersees und im angrenzenden Waadtland Sockelbänder, Schwellen und Treppen bis ins 19. Jahrhundert sehr verbreitet. Die Mühlsteinproduktion verschiedener Brüche war sehr bedeutend; der Ort La Molière und das Gestein der Brüche in seiner Umgebung – der «Grès de la Molière» – haben ihren Namen davon bekommen.

Die Steinbrüche von Ins und Brüttelen BE haben vom 13. bis ins 19. Jahrhundert eine grosse Zahl von Mühlsteinen geliefert. Archivalisch gut belegt, was für die Bedeutung der Mühlsteinbrüche spricht, sind Lieferungen an Klöster (Haute-ri-ve FR, St. Johannsen und Gottstatt). Die von den Betreibern der Brüche zu entrichtenden Abgaben an die Obrigkeit oder an die Konzessionsnehmer berechneten sich pro Mühlstein.

Ein lokales Vorkommen von Muschelkalk bei Schnottwil SO ([Abbildung 6.16](#)) ist für seine Mühlsteine bekannt geworden. Belegt sind zwei je etwa hundertjährige Abbauphasen im 15./16. Jahrhundert und zwischen 1763 und 1867. In den besten Jahren (1820 bis 1830) sind jährlich 50 bis 60 Mühlsteine produziert worden; ein beträchtlicher Teil davon wurde von Büren an der Aare aus verschifft, zum Teil bis nach Holland.



6.16

In der Nordwestschweiz sind nach frühen Anwendungen (z.B. Schwarzer Turm in Brugg, 11./12. Jahrhundert, frühgotische Taufbecken) Werkstücke aus Muschelkalk zwischen dem 16. und dem 19. Jahrhundert weit verbreitet. Im Kanton Zürich existieren heute noch um die 300 Brunnenbecken aus Muschelkalk, viele davon aus den Jahren 1760–1800 und 1820–1860; sehr oft wird Würenlos als Herkunftsort genannt.

Im 20. Jahrhundert entstehen vorerst Fassaden mit vorgeblendeten Hausteinen (Peterhof/Leuenhof Zürich 1913–16; Nationalbank in Zürich 1922), später, ab etwa 1930, Fassadenverkleidungen aus gesägten Platten (viele Beispiele in Zürich, Aarau, Winterthur, Basel, Lausanne und Genf).

Abbildung 6.16: Unvollendete Mühlsteine im Steinbruch der Muschelkalk bei Schnottwil SO.





6.17

Abbildung 6.17: Treppenhaus aus gelben Kalksteinen im Bundeshaus Ost in Bern. Es dominiert der Solothurnerstein. Ausnahmen bilden die Säule in der Bildmitte (Plattenkalk des Portlandien von

Mühletal SH) und die Treppenstufen (Kalkstein von Belvoje, Frankreich).



### 6.1.3.4 Kalksteine des Jura gebirges

Viele dieser gelben und hellgrauen bis weisslichen Kalksteine von Jura- und Kreidealter sind von der gallo-römischen Zeit bis zum heutigen Tag ausgebeutet worden. Es lassen sich klar zwei Epochen unterscheiden: Von den Anfängen bis zur Eröffnung des Bahnnetzes dienten sie fast ausschliesslich als Bausteine für den lokalen innerjurassischen Bedarf, inbegriffen demjenigen der Jurarandstädte Genf, Neuenburg, Solothurn und Schaffhausen. Erst die Bahnen ermöglichten eine weitere Verbreitung in die grösseren Städte des Mittellandes.

Lange Zeit hatte praktisch fast jede Ortschaft eigene Abbaustellen. In «Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz» [Niggli et al. 1915] sind für das erste Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts noch rund 200 jurassische Steinbrüche erwähnt. Die Zahl der Hausteine produzierenden Brüche ist seit dem Ersten Weltkrieg drastisch zurückgegangen; sie beträgt heute noch vier, nämlich Dielsdorf/Steinmaur (Lägernkalk), Laufen/Liesberg (Laufenerkalk), Lommiswil (Solothurnerkalk) und Neuchâtel-La Cernia (roc jaune). Nachfolgend die Vorstellung einiger wichtiger Gesteinstypen beziehungsweise Steinbrüche:

Kalkstein und Dolomit der *Trias* sind von den Römern in Augst (Muschelkalk) und in Vindonissa (Trigonodusdolomit) als Mauerstein verwendet worden ([Abbildung 6.2](#)). In beiden Siedlungen bevorzugten sie für feinere Steinmetzobjekte die porösen, weichen Kalksteine des *Rauracien*, für welche in Dittingen ein römischer Steinbruch nachgewiesen ist. Die Kalksteine des *mittleren und oberen Rauracien* sind im nordöstlichen Jura lange Zeit gebrochen worden; de Quervain nennt gegen 20 grössere Steinbrüche. Ein bemerkenswerter Bau ist die Stiftskirche in St-Ursanne (12. Jahrhundert und später). Aus der Zeit vor der Jahrtausendwende stammen Sarkophage in der ehemaligen Pfarrkirche von St-Ursanne.

Im westlichen Jura (im Gebiet zwischen Reuchenette und St-Croix) sind an mindestens zwei Dutzend Abbaustellen Kalksteine des *Sequaniens* gewonnen worden, hauptsächlich für Mauersteine, vereinzelt für Hausteine. Über lokale Bedeutung hinaus wuchsen die Brüche im Sequan der Umgebung von Laufen mit der Eröffnung der transjurassischen Bahnlinie Bielsberg–Laufen–Basel (1875). Eine Zeitlang wiesen sie die grösste Hausteinproduktion im Jura auf, einzelne Brüche gegen 5000 Kubikmeter jährlich. Hauptabnehmer waren Städte wie Basel, Bern, Genf und andere. Repräsentative Bauten sind der Hauptbahnhof Basel (1906), die Dreifaltigkeitskirche in Bern (1892–98; [Abbildung 6.9](#)), die protestantische Kirche in

Solothurn (1924) und der Völkerbundspalast in Genf (mit allein 2800 Kubikmetern verarbeitetem Stein; 1933). In neuerer Zeit ist der Laufenerstein häufig in Plattenform für Fassadenverkleidungen (z.B. PTT-Museum Bern 1990), Böden und Innenausstattung verwendet worden. Bedeutend war im 19. Jahrhundert die Produktion von Brunnenbecken.

Von den vielen Steinbrüchen im Sequan des östlichen Jura gebirges haben diejenigen von Dielsdorf am Ostende der Lägern die weitaus grösste Bedeutung. Von hier stammt ein Grossteil der Sockel- und Stützmauern in der Stadt Zürich der Jahrhundertwende (z.B. Landesmuseum 1898; [Abbildung 6.11](#)).

Das *Kimmeridgien* hat in weiten Teilen des Juras über lange Zeit hinweg geschätzte Bausteine geliefert. Allein im westlichen Jura sind über 50 ehemalige Steinbrüche bekannt, die meisten allerdings von lokaler Bedeutung.

Die weitaus grösste Bedeutung haben die Steinbrüche der Umgebung von Solothurn erreicht. Schon von den Römern verwendet, ist der Solothurnerstein seit dem Beginn der Neuzeit dauernd, wenn auch mit wechselnder Intensität abgebaut worden. Höhepunkte waren die Zeit des Schanzenbaues (1660 bis 1710) und die Zeit während und nach der Erbauung der Kathedrale von St. Ursen (1760 bis gegen 1890). Der am Regen weiss ausbleichende und mit dem Alter rissig werdende Kalkstein prägt den Charakter der Altstadt von Solothurn ([Abbildung 6.18](#)). Eine Spezialität waren die grossen, meist monolithischen Brunnenbecken, die, alle aus ein- und derselben Schicht (der die nötige Mächtigkeit aufweisenden «Schalenbank») gehauen, ab der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts wohl zu Tausenden ins Mittelland, nach Basel und selbst in den süddeutschen Raum geliefert wurden. Aus dem 18. und 19. Jahrhundert sind zahlreiche Cheminées in charakteristischem gräulichem Stein erhalten geblieben. Die Eisenbahn ermöglichte dann eine weite Verbreitung des Solothurnersteins für Sockel, Stützmauern, Brückenpfeiler und Fundamente. 1860 waren in elf Steinbrüchen gegen 600 Arbeiter beschäftigt. Eine in ihrer Grosszügigkeit einmalige Anwendung in der Innenarchitektur stellen Treppenhaus und Eingangshalle des Bundeshauses Ost in Bern dar (1888–92; [Abbildung 6.16](#)). Im Verlaufe des 20. Jahrhunderts wurde der Solothurnerstein mehr und mehr in polierter, geschliffener oder gesägter Form zu Treppenstufen, Wand- und Bodenbelägen, Fassadenverkleidungen, Kirchenausstattungen und Skulpturen verwendet (Markuskirche Bern, 1948–51; Relief von 9.5 Metern Länge an der Fassade der Bankverein-Filiale Paradeplatz Zürich, 1956–60).

Die sogenannten Plattenkalke des Kimmeridgien aus dem Randengebiet sind zwischen dem 11. und dem 16. Jahrhundert





6.18

in Schaffhausen von grosser Bedeutung gewesen (Turm von St. Johann, 14./15. Jahrhundert; Munot 1564–85). Der Steinbruch Mühlenen im Stadtgebiet von Schaffhausen gehörte im 17. Jahrhundert zu den grössten Steinbrüchen der Schweiz.

Das *Portlandien* hat früher viel Hausteинmaterial geliefert, gelegentlich auch solches für feinere, zum Teil auch polierte Werkstücke. Im westlichen Jura zwischen Grenchen und St-Cergue gab es mindestens 30 grössere Steinbrüche, von denen lediglich einer (La Cernia) bis heute überlebt hat. Bedeutend waren die Abbaustellen im Raum Neuenburg und St-Blaise. Ausgiebige Verwendung fanden diese Kalksteine – oft als «roc» oder «roc du Jura» bezeichnet – in Neuenburg, La Chaux-de-Fonds und Le Locle (Abbildung 6.20). Nach der Eröffnung der Bahnverbindungen waren Portlandkalke für einige Zeit auch ausserhalb des Juras gefragt: Fassade der Dreifaltigkeitskirche Bern (Stein von St-Imier BE; 1892–98; Abbildung 6.9), Säulen

im Nationalratssaal des Parlamentsgebäudes (Stein von Cernier NE; 1894–1902), Sockel Völkerbundspalast Genf (Stein von La Cernia NE; 1933).

Wie schon der Name andeutet, ist der «marbre bâlard» des *Berriasien* im westlichen Juragebirge lange als Baustein (Mauer- und Bruchstein, seltener Hausteин) gewonnen worden. Bedeutende Steinbrüche befanden sich bei Arzier.

Die porösen, ockergelben Kalksteine des *Hauterivien* aus den Brüchen der Umgebung von Neuenburg (Hauterive, La Coudre, St-Blaise) gehören zu den bekanntesten Bausteinen des Juragebirges. Seine Hauptverwendung fand das «Pierre jaune de Neuchâtel» genannte Gestein an Fassaden oder Fassadenteilen, oft in reichem Hausteин (Abbildung 6.20). Es ist von grosser Witterungsbeständigkeit, allerdings erst oberhalb der Grundfeuchte, und es wurde daher immer mit Sockelbändern härterer Jurasteine versehen. Der Abbau geht auf die Römer zurück, welche den Stein in Aventicum als kleinformatigen Mauerstein in grossem Umfang brauchten. Das Material ist in der näheren Umgebung in grossem Masstab später wiederverwendet worden, beispielsweise an der Prioratskirche Payerne im 11. Jahrhundert. Seit dem Mittelalter war Pierre jaune der Hauptbaustein der Stadt Neuenburg, deren Eigenart er vor allem wegen seiner gelben Farbe bestimmt. Charakteristische Bauten sind einerseits die «Akropolis» der Stadt mit Schloss und Stiftskirche, andererseits die Bürgerbauten des 18. und frühen 19. Jahrhunderts längs des Seeufers. Nach etwa 1400 erfolgte eine Ausbreitung auf dem Wasserwege in die weitere Umgebung der Jurarandseen in den Raum Orbe–Murtten–Aarberg–Solothurn.

Neben Rohblöcken wurden auch genormte Fertigteile versandt, überwiegend für kleinstädtische Bürgerhäuser. Von der Renaissance bis ins 19. Jahrhundert war der Stein von Neuenburg – im deutschen Sprachgebiet «Altenryfstein» genannt – das fast ausschliessliche Material für Brunnenfiguren und -säulen in Bern, Freiburg (Abbildung 6.19), Zürich, Basel, Lausanne und Neuenburg sowie in vielen anderen kleineren Städten und Ortschaften.



6.19

Abbildung 6.18: Baslertor in Solothurn (16. Jh.). Mächtige Mauerquader aus ausgebleichtem Solothurner-Kalkstein.

Abbildung 6.19: Brunnenfigur des Samson von Hans Gieng aus gelbem Neuenburgerstein (1547). Höhe der Figur 115 cm. Ausgestellt im Musée d'Art et d'Histoire Fribourg.





6.20



6.21

Die Objekte wurden häufig polychromiert oder in Steinfarbe gestrichen; der Stein wurde also nicht wegen seiner Farbe, sondern der guten Bearbeitbarkeit und des Farbaufnahmevermögens wegen bevorzugt.

Im 19. und frühen 20. Jahrhundert wurden die Brüche in fast industriellem Massstab betrieben, nicht zuletzt wegen der nochmaligen Ausweitung des Absatzgebietes infolge neuer Eisenbahnverbindungen. In «Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz» [Niggli et al., 1915] ist für 1908 eine Gesamt-Jahresproduktion von gegen 6000 Kubikmetern genannt. Der Abbau kam in den fünfziger Jahren zum Erliegen.

Die recht unterschiedlich ausgebildeten Kalksteine des *Barremien* – oft unkorrekterweise als *Urgon* bezeichnet – sind im Raum zwischen Neuchâtel und dem Genfersee an vielen Stellen gewonnen worden. Kompaktere Kalksteine dienten als Mauerstein und Haustein. Mormont lieferte früher viel Bausteine an den Genfersee. Die Römer bezogen Mauersteine von La Sauge. Material für feine Steinmetzarbeiten in Aventicum und anderen Niederlassungen in der Westschweiz (inklusive Unterwallis) bauten sie in grossem Umfang bei La Lance VD ([Abbildung 6.21](#)) zwischen Vaumarcus und Concise ab. Poröse Urgonkalke, beispielsweise diejenigen von Agiez VD, waren vom Mittelalter bis zum Anfang dieses Jahrhunderts für Bildhauer- und Steinmetzarbeiten gefragt.

### 6.1.3.5 Alpine Kalksteine und Marmore

Der überwiegende Teil der als Bau- oder Dekorationsstein genutzten Kalksteine aus den Alpen stammt aus dem Mesozoikum und dem Alttertiär der helvetischen und romanischen

Decken. Bei allen Unterschieden im Alter und im Aussehen haben diese Gesteine, was die Anwendung anbelangt, viele Gemeinsamkeiten. Seit dem 17. Jahrhundert sind sie in polierter Form als Marmore (im weiteren Sinn) für die Innenausstattung kirchlicher, später auch weltlicher Bauten verarbeitet worden. Die profane Verwendung zu Sockel- und Mauersteinen, Säulen und Brunnen reicht von etwa 1700 bis ins 20. Jahrhundert. Schliesslich ist der Abbau, je nach Vorkommen früher oder später, zwischen 1860 und 1960 zum Erliegen gekommen. Für unseren Zweck lässt sich vom Aussehen und von der Anwendungsgeschichte her eine grobe Zweiteilung in *Schwarzmarmer* und *Buntmarmer* (siehe [folgende Kapitel](#)) vornehmen. Drei Marmore im weiteren Sinne aus dem Kanton Tessin sind in [Kapitel 6.1.3.6](#) beschrieben (Kalksteine von Arzo, Marmor und Kalksilikatgneis von Castione)

Die *Schwarzmarmer* zeichnen sich aus durch ihre vom Dunkelbraun und Dunkelgrau bis ins Tiefschwarz reichende Politurfarbe, die hellgraue Anwitterung, und die Durchaderung mit einem Netz weisser Kalzitadern, welche den Gesteinen ein lebhaftes, aber auch unruhiges Aussehen gibt und zum Ausdruck «wilder Marmor» geführt hat. Es handelt sich um Kalksteine der Trias der Klippendecke (St. Triphon VD), des helvetischen – seltener des romanischen – Malms zwischen Rhein und Aare, sowie um Algenkalksteine des Eozäns (Bad Ragaz SG und Merligen BE).

Zu den vom Aussehen her attraktiven und historisch interessanten *Buntmarmoren* zählen wir die Kalksteine von Roche, Yvorne, Arvel und Tinière, alle aus der Klippendecke im Waadtländer Rhonetal, den Kalkstein von Collombey VS, sowie die marmorisierten helvetischen Kalksteine von Saillon VS und Grindelwald BE. Als *Baustein* ist aus dieser Gruppe nur

Abbildung 6.20: Hauptpost Neuenburg (1893–1896), Fassade «Pierre Jaune de Neuchâtel», Sockel und Erdgeschoss «Roc du Jura».

Abbildung 6.21: Römischer Steinbruch von La Lance. Zustand Frühjahr 1994.





6.22

der Kalkstein von Arvel von Bedeutung gewesen. Zu den klassischen Buntmarmoren sind auch die farbigen südalpinen Kalksteine von Arzo zu rechnen ([Kapitel 6.1.3.6](#)).

Auf die Modeströmungen der Renaissance, des Barocks und des Klassizismus, und ihre Auswirkungen auf die Art der verwendeten Marmore wird in [Kapitel 6.1.2](#) kurz eingegangen.

### Schwarzmarmore

*St-Triphon:* Die Triaskalksteine von St-Triphon sind schon im Mittelalter verwendet und damals auch bereits ins Ausland exportiert worden (Kathedrale von Lausanne 1260, Kirche Romainmôtier etwa gleiche Zeit; Eglise de Brou, Dép. Ain, Frankreich, 1513–1532). Die Kunsthandwerkerfamilie Doret, welche ab 1767 einen eigenen Steinbruch in St-Triphon besass, verarbeitete den «Marbre de St-Triphon» oder «Noir de St-Triphon» im grossem Masstab. Das in polierter Form tief-schwarze Gestein ([Abbildungen 6.8, 6.24](#)) dominiert in den protestantischen Kirchen der Westschweiz im 18. und 19. Jahrhundert. In derselben Periode (vereinzelt auch schon früher) belieferte St-Triphon die ganze Westschweiz mit zahllosen Brunnenbecken. Der Anschluss ans Eisenbahnnetz brachte den Steinbrüchen zwischen 1880 und dem Ersten Weltkrieg den grössten Aufschwung ihrer Geschichte. Im Genferseegebiet, aber auch in den grossen Städten der Deutschschweiz sind

damals sehr viele Bauten mit Sockelbändern aus diesem Stein versehen worden. Sie sind leicht erkennbar an den im grau verwitternden Kalkstein schwarz hervortretenden, dekorativ unregelmässig verlaufenden Tonschieferlagen. Die Produktion von Haustein ist in St-Triphon kurz nach dem Zweiten Weltkrieg eingestellt worden.

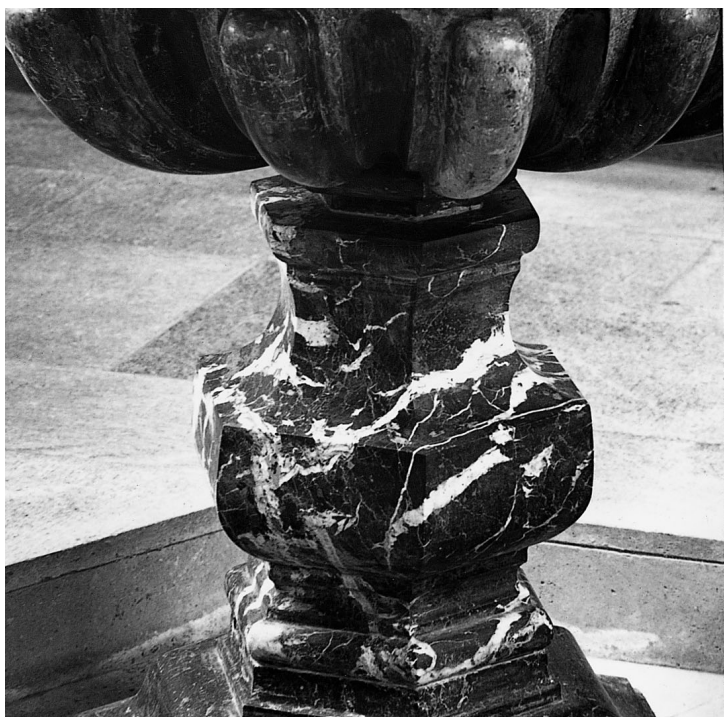
*Malmkalksteine:* Der Quintnerkalk der helvetischen Decken ist seit dem 17. Jahrhundert an vielen Stellen des Alpennordrandes ausgebeutet worden, im Anstehenden oder aus Sturzmassen. Schwerpunkte bildeten die

Region Sargans–Walenstadt, die Innerschweiz und das Thunersee–Brienzersee-Gebiet. Viel genannt als Abbaustellen sind Walenstadt, Berschis, Vild, Trübbach, Stöckalp im Melchtal, Engelberg, Stans und Silenen, Gsteigwiler, Brienz, Zwiöltschinen. Auch Findlingsblöcke sind in grosser Zahl verarbeitet worden, und haben Anlass zu merkwürdigen Gesteinsbezeichnungen gegeben, zum Beispiel «Marmor von Richterswil» oder «marbre du Belpberg».

Im 17. und 18. Jahrhundert wurden diese Kalksteine (durchwegs Marmore genannt) sehr geschätzt für die Innenausstattung von Kirchen (Altäre, Taufsteine, Säulen, Grabsteine; [Abbildung 6.23, 6.44](#)) und Wohnbauten (Cheminées, Möbelplatten), aber auch für Aussenarbeiten wie beispielsweise Portale. Die Anwendung war durchwegs auf das Abbaugbiet und benachbarte Regionen beschränkt. Als Beispiele dekorativer Anwendungen seien (unter hunderten) erwähnt: Kirchen von Sachseln und Stans (u.a. mächtige Säulen), Kirche Sargans (Portal, gesamte Innenausstattung), Hofkirche Luzern (Hochaltar, Taufstein), Taufsteine in Sursee, Beromünster, Zofingen, Bremgarten und Baden. Ab etwa 1700 wurden die Malmkalke vermehrt im Hoch- und Tiefbau eingesetzt (Sockel- und Mauerstein, Brückenpfeiler, Säulen, Brunnen). Die Steine aus dem Berner Oberland spielten in der Stadt Bern bis zum Eisenbahnbau eine grosse Rolle, zum Beispiel als Hartsteinsockel an den Sandsteinfassaden ([Abbildung 6.14](#)).

Abbildung 6.22: Säulen aus weissgeadertem Nummulitenkalk von Ragaz in der Klosterkirche von Pfäfers SG (1690).





6.23

**Ragaz:** Die fossilreichen Lithothamnienkalke des Eozäns sind zwischen Ragaz und Pfäfers seit dem Ende des 17. Jahrhunderts in drei grösseren Steinbrüchen gewonnen worden. Das intensiv weiss durchaderte Gestein nimmt eine gute, wetterfeste Politur an, wird dabei dunkelbraun bis fast schwarz, wobei Fossilien (Nummuliten) und Lithothamnien heller hervortreten. Hergestellt wurden Sockel, Grabmäler und -platten, Säulen, Fassadenverkleidungen und Bildhauerobjekte wie Taufsteine und Weihwasserbecken. Aus einer frühen Produktionsphase zwischen 1680 und 1710 sind vor allem kirchliche Objekte in der näheren Umgebung bekannt (Ragaz, Pfäfers, Chur, Vättis und Sargans; [Abbildung 6.22](#)). Hervorragend ist die Ausstattung der Klosterkirche von Pfäfers (1690, u.a. sechs grosse Monolithsäulen). Einen Aufschwung erlebten die Steinbrüche nach 1860. Jetzt gelangte Ragazerstein auch in entferntere Ortschaften, z.B. nach St. Gallen, Zürich (30 Säulen im ehemaligen Physikgebäude der ETH, 1890, entfernt 1977), Bern (zahlreiche Türgewände im Bundeshaus Ost und im Parlamentsgebäude, zwischen 1880 und 1902; [Abbildung 6.10](#)) und selbst nach Wien (Bodenplatten im Justizpalast, 1875–81).

**Merligen:** Der «Marmor von Merligen» ist dem oben beschriebenen Ragazerstein eng verwandt was Alter und Aussehen anbelangt; er nimmt lediglich mit der Politur eine hellere Farbe an – grau bis schokoladebraun – wobei Algenknollen und

Fossilien dekorativ hell hervortreten. Gewonnen worden ist er zwischen 1700 und 1860 oberhalb von Merligen am Thunersee aus Sturzblöcken vom Sigriswilergrat.

Hergestellt wurden (im Familienbetrieb) Sockelsteine, Fenster- und Türpfosten, Laubenpfeiler, Prellsteine, Treppenstufen und Brunnenbecken. Vieles ist in den Städten Bern und Thun, welche auf dem Wasserwege beliefert werden konnten, noch heute erhalten. Im 18. und beginnenden 19. Jahrhundert ist das Gestein als «Merliger Marmor» von den Werkstätten Funk und Hopfengärtner zu Tischblättern, Cheminées und Grabplatten verarbeitet worden. Es findet sich auch an acht Altären in St. Ursen in Solothurn, geschaffen 1773 durch J.F. Funk I und J.F. Doret aus Vevey. Die jüngste Anwendung an den Handläufen und Postamenten der Haupttreppe des Parlamentsgebäudes in Bern ([Abbildungen 6.24, 6.25a](#)) ist ein beachtliches, junges Beispiel der Wiederverwendung von Bausteinen: Das Rohmaterial stammte nämlich aus Sockeln zweier kurz zuvor abgebrochener Gebäude (dem alten Inselspital und dem Zuchthaus) sowie von einem Brunnen am oberen Tor.

### Buntmarmore

**Arvel:** Der Lias am Mont d'Arvel bei Villeneuve VD enthält Spatkalke, die einerseits als Hausteine geeignet sind, andererseits aber auch gut polierbar sind, dabei grau-rosabraune Farbtöne annehmen, und als «Arvel rose» (früher «marbre d'Arvel») oder «marbre chocolat» in den Handel kamen. Nach frühen polierten Anwendungen (Kathedrale Lausanne, Kapelle Aymon de



6.24

**Abbildung 6.23:** Taufstein aus geädertem, alpinem Malmkalk in der Kirche von Bremgarten AG (um 1640/50).

**Abbildung 6.24:** Haupttreppe im Parlamentsgebäude in Bern. Handlauf und Postamente: Kalkstein von Merligen; Baluster: polierter Kalkstein von St.-Triphon. Treppe: Aaregranit von Wassen.





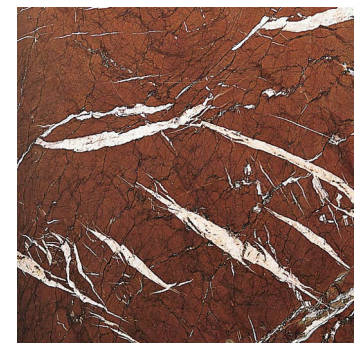
6.25a



6.25b



6.25c



6.25d

Montfalcon, 1505–06) ist er bis um 1800 nur als Haustein gebraucht worden. Im 19. Jahrhundert, war das Gestein als Marmor beliebt und verbreitet; es wurde vor allem zu Cheminées, Hausbrunnen und Platten verarbeitet. Mit der Eröffnung eines neuen grossen Bruches 1858 und dem Anschluss an das Eisenbahnnetz wurde Arvel zu einem der bedeutendsten Steinbrüche der Schweiz. Vor allem in die Romandie wurden grosse Mengen von Bruch- und Hausteinen geliefert, für Sockel (Bahnhof Lausanne), Fassaden, Brücken (Pont Butin bei Genf), Quaimauern und Bahnanlagen; die SBB verwendeten im Waadtland und im Wallis ausschliesslich Steine von Arvel. Der Bausteinband nennt für 1907–08 eine Jahresproduktion von 70'000 Kubikmeter. Die wohl grosszügigste Anwendung fand der Arvel rose 1894–1902 im Parlamentsgebäude in Bern (Marmorböden; Pfeiler im Ständeratssaal; Sockel der Rütli-

gruppe; [Abbildung 6.25a](#)). Die Hausteinproduktion ist 1975 eingestellt worden.

*Châble Rouge (Yvorne):* Im 19. Jahrhundert verarbeitete die Werkstätte Doret in Roche einen schönen, rotbraunen, von breiten weissen Kalzitadern durchzogenen Mergelkalk aus den Couches Rouges der Klippendecke. Das (sicher nur in beschränkter Menge verfügbare) Rohmaterial entstammte Sturzblöcken im Rhonetalboden am Fuss der Felswände nördlich von Yvorne, bei einer Rinne namens Châble Rouge, welche dem Gestein den Namen gegeben hat. Hergestellt wurden Platten, Tischchen und Cheminées. Die bekannteste Anwendung ist diejenige am Sockel der Rütli-Gruppe in der Eingangshalle des Parlamentsgebäudes (1894–1902; [Abbildungen 6.25a und d](#)).

**Abbildung 6.25a–d:** Parlamentsgebäude in Bern, Kuppelhalle mit Rütli-Gruppe. Auf dem Bild sind 15 Steinarten zu sehen, 13 davon schweizerischer Herkunft. Die wuchtige Skulptur der Drei Eid-

genossen ist aus Botticino (Kalk) von Brescia (Italien) gehauen. Details (Waadtländer Marmore): Marmorboden mit Rouge Jaspé ([6.25b](#)) und Gris de Roche ([6.25c](#)). Châble Rouge des Sockels ([6.25d](#)).



**Roche:** Zwischen Roche und Yvorne sind während 250 Jahren in mehreren Steinbrüchen Korallenkalke im Malm der Klippendecke gewonnen worden. Bekannt geworden sind sie unter dem Sammelnamen «Marbre de Roche» und unter den Spezialnamen für drei verschiedene, durch Übergänge verbundene, alle intensiv weiss geaderte Sorten, nämlich «Gris de Roche» oder «Gris Suisse» (grau, brekziös, reich an Fossilien, vor allem Korallen; [Abbildungen 6.8, 6.25a](#)), «Rouge de Roche» oder «Rouge Suisse» (grau, mit mehr oder weniger ausgeprägten roten Flecken und Adern) und «Rouge jaspé» (braunrot mit dunkelroten, gelben und grauen Partien; [Abbildungen 6.25a und c](#)). Die älteste bekannte Anwendung geht auf das Jahr 1674 zurück (Portal des Rathauses von Lausanne). Grosse Verbreitung erfuhren diese Gesteine aber erst ab Mitte des 18. Jahrhunderts, nach der Eröffnung von Steinbrüchen und einer Marmorsäge durch die Kunsthandwerker-Dynastie Doret. David Doret II schuf 1722–1727 den Hauptaltar der Kirche von St. Maurice, sein Sohn, David Doret III, den Hauptaltar von St. Michel in Freiburg (1766–68); an beiden dominieren Marmore von Roche. Funk in Bern bezog im 18. Jahrhundert zeitweise von Doret in Vevey rotgetönte Marmore als Ersatz für den Grindelwaldner Marmor ([s.unten](#)). Aus dieser Zeit stammt der in Bern gebräuchliche Name «Viviser-Marmor» (Vivis = Vevey). Bemerkenswert sind die mächtigen Säulen aus rouge jaspé in St. Pierre in Genf (1752–56).

Jüngere Anwendungen finden sich beispielsweise in allen drei Bundeshäusern in Bern (zwischen 1858 und 1904; Marmorböden und Türgewände; [Abbildungen 6.25a–d](#)), oder im Kunsthaus Zürich (1910; Treppe aus «Gris de Roche»). In neuerer Zeit wurden neben Dekorationsstein auch Hausteine für Sockel und Platten für Schaufensterverkleidungen produziert. Der Abbau wurde um 1930 eingestellt.

**Grindelwald:** Um 1730 wurden in der Stirnregion des Unteren Grindelwaldgletschers bunte, marmorisierte siderolithische Gesteine entdeckt, welche unter der Bezeichnung «Grindelwaldner Marmor» (oder «marbre du Grindelwald») bekannt geworden sind. Es sind farbige, ungleichmässige Breccien, in denen marmorisierte Komponenten mesozoischer Kalke in grauen, weissen, gelblichen oder fleischfarbenen Tönen von einer lebhaft grünen, roten oder violetten, oft schiefrigen Zwischenmasse umgeben sind. Sie entsprachen in idealer Weise dem Geschmack des Spätbarocks ([Abbildung 6.8](#)), und so kam es schon vor 1740 zu einem recht intensiven Abbau. Die Verarbeitung erfolgte in der Marmorsäge und der Werkstatt des Bildhauers Johann Friedrich Funk I in Bern. Gefertigt

wurden Cheminées ([Abbildung 6.26](#)), Grabmäler, Konsolische, Altäre und vor allem Deckblätter für die Kommoden seines Bruders Matthäus Funk, welche als «Funkkommoden» zu den begehrtesten Möbelstücken aus jener Epoche gehören. Noch heute sind in Bern und seiner Umgebung Hunderte von Objekten aus Grindelwaldner Marmor erhalten. Ein ausserordentliches Werk ist der Sarkophag des Hieronymus von Erlach in der Kirche von Hindelbank, geschaffen von J.A. Nahl 1751. Weitere Objekte sind in andere Schweizerstädte und selbst ins Ausland gelangt.

Der Abbau in Grindelwald dauerte nur rund 20 Jahre. Um 1760 wurde der Bruch vom vorstossenden Gletscher eingedeckt und erst 1865 wieder freigegeben. Als Ersatz behalf man sich im 18. Jahrhundert mit dem recht ähnlichen *Rosenlaur-Marmor*, oder, vor allem während der im Biedermeier um 1820/25 kurz aufflackernden Nachfrage nach bunten Gesteinen, mit dem «Rouge jaspé» von Roche.

Zwischen 1890 und 1903 wurde der Betrieb noch einmal ohne grossen Erfolg aufgenommen. Dank unterirdischem Abbau konnten grosse Werkstücke gewonnen werden: Türeinfassungen in der Wandelhalle des Parlamentsgebäudes, 1894–1902; Säulen im Hauptgebäude der Universität Bern (1900–03) und am Hauptsitz der Berner Kantonalbank (1906).

**Collombey:** Die Steinbrüche beim Dorf Collombey VS in Spatkalken des helvetischen Barremiens lieferten im 19. Jahrhundert vor allem in der Westschweiz geschätzte Hausteine. Später, bis zur Einstellung der Steinproduktion in den siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts, war das unterschiedlich gefärbte (grau, graurötlich, violettrot, rot-grün gestreift) Material, welches eine gute Politur annimmt, als «Marbre de Collom-

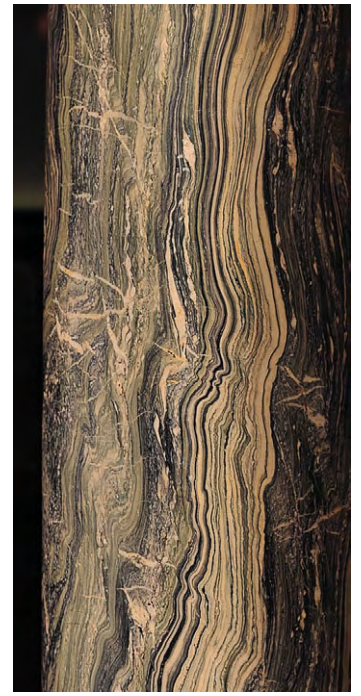


Abbildung 6.26: Cheminée aus Grindelwaldner Marmor von J.-F. Funk im Schloss Jegenstorf BE (Mitte 18. Jahrhundert).





6.27a



6.27b



6.27c

Abbildung 6.27a–c: Bank Leu in Zürich, Kundenhalle. Säulen aus grün und violett gebändertem Marmor von Saillon (cipolin grand antique).



bey» für Dekorationszwecke und ganz besonders für die Bildhauerei sehr gefragt. Hergestellt wurden Boden- und Wandbeläge, Treppenstufen, Kirchengestaltungen, Türgewände und viele Plastiken von zum Teil beträchtlicher Grösse ([Abbildung 6.29](#)). Repräsentative Anwendungen: Parlamentsgebäude in Bern (10 Türgewände und Marmorböden; 1894–1902); Hauptpost Luzern (vier grosse Statuen, symbolisierend «Post und Eisenbahn», «Schiffahrt», «Telephon» und «Telegraph»; 1888); Verkleidung Stadthaus St. Gallen.

Im Steinbruch «Sous-Vent» bei Bex wird in beschränktem Ausmass ein ähnliches Gestein noch heute gewonnen, hier unter dem Namen «Rouge du Rhône» (siehe [Kapitel 6.3.6.3.c](#)). Eine Grossplastik vor der Kantonalbank in Lausanne sowie der Verwaltungsbau Zürcher Ziegeleien (Böden und Treppen; 1964) bestehen aus diesem Gestein.

*Saillon*: Mehrere hundert Höhenmeter über der Talsohle der Rhone sind nördlich von Saillon VS von 1875 bis zum Zweiten Weltkrieg marmorisierte Kreidekalksteine des stark deformierten Mittelschenkels der Morclesdecke abgebaut worden und zwar unter schwierigen Bedingungen. Dabei wurde 1895 erstmals in der Schweiz das Seilsägeverfahren eingesetzt. Die gebänderten, feinkörnigen Gesteine zeigen einen gelblichen Grundton mit auffallenden grünen oder tintenblauen, meist unregelmässigen oder verfalteten Lagen. Je nach Zeichnung hiessen sie «cipolin grand antique», «cipolin vert rubanné» oder «cipolin vert moderne». Wegen ihrer Ähnlichkeit mit dem im alten Rom überaus geschätzten Cipolin von Euböa gelangten die Marmore von Saillon rasch zu Weltruf, vor allem nachdem sie 1878 an der Weltausstellung von Paris gezeigt und entsprechend gewürdigt worden waren. Sie scheinen eine Zeitlang eines der gesuchtesten Gesteine der Welt gewesen zu sein, und sie wurden denn auch nach Frankreich, Deutschland, England, Holland und den USA exportiert.

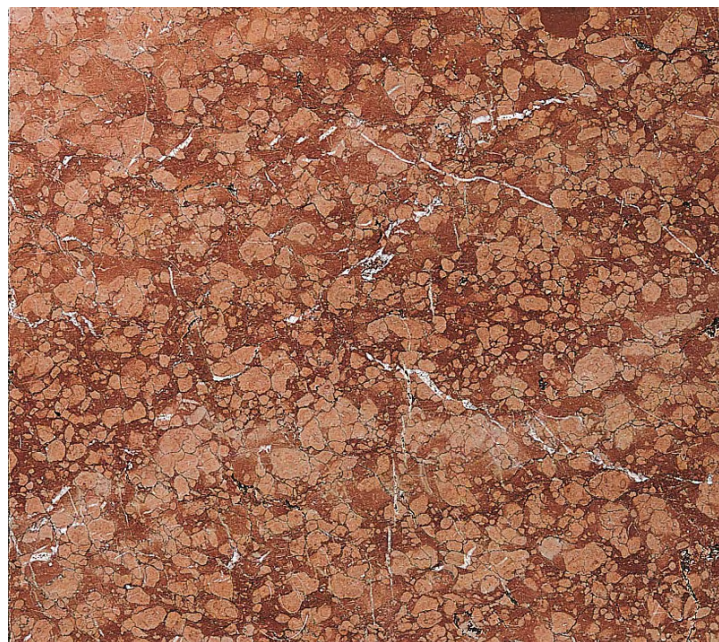
Hergestellt wurden Säulen (bis 5 m Länge), Sockel, Platten, Monumente und Cheminées. Unter den wenigen, in der Schweiz erhaltenen Anwendungen sind zu erwähnen die Innenausstattung der Bank Leu in Zürich 1913–15 (Halle mit 15 Monolithsäulen aus «Cipolin grand antique»; [Abbildungen 6.27a–c](#)), die Pfeilerverkleidungen aus «Cipolin grand antique» im Kunsthaus Zürich (1910) und die Verkleidungen von Heizkörpern in der Wandelhalle des Parlamentsgebäudes in Bern (1894–1902). Bei den vielzitierten «Säulen» des Architekten Garnier in der Opéra von Paris (1861–75) handelt es sich im Übrigen um zwei schlichte, hüfthohe Sockel für Künstlerbüsten.

*Tinière*: Im 18. und 19. Jahrhundert wurde von Doret und anderen Betrieben in Vevey unter dem Namen «brèche de la Tinière» eine dekorative knollige Brekzie mit roter, brauner, violetter oder grünlicher Zwischenmasse verarbeitet. Es handelt sich um Knollenkalke des untersten Malms der Klippen- decke, deren Anstehendes sehr abgelegen unter den Rochers de Naye zu finden ist. Verarbeitet wurden Sturzblöcke, unter anderen solche aus dem Tal der Tinière (östlich Villeneuve VD). Als Cheminées, Tische, Platten und Sockel waren alle Varietäten im 19. Jahrhundert in der französischen Schweiz verbreitet, ausserhalb der Romandie aber kaum bekannt (Eingangshalle des Hotels Bernerhof in Bern; 1855–59; [Abbildung 6.28](#)).

Ältere Anwendungen eines fast identischen Gesteins kennt man am Schloss Chillon (Mitte 13. Jahrhundert, Hausstein), im Schloss von Vullierens (Cheminée, 1713) und an den Altären von Doret, Funk und Scheuber in St. Ursen/Solothurn (1773). Dieses Material wurde sehr wahrscheinlich vom anderen Ufer des Léman bezogen, wo im französischen Teil des Chablais zu dieser Zeit ähnliche Gesteine (unter anderem für die Stadt Thonon) abgebaut worden sind.

#### 6.1.3.6 Tessiner Marmore (Arzo und Castione)

Die *Kalksteine von Arzo* im Südtessin: Dekorative, bunte, in verschiedenen Varietäten vorkommende brekziöse Kalksteine werden seit dem 16. Jahrhundert abgebaut. Vor allem zur Zeit des Barocks und des Klassizismus waren sie auf der Alpensüdseite ausserordentlich beliebt, und standen kaum



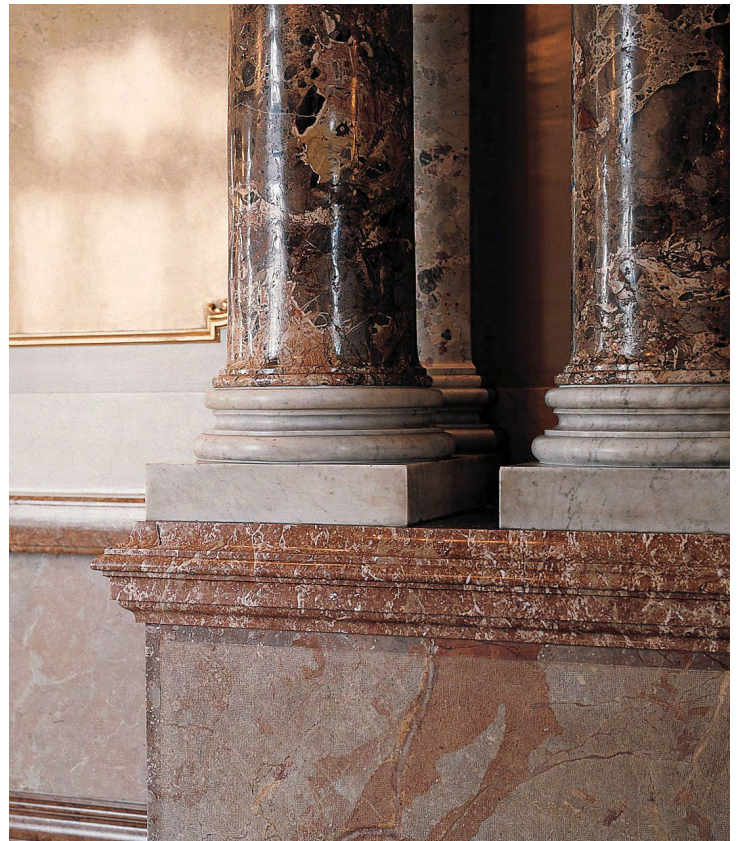
6.28

Abbildung 6.28: Kalkstein von Tinière als Bodenplatte im Hotel Bernerhof in Bern.





6.29



6.30

hinter den berühmten Buntmarmoren Europas – Adnet, Verona und Lacaunes – zurück. Gefertigt wurden namentlich Altäre oder Teile davon, Chor- und Altarschränke (viele aus der Varietät Brocatello), Tauf- und Weihwasserbecken, Stufen, Bodenbeläge und Säulen. Nichtkirchliche Anwendungen wie Cheminées, Verkleidungen, Marmorböden und Möbelplatten treten an Bedeutung zurück.

Verbreitet waren sie vor allem im Tessin (inkl. Misoix) und in Norditalien (Piemont und Lombardei); man kennt in diesem Raum über tausend Kirchen mit Arzo-Gesteinen! Die berühmteste Anwendung findet sich im Dom von Mailand, in der Krypta und am Tauftempelchen des aus dem Südtessin stammenden Pellegrino Pellegrini (nach 1567/1570). Nördlich der Alpen trifft man diese Gesteine erstaunlich selten; erwähnenswert sind aus der Barockzeit die Klosterkirche Fahr (1745) und die Pfarrkirche St. Verena in Wollerau (1786–89), als jüngere Beispiele das Parlamentsgebäude in Bern (1894–1902; Säulen, Sockel und Gesimse; [Abbildungen 6.10, 6.30](#)) oder der Hauptsitz der schweizerischen Bankgesellschaft in Zürich. Bei der modebedingten Nachfrage nach farbigen Gesteinen war die Konjunktur schwankend. Im 19. Jahrhundert lebte praktisch

das ganze Dorf Arzo – um 700 Menschen – vom Marmor. Trotz schwerem Einbruch um die Jahrhundertwende hat sich das Marmorgewerbe bis heute halten können ([Kapitel 6.3.6.2](#)).

*Marmor und Kalksilikatfels von Castione:* Bei Castione nördlich von Bellinzona finden sich inmitten der Tessinergneise nebeneinander senkrecht gelagert zwei Züge metamorpher Triasgesteine, von denen die *Marmore* schon früh für lokale Verwendung gewonnen wurden (viele Bauten im nahegelegenen Bellinzona, beispielsweise die Fassade der Kirche Santa Maria Calanca, 1606, wohl auch die Fassade der Collegiata aus dem 16./17. Jahrhundert; erwähnt wird in der Literatur auch der Dom von Mailand). Im 19. Jahrhundert herrschte nur minimale Abbautätigkeit. Erst im 20. Jahrhundert fand die Wiedereröffnung grösserer Brüche statt.

Die Brüche im *Kalksilikatgneis* sind um die Jahrhundertwende eröffnet worden. Die ersten Anwendungen in Zürich und Bern – Fassadenteile und Sockel – datieren aus dem ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts ([Abbildung 6.29](#)). Ein bemerkenswertes frühes Bauwerk ist das Welttelegraphendenkmal in Bern (Sockel und Brunnen aus Castione; 1911).

Abbildung 6.29: Bank Leu in Zürich, Eingangshalle.  
Löwe: Kalkstein von Collombey VS.  
Treppenstufen: Castione nero TI.

Abbildung 6.30: Kalksteine von Arzo in der Wandelhalle des Parlamentsgebäudes in Bern.  
Säulen: Macchia Vecchia.  
Sockel: Rosso venato (unten) und Brocatello (oben).





6.31



6.32

### 6.1.3.7 Tessiner Gneise

Die Gewinnung von Gneis und seine Verwendung im Hochbau hat im Tessin, vorab im Sopraceneri, uralte Tradition. Dies beweisen die unzähligen ländlichen Steinbauten, aber auch Monumentalbauten wie die romanische Kirche San Nicolao in Giornico (Abbildungen 6.31, 6.32). Die Sternstunde für einen Abbau im grossen Stil schlug aber erst beim Bau der Gotthardbahn (1872–1882). Viele der während des Baus entlang der Strecke sukzessive angelegten Steinbrüche produzierten nach der Eröffnung des Gotthardtunnels weiter für den grossen Absatzmarkt auf der Alpennordseite. Von rund 10'000 Tonnen im Jahr 1883 stiegen die jährlich durch den Tunnel transportierten Gneismengen bis 1892 auf 50'000 Tonnen, und schnellten bis 1899 gar auf 150'000 Tonnen. Kurz vor der Jahrhundertwende gab es im Tessintal über 30 Steinbrüche mit über 1000 Beschäftigten. Produziert wurden Mauersteine, Sockel, Säulen, Treppenstufen, Balkonplatten, Trottoirrandsteine, Marchsteine und Säulen. Hauptabsatzgebiet war die Deutschschweiz mit den Städten Luzern, Zürich, Basel, St. Gallen und Bern. Dazu kamen Exporte nach Deutschland, England und den

Abbildung 6.31: Quadermauerwerk aus Tessinergneis an der romanischen Kirche von San Nicolao (Westfassade) in Giornico TI (12. Jahrhundert).

Beneluxstaaten. Trotz einem gewaltigen Einbruch um 1900 mit zahlreichen Betriebsschliessungen, und auch späteren konjunkturellen Wechselbädern, hat sich das Tessiner Gneis-Steinbruchgewerbe immer wieder aufgefangen, und ist heute immer noch das bedeutendste Steinbruchgebiet der Schweiz (Kapitel 6.3.6.2). Mit der Erschliessung der Seitentäler Valle Maggia, Vergeletto und Val Verzasca, sowie des bündnerischen Val Calanca sind neue Brüche und Gneistypen dazugekommen. Die herkömmliche Produktpalette ist erweitert worden durch gesägte und polierte Platten für Fassadenverkleidungen und Innenausbau, gespaltene Platten und Steinmetz- und Bildhauerobjekte (Grabsteine, Bildwerke und Brunnen).

### 6.1.3.8 Granit

Von den zahlreichen Granitvorkommen der Schweizeralpen ist nur der *Aaregranit* in grösserem Umfang im Anstehen, und zwar im Kanton Uri, abgebaut worden. Über die nicht unbedeutende Verarbeitung von Findlingsblöcken aus Aaregranit und Mont Blanc-Granit siehe Kapitel 6.1.3.10.

Abbildung 6.32: Rustikale Tessiner Gneis-Architektur im Centovalli.



### Habkerngranit

Die im Flysch der Region Habkern – Unterseen BE häufig vorkommenden «exotischen» Granite mit ihrer nicht völlig geklärten geologischen Vorgeschichte gehören zu den schönsten und frischesten der Schweiz. Dies ist den Steinhauern der Mitte des 19. Jahrhunderts nicht entgangen, und so wurden zahlreiche Blöcke zu Treppenstufen, Marchsteinen, Portalen und Säulenschäften verarbeitet. Bemerkenswerteste Anwendungen sind die 70 Treppenstufen im Hotel Bernerhof in Bern, dem heutigen Sitz des eidgenössischen Finanzdepartementes (1855–59), das grosse, monolithische Brunnenbecken im Hof der Klinik Waldau in Bern (1852) und eine Platte für das George-Washington-Denkmal in Washington, ein Geschenk der Eidgenossenschaft an die USA (1852). Der mit rund 5000 Kubikmetern grösste Block – der sogenannte Luegibodenblock bei Habkern – ist 1840 der Verarbeitung für die Nydeggbücke in Bern nur deshalb entgangen, weil die rote Farbe seiner Feldspäte dem klassizistischen Zeitgeschmack der Jury nicht entsprach!

Die Eröffnung der Steinbrüche des Urner Reusstals im Raum Gurtellen–Wassen–Göschenen erfolgten in den achtziger Jahren des 19. Jahrhunderts während des Baus der Gotthardbahn. Die grössten Mengen wurden anfangs 20. Jahrhundert gewonnen; so produzierte Gurtellen 1900/1918 zwischen 14'000 und 23'000 Tonnen jährlich. Die Bedeutung ging im Verlaufe der Zeit immer mehr zurück; die Produktion ist seit längerer Zeit eingestellt, im Steinbruch Gütli bei Gurtellen seit 1947 (heute werden dort wieder Sturzblöcke verarbeitet).

Im Wasserbau war das Gestein beispielsweise für Quaialagen und Stauwehre im In- und Ausland sehr gefragt (Kraftwerke Augst, Laufenburg, Riburg, Eglisau und Wettingen; Verkleidung der Wägitalsperre; Molenbauten in Holland, Südfrankreich und Malta). Für die mittlere Rheinbrücke in Basel wurden 1905 rund 7700 Kubikmeter Quader verwendet.

Hergestellt wurden Randsteine, Stellsteine, Sockel und Treppenstufen (Parlamentsgebäude Bern, Haupttreppen innen und aussen, 1896–1904; [Abbildung 6.24](#)), aber auch monumentale Bildhauerobjekte, darunter Sockel und Obelisk des Denkmals für den philippinischen Freiheitshelden José Rizal in Manila von Richard Kissling (1902).

#### 6.1.3.9 Lavezstein (Giltstein, Speckstein, Ofenstein) und Serpentin

Der leicht zu bearbeitende, hitzebeständige und wärmespeichernde Lavezstein ist in vielen Alpentälern über fast zwei Jahrtausende hinweg ein gesuchtes Material gewesen. In erster Linie diente er für die Herstellung holzbefuerter Öfen – daher auch der Name Ofenstein. Der Rohstoff wurde nie sehr weit transportiert. Die Platten sind meistens in den kleinen, lokalen Vorkommen abgebaut und vor Ort verarbeitet worden; daher decken sich die Verbreitung von Lavezstein und der aus

ihm gefertigten Öfen weitgehend. Schwerpunkte waren: Sopraceneri, besonders Valle Maggia und Val Verzasca, Wallis (südliche Unterwalliser Täler, Lötschental, Vispertäler, Goms), Uri (Urserental) und Graubünden (Tavetsch, Bergell). Es hat zweifellos Tausende von diesen Öfen gegeben, und viele Hunderte davon sind noch erhalten oder in Gebrauch ([Abbildungen 6.33, 6.34](#)). Eine Inventarisierung in zehn Dörfern des Goms ergab in den sechziger Jahren 354 Öfen, eine andere im oberen Maggiatal anfangs des 20. Jahrhunderts deren 300. Frühe datierte Exemplare stammen aus dem 16. Jahrhundert, ein Höhepunkt scheinen das 18. und 19. Jahrhundert gewesen zu sein. Heute erlebt der Lavezstein eine Renaissance.

Gewisse feinkörnige, homogene und zugleich feste Varietäten von Lavez lassen sich dreheln; sie sind von der Römerzeit bis gegen das Ende des 19. Jahrhundert zu Kochgeschirr verarbeitet worden ([Abbildung 6.35](#)). In Vindonissa allein sind Überreste von mehr als 200 derartigen, wohl aus Oberitalien stammenden Gefässen gefunden worden. Zentren der Topfherstellung waren in der Schweiz das obere Maggiatal (Valle di Campo und Val Lavizzara, dessen Name sich von Lavez herleitet) und das Val Verzasca. Eine überragende Bedeutung hatten auf italienischem Gebiet, unweit der Schweizergrenze, Plurs bei Chiavenna und das Val Malenco. Lavez ist in untergeordnetem Masse auch zu Weihwassergefässen, Taufsteinen, Brunnenbecken, Portalen und ähnlichem verarbeitet worden. Eine besondere Häufung derartiger Objekte findet sich im Goms.

Trotz seiner weiten Verbreitung und seiner dekorativen Wirkung ist Serpentin, petrographisch dem Lavez nahestehend, nur selten verarbeitet worden. Eine auffallende Konzentration ist im Raum Brig an Kirchen und am Stockalperpalast festzustellen; alle Arbeiten stammen aus dem 17. Jahrhundert. Geschätzt war gegen Ende des 19. Jahrhunderts der aus Findlingsblöcken im Urserental gewonnene, harte – weil olivinführende – «Gotthardserpentin» (Säulen im Parlamentsgebäude in Bern). Dieser Typ entspricht nicht dem Giltstein von Hospental. Das Serpentinorkommen von Selva bei Poschiavo wird erst seit den dreissiger Jahren dieses Jahrhunderts abgebaut (vergleiche auch [Kapitel 6.3.6.1](#)); das Gestein ist aber in Poschiavo schon seit dem 17. Jahrhundert zu Türumrahmungen und ähnlichem verarbeitet worden.

#### 6.1.3.10 Spezielle Gesteinsarten und -vorkommen

*Findlingsgesteine:* Findlingsblöcke, vor allem solche aus Granit, stellten im Mittelland während vielen Jahrhunderten eine geschätzte und gesuchte Quelle von Hartgestein dar. In einer





6.33



6.34



6.35

Zeit, in der ein Transport aus den Alpen an den Verbrauchsort für den Menschen kaum in Frage kam, profitierte man vom glücklichen Zufall, dass die Gletscher mächtige Blöcke, nicht selten solche von mehreren 100 bis über 1000 Kubikmeter, ins Mittelland verfrachtet hatten.

Im Prinzip waren solche Blöcke im ganzen Mittelland, am Jurasüdfuss und in allen Alpentälern und natürlich auch am Alpensüdhang zu finden. Anhäufungen von Aaregranit aus dem Kanton Uri befanden sich im Stirngebiet des Reussgletschers bei Mellingen und Wohlen sowie am Lindenberg, bei Morschach, Gersau, Steinen und Küssnacht am Rigi. Granite aus dem Grimselgebiet waren im Unterhasli, im Thunerseegebiet und in der weiteren Umgebung von Bern verbreitet.

Zu gallorömischer Zeit und im Mittelalter wurden sie vorerst als Rohblöcke oder grob zugerichtete Mauersteine verwendet, zumeist für Wehrbauten. Beispiele unter vielen

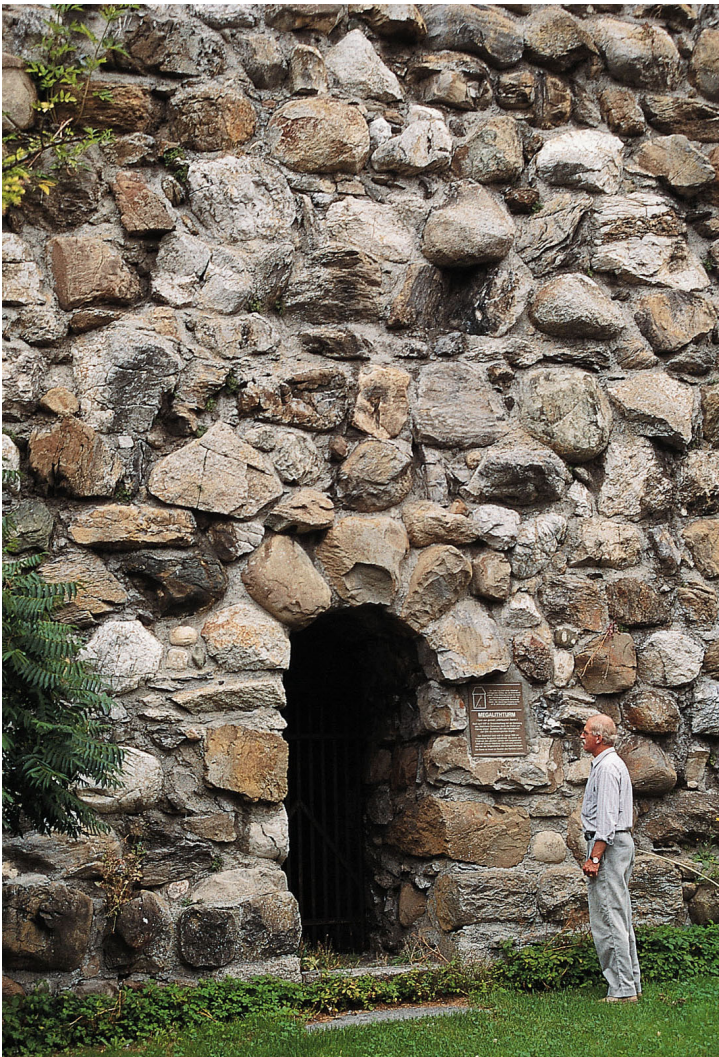
sind Richensee ([Abbildung 6.36](#)), Burgturm Frauenfeld oder Schlosswil (alle wahrscheinlich aus dem 13. Jahrhundert). Die steinmetzmässige Verarbeitung der Blöcke setzte im 16. und 17. Jahrhundert ein und erreichte im 18. und 19. Jahrhundert ihren Höhepunkt. Sie erfolgte vielfach an Ort und Stelle, häufig durch spezialisierte, umherziehende Equipen italienischer Steinmetzen, sogenannten «Graniteuren». Ihr Name weist darauf hin, dass in allererster Linie die Granite, «Geissberger» genannt, gesucht waren. Man verarbeitete sie zu Mauer- und Sockelsteinen, Brückenquadern, Treppenstufen, Fenster- und Portalgewölben, Brunnenbecken, Weihwasserbecken, Bildstöcken, Wegkreuzen, Marchsteinen und, sehr häufig, zu Mühlsteinen ([Abbildungen 6.37, 6.38](#)). Auf der Alpensüdseite sind im Locarnese und im Sottoceneri viele Brunnentröge aus Gneisfindlingen gehauen worden. Der völlige Niedergang dieser Art Rohstoffgewinnung war bedingt durch das

Abbildung 6.33: Lavezsteinofen in La Forclaz, Val d'Hérens VS. Baujahr 1799.

Abbildung 6.34: Detail an Lavezsteinofen in Evolène, Val d'Hérens VS.

Abbildung 6.35: Charakteristische Abbauspuren von Rohlingen für die Topfherstellung. Alpe Magnello, Valle di Campo/Maggia TI.





6.36

Verschwinden geeigneter Vorkommen, den Bestrebungen, die verbliebenen Blöcke als Zeugen der Eiszeit zu erhalten, und vor allem (dank dem Gotthardtunnel) die Verfügbarkeit beliebiger Mengen von Granit und Gneis bester Qualität aus dem Alpenraum. Relativ lange überlebte die Verarbeitung der Mont Blanc-Granite aus der riesigen Seitenmoräne des Rhonegletschers bei Monthey/Collombey, welche nach der Mitte des 19. Jahrhunderts, begünstigt durch den Eisenbahnanschluss, nahezu industrielles Ausmass angenommen hatte. Zeitweise waren zehn bis zwölf Steinbrüche in Betrieb, mit einer Gesamtproduktion von 5000 bis 6000 Kubikmeter jährlich. Beliefert wurde vorwiegend das Genferseegebiet, aber auch die Städte Freiburg und Bern.

Bemerkenswerte Bauten mit Findlingsgranit sind zum Beispiel die Wallfahrtskirche Oberdorf SO (1600/1610), der Kirchturm von Noiraigue (1861), die 1825 aus einem Stück gefertigte



6.37



6.38

Treppe der Heiliggeistkirche in Bern, eines der gewichtigsten Steinobjekte der Schweiz, und die Nydeggbücke in Bern ([Abbildung 6.37](#)), für deren Bogen und Geländer 1840 mit rund 2500 Kubikmeter die grösste, je für eine einzelnes Bauwerk verwendete Menge Findlingsgranit eingesetzt wurde, mühsam mit Wagen und per Schiff vom Kirchet im Haslital hergeschafft! Ein Unikum stellt die Fassade der Kirche San Vittorio in Balerna TI dar, die 1740 aus Bergellergranit-Findlingen des Addagletschers gehauen worden ist.

*Kalktuff:* Dieses im Mittelland und in den Bündnerschiefergebieten Graubündens und des Wallis in kleinen Vorkommen weitverbreitete Gestein ist von gallorömischer Zeit bis weit in die Neuzeit hinein ein hochgeschätzter Baustein gewesen. Es lässt sich in bergfeuchtem Zustand leicht abbauen und verarbeiten, und verfestigt sich mit der Zeit zu einem auch im

**Abbildung 6.36:** Mächtige Findlingsblöcke am Turm von Richensee LU (13. Jahrhundert).

**Abbildung 6.37:** Nydeggbücke in Bern mit Bogenkonstruktion aus Aaregranit (1841–44). Im Hintergrund die Untertorbrücke mit Kalktuffelementen aus dem 15. Jahrhundert.

**Abbildung 6.38:** Aus Aaregranit-Findling gehauenes kleines Brunnenbecken beim Gerechtigkeitsbrunnen in Bern (18. Jahrhundert).





6.39



6.40

Bereich der Grundfeuchte überaus beständigen frostfesten Material, welches sich dank seiner Porosität durch eine geringe Raumdichte auszeichnet. Im Steinbruch gesägte Quader können ohne weitere Behandlung direkt verbaut werden.

Kalktuff, bekannt auch unter den Bezeichnungen Tuft, Duft (Berner Oberland), oder Tugstein (Nordostschweiz), ist für viele verschiedene Zwecke verwendet worden: Als Mauerstein (auch im Fundamentbereich) zur Römerzeit und bei sehr vielen mittelalterlichen Wehrbauten, im Brückenbau, für die Verkleidung von Brunnstuben, Trinkwasser- und Abwasserleitungen, leichte Oberbauten (Erker, Türme), unzählige Portal- und Fenstergerichte, Gewölberippen sowie andere feine Hausteinarbeiten. 1636 bestellte Riggisberg gar einen neuen Galgen aus «währschafem Tuft»! Um die Jahrhundertwende war Sichtmauerwerk aus gesägten Steinen eine Zeitlang recht beliebt (Landesmuseum Zürich, 1893–98, Kirche Enge Zü-

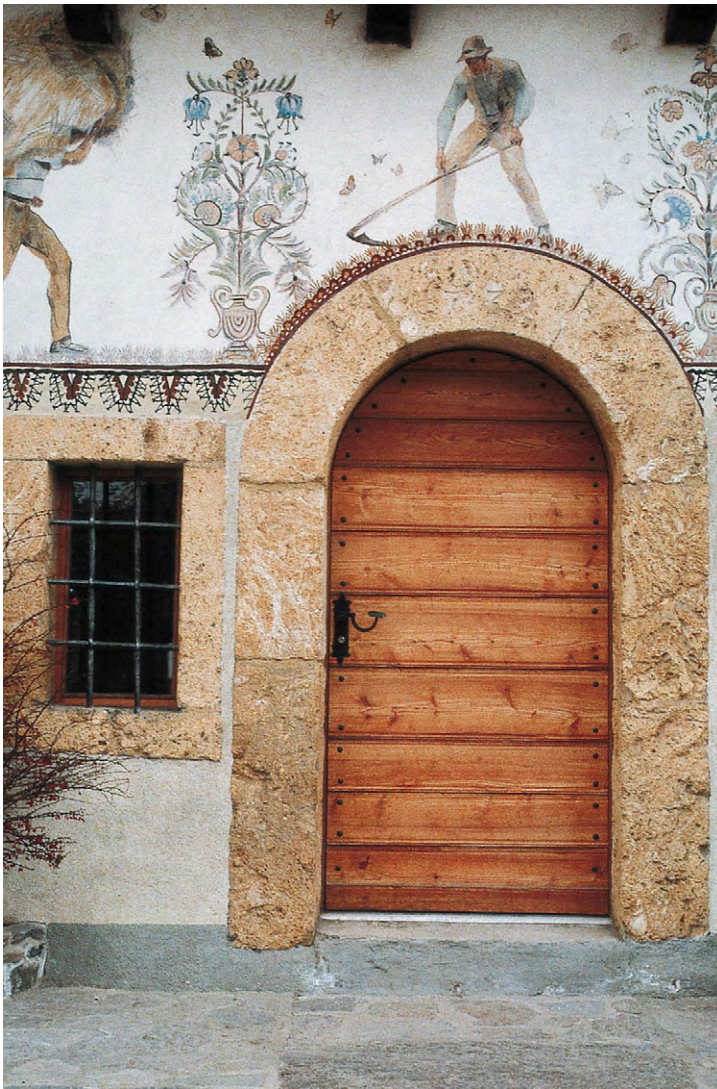
Abbildung 6.39: Kalktuffquader am Turm der Kirche von Neuenegg BE (16. Jahrhundert).

rich, 1892–94; bei beiden Bauten Material von Bütschwil im Toggenburg; [Abbildung 6.11](#)). Die Mehrzahl der Tufflager – es müssen mehrere hundert gewesen sein – war schon im 19. Jahrhundert völlig verschwunden. Im Bausteinband (1915) ist als einzige Abbaustelle Corpataux FR erwähnt. Es war wohl das mächtigste schweizerische Vorkommen; sicher schon im 13. Jahrhundert im Betrieb, lieferte es 1890 1500 Kubikmeter und um 1908 immerhin noch 300 Kubikmeter jährlich. Der Abbau wurde in den Sechzigerjahren eingestellt. Grosse Bedeutung hatte das bereits den Römern bekannte Vorkommen von Leuzigen BE, welches wahrscheinlich 1500 Jahre lang bis ins 20. Jahrhundert hinein abgebaut worden ist.

Von den über tausend Bauwerken mit Kalktuff können hier nur einige wenige stellvertretend genannt werden: Der romanische Kirchturm von Meiringen, die (in der Bahnhofunterführung sichtbaren) Mauern und Türme des 3. Befestigungsrings

Abbildung 6.40: Turm aus Kalktuff (sogenannter Bluturm) der vierten Erweiterung der Stadt Bern im 14. Jahrhundert.





6.41

der Stadt Bern (1345), der Stockalperpalast in Brig (1658–78), die Kirche Eglisau (1716) und der Pont du Milieu in Freiburg (1720; siehe auch [Abbildungen 6.37, 6.39, 6.40](#)).

In einigen Alpentälern ist anstelle von Kalktuff die ihm punkto Aussehen und Eigenschaften erstaunlich ähnliche *Rauhwacke* der Trias verwendet worden. De Quervain nennt eine Zahl von 150 – 200 Objekten; praktisch alle sind älter als 1800, mit einem Höhepunkt im spätgotischen Kirchenbau. Geographische Schwerpunkte sind das Berner Oberland (Saanenland, unteres Kandertal, Spiez), das Oberengadin (Sameden) und das Oberwallis (Ernen, Saastal; [Abbildung 6.41](#)).

*Schiefer:* In allen alpinen Regionen mit entsprechenden Vorkommen sind plattig-schiefrige Gesteine seit jeher als Dachbedeckung (Dachschiefer) verwendet worden. Über ihre Anwen-



6.42



6.43

derung in den Städten, die von 1400 bis 1900 bedeutsam war, ist man schlecht dokumentiert. Heute sind es nur noch einige wenige Ortschaften im Alpenraum, in denen Dächer mit meist einheimischem Material gedeckt werden, aus Gründen der Tradition oder der Ortsbildpflege. Schiefer für Schreib- und Wandtafeln waren aber auch während längerer Zeit ein bedeutender Exportartikel: in einer Zusammenstellung des Aussenhandels in «Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz» für die Zeit von 1878–82 sind Schiefer die einzige Gesteinsart mit einem Exportüberschuss. Die wichtigen Schiefervorkommen der Alpen entsprechen schwach metamorphen kalkig-tonigen Sedimenten mesozoischen (untergeordnet karbonischen) Alters. Von besonderer Bedeutung sind Schiefer des Flyschs (Glarnerschiefer von Elm und Engi, Niesenschiefer) und des Mesozoikums der Wurzelzone im Wallis.

Abbildung 6.41: Torbogen aus Rauhwacke am ehemaligen Bürgerhaus in Ernen VS (17./18. Jahrhundert).

Abbildung 6.42: Schiefergewinnung im Niesenflysch des Engstligentals.

Abbildung 6.43: Spalten von Schiefertafeln im Engstligental (Mitte des 20. Jahrhunderts).



**Glarnerschiefer:** Die Schiefer von *Engi* werden erstmals um die Mitte des 16. Jahrhunderts erwähnt, bezeichnenderweise als «schwarzer Tischmarmor» (marmor mensarium nigrum). Das Gestein lässt sich in Platten von grossen Dimensionen, aber nicht unter ein bis zwei Zentimetern Dicke spalten; es war daher vorab für Bodenbeläge, Fenstergesimse sowie Tisch-, Wand- und Ofenplatten geeignet, kaum hingegen als Dachschiefer. Eine Spezialität waren eingelegte Schiefertische, welche vom 16. bis gegen Ende des 18. Jahrhunderts nach Deutschland, Frankreich, Holland, England, Österreich und Ungarn exportiert worden sind. Auch später war der Export wichtig, wurden doch jährlich mit dem «Glerner Tafelschiff» 160 bis 200 Kisten Schieferplatten rheinabwärts nach Holland und England gebracht (und von dort nach Ost- und Westindien verschickt). Nach einer Krise am Ende des 18. Jahrhunderts gelangten die Gruben im 19. Jahrhundert mit dem Bau einer Zufahrtsstrasse und der Übernahme durch den Kanton Glarus 1832 zu ihrer grössten Blüte; aus dem «Blattenberg» der frühen Karten wurde der «Landesplattenberg». Ab 1850 wurde Untertagebau betrieben. 1862 waren über 150 Arbeiter beschäftigt; produziert wurden in jenem Jahr 700'000 Dachplatten, 30'000 Schreibplatten und 85'000 Quadratfuss Bodenplatten. Die Bedeutung ging dann sukzessive zurück: 1921 wurden die Brüche privatisiert, 1926 der Abbau durch einen Felssturz erschwert, 1961 erfolgte die endgültige Stilllegung.

Die Schiefer von *Elm*, eigentliche Dachschiefer, lassen sich in viel dünnere, aber kleinere Platten spalten als diejenigen von *Engi*; sie sind deutlich quarzärmer und karbonatreicher, und wurden nur zu Schreib- und Wandtafeln verarbeitet. Die Brüche wurden in den sechziger Jahren des 19. Jahrhundert als Tagebaue eröffnet. Ein grosser Teil der beträchtlichen Produktion wurde von der Firma Faber in Nürnberg abgenommen. 1881 ereignete sich als Folge des unsachgemässen Abbaus ein verheerender Felssturz (Bergsturz von Elm): Um zehn Millionen Kubikmeter Gestein zerstörten Teile der Ortschaft Elm und forderten 115 Menschenleben. Zehn Jahre danach wurde die Schiefergewinnung im Untertagebau wieder aufgenommen. Die Krise während des ersten Weltkrieges konnte gemildert werden durch den Bau einer Schiefermühle, deren Produkte in Deutschland in grossen Mengen zum Bemalen von Kriegsschiffen verwendet wurden. Auf eine erstmalige vorübergehende Schliessung der Gruben 1927 folgte 1936 die definitive Stilllegung.

**Niesenschiefer:** Der Abbau feinschiefriger Lagen im Flysch der Niesendecke im Berner Oberland hatte zwei räumliche

Schwerpunkte. In der Umgebung von *Mülenen* betrieb der Staat Bern ab 1800 Gruben für Dachschiefer. Die Nachfrage war unregelmässig; bald konnte in Nachbarkantone exportiert werden, bald musste der Absatz wieder durch Zwangsmassnahmen gefördert werden, beispielsweise 1863 durch die Anordnung, die Stationsdächer der bernischen Staatsbahnen seien mit Schiefer zu decken. In den besten Jahren wurden immerhin anderthalb Millionen Stück Dachschiefer produziert. Eine Statistik der Aareschiffahrt weist für die Periode Juli bis Dezember 1825 den Transport von 566'458 Stück Dachschiefer von Thun nach Bern aus. Ende der sechziger Jahre wurden die Gruben geschlossen. In siebzig Jahren waren immerhin in einer wirtschaftlich schwachen Region gegen 800'000 Tagelöhne ausbezahlt worden.

Im *Engstligental* zwischen Frutigen und Adelboden sind an den steilen Hängen der Niesenketten zwischen 1840 und 1978 in vielen, kleinen Stollen beträchtliche Mengen Schiefer gewonnen worden, insgesamt zwischen fünfzig- und hunderttausend Tonnen ([Abbildung 6.42](#)). Hergestellt wurden fast ausschliesslich kleine Schreibtäfelchen ([Abbildung 6.43](#)); für diesen Zweck gehörte das Gestein zu den geeignetsten in Mitteleuropa. Entsprechend bedeutend waren die Exporte, vor allem nach der Eröffnung der Bahnverbindung Thun-Frutigen im Jahre 1901. Gemäss einer Aufstellung im Bausteinband sind 1906–11 von Frutigen aus über tausend Wagenladungen ins Ausland gegangen, der grösste Teil nach Deutschland, aber auch nach Riga und Petersburg. Mit dem Ersten Weltkrieg begannen Jahrzehnte stark wechselnder Konjunktur, die 1967 mit der Einstellung des Exports und 1978 mit der Schliessung der Gruben endeten. Der Grund, warum der ausländischen Konkurrenz so lange standgehalten werden konnte, lag in den niedrigen Lohnkosten: Die meisten Grubenarbeiter waren im



6.44

Abbildung 6.44: Schieferdach aus einheimischem dunklem Kalkschiefer in Termen VS.



Hauptberuf Bergbauern. Ein grosses soziales Problem waren die hier häufig auftretenden Langzeit-Silikosenerkrankungen.

*Mesozoische Dachschiefer des Wallis:* In mehreren, meist unterirdischen Gruben bei *Termen* unweit Brig sind während langer Zeit dunkle Kalktonschiefer des gotthardmassivischen Lias abgebaut worden. Sie dienten vorab im Oberwallis als Dachschiefer ([Abbildung 6.44](#)). Im Unterwallis sind im Bereich der helvetischen Wurzelzone an verschiedenen Stellen (z.B. bei *Sembracher*, *Vollèges*, *Orsières*, *Saxon* und *Leytron*) beträchtliche Mengen von Dachschiefern und -platten gewonnen worden. Neben lokaler Verwendung scheint auch viel Material in die übrige Welschschweiz versandt worden zu sein.

*Tonschiefer des Karbons* aus der Mulde von *Salvan-Dorénaz* im Unterwallis hatten früher wegen ihrer hervorragenden Qualität (hoher Quarzgehalt, kein Karbonat) eine erhebliche Bedeutung als wetterbeständige Dachschiefer. Die bedeutendsten Abbaue befanden sich am östlichen Hang des Rhonetals zwischen Dorénaz und Alesse.

*Alabaster:* Feinkörnige Gipsgesteine sind in der Schweiz während etwa 200 Jahren verarbeitet worden, fast ausschliesslich für die Innenausstattung von Kirchen: Plastiken, Taufsteine, Abendmahlische, Grabmäler, Kapitelle und Putten, weit seltener für Architekturteile wie Portale und Halbsäulen. Vom Schwerpunkt in der Mitte des 17. Jahrhunderts (hier meist in Kombination mit Schwarzmarmoren) erstreckt sich die Zeit der Anwendung bis anfangs des 19. Jahrhunderts. Nur wenige Objekte sind älter oder jünger. Geographisch gibt es eine



6.45

Konzentration auf vier Regionen, in denen Gipsgesteine vorkommen, nämlich der Raum Aarau, der Kanton Unterwalden, das mittlere Wallis und die Umgebung von Solothurn. Besonders erwähnenswert sind etwa die gegen 30 Alabasterstatuen in der Pfarrkirche St. Peter in Stans (1647), die zahlreichen Taufsteine und Abendmahlische im Aargau (1663/84) und die Grabmäler der Familie von Erlach in der Kirche Schinznach AG (1650/1655; [Abbildung 6.45](#)). In einigen wenigen Fällen sind *gewöhnliche Gipsgesteine* im Hochbau verwendet worden, so in der Schlosskirche Valeria in Sitten VS und in der spätgotischen Kirche von Gsteig bei Saanen BE (Quader der Chorbögen).

**Abbildung 6.45:** Grabmal der Margarete und des Ludwig von Erlach in der Kirche von Schinznach-Dorf AG (1650/55). Verschiedene helle Alabastersorten und geaderte alpine

Schwarzmarmore. Herkunft aller Gesteine nicht mit Sicherheit bekannt.

## 6.2 ABBAU UND PRÜFUNG VON FESTGESTEIN

In diesem Abschnitt werden die Abläufe beschrieben, die gleichermassen für die Produktion von Naturbausteinen wie von Brechgesteinen gelten. In vielen Steinbrüchen werden ja sowohl Naturbausteine als auch Brechgesteine gewonnen. In Schotterwerken werden oft Rohblöcke in unregelmässiger oder Quaderform für Flussverbauung und Mauerbau (Stütz- und Schallschutzmauern, Garten- und Landschaftsbau) aus dem Haufwerk aussortiert oder Pflastersteine hergestellt, und auf der andern Seite werden gelegentlich in Naturstein-Brüchen die kleinstückigen Abfälle zu Schotter und Splitten gebrochen. Eingeschränkt ist diese an und für sich sehr erwünschte Abfallverwertung leider durch den Umstand, dass Bausteine, die meist wegen ihrer attraktiven Farbe und Struktur abgebaut werden, für hochwertige Brechgesteine vielfach nicht die nötigen technischen Werte (z.B. Härte, kubischer Bruch) aufweisen.

Zum Abraum gehören ja nicht nur die im direkten Abbauprozess anfallenden Reststücke, sondern auch die vor dem eigentlichen Abbau nötige Entfernung der Überdeckung aus Erde und oberflächlich bereits dekomprimiertem Gestein. Solche Überdeckungen können wenige Zentimeter bis mehrere Meter mächtig sein. Auch im tieferliegenden Festgestein produzieren zerrüttete oder schiefrige Zonen, die sich nicht einmal für das Brechen eignen, oft grosse Abraum-Mengen. Bei kleinen Steinbrüchen, wie sie früher die Regel waren, konnte man den Abraum den Hang hinunterkippen und benutzte die dadurch langsam entstehende Fläche am oberen Ende der Halde als willkommenen Arbeitsplatz. Das ist heute oft nicht mehr möglich; entweder sind die Halden zu gross geworden und reichen an Strassen, Grundstücksgrenzen und dergleichen heran oder sie sind aus raumplanerischer Sicht nicht mehr erwünscht. Die Abraumbeseitigung wird damit vielfach zu einem grossen (und kostenträchtigen) Problem, wenn geeignete Deponien gesucht und das Material in oft längeren Transporten darin entsorgt werden muss.

Im vorliegenden Kapitel wird im weitem auch kurz auf einige wichtige Prüfverfahren für Festgesteine eingegangen und es werden einschlägige Normenverzeichnisse dazu zitiert.

### 6.2.1 ABBAUVERFAHREN IM STEINBRUCH

Um aus Festgestein – dem Fels im eigentlichen Sinne – überhaupt Steinprodukte herstellen zu können, muss der «Grossverband» des Gesteins gelöst werden. Seiner Kompaktheit und Härte wegen kann das nicht, wie etwa bei Lockergestein, mit einem Bagger oder einer Ladeschaufel geschehen, sondern es müssen andere Methoden eingesetzt werden. Die zwei üblichen Hauptverfahren sind das Sprengen und das Schlitzzen:

Beim *Sprengen* wird der Grossverband durch die freigesetzten Gase gewaltsam auseinander gerissen. Dabei erfolgt die Durchtrennung des Verbandes ungesteuert, das heisst es lässt sich nur in engen Grenzen durch die Wahl der Sprengstoffe und deren Menge und die Anordnung der Bohrlöcher ein gewisser Einfluss auf das «Haufwerk» nehmen. Die natürlichen Strukturen im Fels und die Gesteinseigenschaften haben auf die Form und Grösse der gelösten Blöcke einen grossen Einfluss.

Zur Gewinnung von Bausteinen trachtet man danach, möglichst grosse, unbeschädigte Blöcke zu gewinnen, die sich auf modernen Maschinen weiterverarbeiten lassen und die auch keine durch die Sprengung verursachten Mikrorisse aufweisen ([Abbildung 6.47](#)). Man setzt dafür schwachbrisante Sprengstoffe, beispielsweise Schwarzpulver ein, die keine «harte» Explosion, sondern eher eine «schnelle Verbrennung» mit nicht zu rasch ansteigendem Gasdruck bewirken, und so den Fels mehr auseinander schieben als reissen. Vielfach bezweckt man nicht einmal ein Niederstürzen der gesprengten Partie, sondern «versetzt» lediglich eine Bank von wenigen hundert Kubikmetern um einige Meter nach vorne, wo sie stehen bleibt, in sich aber entlang natürlichen Lagern und Klüften geöffnet wird (Versatzsprengung). Sprengungen für die Gewinnung von Baustein sind verlustreich, da der Anteil an kleinstückigem Material sehr hoch ist. Konnten bei der früheren Handverarbeitung auch noch kleine Blöcke weiterverarbeitet werden, so ist das mit modernen Maschinen kaum mehr möglich. Nur gerade noch die Pflaster- und Mauersteinherstellung bedienen sich der kleinen Stücke. Für das Sägen von Platten sollten Blöcke quaderförmig und über zwei Kubikmeter (bis maximal acht Kubikmeter) gross sein. Nur bei besonders attraktiven Gesteinen lohnt sich auch das Aufsägen von wildförmigen kleineren Blöcken. Zurzeit sprengen noch eine ganze Anzahl Steinbrüche; langfristig werden sie aber zu schonenderen Methoden übergehen müssen, es sei denn, sie könnten eben aus ihrem Gestein sowohl Bausteine wie auch Brechgesteine herstellen (wie z.B. die Kalksteinbrüche Lägern).





6.46



6.47



6.48



6.49

Abbildung 6.46: Seilsäge (Diamantseilsäge). Das Diamantseil (siehe [Textkasten Seite 218](#)) wird vom Antriebsaggregat durch den Fels «gezogen». Zum «Einfädeln» des Seils müssen zuerst ein horizontales und ein vertikales Loch gebohrt werden.

Abbildung 6.47: Sprengen. Lösen und Umlegen eines Grossblockes, der dann liegend weiter aufgeteilt wird (siehe [Abbildung 6.49](#)).

Abbildung 6.48: Schrämen. Mit einer Kettensäge, die mit Hartmetallzähnen bestückt ist, werden Schlitzte in den Fels «geschrämt». Diese Methode eignet sich nur für nicht zu harte Gesteine.

Abbildung 6.49: Abbohren. Mit einer Bohrlafette, hier an einem Bagger befestigt, wird Loch an Loch gebohrt und mit Spreizkeilen dann der Block getrennt. An der Wand sind solche (halben) Bohrlöcher sichtbar.



Ist das Ziel jedoch die Herstellung von Brechschotter, so wird man schon bei der Sprengung hochbrisanter Sprengstoffe verwenden, um den Fels möglichst kleinstückig zu machen und weniger Zerkleinerungsenergie im Brecher aufwenden zu müssen ([Abbildung 6.85](#)). Hier werden meist auch wesentlich grössere Massen «abgeschossen», bis 10'000 und mehr Kubikmeter aufs Mal. Grosse Vorbrecher (der erste Brecher in einer Verarbeitungslinie) bewältigen mit einer Maulweite von 100 auf 150 Zentimeter auch mächtige Brocken; sind sie aber noch grösser, so müssen sie zuerst «geknäppert», das heisst mit einer aufgelegten kleinen Sprengladung oder durch Zerschlagen mit einer tonnenschweren Eisenkugel am Bagger verkleinert werden. Für die Herstellung von Brechgesteinen wird die Sprengung auch langfristig das Mittel der Wahl bleiben.

Diesem eher ungesteuerten Abbau durch Sprengung steht die Gewinnung von Blöcken in *Schlitzverfahren* gegenüber. Dazu zählen wir alle Methoden, die in irgendeiner Form die gewünschte Blockgrösse direkt aus dem Fels heraustrennen:

- *Abbohren*: Entlang der gewünschten Trennlinie wird Loch an Loch gebohrt, je nach Gestein mit wenigen Zentimetern bis maximal 15 Zentimeter Abstand ([Abbildung 6.49](#)). Durch Keile, hydraulische Spreizylinder oder Sprengschnüre werden dann die Stege zwischen den Bohrlöchern zerrissen. Bei gut geschichteten (lagerhaften) Gesteinen kann darauf verzichtet werden, auch die Basisfläche zu bohren. Als Bohrgeräte dienen alle auch aus dem Bergbau bekannten Maschinen: Einfache, von Hand geführte Presslufthämmer, auf Schienen verfahrbare Bohrlafetten mit einem oder mehreren Hämmern oder Drehbohrern wie auch Im-Loch-Hämmern.
- *Seilsägen*: Schon seit langer Zeit wurden Seilsägen verwendet, bei denen ein gedrehter Doppeldraht (Helicoidaldraht) Quarzsand über den Stein mitriss und so die Sägewirkung erzeugte. Da sich dabei auch der Draht rasch abnutzte, war er sehr lang (bis Kilometer), was nötig machte, den Draht über komplizierte Rollensysteme zu führen. Die eigentliche Schnittlänge im Fels betrug aber immer nur wenige bis maximal 20 Meter. Dieses alte System ist weitgehend verschwunden und hat dem Diamantseil Platz gemacht. Bei diesem sind auf einem Stahlkabel Bronzeperlen aufgereiht, die die Diamantsplitter enthalten (siehe [Textkasten Seite 218](#)). Die Standzeiten solcher Seile sind natürlich sehr viel länger, so dass sie nicht mehr über Rollensysteme geführt werden müssen. War beim alten Sandseil nur das Schneiden

senkrecht von oben nach unten möglich, da sonst der Draht den mit Wasser zugegebenen Quarzsand nicht mitziehen konnte, ist das Diamantseil in jeder Richtung einsetzbar. Das Seil muss nicht mehr durch Rollen geführt werden, sondern man legt es einfach um den Fels herum und zieht es dann hindurch, indem der Antriebsmotor auf Schienen rückwärts gezogen wird ([Abbildung 6.46](#)). Um das Seil um den Fels legen zu können, müssen natürlich Löcher gebohrt werden, durch die es kunstvoll eingefädelt oder mit Druckluft eingeblasen wird.

- Das *Schrämen* ist eine weitere Trennmethode: Es handelt sich um nichts anderes als eine Kettensäge mit Hartmetallzähnen, deren Schwert bis 3 Meter lang sein kann. Trennen lassen sich damit allerdings nur weichere Gesteine (z.B. Sandstein, gewisse Kalksteine). Die Schrämsäge erlaubt einen besonders präzisen Schnitt ([Abbildung 6.48](#)).
- Noch nicht in der Schweiz angewendet werden zwei weitere Verfahren, bei denen der Block durch Hitze respektive Druck gelöst wird: Die *Sauerstofflanze* brennt unter unheimlichem Getöse einen 6 bis 10 Zentimeter breiten Schlitz in das Gestein, während der *Wasserjet* mit einem Wasserstrahl von mehr als 2000 bar Druck das Gestein mechanisch schlitzt.

Die verschiedenen Methoden können selbstverständlich miteinander kombiniert werden.

Sowohl das Sprengen wie auch das Schlitzen mit einer der beschriebenen Methoden lassen sich nur dann ökonomisch einsetzen, wenn ein Steinbruch entsprechend «systematisiert» ist. Beim Sprengabbau versucht man mit Stufen von 20 bis 30 Meter Höhe (Sohlabbau) eine treppenartige Felsfront zu formen, damit

#### Ältere Abbaumethoden

Bevor die heutigen mechanischen Mittel zur Verfügung standen, wurden die Schlitzte in weichen Gesteinen von Hand mit dem Zweispitz ausgehauen. Diese waren nicht breiter als etwa 10 bis 15 Zentimeter. Um die Schlitzte tief genug hauen zu können, hatten die Zweispitze Stiele bis zu 2 Meter Länge. In alten Steinbrüchen sieht man noch vielerorts die typischen Muster des Zweispitzes und findet gelegentlich sogar noch alte Schlitzte, die Zeugnis ablegen von dieser mühseligen Abbaumethode.

Zu den alten Methoden gehört auch das Abkeilen von Blöcken: Je nach Gestein wurden entlang der gewünschten Spaltflächen kürzere oder längere Löcher von 5 bis 10 Zentimeter Durchmesser von Hand gebohrt (Kreuzbohrer und Schlegel: Ein Mann fixierte den Kreuzbohrer mit einer langen Zange, der andere schlug mit dem 5 bis 8 Kilogramm schweren Schlegel darauf) und dann Holzkeile eingeschlagen. Durch laufendes Wässern quollen die Keile langsam und vermochten so das Gestein durchzureissen.

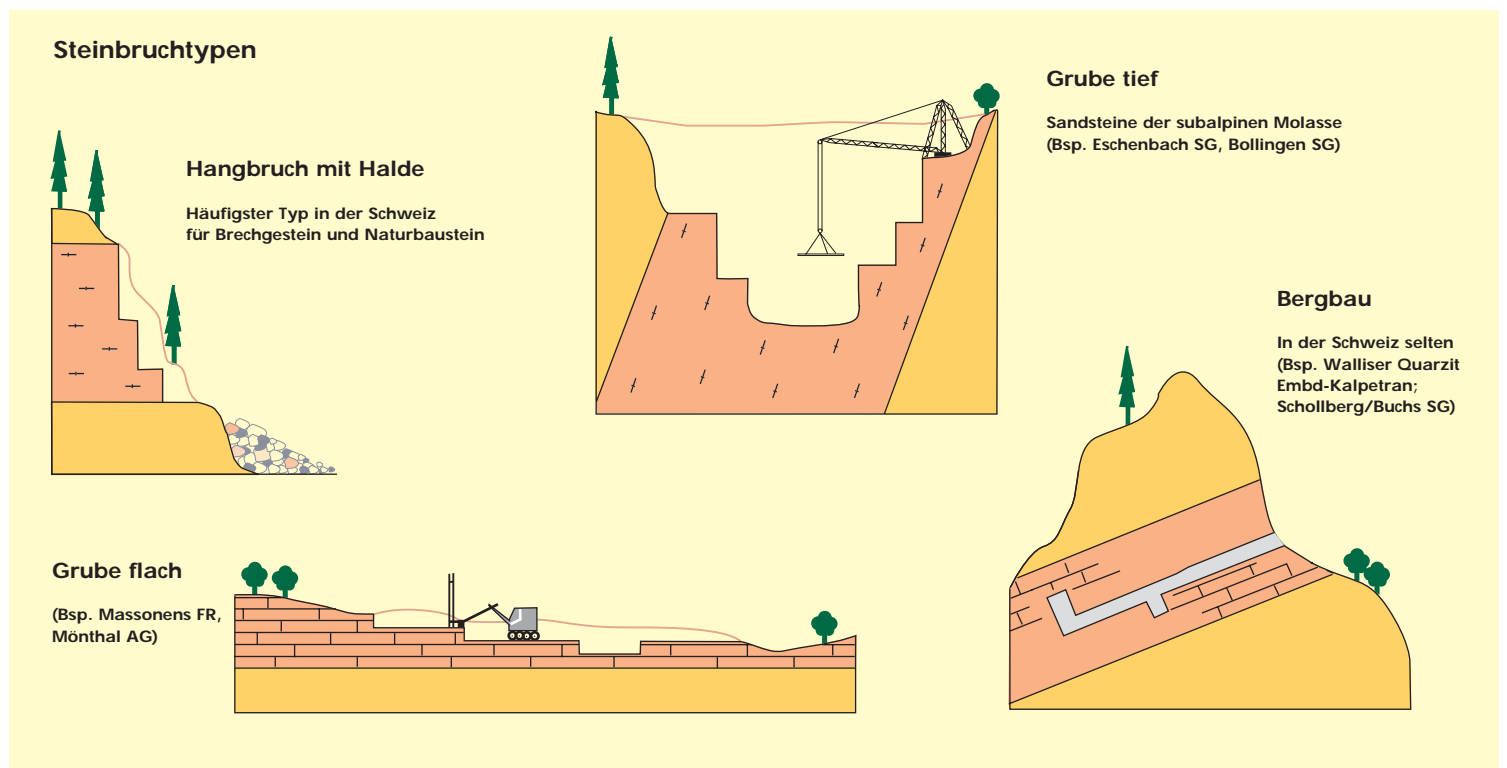




6.50



6.51



6.52

auf den einzelnen Sohlen Räumfahrzeuge zum Hinunterstossen des gesprengten Gesteins eingesetzt werden können.

Beim Schlitzten ist das Anlegen von Abbaubänken, die ungefähr die spätere Blockhöhe aufweisen, wichtig. Bei uns seltener praktiziert wird das Lösen von Grossblöcken von einigen hundert Kubikmetern Grösse (Höhe bis 10 m, Länge bis 20 m, Tiefe 1.5–3 m), die dann umgekippt und in Sägeblockgrösse aufgetrennt werden.

Das Systematisieren eines Steinbruches ist nicht einfach: Eine geometrisch richtige Anlage wird eingeschränkt durch die topografische Lage des Bruches, durch den Felsverlauf, durch Klüftung, Störungszonen oder Gesteinswechsel, durch Grenzverläufe, durch planungsrechtliche Vorschriften und weitere Kriterien. Es verwundert daher nicht, dass eine Mehrzahl von Steinbrüchen nicht optimal angelegt und ausgebeutet werden können.

Abbildung 6.50: Steinbruch bei Someo/Riveo, Maggiatal (TI). Die Mehrzahl der schweizerischen Steinbrüche sind solche «Hangbrüche».

Abbildung 6.51: Steinbruch (Grube) La Sarraz (VD). Typischer flacher Grubenbruch

Abbildung 6.52: Verschiedene Steinbruchtypen (schematisch). Am häufigsten in der Schweiz sind Hangbrüche.

## 6.2.2 STEINBRUCHTYPEN

Welche Form ein Steinbruch hat, hängt von der Morphologie des Geländes (Oberflächenform) und vom Verlauf der abzubauenen Schichten ab. Je flacher das Gelände und je flacher die Schichten liegen, desto einfacher gestaltet sich die Anlage des Bruches. Ist aber beispielsweise das Gelände steil und tauchen zudem die Schichten steil bergseits ein, kann unter Umständen ein Abbau gar nicht vernünftig angelegt werden, es sei denn, man gehe zum Stollenbau über ([Abbildung 6.52](#)).

*Hangbruch:* Im natürlichen, mehr oder weniger steilen Hang wird eine Nische angelegt und das Gestein, immer weiter horizontal in den Hang eindringend, abgebaut. Dabei vergrößert sich der «Bruchboden» laufend, was natürlich sehr erwünscht ist. Mit zunehmender Höhe der Bruchwand können Stufen angelegt werden ([Abbildung 6.52](#)). Der Abbau ist rationell, da das gewonnene Material wie auch der Abraum nur von oben nach unten transportiert werden müssen. Zum Transport innerhalb des Steinbruchbereiches dienen neben schweren Radladern, die Blöcke und Abraum transportieren können, oft auch noch «Derricks» (Krane mit einem senkrechten Mast und am Boden angelenktem Ausleger, der gedreht und gesenkt/gehoben werden kann; früher baute man sie aus Holzstämmen, heute bestehen sie aus filigranen Gitterkonstruktionen; siehe [Titelbild zum Kapitel 6](#)). Schwere Blöcke werden oft auch mit einer Winde und Drahtseil von der Bruchwand weggezogen. In Schotterwerken genügen natürlich Radlader und etwa auch Bagger. Dieser «bequemste» Bruchtyp ist in der Schweiz gleichzeitig der häufigste (z.B. alle Tessiner Steinbrüche).

*Grube:* Grubensteinbrüche werden in ebenem Gelände angelegt, wenn die abzubauenen Schichten flach und nicht zu tief liegen. Hier wird durch einen Geländeeinschnitt zuerst ein Bruchboden auf dem tiefsten Abbauniveau angelegt und von dort aus dann ähnlich abgebaut wie beim Hangbruch ([Abbildung 6.52](#)). Praktisch alle Kiesgruben sind nach diesem Prinzip angelegt. Festgesteinsbrüche dieser Art sind eher selten.

*Schachtbruch:* Hier zwingt meist der Verlauf der abbauwürdigen Schichten dazu, in die Tiefe zu gehen. Dabei entstehen mehr oder weniger breite Schächte, die Dutzende von Metern unter die Oberfläche reichen können. Abraum und Blöcke müssen aufwendig aus der Tiefe gehoben werden. Auch diese Brüche sind selten (z.B. Sandsteinbrüche «Brand» und «Leholz» bei Eschenbach/Bollingen SG).

*Stollenabbau:* Der Gesteinsabbau im bergmännischen Verfahren (Stollen und Kavernen) ist sehr aufwendig und rechtfertigt sich nur, wenn ein besonders wertvolles Gestein verfolgt werden muss (z.B. Quarzitbruch Kalpetran/Embd) oder wenn wegen Naturschutz und Raumplanung ein oberirdischer Abbau nicht zulässig ist (z.B. Kalksteinbruch Schollberg/Buchs SG). Die Stabilisierung solcher Brüche, ihre Belüftung und der Abtransport von gutem Material und Abraum stellen besondere Ansprüche.

*Transportprobleme im Steinbruch:* Bis zum Zweiten Weltkrieg waren neben Holzderricks Pferdewagen und Rollbahnen noch gängige Requisiten für den Transport von Blöcken und Abraum (im Sandsteinbruch Rooterberg funktioniert heute noch ein Holzderrick). Sie sind heute ersetzt durch die modernen Mittel wie Radlader, Kippmuldenfahrzeuge, Bagger, Förderbänder, sowie Kranen jeder Art, wie sie auch im übrigen Bauwesen eingesetzt werden.

Transporte in, von und zu Steinbrüchen sind heute weniger ein Problem der mechanischen Mittel als der Umweltakzeptanz. Schotterwerke haben Jahreskapazitäten von bis zu 200'000 Kubikmetern; Mengen, die eine grosse Zahl von Camionfahrten und allenfalls ganze Eisenbahnzüge bedingen. Bei Natursteinbrüchen sind die produzierten Mengen um ein Vielfaches kleiner, doch kann die Häufung von Brüchen, wie beispielsweise im Maggiatal, zu starken Belastungen der oft einzigen Strasse führen. Für die Transporte ausserhalb des Steinbruches sind die Mittel die gleichen wie für andere Güter, nämlich die Bahn und der Strassenverkehr mit Camions. Weil meistens weder die Steinbrüche noch die Zielorte direkt an Bahnlinien liegen, stellt sich immer das Problem des mehrmaligen Umschlages (Camion–Bahn–Camion), das verteuern wirkt, so dass meist zum reinen Strassentransport gegriffen wird.

## 6.2.3 PRÜFVERFAHREN

Festgesteine werden geprüft, damit sie in technischer Hinsicht untereinander verglichen werden können und ihre Eignung für bestimmte Anwendungen festgelegt werden kann. Hierzu muss systematisch und reproduzierbar vorgegangen werden. Mittels Messtechnik und Beobachtung werden technische Kennwerte bezüglich Zusammensetzung, Struktur, Festigkeit, Chemismus, Porosität und andere Eigenschaften festgestellt. Daraus soll schliesslich hervorgehen, wie und wofür ein Material verwendet werden kann, ob bestimmte



Kriterien besonders beachtet werden müssen und wie sich das zu prüfende Material auf Dauer verhalten wird. Die periodische Neuüberprüfung der Eigenschaften eines bestimmten Gesteines soll allfällige Veränderungen im Abbaubereich registrieren und eine kontinuierliche Qualität in der Anwendung sichern.

Im Bereich Naturstein gibt es eine Vielzahl von Normen und Empfehlungen, die entweder bestimmte einzelne Eigenschaften erfassen sollen (Prüfvorschriften) oder solche Eigenschaften in Form von Kennwerten in Zusammenhang mit Verarbeitungsanleitungen für eine bestimmte Anwendungsart vorschreiben (Anwendungsvorschriften). Im Sinne einer europäischen Standardisierung werden die geltenden nationalen Normen und Prüfvorschriften zurzeit zu einem einheitlichen Normenwerk vereinigt. Einen Überblick über das Normenwesen gibt das [Kapitel 6.2.3.5](#). Die europäischen Normen «EN» sind zum Teil noch im Vernehmlassungsverfahren.

In bezug auf die schweizerischen Natursteine steht in Fachkreisen ein grosser empirischer Erfahrungsschatz zur Verfügung, da man ihre Eignung in vielen Anwendungsarten gut kennt. Die Prüftechnik ermöglicht hier einen objektiven Vergleich der technischen Eigenschaften, bestätigt aber in vielen Fällen Altbekanntes. Wichtig wird die Prüftechnik auch für bekanntes schweizerisches Material, wenn in neuartigen Anwendungsarten neuartige Belastungen entstehen oder wenn es darum geht, die Eigenschaften von einheimischen Gesteinen mit denen importierter Gesteine zu vergleichen. Unverzichtbar wird die Prüftechnik, wenn Gesteine in sicherheitsrelevanten Anwendungsarten wie im modernen Fassadenbau oder in tragender Funktion an Ingenieurbauten verwendet werden. Besonders wertvoll ist die Prüftechnik bei der Erfassung der verbleibenden Gesteinsqualität an bestehenden Bau- oder Bildwerken. Hier kann der Grad der Verwitterung, die Verwitterungstiefe oder eine eventuelle Kontamination mit schädlichen Bausalzen (hauptsächlich Chloride, Nitrate, Alkalien) festgestellt und damit eine wissenschaftliche Grundlage für Erhaltungsmaßnahmen geschaffen werden ([vergleiche Kapitel 6.5](#)). Unverzichtbar sind diese Informationen bei der Formulierung von Steinerfüllungsmörteln (Reprofilierungen). Nach erfolgten Konservierungs- und Ergänzungsmaßnahmen besteht die Möglichkeit, den Erfolg gezielt zu überprüfen.

Bei den Prüfverfahren unterscheidet man grundsätzlich zerstörende Verfahren von nicht zerstörenden Verfahren, wobei auf letztere nicht genauer eingegangen wird. Die nicht zerstörenden Verfahren beruhen auf physikalischen Wechselwirkungen zwischen dem zu untersuchenden Baustoff und einem künstlich erzeugten Feld oder einer Strahlung (z.B.

Radar, Schall, Wärme, Potentialmessung, Mikrowellen, Gammastrahlen). Das Interesse an nicht zerstörenden Verfahren ist besonders bei der Erfassung des Gesteinszustandes an historischen Bauwerken gross, wobei diese Verfahren zurzeit auf viele Fragen keine befriedigende Antwort zu geben vermögen. Aus diesem Grund kommen bei der Prüfung des Zerfallszustandes eines Gesteines an bestehenden Bauten wie bei der Prüfung von bruchfrischem Material vor allem zerstörende Prüfmethoden zum Zug.

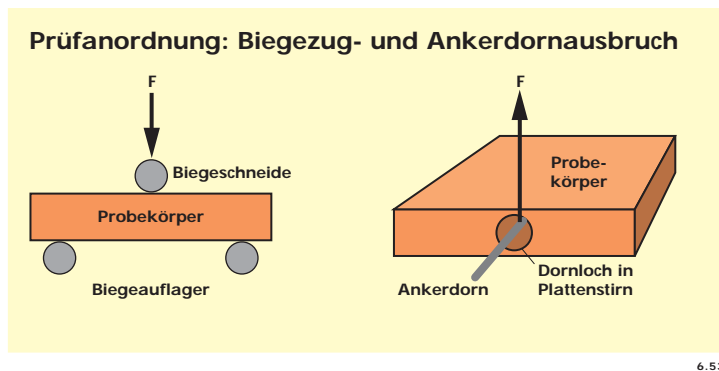
Die in der Praxis wichtigsten Prüfverfahren werden im Folgenden mit Angabe der gängigen Prüfvorschriften kurz beschrieben. Sie richten sich nach den deutschen DIN-Normen, da die Schweiz über keine Prüfnormen für Natursteine verfügt. Das wird sich allerdings in Kürze ändern, da die neuen Euronormen auch für die Schweiz in Kraft treten werden.

### 6.2.3.1 Festigkeitsprüfungen

**Druckfestigkeit [DIN 52 105]:** Die Druckfestigkeit eines Gesteines wird in der Praxis durch einachsige Belastung eines würfelförmigen oder eines zylindrischen Probekörpers bis zum Bruch ermittelt. Der Festigkeitswert wird in  $\text{N/mm}^2$  angegeben. Die Grösse der Probekörper liegt in der Regel bei 50 mm Kantenlänge für Würfel und bei Zylindern (Bohrkernabschnitte) bei 50 mm Durchmesser und Höhe. Bei grobkörnigen, grossporigen oder grobkristallinen Gesteinen muss die Probekörpergrösse gesteigert werden, wobei die angegebenen Masse mindestens das Zehnfache der maximalen Korn- bzw. Porengrösse betragen sollen.

**Elastizitätsmodul:** Der E-Modul ist ein Mass für die elastische Verformbarkeit eines Materials. Der Wert wird in  $\text{N/mm}^2$  angegeben und bezeichnet die theoretische Kraft, die auf das jeweilige Gestein ausgeübt werden müsste, um es auf 50% der ursprünglichen Länge zusammenzudrücken. In Wirklichkeit kann der Belastungswert nicht erreicht werden, da Gesteine zu den spröden Materialien zählen und die Bruchlast bei weitem überschritten wird. Der Wert wird mittels Ultraschall oder durch zyklische einachsige Druckbelastung bei einem Drittel der Bruchlast ermittelt (z.B. gemäss Norm SIA162/1, Prüfung Nr. 3).

**Biegezugfestigkeit [DIN 52 112]:** Die Biegezugfestigkeit eines Gesteines wird an prismatischen Probekörpern durch Belastung bis zum Bruch ermittelt. Eine gängige Prüfanordnung ist in [Abbildung 6.53](#) dargestellt. Im Grunde wird das Gesteinsgefüge einer Zugbelastung ausgesetzt. Die Geometrie der Prüfan-



6.53

ordnung ist genau vorgegeben. Der Wert wird in  $\text{N/mm}^2$  angegeben und ist ein Mass für die Biegebeanspruchbarkeit eines bestimmten Gesteines. Der Probekörper kann beispielsweise  $20 \times 4 \times 3$  cm gross sein.

**Ankerdornausbruchversuch [DIN 18 516]:** Die Ankerdornausbruchkraft (F) bezeichnet eine ganz spezifische Belastungsart, die im modernen Fassadenbau auftritt (Abbildung 6.53). Der Wert wird in Newton (N) angegeben, wobei die Prüfumstände (Steindicke, Dorndurchmesser und -länge) anzugeben sind. Der Probekörper ist im Normalfall  $15 \times 15 \times 3$  cm gross, das Dornloch hat 10 mm und der Dorn, der eingemörtelt wird, 6 mm Durchmesser.

**Abriebfestigkeit [DIN 52 108]:** Die Abriebfestigkeit ist ein Mass für die mechanische Abnutzung der Gesteinsoberfläche, vor allem in Bezug auf die Anwendung als Boden- oder Fahrbahnbelag. In der oben genannten Prüfvorschrift (Verfahren nach Böhme) wird der Oberflächenverschleiss an einer Gesteinsprobenoberfläche durch einen genau definierten Schleifvorgang ermittelt, wobei der Wert in Volumenteilen Gesteinsabtrag pro Flächeneinheit ( $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$ ) oder als Dickenverlust (mm) der Probe angegeben wird.

### 6.2.3.2 Weitere physikalische Kennwerte

**Wärmedehnung:** Die Wärmedehnung eines Gesteines beschreibt die Längenzunahme infolge Erwärmung. Der Wert wird im Steingewerbe aus praktischen Gründen in  $\text{mm/m}/100^\circ\text{C}$  ausgedrückt, bezeichnet also die Längenänderung in Millimeter pro Meter Plattenlänge bei einer Temperaturdifferenz von  $100^\circ\text{C}$ . Diese Grösse hat im modernen Fassadenbau (Hinterlüftung) eine grosse Bedeutung bekommen, da hier die Temperaturdifferenzen wesentlich höher sind als im Massivbau oder in Verbundbauweise.

Abbildung 6.53: Prüfanordnung für die Bestimmung der Biegezugfestigkeit und der Ankerdornausbruchkraft.

**Hygrische Dehnung:** Die hygrische Dehnung eines Gesteines bezeichnet die Längenzunahme bei Wassersättigung im Gegensatz zum trockenen Zustand. Vor allem tonige und mergelige Kalksteine sowie bestimmte Schiefer und Sandsteine haben im Gegensatz zu anderen gängigen Baustoffen eine erhöhte hygrische Dehnung, die auch als Quellung bezeichnet werden kann. Der Wert, der in Promille oder  $\text{mm/m}$  ausgedrückt wird, wird an prismatischen Prüfkörpern ermittelt, die bei  $20^\circ\text{C}$  passiv mit Wasser gesättigt werden. Die hygrische Dehnung hat vor allem in der Denkmalerhaltung ihre Bedeutung, taucht aber auch im Neubaubereich vereinzelt als problematische Grösse auf.

**Dichte, Trockenrohdichte, Porosität [DIN 52 102] sowie Wasseraufnahme und Sättigungswert [DIN 52 103]:** Die Dichte eines Gesteines bezeichnet das spezifische Gewicht der festen Gesteinsbestandteile ausschliesslich des Porenraumes. Die Trockenrohdichte schliesst den Porenraum mit ein und liegt damit tiefer. Die Werte werden in Gewicht pro Volumen angegeben, wobei verschiedene Einheiten gebräuchlich sind ( $\text{g/cm}^3$ ;  $\text{kg/m}^3$ ;  $\text{t/m}^3$ ). Zur Messung der Dichte werden Auftriebs-, Verdrängungs- und Ausmassverfahren in Verbindung mit Wägungen angewandt, je nach Art und Struktur des betreffenden Gesteines. In bestimmten Zusammenhängen wird die Rohdichte eines Gesteines im wassergesättigten Zustand ermittelt (Rohdichte nass).

Die Porosität eines Gesteines setzt sich aus verschiedenen Porenkategorien zusammen. Die wichtigste Unterscheidung liegt in der Differenzierung zwischen dem kapillar mit Wasser füllbaren Porenraum und dem gesamten Rest der Gesteinsporosität. Diese sogenannten Porenkennwerte werden aus den obgenannten Wägungen errechnet, wobei zur Erfassung des gesamthaft kommunizierenden Porenraumes, also auch des kapillar nicht aktiven Porenraumes, die Vakuumsättigung eingesetzt wird. Der Sättigungswert ist der Koeffizient zwischen dem sich passiv kapillar sättigenden Porenraum und dem gesamten kommunizierenden Porenraum. Dieser Wert ist eine wichtige Kenngrösse zur Beurteilung der Verwitterungs- und insbesondere der Frostbeständigkeit eines Gesteines.

### 6.2.3.3 Beständigkeitsprüfungen

**Verwitterungsbeständigkeit [DIN 52 106]:** Die Beurteilung der Verwitterungsbeständigkeit nach der obgenannten Prüfnorm stellt die umfangreichste und gleichzeitig die aussagekräftigste Beurteilung eines Gesteines hinsichtlich Verwitterungs-



verhalten dar. Sie liegt zurzeit in einer verbesserten Form als Vornorm vor. Die Beurteilung hat die Form eines Gutachtens, das sich auf sämtliche erreichbaren Daten und Erfahrungen mit dem betreffenden Gestein stützt. Enthalten sind neben qualitativen Beurteilungen auch die petrographische Bestimmung (am Dünnschliff) und nötigenfalls weitergehende chemische und mineralogische Untersuchungen, Abklärungen zu Verfärbungsproblemen, speziellen chemischen Anfälligkeiten sowie Recherchen betreffend Abbaugbiet. Damit eine Beurteilung nach DIN 52 106 möglich wird, müssen je nach Verwendungszweck des untersuchten Gesteines die Prüfergebnisse diverser, vorgängig aufgeführter Prüfungen vorliegen. Je nach individueller Eigenart des betreffenden Gesteines kann es notwendig sein, dass zusätzliche Tests und Prüfungen ausgeführt werden müssen. Diese Beurteilung kann nur von einem ausgewiesenen Fachmann durchgeführt werden.

**Frostbeständigkeit [DIN 52 104]:** Die Prüfung der Frostbeständigkeit beruht auf einer zyklischen Wechselbeanspruchung eines Gesteines im Temperaturbereich  $+20/-20^{\circ}\text{C}$ , wobei je nach Einsatzgebiet des betreffenden Gesteins die Probekörper unter verschiedenem Wassersättigungsgrad der Frostbelastung ausgesetzt werden. Je höher die Wassersättigung, desto schärfer ist die Frostbeanspruchung des Gesteinsgefüges. Bodenbeläge im Aussenbereich müssen bei voller Wassersättigung frostbeständig sein, während Fassadenmaterialien nur bei geringer Durchfeuchtung beständig sein müssen. Die Zyklenzahl wird entsprechend der zu erwartenden Beanspruchung gewählt (z.B. Klima, Situation). Der Einfluss der Frostbelastung wird optisch qualitativ erfasst (z.B. Abplatzungen, Absanden, Risse). Neben der Frostbeständigkeitsprüfung nach DIN 52 104 besteht auch die Möglichkeit einer quantitativen Erfassung der Gesteinsgefügezerstörung infolge Frosteinwirkung. Hier wird entweder die irreversible Längenänderung (Gefügauflockerung) oder der Abfall des E-Moduls gemessen. Diese Methode hat den Vorteil einer Voraussage des langfristigen Frostverhaltens bei Materialien mit mittlerer Frostbeständigkeit, also ohne sichtbare Schäden nach der Frostprüfung.

#### 6.2.3.4 Prüfungen an gebrochenem Festgestein

Die Untersuchungen an gebrochenen Festgesteinen verlaufen in etlichen Fällen analog den Untersuchungen an nicht gebrochenem, massivem Material. Hinzu kommen die Erfassung der Siebkurve und der Kornform sowie weitere, anwendungsspezifische Kennwerte wie Gesteinshärte, Polierwider-

stand oder Zertrümmerungsgrad, die vor allem im Belagsbau und in der Anwendung als Bahnschotter ihre Bedeutung haben. Für den Belagsbau ist die Norm SN 670 710d massgebend – für Bahnschotter gelten die internen Bestimmungen der SBB, wobei sich diese an die erwähnte SN-Norm anlehnen (siehe auch [Kapitel 6.4](#)).

#### 6.2.3.5 Normenverzeichnis

In der Schweiz ist für Naturstein die Regeldichte, das heisst die Qualitätssicherung von Baustoffen und Bauverfahren auf nationaler Ebene sehr gering. Im Hochbau befasst sich nur gerade die SIA-Empfehlung V178 «Natursteinmauerwerk» und die nicht sehr präzise SIA-Norm 246 «Natursteinarbeiten» mit Naturstein, während im Strassenbau die Natursteinprodukte «Pflastersteine» und «Randsteine» in VSS-Normen besser geregelt sind. Seit einigen Jahren wird nun durch das CEN (Comité Européen de Normalisation) intensiv am europäischen Normenwerk, an dem auch die Schweiz beteiligt ist, gearbeitet mit dem Ziel, europäische Normen «EN» zu schaffen. Mit Natursteinen befassen sich unter anderem folgende TC (Technical Committees):

- CEN/TC 125: Mauerwerk
- CEN/TC 128: Dachschiefer
- CEN/TC 154: Zuschlagsstoffe und Verbauungsblöcke
- CEN/TC 178: Pflastersteine und Bordsteine, inkl. plattige Aussenbeläge
- CEN/TC 246: Naturwerksteine

Die Schweiz ist in den meisten TC vertreten und kann ihre Meinung wirkungsvoll einbringen. Eine ganze Reihe von EN-Normen liegen als Vornormen «prEN» vor, und es werden in nächster Zeit laufend europäische Normen auch in der Schweiz gültig werden (siehe [Textkasten](#)). Alle bisher im Natursteinsektor bearbeiteten Normen betreffen die Produkte selbst und befassen sich mit Toleranzen, Bezeichnungen, Liefernorschriften und, für die Schweiz besonders wichtig, den Materialprüfungen, wofür bisher Normen in der Schweiz fehlten.

#### Liste schweizerischer Normen

SIA V178	Naturstein-Mauerwerk
SIA 226	Naturstein-Mauerwerk – Leistung und Lieferung
SIA 246	Naturstein-Arbeiten (Beläge, Verkleidungen, Werkstücke)
SN 640 485b	Naturstein-Pflasterungen
SN 640 560b	Randabschlüsse aus Natur- und Kunststeinen
SN 670 703	Pflastersteine und Randabschlüsse / Qualitätsvorschriften
SN 670 710d	Sand, Kies, Splitt und Schotter für Beläge

## Liste europäischer EN Normen\* und DIN Normen

EN 771-6	Festlegung für Mauersteine
EN 772-1	Prüfverfahren für Mauersteine; Druckfestigkeit
EN 772-4	Prüfverfahren für Mauersteine; Dichte und Rohdichte
EN 772-21	Prüfverfahren für Mauersteine; Offene und Gesamtporosität von Natursteinen
EN 1015	Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk: Teil 10: Bestimmung der Rohdichte von Festmörtel Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel
EN 1341	Anforderungen an Platten aus Naturstein für Aussenbereiche
EN 1342	Anforderungen an Pflastersteine aus Naturstein für Aussenbereiche
EN 1343	Anforderungen an Bordsteine aus Naturstein für Aussenbereiche
EN 1467	Rohblöcke aus Naturstein; Spezifikation
EN 1468	Halbfertigerzeugnisse aus Naturstein (Rohplatten); Spezifikation
EN 1469	Fertigerzeugnisse, Wandbekleidung aus Naturstein; Spezifikation
EN 1925	Prüfung von Naturstein: Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten infolge Kapillarkwirkung
EN 1926	Prüfung von Naturstein: Bestimmung der Druckfestigkeit
EN 1936	Prüfung von Naturstein: Bestimmung der Reindichte, Rohdichte, der offenen Porosität und Gesamtporosität
EN 12057	Fertigerzeugnisse: Fliesen aus Naturstein; Spezifikation
EN 12058	Fertigerzeugnisse: Bodenplatten und Stufenbeläge aus Naturstein; Spezifikation
EN 12059	Fertigerzeugnisse: Steine für Massivarbeiten; Spezifikation
EN 12370	Prüfung von Naturstein: Kristallisationsverfahren
EN 12371	Prüfung von Naturstein: Bestimmung des Frostwiderstandes
EN 12372	Prüfung von Naturstein: Bestimmung der Biegezugfestigkeit unter Punktlast
DIN 1053	Teil 1: Mauerwerk
DIN 18332	ATV: Naturwerksteinarbeiten
DIN 18515	Teil 1: Aussenwandbekleidungen: Angemörtelte Fliesen und Platten; Grundsätze für Planung und Ausführung
DIN 18515	Teil 2: Aussenwandbekleidung: Anmauerung auf Aufstandsflächen; Grundsätze für Planung und Ausführung
DIN 18516	Teil 1 und 3: Aussenwandbekleidung; hinterlüftet
DIN 51097	Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft; nassbelastete Barfussbereiche
DIN 51130	Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft; Arbeitsräume/-bereiche
DIN 52102	Prüfung von Naturstein: Bestimmung von Dichte, Trockenroh-dichte, Dichtigkeitsgrad und Gesamtporosität
DIN 52103	Prüfung von Naturstein: Bestimmung von Wasseraufnahme und Sättigungswert
DIN 52104	Prüfung von Naturstein: Frost-Tau-Wechsel-Versuch
DIN 52105	Prüfung von Naturstein: Druckversuch
DIN 52106	Prüfung von Naturstein: Beurteilungsgrundlagen der Verwitterungsbeständigkeit
DIN 52108	Prüfung anorganischer nichtmetallischer Rohstoffe: Verschleissprüfung mit der Schleifscheibe nach Böhme
DIN 52112	Prüfung von Naturstein: Biegefestigkeit

\* In der Schweiz sind die EN Normen zum Teil unter der Bezeichnung prEN als Normentwürfe im Gebrauch.

### Bezug europäischer und ausländischer Normen bei:

- SIA Schweiz. Ing. und Arch.-Verein, Normenverkauf, Selnastr. 16, 8036 Zürich. 01 283 15 60, Fax 01 201 63 35
- SNV Schweiz. Normenvereinigung, Mühlebachstr. 54, 8008 Zürich. 01 254 54 54 Fax 01 254 54 74
- Beuth-Verlag GmbH, D-10772 Berlin. 0049 30 2601-0, Fax 0049 30 2601-1231

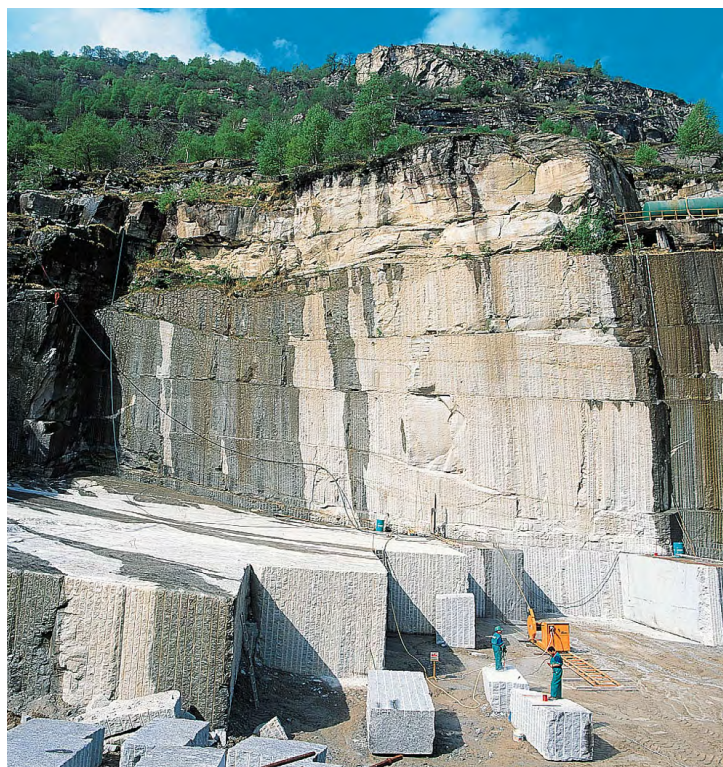
## 6.3 SCHWEIZERISCHE NATURBAUSTEINE

Dieser Abschnitt befasst sich mit dem Naturbaustein, dessen Merkmal der meist hohe Veredelungsgrad und der hohe Anteil an Handarbeit ist. Wohl werden heute zum Beispiel Bodenplatten semiindustriell auf Säge- und Schleifstrassen, sozusagen am Band hergestellt; palettisieren, wieder auspacken und vor allem am Bau versetzen muss man sie aber ausschliesslich von Hand (letzteres gilt auch für den kleinwürfeligen Pflasterstein).

Typisch für die Entwicklung der Natursteinanwendung über die Jahrhunderte hinweg ist der ständige Rückgang der Zahl der in Betrieb stehenden Steinbrüche. Im Mittelalter und der vorindustriellen Zeit waren die Transportmittel so beschränkt, dass ein Steintransport über grössere Strecken für den bürgerlichen Bau gar nicht in Frage kam. So wurde jedes noch so kleine und oft auch technisch nicht befriedigende Vorkommen abgebaut. Die für öffentliche Bauten und für Kirchen verwendeten Bausteine zeigen daher oft eine gewisse Monotonie der Gesteinsarten und können das Erscheinungsbild einer Stadt, wie beispielsweise Zürich mit seinen vielen Sandsteinfassaden, massgebend prägen (siehe auch [Kapitel 6.1.2](#)).

Mit den verbesserten Transportmöglichkeiten (ab Mitte des letzten Jahrhunderts vor allem der Bahn) einerseits und der mechanischen Entwicklung im Abbau von Festgestein (Gattersägen, Bohrgeräte), die nur dort einen Sinn hatte, wo grosse und kompakte Gesteinsbänke von guter Qualität gewonnen werden können, andererseits, mussten all die kleinen Gewinnungsstätten aufgegeben werden, die unter den neuen Voraussetzungen sich nicht mehr lohnten. Allein im Jura listet *Francis de Quervain* noch über 200 Abbaustellen (vor allem für Mauerwerk) aus der Zeit vor dem Zweiten Weltkrieg auf (siehe auch [Tabelle 6.7](#)). Davon sind heute kein Dutzend mehr vorhanden, die noch wirklich für den Hochbau produzieren. Dort allerdings, wo grosse Vorkommen gesunder, attraktiver Gesteine liegen, hat die Verbesserung der Transportmöglichkeiten und die Internationalisierung des Handels zu einem Boom geführt, der diese Brüche über die lokale Bedeutung hinausführte und ihnen eine bedeutende Entwicklung ermöglichte. Erwähnt seien beispielsweise die Tessinergneise und -marmore oder der Andergneis. Viele Schweizer Gesteine haben heute ihren festen Platz im internationalen Natursteinmarkt, meist solche, deren Herkunft aus den Alpen sie einma-





6.54

lig macht, wie etwa Tessiner und Bündner Gneise. In neuerer Zeit finden aber auch Molassesandsteine Eingang vor allem im deutschen Markt.

Die Vielfalt kleiner und kleinster Brüche in der Vergangenheit ist einer Konzentration auf bewährte, dauerhafte Gesteine gewichen, was aber nicht heisst, dass nun Steinbrüche mit besonders hohem Ausstoss entstanden seien. Nach wie vor ist der kleine Familienbetrieb Hauptträger des Natursteinabbaus mit zwei bis fünf Beschäftigten im Steinbruch, wobei die jährliche Produktion im allgemeinen zwischen 50 und 5000 Kubikmeter liegt (Schotterwerke 50'000–200'000 m<sup>3</sup>). Die meisten Natursteinbrüche beuten ihr Gestein nicht nur aus, sondern verarbeiten es bis zum Endprodukt selbst weiter. Um den teuren Maschinenpark besser ausnützen und dem Kunden eine grössere Auswahl anbieten zu können, liefern viele Werke nicht nur ihren eigenen Stein, sondern kaufen attraktive, meist ausländische Gesteine hinzu. Es ist deshalb auch kaum abzuschätzen, wieviele Beschäftigte ausschliesslich in heimischen Gesteinen tätig sind.

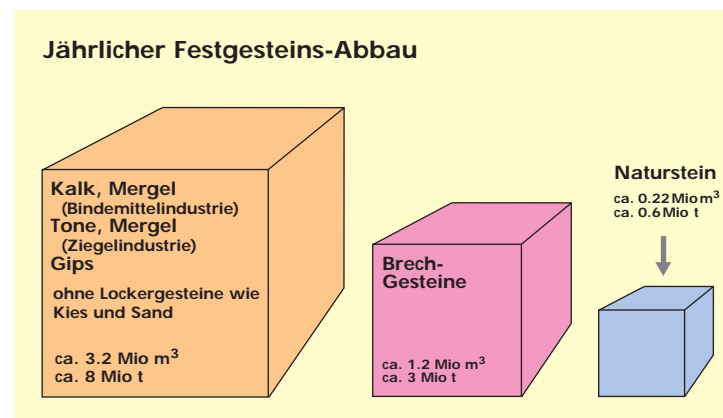
Die heute produzierenden Steinbrüche für Naturbausteine mit den wichtigsten Angaben sind auf den Seiten 248–253 (Tabelle 6.4 und Abbildung 6.83) aufgeführt. Weitere Informationen zu schweizerischen Naturbausteinen finden sich auch in den Tabellen 6.5 bis 6.11 auf den Seiten 252–262.

Abbildung 6.54: Steinbruch Iragna. Optimal «systematisierter» Steinbruch mit grosser Kapazität (mehrere 1000 Kubikmeter pro Jahr).

Bereits im Überblick zu Kapitel 6 wurde der «Naturstein» grob definiert: Naturstein ist ein aus Festgestein durch verschiedenste Verfahren und Bearbeitungen gewonnenes Produkt für vielfältige Zwecke wie Bausteine für den Hoch- und Tiefbau, den Strassen- und Gartenbau, das Vermessungswesen, für kultische und künstlerische Zwecke (Grabmal, Monument, Bildhauerei, Kunsthandwerk, «Heilsteine»), für Möbel (Tische, Gestelle) bis zur Esskultur (Fleisch vom heissen Stein, Käseplatte). Mengenmässig steht natürlich der Baustein weit im Vordergrund, er sichert den Fortbestand unserer zum Teil schon sehr alten Steinbrüche.

In der Abbildung 6.55 sind die jährlich gewonnenen Kubaturen von Naturstein, Brechgestein und Festgesteinen wie Kalk, Mergel, Gips gegeneinander aufgetragen. Rund 3.2 Millionen Kubikmeter abgebaute Festgesteine für verschiedene Industrien (z.B. Bindemittelindustrie, Ziegelindustrie) stehen rund 0.22 Millionen Kubikmeter abgebautem Naturstein gegenüber. Damit hat der «Natursteinwürfel» (die jährlich gewonnene Menge in Würfelform) das rund 15 mal kleinere Volumen. Die Kantenlänge des Natursteinwürfels würde rund 60 Meter entsprechen.

Trotzdem hat der Naturstein eine wesentliche volkswirtschaftliche Bedeutung, denn es stehen pro Kubikmeter sehr viel mehr Menschen im Einsatz als bei den Schüttgütern Brechgestein und Lockergestein. Die Bearbeitung bis zum Endprodukt und dessen Einsatz am Bau, jedes Stück noch von Hand versetzt, absorbieren sehr viele Arbeitsstunden. Die Bedeutung des Natursteingewerbes erschöpft sich nicht in der Zahl der Beschäftigten in den Steinbrüchen, hinzu kommen all die weiteren Leute, die in der Verarbeitung, der Veredelung und der Applikation am Bau beschäftigt sind, sowie auch die Zulieferer für Maschinen, Werkzeuge, Transportgeräte und Hilfsmittel (vom Diamantblatt bis zum Versetzmörtel).



6.55

Abbildung 6.55: Volumenvergleich der Produktion von Natursteinen, Brechgesteinen und anderen Festgesteinen (Bindemittelindustrie, Ziegelindustrie usw.). Nicht berücksichtigt sind die Lockergesteine (Kies und Sand).

Gelegentlich Verwirrung schafft die Namensgebung bei Natursteinen (Handelsnamen). Tradition ist, ein Gestein immer nach seiner Herkunft zu bezeichnen, was in der Schweiz vielfach eingehalten wird. Ein Grossteil schweizerischer Natursteine ist darum mittels Handelsnamen gut zu lokalisieren. Aber gerade in letzter Zeit sind Phantasienamen aufgetaucht wie «Alpensilber», «Vert des Glaciers», «Dorato Argentato» die keinen Bezug mehr zum Herkunftsort zeigen. Auch die Gesteinsart wird gelegentlich nicht korrekt benannt: So sind unsere «Tessinergranite» natürlich Gneise und die «Bündner-quarzite» von Hinterrhein und Soglio ebenfalls. Dort, wo solche Namen alte Tradition sind, ist nichts dagegen einzuwenden, hingegen sollten Versuche, ein neueres Gestein durch eine andere Bezeichnung zu «veredeln», vermieden werden.

In der Wissenschaft (Petrographie) ist die Namensgebung der Gesteine klar geregelt. Die drei Gesteinsgruppen Sedimentgesteine, magmatische Gesteine und metamorphe Gesteine werden dort anhand ihrer Mineralzusammensetzung und ihres Gefüges klassifiziert. Die neuen Euronormen werden im Bereich der Natursteine mehr Klarheit schaffen, verlangen sie doch, dass neben dem herkömmlichen Handelsnamen auch die korrekte petrographische Bezeichnung in den Dokumenten angeführt werden muss.

In den letzten Jahrzehnten aufgekommen ist die Einteilung der Gesteine in nur zwei Hauptgruppen «Hartgesteine» und «Weichgesteine». Zu den Hartgesteinen gehören alle silikatischen Gesteine, die wegen des Quarz- und Feldspatgehaltes wirklich hart sind (Granite, Gneise, Quarzite, Porphyre, Quarzsandsteine, aber auch basische Gesteine wie z.B. Basalte) Als Weichgesteine zählen meist karbonatreiche Gesteine (z.B. Kalksteine, Marmore, Kalksandsteine, Kalkphyllite, Ophikalzite, aber auch Tonschiefer, Serpentine). Mit wenigen Ausnahmen sind Hartgesteine säurefest, während, auch mit Ausnahmen, Weichgesteine durch Säuren angegriffen werden.

Im vorliegenden Buch wurde darauf verzichtet, einen Bildatlas der wichtigsten schweizerischen Natursteine anzufügen, da kürzlich ein Werk erschienen ist, das einen Grossteil der schweizerischen Gesteine in farbigen A4-Fotos präsentiert ([Abbildungen 6.61–6.66](#)) und zudem laufend nachgeführt wird (Natursteinordner; Schweizerische Arbeitsgemeinschaft Pro Naturstein, 3001 Bern).

### 6.3.1. NATURSTEINVERARBEITUNG

Die Gewinnung von Rohblöcken im Steinbruch wurde bereits im [Kapitel 6.2.1.](#) beschrieben. Es gibt zwar Steinbrüche, die nur Rohblöcke produzieren und sie selbst nicht weiterverarbeiten; den meisten Brüchen ist aber auch ein Verarbeitungsbetrieb angegliedert, der die rohen Blöcke aufarbeitet. Ideal sind Blöcke dann, wenn sie möglichst gross, bis 300 x 150 x 150 cm (das sind gegen 7 Kubikmeter oder 18 Tonnen) und zudem quaderförmig sind. Bedingt durch geologisch-tektonische Prozesse (Klüftung, Bankung, Schichtung, Schieferung), durch angewandte Abbaumethoden oder auch nur durch zu hohe Gewichte lässt sich aber vielfach die ideale Grösse und Form nicht erreichen. So sind neben grossen, schönen Blöcken auch kleine und zum Teil sehr unförmige Blöcke zu verarbeiten; dem haben sich auch die Arbeitsmethoden angepasst.

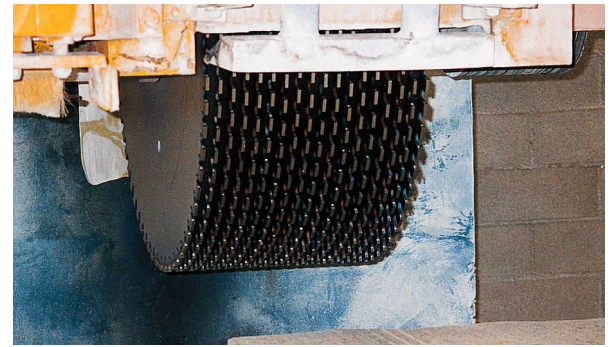
Der erste Schritt in der Blockverarbeitung ist das Auftrennen in Platten. Je nach späterem Verwendungszweck können diese sehr verschieden dick sein; 1, 1.5, 2, 3 oder 4 cm für Bodenplatten und Tritte, oder 12 und 15 cm für Grabmale. Bei gut spaltbaren Gesteinen wie Plattensandsteinen, Gneisen und Schiefern können die Blöcke mit Keilen direkt gespalten werden, so dass je nach Spaltbarkeit sogenannte *Spaltplatten* (naturroh, bruchroh) resultieren, wie sie oft im Gartenbau verwendet werden. Dazu eignen sich auch kleine Blöcke; sind sie wildförmig, entstehen «Mosaik-» oder «formwilde» Platten, früher ein Hauptprodukt der Brüche im Maggiateal (siehe auch [Tabelle 6.2, Seite 221](#)). Ein Hinterrheinbruch, einige Maggiabrüche, der Quarzitbruch Embd/Kalpetran und der Kalkphyllitbruch Vollèges produzieren auch heute noch nur Spaltplatten.

Der Grossteil der Blöcke wird mit Maschinen in Platten zerteilt. Grosse Formblöcke werden mit der *Gattersäge*, einem horizontal schwingenden Rahmen, der bis 40 Sägeblätter (deren Abstand der Plattenstärke entspricht) trägt, aufgeschnitten. Die Blätter sind entweder Flachstähle ohne Zähne, die ein von oben mit Wasser zugeführtes Stahlgranulat auf dem Stein hin- und herreiben (Sandgatter) oder Blätter mit aufgesetzten Diamantzähnen (Diamantgatter). Sandgesägte Flächen haben eine Rauigkeit von 0.5–1 mm, diamantgesägte sehen wie grob geschliffen aus. Die Sandgatter werden für «Hartgesteine» (Granite, Gneise, harte Sandsteine) eingesetzt, die Diamantgatter für «Weichgesteine» (Kalksteine, Marmore, weichere Sandsteine). Neben dem Mehrfachgatter (10 bis 40 Blätter; [Abbildung 6.56](#)) werden auch Monogatter mit nur einem Blatt verwendet, wenn dicke Rohplatten zu sägen sind.





6.56

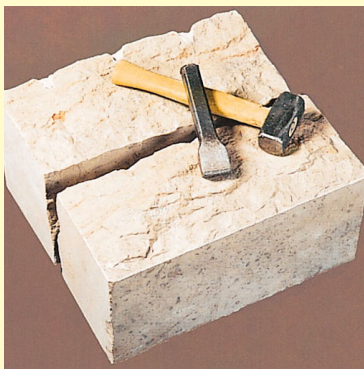


6.57

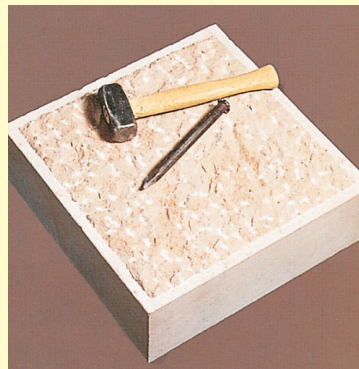


6.58

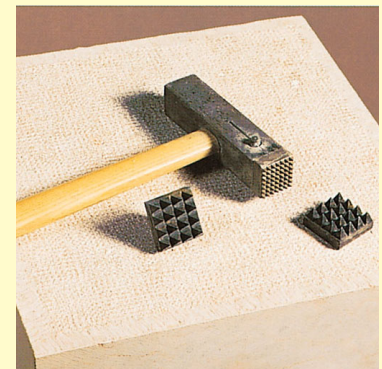
### Eine Auswahl von Oberflächenbearbeitungen bei Weichgesteinen



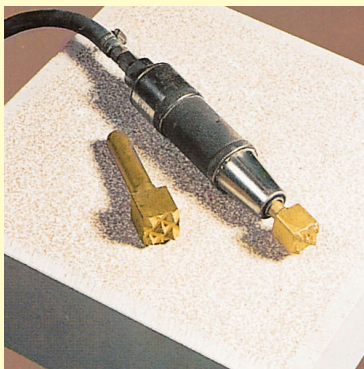
bossiert



gespitzt



gestockt



gestockt, mechanisch



gezahnt



scharriert

6.59

Abbildung 6.56: Sägatter. Ein sehr breites Gatter, in dem drei nebeneinander liegende Blöcke in Platten verschiedener Dicke aufgesägt werden. Auf dem Bild sind die Blöcke bereits durchgesägt.

Abbildung 6.57: Tagliablocchi. Eine Vielzahl von Kreissägeblättern auf einer Achse sägen auf Mal mehrere Platten. Die Schnitttiefe ist durch den Durchmesser der Blätter beschränkt.

Abbildung 6.58: Flammen. Die Knallgas- oder Acetylenflamme erzeugt in den obersten Zehntelmillimeter der Steinoberfläche einen thermischen Schock, was zum Abplatzen sandgrosser Teilchen führt.

Abbildung 6.59: Handbearbeitung mit verschiedenen Werkzeugen. **Bossieren, Spitzen und Stocken** sind auch bei Hartgesteinen möglich. Quelle: Association vaudoise des métiers de la pierre, 2 avenue Agassiz, 1001 Lausanne.



Die *Diamantkreissägen* sind weitere wichtige Blocktrenngeräte; sie werden, mechanisch nicht ganz richtig, in der Natursteinbranche als «Fräsen» bezeichnet ([Abbildung 6.57](#)). Der Blattdurchmesser kann dabei von 40 bis 350 cm (das weltweit grösste Blatt sogar 500 cm) gehen. Je grösser das Blatt, desto breitere Platten können aus dem Block gesägt werden.

Ähnlich dem Mehrfachgatter können bei der modernen «*Tagliablocchi*» auf einer Achse 10 bis 20 Kreissägeblätter mit Zwischenringen aufgesetzt sein, die dann eine sehr hohe Schnittleistung haben. Diese Trennmaschinen erzeugen nicht grosse Rohplatten, sondern bereits Platten im Fertigformat.

Vereinzelt sind *Seilsägen* auch für die Blocktrennung eingesetzt: Das Seil ist entweder ein «Helicoidaldraht» (doppelspiralig), der Quarz- oder Stahlsand über den Stein zieht, oder ein mit Diamantperlen besetztes «Diamantseil».

Das Resultat des ersten Schrittes in der Blockverarbeitung sind nun Rohplatten (Unmassplatten, Tranchen), bis 300 x 150 cm gross in der gewünschten Stärke. Sie haben meist noch rohe Kanten entsprechend den Aussenflächen des Blockes.

Im Regelfall wird nun in einem zweiten Schritt eine Fläche der Rohplatte (oder der mit der *Tagliablocchi* gewonnenen Fertigplatte) so weiterbearbeitet, wie das Endprodukt aussehen soll, beispielsweise geschliffen, eventuell zusätzlich poliert oder geflammt ([Abbildung 6.58](#)), gestockt oder auch nur gereinigt. Bei Weichgesteinen sind auch verschiedene andere Oberflächenbearbeitungen üblich ([Abbildung 6.59](#)).

Das Schleifen oder Polieren einer Fläche ist ein aufwendiger Vorgang, der in mehreren Schritten erfolgt. Da nur grobkörnige Schleifscheiben genügend Material abtragen, um alle Unebenheiten auszuschleifen, wird zuerst «grob geschliffen», wobei aber die Kratzspuren der groben Scheibe noch sichtbar sind. Diese werden nun mit einem «Mittelschliff» entfernt, darauf folgt der «Feinschliff», bei dem die Fläche noch nicht

#### Blockorientierung und Aussehen

Für das nachmalige Aussehen von Natursteinen ist die Orientierung des Blockes beim Sägen entscheidend: Geschichtete und geschieferte Gesteine sehen völlig anders aus, je nachdem in welcher Richtung sie gesägt werden. «Im Lager» (parallel zur Schichtung oder Schieferung) gesägte Steine haben ruhige, eventuell wolkige Strukturen auf der Sichtfläche, «Gegen das Lager» (quer zur Schichtung oder Schieferung) gesägte sind streifig oder gebändert. Es ist nicht immer einfach, die genaue Sägerichtung festzulegen, ganz abgesehen davon, dass zum Beispiel viele Gneise nicht rein parallellagig sind, sondern die Schieferung recht wild verbogen und gefaltet sein kann. Daraus entstehen manchmal wunderschöne, auch skurrile Figuren auf der Sichtfläche. Bedauerlich ist, dass viele Bauherren und -frauen nicht immer Verständnis für diese doch so natürlichen und nie langweiligen Strukturen haben.

#### Schleifen

Beim Schleifen wird die sägerauhe Fläche in mehreren Schritten immer feiner gemacht bis zur gewünschten Glätte. Für die verschiedenen Schleifgrade sind verschiedene Bezeichnungen üblich: Korund und Siliziumkarbid werden mit «C» und Korngrösse bezeichnet, wobei die Korngrösse durch die Siebgrösse definiert wird. Im allgemeinen gilt folgendes Schema:

Grobschliff	= C60 (Korngrösse um 250 µm)
Mittelschliff	= C120 (Korngrösse um 125 µm)
Feinschliff	= C220 (Korngrösse um 70 µm)

Beim Grobschliff ist die Steinfläche beim Darüberstreichen zwar glatt, man sieht aber noch Kratzer des Schleifkorns. Dem Grobschliff entspricht das Sägen mit Diamantblättern (= diamantgesägte Fläche), auf der dann allerdings noch leichte Absätze (Sägerillen) vorhanden sein können, wenn das Sägeblatt vibriert oder der Block sich etwas bewegt.

Der Mittelschliff ist noch glatter, ohne jeden Glanz und kann noch ganz feine Schleifkratzer aufweisen.

Der Feinschliff fühlt sich sehr glatt an, der darübergleitende Finger spürt keinerlei Rauigkeit mehr und die Fläche ist optisch matt bis zu einem feinen Seidenglanz.

#### Polieren

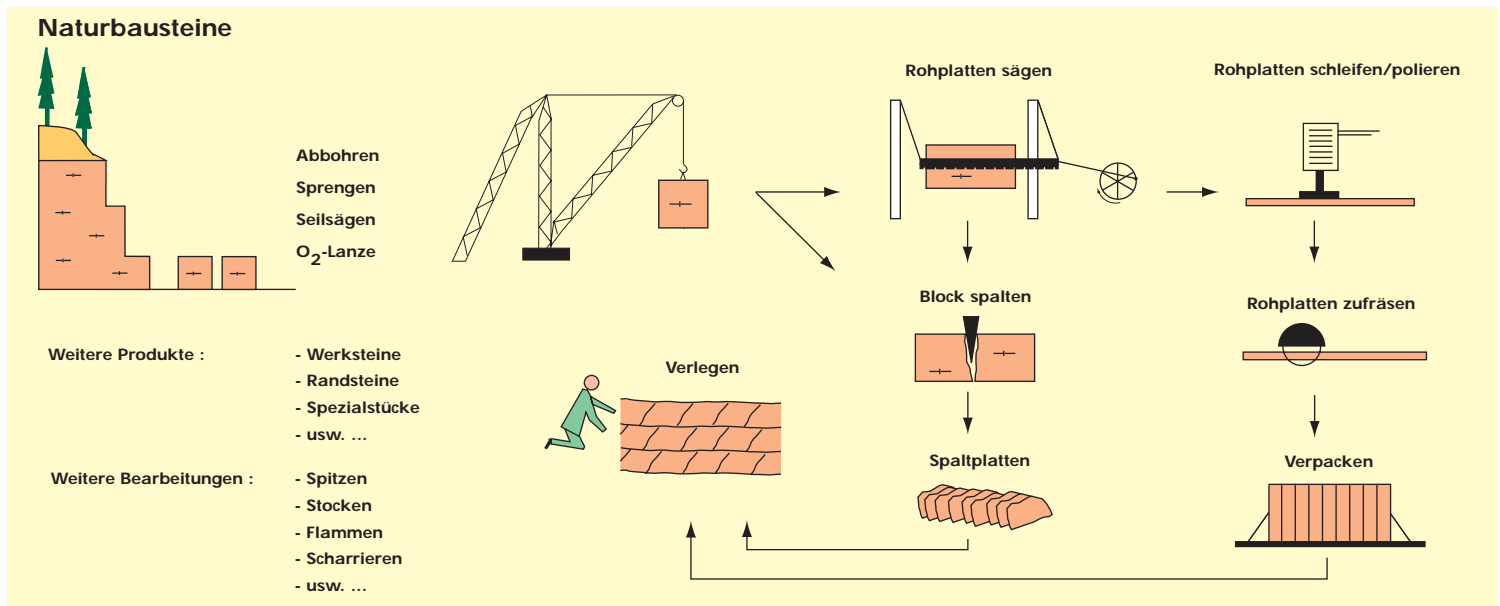
Das Polieren, d.h. das Erzeugen eines eigentlichen Glanzes auf der Steinfläche von mattpoliert (anpoliert) bis zu hochglanzpoliert bedarf besonderer Methoden. Zum einen können sehr feine Schleifmittel (bis Korn C3000) vor allem bei Hartgesteinen eingesetzt werden, zum andern werden Salze als Schleifmittel verwendet, deren Art und Zusammensetzung meist Geheimnis bleibt. Seit altersher wurde Sauerkleeasalz (Kaliumtetroxalat) für Weichgesteine eingesetzt. Neben den genannten Schleifmitteln werden zur Politur auch Filze, Bleiwalte u.ä. verwendet. Heute geht die Tendenz eindeutig zu mehr und immer weniger überschaubarer Chemie, die darin gipfeln kann, dass eine Politur gar nicht mehr auf der Steinfläche selbst, sondern mittels eines Kunstharzes erzeugt wird.

glänzt. Je nach Wunsch kann nun noch in weiteren Schritten der Stein «anpoliert» (schwacher Glanz) oder «hochglanzpoliert» (Spiegelglanz) werden. Das ist allerdings nicht bei allen Gesteinen möglich, sondern von deren Polierbarkeit abhängig (Zusammensetzung, Kornbindung, Porosität usw.). Die Arbeitsgänge bei der Steinbearbeitung können aber auch anders ablaufen, indem zum Beispiel nicht schon bei der Rohplatte eine Fläche poliert wird, sondern aus dem Block Platten bereits in der Endgrösse herausgesägt und erst nachher flächenbearbeitet werden (*Tagliablocchi*).

In einem dritten Schritt wird die Rohplatte mit kleinen Kreissägen mit Diamantblättern (Diamantfräse) in die gewünschten Formate für Bodenplatten, Tritte usw., aufgeteilt.

Ein vierter Schritt ist bei Trittplatten, Abdeckungen und Spezialstücken notwendig, wo noch Sichtkanten, Rundungen und Löcher angearbeitet werden müssen, wofür entweder Spezialmaschinen oder Handwerkzeuge (z.B. Winkelschleifer) verwendet werden.





6.60

Für besondere Werkstücke wie Küchenabdeckungen oder Waschtische werden Stichsägen, Bandsägen oder das modernste Verfahren, das Schneiden mit einem Höchstdruckwasserstrahl (Durchmesser 0,6 mm, Wasserdruck bis 4000 bar), eingesetzt. Natürlich ist auch die alte traditionelle Handbearbeitung nicht verschwunden. Insbesondere bei der Erhaltung alter Baudenkmäler, aber auch in der Bildhauerei und der Grabmal-kunst ist die Arbeit der Steinmetzen und Steinhauer unverzichtbar. Dabei werden die Rohstücke soweit möglich maschinell zugerichtet, doch dann wird wie seit jeher mit Handwerkzeugen weitergearbeitet, allenfalls unterstützt durch Druckluftwerkzeuge.

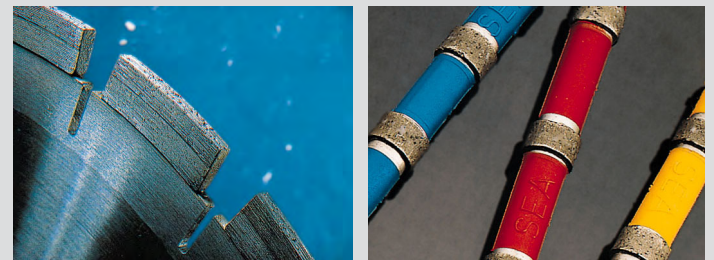
Zusammengefasst charakterisieren folgende Arbeitsschritte die Herstellung von Natursteinprodukten (Tabelle 6.1, Abbildungen 6.59 und 6.60):

- Die Gewinnung von möglichst quaderförmigen und grossen Blöcken im Steinbruch nach einem im Kapitel 6.2.1 beschriebenen Verfahren
- Die Auftrennung in Rohplatten der benötigten Dicken
- Die Veredelung der Fläche wie Schleifen, Polieren, Flammen
- Das Zuschneiden in die gewünschten Endmasse (dieser Schritt kann auch vor der Flächenveredelung stattfinden)
- Das Anbringen zusätzlicher Bearbeitungen: Sichtkanten, Löcher, Rundungen usw.

In ähnlichen Schritten verläuft die Herstellung von Werkstücken, wo auch zuerst der Rohling mit Übermass bereitgestellt wird und dann mit Maschinen oder von Hand die genaue Formgebung, die Flächen- und Kantenbearbeitung appliziert wird.

### Diamantwerkzeuge

Diamantwerkzeuge, wie kreisförmige Sägeblätter, Schleifkörper oder Diamantseile spielen im Steingewerbe eine wichtige Rolle und haben andere Abrasivmittel (Sande, Schmirgel, Hartmetall) zum Teil bis ganz ersetzt. Unten sind ein Diamantsägeblatt und verschiedene Diamantseile (Durchmesser etwa 1 cm) abgebildet.



#### DAS PRINZIP

Diamantchen von wenigen Zehntelmillimeter Grösse, meist künstlich hergestellt, werden in Bronze eingegossen, in der sie relativ weit auseinander liegen. Aus dieser Bronze werden dann die «Zähne» für die verschiedenen Werkzeuge hergestellt. Die Abrasivarbeit besorgen die aus der Bronze ragenden Diamantkriställchen. Die weiche Bronze lässt, während sie abgetragen wird, immer wieder frische Diamanten an die Oberfläche treten. Verbrauchte Bronzesegmente können einfach durch Anlöten neuer ersetzt werden, so dass die Sägeblätter selbst sehr lange im Einsatz sind. Diamantwerkzeuge werden für verschiedene Steinsorten optimiert, indem Grösse und Dichte der Kriställchen und die Bronzemischung den Eigenschaften des Gesteins angepasst werden.

Wie fast bei allen maschinellen Steinbearbeitungsmethoden muss auch beim Diamantsägen und -bohren mit Wasser gekühlt werden. Durch das Wasser wird auch der Sägestaub zuverlässig gebunden. Das mit Steinmehl verschmutzte Wasser darf bei grösseren Anlagen weder in die Kanalisation noch in Gewässer eingeleitet werden. Das Steinmehl wird in Absetzteichen sedimentiert und das Wasser rezykliert.

Abbildung 6.60: Naturbausteine:  
Abbau, Bearbeitung

Tabelle 6.1: Verarbeitungsschema für Naturbausteine

VERARBEITUNGSSTUFE	VERFAHREN	MITTEL
Abbau im Steinbruch Gewinnung von Blöcken	Sprengen	Brisante Sprengstoffe -> kleinstückiges Haufwerk Schwarzpulver -> sanfte Sprengung
	Schlitzverfahren – Direktes Abspalten vom Fels – Loch-an-Loch-Bohren  – Schrämmen – Seilsägen  – Sauerstofflanze  – Wasserjet	Keile, nur bei gut spaltbarem Gestein Druckluftbohrmaschinen, -> Trennen der Stege zwischen Bohrlöchern mit Keilen, Spreizzylindern, Quellstoffen, Sprengschnüren, Wasserkissen Kettensäge, bis 3 m lang, nur bei Weichgesteinen früher: Helicoidaldraht (bis km-lang) mit Quarzsand heute: Diamantseil im Direktzug (Schlaufe) Thermitanze, Stein schmilzt respektive zerfällt durch thermische Spannung Höchstdruckstrahl (2000 bar)
Auftrennung der Blöcke in Platten und Werkstücke	Spalten	direktes Spalten des Blockes mit Flachkeilen (Ponchetten), nur bei gut spaltbaren Gesteinen
	Gattersäge – Mehrblattsäge, bis 50 Blätter – Einblattsäge (Monolame)	Sandgatter: Stahllamelle mit Zugabe von Stahlsand als Abrasivmittel Diamantgatter: Mit Bronze-Diamantzähnen bestückt
	Kreissäge – Mehrblattsäge (Tagliablocchi) – Einblattsäge	diamantbestückt, Blatt bis 350 cm Durchmesser
	Seilsägen	zwangsgeführte Seile, Sand- oder Diamantsägung
Flächenbearbeitung maschinell	Spalten, Sandsägen, Diamantsägen	Diese drei bei der Blockauftrennung entstandenen Flächenbearbeitungen können direkt verwendet werden
	Schurren	Schurrscheiben: Entfernen grober Sägespuren
	Schleifen – grob, mittel, fein	Schleifscheiben und -köpfe mit Schleifkörnungen (Diamant, Siliziumkarbid (SiC), Korund, z.T. Chemie
	Polieren – anpoliert, mattpoliert – hochglanzpoliert	Poliermittel: Salze, feinste Schleifmittel, Filz, Bleiwatte
	Flammen	Azetylen- oder Wasserstoffbrenner: Stein «sprotzt» ab durch thermische Spannung (kein Schmelzen), <a href="#">Abbildung 6.58</a>
Flächenbehandlung von Hand	Handwerkliche Bearbeitungen wie: Spitzen, Stocken, Scharrieren, Zahnen, Hobeln, Flächen, Beilen, Kröneln usw.	(oft druckluftunterstützt) Spitzseisen, Stockhammer, Scharriereisen, Zahnbeil, Flachbeil, Zahneisen (siehe <a href="#">Abbildung 6.59</a> )
Zuschneiden in Fertigmasse	Sägen/Fräsen	Diamantkreissägen (Fräse), Aquacut (Wasserstrahl)
Zusatzbearbeitungen: Sichtkanten, Löcher, Vertiefungen, Ausschnitte, Aufdoppelungen, Stirnen usw.	Diverse Verfahren wie Schleifen, Polieren, Abrunden, Bohren, Fräsen, Fasen, Kleben	Kantenautomaten, Handwerkzeuge, Winkelschleifer, Bohrmaschinen, Aquacut (Wasserstrahl) usw.

Einige Arbeitsgänge, insbesondere das Zuschneiden in Fertigmasse und die Flächenbearbeitung oder die Zusatzbearbeitungen können vertauscht sein.



## 6.3.2 NATURSTEINPRODUKTE

Aus Naturstein kann man (fast) alles machen. So sieht man auf Messen neben den eigentlichen Bausteinen auch Telefone, Nussknacker und vieles mehr ausgestellt. Wir beschränken uns bei der Produktdarstellung auf die eigentlichen Bausteine, das heisst Anwendungen von Naturstein im Bauwesen, ergänzt durch die Verwendungen im monumentalen Bereich (z.B. Grabmal, Bildhauerei, Kunst, Kult).

Eine Gliederung der Naturbauprodukte ist nach verschiedenen Gesichtspunkten möglich, beispielsweise nach der spezifischen Bausparte, nach der Gesteinsart oder auch nach der Produktgruppe. Die Gliederung nach *Bausparten* präsentiert sich wie folgt:

- Im *Gartenbau* im weitesten Sinne (z.B. Gärten, Landschaftsbau, Gestaltung öffentlicher Anlagen) werden Natursteine vorwiegend mit gespaltenen Flächen für Plätze und Wege inklusive Abschlüssen aus Bord- und Stellsteinen, für Treppen und Abdeckungen, für Stütz- und Sitzmauern und daneben als Werkstücke (z.B. Brunnen, Tische, Bänke, Pergolapfosten) eingesetzt. Spitzenreiter sind nach wie vor die Tessiner Gneise, gefolgt von Bündner Gneisen und Walliser Quarziten. Ebenfalls häufig sind Beläge aus sogenannten Mosaikplatten, wildförmigen Stücken, die erst auf der Baustelle zugerichtet werden. Schweizer Spaltplatten sind immer so dick, dass sie in Sand verlegt werden können und kein Mörtelbett benötigen. Für Mauerwerk und als Gestaltungssteine (Blöcke und grosse Massivplatten) werden aber auch Kalksteine aus dem Jura und Sandsteine aus dem Mittelland eingesetzt.
- Im *Strassenbau* und *Tiefbau* (z.B. Strassen, Brücken, Unterführungen, Flussverbauungen) werden Stell- und Randsteine in grossen Mengen verwendet. Hinzu kommen Treppenanlagen, oft aus massiven Blocktritten, und Abdeckungen. Im weiteren sind Pflaster- und Schalensteine für Pflästerungen, Wasserrinnen und Abschlüsse notwendig. Auch hier sind die Tessiner Gneise für Stell- und Randsteine unverzichtbar, obwohl sie heute Konkurrenz bis aus Fernost haben. Bei den Pflastersteinen ist die Bedeutung der Schweizer Steine leider nicht mehr gross. Nur der qualitativ ausgezeichnete «Guber», ein Flyschsandstein, vermag seine Position zu halten. Der eher rauhe Pflasterstein aus Tessiner Gneis wurde durch die viel billigeren Porphyre (Rhyolith) aus dem Alto Adige (Trentino-Südtirol) und durch portugiesischen und türkischen feinkörnigen Granit verdrängt. Stark zunehmend ist die Verwendung von grossen Blöcken als Stützmauern in

bergigen Gebieten, als Lärmschutzwälle entlang Autobahnen sowie als Flussufersicherungen. Bauten aus Steinblöcken mindern optisch die Eingriffe in die Landschaft, besonders, wenn sie dann noch überwachsen sind. Die Lieferung solcher Blöcke, die mit Gewichten von 500–2000 kg zu klein sind, um als Sägeblöcke Verwendung zu finden, ist für unsere einheimischen Steinbrüche interessant, da sie oft als Nebenprodukt anfallen, vor allem dort, wo noch gesprengt wird. Zur Verwendung kommen Kalksteine aus dem Jura und den Alpen (meist aus Schotterwerken), Sandsteine aus dem Mittelland und Gneise aus dem Tessin und Graubünden.

Im weitesten Sinne dem Tiefbau zuzurechnen sind auch *Marksteine* (Marchsteine, Grenzsteine, Polygonsteine) aus Tessiner Gneis und Puschlaver Granit, die in der Vermessung vielfältig verwendet werden, leider aber durch einschlagbare Kunststoffmarken heute stark konkurrenziert werden.

- Im *Hochbau* hat der Naturstein in der Nachkriegszeit eine echte Renaissance erlebt. Die Gründe liegen auf verschiedenen Ebenen. So sind es einerseits der Trend zu natürlichen Bauprodukten, der ihn zunehmend beliebt macht, andererseits aber auch die technischen Eigenschaften (z.B. gute Wärmeleitfähigkeit für Beläge über Bodenheizungen, Dauerhaftigkeit für vorgehängte Fassaden), die Bauherren und Planer den Naturstein wählen lassen. Der einheimische Stein hat am Aufschwung nicht immer voll partizipieren können, da die Konkurrenz ausländischer Steine enorm gross ist. Einzelnen Schweizer Gesteinen gelang es aber, im Ausland so bekannt zu werden, dass neue Absatzmärkte entstanden. Im Hochbau hat der Naturstein sein breitetes Anwendungsgebiet: Beläge und Treppen jeder Art, Mauerwerk, Wandbeläge und Fassadenverkleidungen, Werkstücke von der Küchen- und Waschtischabdeckung bis zum Esstisch. Dabei werden alle nur möglichen Bearbeitungen verlangt, von der Spaltplatte (bis ins Schlafzimmer) bis zur polierten Platte (auch auf der Terrasse). Im Hochbau kommen alle abgebauten Schweizer Gesteine zum Einsatz. Leider fehlen Angaben darüber, wie hoch der Anteil an insgesamt eingebautem Naturstein ist, geschätzt werden 12–15 Prozent (es gibt keine Statistiken, weder von Bauämtern, Zollämtern oder Berufsverbänden, die Zollstatistik ist sogar unrichtig, da die Warenklassifikation mit der Realität nichts mehr zu tun hat und oft zusätzlich falsch interpretiert wird).

- Im *Monumentalbau*, vom Grabmal über den Altar zur Bildhauerplastik, werden wie im Hochbau alle einheimischen Gesteine in allerdings mengenmässig kleiner Bedeutung verwendet. Zu diesem Abschnitt kann man auch die In-

Tabelle 6.2: Die wichtigsten schweizerischen Gesteine und ihre Hauptprodukte.

		Helle Tessinergneise	Maggia-/Calancagnaise	Bündnergneise	Walliserquarzit	Marmore	Granitische Sandsteine	Plattensandsteine	Muschelkalke	Jurakalke	Diverse
<b>BRUCHROHE PRODUKTE</b>											
Rohblöcke	Gestaltung, Verbauung, Blockmauerwerk im Garten-, Strassen-, Wasserbau	x	x	x			x	x		x	x
Spaltplatten	formwilde (Mosaik) oder rechteckige Bodenplatten, Tritte, Abdeckungen im Garten-, Strassenbau		x	x	x			x			x
Stell-, Bord-, Randsteine	Gespaltene und grob gerichtete Steine im Strassen-, Gartenbau	x	x					x			x
Mauersteine	Zyklopen- und Bruchsteinmauerwerk, Sohlenpflasterung im Garten-, Strassen-, Hoch-, Flussbau	x	x	x	x		x	x			x
Pflastersteine	Pflasterungen aller Art von 4 – 6, 8 – 11 bis 14 – 16 cm Steingrösse im Strassen-, Gartenbau	x	x								x
Werkstücke	Grob behauene Sockel, Brückenplatten, Stelen, Pergolapfosten für alle Sparten	x	x	x			x	x		x	x
<b>VERARBEITETE PRODUKTE</b>											
Sägeblöcke	In Form und Grösse für das Aufsägen geeignete Blöcke für alle Sparten	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Unmassplatten	Zwischenprodukt für die Herstellung von Bodenplatten, Tritten, Werkstücken für alle Sparten	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Platten aller Art	Bodenplatten, Tritte, Sockel, Abdeckplatten im Hoch-, Garten-, Strassenbau	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Fassadenplatten	Vorgehängte, hinterlüftete Fassaden, Leibungen, Sims, Stürze im Hochbau	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Stell-, Bord-, Randsteine	Gesägte, gestockte, geflammte und sauber gerichtete Steine im Strassen-, Gartenbau	x	x				x	x			x
Mauersteine	Gerichtetes Mauerwerk, Moellons, Renovation, Restauration im Hoch-, Garten-, Strassenbau	x	x				x	x	x	x	x
Werkstücke aussen	Restauration/Denkmal, Tür- und Fenstereinfassungen, Säulen im Hochbau	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Werkstücke innen	Küchenabdeckungen, Waschtische, Tische, Cheminées, Säulen, Öfen im Hochbau	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Bildhauerei, Grabmal	Rohlinge/Felsen, Fertigprodukte, Plastiken, Altäre Kunsthandwerk, Kunst	x	x	x		x	x	x	x	x	x



standhaltung und Instandsetzung alter Bauten rechnen, wo meist Mauerwerk steinmetzmässig bearbeitet werden muss (Steinersatz oder -reparatur). Es sind in erster Linie Sandstein-Mauerwerke (Gebäude, Brücken), bei denen Ersatz aus dem gleichen Stein gefragt ist. Die Sandsteine des Mittellandes leiden wegen der Kalkbindung am stärksten unter der heutigen Luftqualität und der Einlagerung von Salzen (siehe [Kapitel 6.5](#)); etwas weniger betroffen sind die Kalksteine des Juras.

- Auf die *übrige Verwendung* von Naturstein, die mengenmässig verschwindend klein ist (z.B. Kunstgewerbe, Rock-Watch, Haushaltgegenstände), wird hier nicht eingegangen. Erwähnt sei aber *Speckstein*, ein dekoratives Gestein, das früher wie heute die Leute fasziniert, und als Ofenbaustein wegen der grossen Speicherwirkung oder auch als Geschirr (Becher, Töpfe, Schalen) Verwendung findet.

Der Zusammenhang zwischen Produktgruppe und Gesteinsart wird durch die [Tabelle 6.2](#) vermittelt. Darin wird aufgezeigt, aus welchem Gestein üblicherweise welche Produkte hergestellt werden.

### 6.3.3 ANFORDERUNGEN UND EIGENSCHAFTEN

In früheren Zeiten wurde Naturstein mit wenigen Ausnahmen (z.B. Dachplatten) vorwiegend in massiver Form am Bau eingesetzt. Das gilt insbesondere für die seinerzeit häufigste Verwendung als Mauerwerk, bei dem die Mauerdicken zwischen 30 und 100 cm im Hausbau und bis 300 cm bei Burgen und Schlössern lagen. Noch bei Bürgerhäusern aus der Jahrhundertwende messen Kellermauern um 100 cm, die sich pro Stockwerk um 10 cm verringern, so dass im dritten Stock die Mauern immer noch 60 cm dick sind. In solchen massiven Anwendungen spielte die Steinqualität noch keine grosse Rolle, noch waren hohe spezifische Lasten zu befürchten, die die Druckfestigkeit des Gesteins allzusehr forderten, noch gefährdete ein durch Wind und Wetter erzeugter Oberflächenabtrag am Stein in Zentimeter-Stärke die Stabilität. Zusätzlich gewannen im Laufe der Jahrhunderte die Verarbeiter der jeweiligen lokalen Gesteine eine enorme Erfahrung und ein pragmatisches Wissen um die Eigenheiten «ihres» Steines, so dass sie ihn materialgerecht einsetzen konnten.

Die Entwicklung in der Verarbeitung und der Wegfall der früheren Transportprobleme haben die Anwendungstechnik in neuerer Zeit grundlegend verändert. Die Massivanwendun-

gen von Natursteinen in tragender und gestaltender Funktion gingen stark zurück und wurden ersetzt durch die dünnplattige Anwendung in vornehmlich gestaltender Funktion. Zudem erschienen immer neue Gesteine aus der ganzen Welt auf dem Markt, über deren Eigenschaften kaum je etwas bekannt war.

Vor diesem Hintergrund hat die materialtechnische Betrachtung des Natursteines einen immer höheren Stellenwert erhalten. Die Definition der Anforderungen je nach Anwendung und die Überprüfung der Eigenschaften eines jeweiligen Gesteines mit geeigneten Prüfverfahren liefert einen Betrag zur Qualität eines Natursteinbauwerkes. Im Falle der Vorhänge-technik im modernen Fassadenbau hat die materialtechnische Überprüfung der Gesteine auch erhebliche sicherheitstechnische Bedeutung bekommen. Für die schweizerischen Gesteine lagen bereits Anfang dieses Jahrhunderts umfangreiche Datensammlungen mit petrographischen Beschreibungen und technischen Kennwerten vor. Neue Prüftechniken und Veränderungen in den physikalischen Einheitensystemen machen seither laufend Anpassungen notwendig.

#### 6.3.3.1 Gesteinseigenschaften

Der geologische Aufbau der Schweiz bringt eine grosse Vielfalt von Gesteinen mit sich. Die Kalksteine im Jura, die Sandsteine des Mittellandes und die Kalksteine, Schiefer, Granite und Gneise der Alpen sind die wichtigsten Gesteinsgruppen. Sie bilden auch von ihren technischen Eigenschaften her unterscheidbare Gruppen mit spezifischen Vorzügen und Nachteilen.

Die materialtechnischen Eigenschaften hängen von der Struktur (Grossstruktur) der Gesteine des jeweiligen Vorkommens und von der Textur (inneres Korngefüge) ab. Mit der Struktur eines Vorkommens ist beispielsweise die Bankung von Sedimentgesteinen (Kalke, Sandsteine) gemeint oder das massige Auftreten von Intrusivgesteinen (z.B. Granite) sowie das stark lagige Auftreten von metamorphen Gesteinen (Umwandlungsgesteine: Schiefer, Quarzite). Die Struktur gibt dem Gestein seine grossflächige Zeichnung und bestimmt Block- und Werkstückgrössen, Farbkonstanz, Verfügbarkeit sowie Konstanz der technischen Eigenschaften. Die Textur beschreibt Gesteinseigenschaften wie Porosität, Korngrösse, Art der Körner und chemische Zusammensetzung. Sie beeinflusst direkt Materialwerte wie Festigkeit und Rohdichte. Die Wasseraufnahme und der Sättigungsgrad des Porenanteils sind beispielsweise entscheidend für die Frostbeständigkeit und die Art der Körner (chemische Zusammensetzung, chemische

Resistenz, Löslichkeit, Ritzhärte, thermische Dehnung) wirkt sich auf die technischen Eigenheiten eines Gesteines aus. Für detaillierte Angaben zu diesen Zusammenhängen wird auf petrographische Fachbücher verwiesen (siehe [Literaturverzeichnis](#)).

Die wichtigsten Gesteinsgruppen, die innerhalb bestimmter Grenzen vergleichbare Eigenschaften aufweisen, werden nachfolgend charakterisiert. Besondere Aufmerksamkeit wird dabei der Zusammensetzung (Petrographie), der Struktur und den sich daraus ergebenden anwendungsrelevanten Eigenschaften geschenkt.

*Granit und granitähnliche Gesteine* ([Abbildungen 6.63, 6.64](#)) haben durch ihre überwiegende Zusammensetzung aus Quarz und Feldspat eine relativ hohe Ritzhärte, eine sehr geringe Löslichkeit und damit eine gute chemische Beständigkeit. Die Politur ist im Aussenbereich beständig. Ein mehr oder weniger hoher Glimmeranteil führt bei gerichteter Anordnung im Gesteinsgefüge zu richtungsabhängigen mechanischen Eigenschaften. Die innere Struktur ist allgemein dicht, Porosität und Wasseraufnahme sind allgemein gering (meist unter 1 Vol. %). Die Druckfestigkeit ist meist hoch und die Korngrösse variiert stark. Zu beachten sind die oft richtungsabhängigen Festigkeitswerte von Gneisen und Quarziten.

*Marmor* ([Abbildung 6.66](#)) zeichnet sich durch eine überwiegende Zusammensetzung aus nur einem Mineral aus. Kalzit oder Dolomit bildet das Korngefüge und definiert dadurch wichtige Eigenschaften der Gesteinsmasse. Die Ritzhärte ist gering, zudem besteht eine merkliche Löslichkeit. Die Struktur ist dicht gepackt, Porosität und Wasseraufnahme sind gering (unter 1 Vol. %). Das optisch homogene Erscheinungsbild vieler Marmore kann darüber hinwegtäuschen, dass das innere Gefüge eine gerichtete Struktur aufweisen kann, was sich in richtungsabhängigen Festigkeitseigenschaften äussert. Die Druckfestigkeit ist im bruchfrischen, unverwitterten Zustand mittel bis hoch.

*Kalkstein* ([Abbildung 6.61](#)) besteht wie Marmor hauptsächlich aus Kalzit und hat in bezug auf Ritzhärte und Löslichkeit ähnliche Eigenschaften. Eine Besonderheit des Kalksteines ist das Auftreten von feinen, chaotisch oder gerichtet auftretenden dünnen Einlagerungen mit häufig gezacktem Verlauf, den sogenannten Stylolithen. Es handelt sich hier um Drucklösungserscheinungen aus der geologischen Entstehungsge-

schichte des Gesteines, die das langfristige Verwitterungsbild vieler Kalksteine entscheidend mitprägen.

Das Gesteinsgefüge ist überwiegend kompakt und die Porosität gering. Allerdings gibt es hier etliche, zum Teil extreme Ausnahmen (z.B. Muschelkalke, Kalktuff). Viele Kalksteintypen variieren innerhalb eines Vorkommens stark bezüglich Korngrösse und Korntyp (z.B. Ooide, Muschelfragmente, feine, dichte Gesteinsmasse). Stark räumlich gerichtete Festigkeitseigenschaften sind eher die Ausnahme. Die Druckfestigkeit ist, mit Ausnahme von porösen und grobporösen Kalksteinen, mittel bis hoch. Sehr hohe Festigkeiten hingegen haben Kalksteine mit kieseligen Anteilen (Alpenkalke).

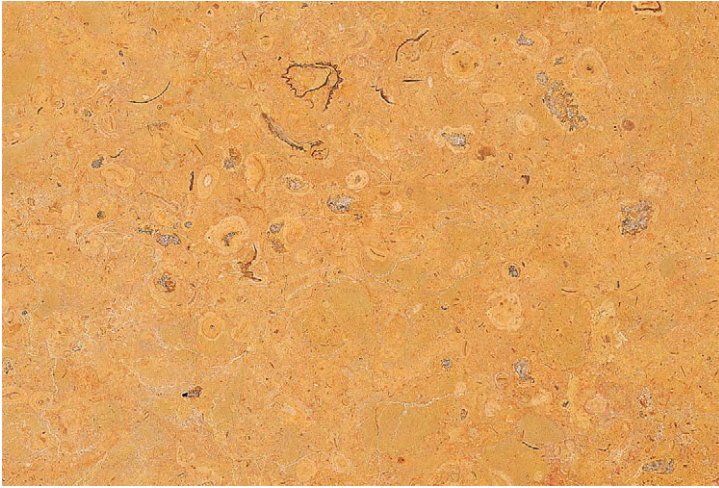
*Sandsteine* ([Abbildung 6.62](#)) variieren stark in Zusammensetzung, Grossstruktur, Gefüge, Korngrösse und Porosität. Von weichen, porösen Sandsteinen (z.B. Berner Sandstein) bis zu sehr festen und dichten Gesteinen (z.B. Flyschsandstein) ist alles zu finden. Will man einen Sandstein werkstofftechnisch beurteilen, so ist eine pauschale Charakterisierung nicht möglich. Jedes Gestein muss einzeln beurteilt werden. Kornart, Bindungstyp und Porosität sind entscheidend. Tonige Bestandteile können unter Wassersättigung zu problematischen Quellerscheinungen führen. Es gibt unterschiedlich poröse Sandsteingefüge mit chemisch stabiler, silikatischer Kornbindung oder solche mit löslicher, karbonatischer Kornbindung. Ebenso gibt es stark gerichtete bis homogen isotrope Sandsteintypen. Entsprechend ist die Verwitterungsanfälligkeit einzustufen und auch die Druckfestigkeit variiert entsprechend dem Gesteinstyp von sehr tief bis sehr hoch.

### 6.3.3.2 Gesteinsbeständigkeit

Der Begriff der Beständigkeit erweitert die technischen Eigenschaften mit dem Faktor Zeit. Er ist technisch nicht präzise zu fassen, da er einerseits je nach gegebenen Einwirkungen (Klima, Exposition, Nutzungsbedingungen) anders definiert werden muss und er sich andererseits aus einer Vielzahl von Eigenschaften zusammensetzt, deren Zusammenwirken sich nur schwer simulieren lässt. Aus diesem Grund hat die praktische Erfahrung mit einem Gesteinsmaterial eine herausragende Bedeutung für die Beurteilung einer bestimmten Beständigkeit.

Bezogen auf die Anwendungsschwerpunkte der schweizerischen Natursteine ergeben sich aus deren jeweiligen technischen Vorzügen und Nachteilen und damit auch deren Beständigkeit bestimmte Anwendungsgruppen:





6.61



6.62



6.63



6.64



6.65



6.66

Abbildung 6.61: Liesberger Kalkstein (Jurakalkstein).

Abbildung 6.63: Andeergranit (Orthogneis).

Abbildung 6.65: Castionegranit dunkel (Kalksilikatfels).

Alle Abbildungen aus: Natursteinordner, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft Pro Naturstein, 3001 Bern.

Abbildung 6.62: Bollinger Sandstein «Lehholz» (granitischer Molassesandstein).

Abbildung 6.64: Lodrinogranit (Tessinergneis).

Abbildung 6.66: Cristallina colombo (Marmor).



*Granit und Gneise* ([Abbildungen 6.63, 6.64](#)) werden und wurden wegen ihrer hohen chemischen Beständigkeit, ihrer hohen Festigkeit und Zähigkeit als Randsteine, Bodenbeläge, Treppen und Pflasterungen verwendet. Auch im modernen Fassadenbau und im Küchenbau werden sie deswegen gerne verwendet. Die Schwierigkeit der Bearbeitung dieser harten Gesteine war früher ein limitierender Faktor, der durch die heutige Diamantwerkzeugtechnik weitgehend wegfällt.

*Schweizer Marmor* ([Abbildung 6.65](#)) wird landesweit nur noch im Tessin (Castione und Val Peccia) abgebaut. Die Vorzüge des Marmors liegen in der guten Bearbeitbarkeit und in seinen aussergewöhnlichen ästhetischen Eigenschaften, das heisst in seiner Farbe und Leuchtkraft. In seiner Beständigkeit steht er den meisten Kalksteinen nahe und wird entsprechend vielseitig verwendet.

*Kalkstein* ([Abbildung 6.61](#)) gehört zu den vielverwendeten schweizerischen Gesteinen. Die feinstkörnigen und oolithischen Varietäten des Jura sind in historischen und aktuellen Anwendungen in allen Anwendungsbereichen stark vertreten. An historischen Bauwerken wurden diese Kalksteine in Kombination mit den lokal anstehenden Sandsteinen dort verwendet, wo höhere mechanische Festigkeit und bessere Wetterbeständigkeit gefordert waren (Sockel, Treppen, Schwellen). Sehr harte Kalksteinvarietäten bilden die alpinen Kieselkalke, die in ihren Festigkeitseigenschaften zum Teil die Granite übertreffen. Ihre hauptsächliche Anwendung finden sie als Hartsplitt, Hartschotter und Pflastersteine, während sie im übrigen Hochbau leider nur selten verwendet werden.

*Sandsteine* ([Abbildung 6.62](#)) bilden einen Grossteil der historischen Bausubstanz des schweizerischen Mittellandes. Die Vorzüge des Gesteines lagen in vergangenen Zeiten vor allem in seiner grossen Verfügbarkeit und seiner guten Verarbeitbarkeit. Viele mittelländische Sandsteine sind verhältnismässig weich und ihre Kornbindung ist recht verwitterungsanfällig. In massiver, kombiniert tragender und gestaltender Anwendung genügten diese Sandsteine den Beanspruchungen jedoch über lange Zeiträume. Die Dauerhaftigkeit dieser Sandsteine an den historischen Bau- und Bildwerken steht in direktem Zusammenhang mit dem Wasserdurchsatz im Material. Je besser das Material vor Regen und Grundfeuchte geschützt war, etwa durch Vordächer oder Anstriche, um so länger blieben die bekannten Schadenbilder aus (Abschalungen, Absanden; siehe [Kapitel 6.5](#)). Die mit der Industrialisierung und

dem Anwachsen des Verkehrs erhöhte SO<sub>2</sub>-Belastung der Luft hat den Zerfall der mittelländischen Sandsteine durch Vergipung der Kalkbindung beschleunigt. Die Sandsteine aus der Basler Gegend (Triassandsteine) und die alpinen Sandsteine (Flyschsandsteine, Verrucano) sind wegen ihrer silikatischen Kornbindung respektive Dichte allgemein beständiger. Die Flyschsandsteine der Voralpen gehören zu den härtesten und widerstandsfähigsten Gesteinen der Schweiz. Entsprechend beliebt sind sie als Pflastersteine.

### 6.3.3.3 Einwirkungen bei verschiedenen Anwendungen

In der [Tabelle 6.3](#) wird ein Überblick über die wichtigsten Beanspruchungen der Natursteine in den verschiedenen Anwendungsbereichen gegeben. Unterscheidbare Kategorien nach chemischen und mechanischen Beanspruchungen können gemacht werden, sind aber wenig sinnvoll, da die gängigen Begriffe der Verwitterung, der Abnutzung oder des Alterns das Resultat eines mehr oder weniger komplexen Zusammenwirkens beider Kategorien darstellen. Als zerfallsfördernde Faktoren sind die mechanischen Nutzbelastungen, Temperaturschwankungen, Frost und die Präsenz von Wasser zu nennen. Gase spielen in stark verkehrsbelasteten Bereichen eine Rolle – die Vergipung von Kalksteinen und kalkgebundenen Sandsteinen infolge Schwefeldioxydeinwirkung ist ein wichtiger Faktor bei der Zerstörung historischer Bausubstanz. Der Luftsauerstoff kann zusammen mit Wasser zur Oxidation bestimmter Mineralien und damit zu Farbveränderungen der Gesteinsoberflächen führen. Salze wirken infolge Lösung und Kristallisation mechanisch auf das Gesteinsgefüge ein und sind auf diese Weise dem Frostdruck verwandt. Im Porenwasser der Bausteine gelöste Substanzen können im Gestein enthaltene Stoffe mobilisieren oder verändern, was zu Ausblühungen oder Farbveränderungen führen kann. Hier spielen die alkalihaltigen, basischen Lösungen aus mineralischen Bindemitteln (Zemente) eine wichtige Rolle (im Detail wird im [Kapitel 6.5.3](#) auf die verschiedenen Verwitterungsvorgänge eingegangen).

Die Einwirkungen auf Natursteine im Innenbereich sind wegen des Wegfalls der natürlichen Verwitterungsfaktoren gegenüber den Beanspruchungen im Aussenbereich stark abgeschwächt. Unter bestimmten Nutzungsbedingungen können aber Belastungen auftreten, beispielsweise in Schwimmbädern, denen ein Gestein normalerweise nicht ausgesetzt ist. In stark begangenen Gebäudeteilen (z.B. Schalterhallen, Bahnhöfen) ist der mechanische Abrieb eine wichtige Grösse.



Der Einfluss der Verwitterung im Aussenbereich hängt stark von Grad und Dauer der Wassersättigung des Porenraumes des betreffenden Gesteins ab. Aus diesem Grund unterscheiden sich die Anforderungen an ein Gestein bei Verwendung als Boden- oder Fassadenmaterial grundsätzlich. Bei Verwendung als Bodenbelag, aber auch als Simse, Ornamente und Bildwerke, können bei Temperaturen unter 0°C und gleichzeitig hoher Wassersättigung des Gesteinsporenraumes Frostschäden auftreten. Dieser Belastung widerstehen langfristig nur Gesteine, die entweder einen sehr geringen Porenanteil besitzen oder Gesteine, die über genügend nicht kapillar füllbaren Porenraum verfügen (sogenannte Luftporen), der bei Frostdruck als Expansionsraum dient. Analog dem Frostverhalten bei hoher Wassersättigung verhält sich die Empfindlichkeit der Gesteine auf den Druck kristallisierender Salze (z.B. Tausalz) im Porenraum. Grossporige Gesteine sind hier allgemein weniger empfindlich. Starke Frostbeanspruchung und Kristallisationsdruck von Salzen sind im Belagsbereich (inkl. Treppen) und im Sockelbereich (Spritzwasser) von Bedeutung. Wird Naturstein an vertikalen Flächen verwendet, sei es als vorgehängte Platte oder als massiver Stein, so reduziert sich wegen des allgemein geringen Sättigungsgrades die Frostbelastung beträchtlich. In vertikaler Verwendung ist die Exposition zur Witterung entscheidend. Diese setzt sich aus Sonneneinstrahlung (thermische Belastung) und der Bereg-

nung zusammen. Die Beregnung hängt von den lokal vorherrschenden Windrichtungen und vom konstruktiven Feuchteschutz (z.B. Vordächer) ab.

Die thermische Belastung des Natursteinmaterials an der Fassade ist erfahrungsgemäss an der Ost- bis Südseite am stärksten. Die Morgensonne trifft hier in einem effizienten Einstrahlungswinkel auf die noch kühle Fassade und verursacht einen starken Temperaturanstieg im Material. Bei massiven Fassaden ist dieser Anstieg wegen der grossen thermischen Trägheit moderat. Bei vorgehängten Fassaden können die Temperaturänderungen im Jahresgang an die 100°C erreichen und sind somit ein gewichtiger Faktor bei der Planung einer Fassade, aber auch ein Faktor, der bei gewissen Gesteinen zu Ermüdungserscheinungen führt (Reduktion der Biegezugfestigkeit, Verbiegungen).

Die nutzungsbedingten mechanischen Einwirkungen (Druck, Biegung, Zug) auf Naturstein hängen von der Art des Einsatzes und der Art des Bauwerkes ab. In einfacher, tragender Anwendung (Druckbelastung) verfügen die meisten Gesteine über grosse Festigkeitsreserven. Unter Zug- oder Biegebeanspruchung sind die Festigkeitsreserven rasch ausgeschöpft. Solchen Beanspruchungen wurde im historischen Massivbau systematisch aus dem Weg gegangen. Derartige Kräfte, beispielsweise an Balkonplatten oder bei grösseren Sturzlängen über Fenstern und Türen auftretend, wurden konstruktiv durch aufwendige Konsolaufbauten oder durch im Mauerwerk integrierte Entlastungsbögen vermindert.

In der modernen Anwendung als Verkleidung in Plattenform entstehen an den Befestigungspunkten Zugspannungen, und die Platten werden infolge Winddruck und Windsog auf Biegung beansprucht. Diese Art der Belastungen verlangen von jeder einzelnen Platte relativ homogene, berechenbare mechanische Eigenschaften, das heisst der Stein muss bezüglich Festigkeit und Homogenität den Massstäben industriell hergestellter Baustoffe genügen. Aus diesem Grund reduziert sich die Zahl der hier verwendbaren Gesteine gegenüber jenen des Massivbaus erheblich.

**Tabelle 6.3: Einwirkungen auf Natursteine in verschiedenen Anwendungsbereichen.**

Anwendungsbereiche (Beispiele)	Wände innen	Nassbereiche innen	Böden und Treppen innen	Bodenbeläge und Treppen aussen	Fassaden tragend massiv	Fassaden vorgehängt	Tragwerke (Brücken)	Monumente (Plastiken, Grabmale)
Beanspruchungen								
Abrieb	-	*	***	***	-	-	-	*
Druckbeanspruchung	*	-	*	*	***	*	*	*
Biegebeanspruchung	*	-	*	*	*	***	***	*
Zugbeanspruchung	*	-	-	-	-	***	***	*
Thermische Beanspruchung	-	-	-	*	*	***	*	*
Lösung	-	***	-	*	***	*	*	*
Frost	-	-	-	***	*	*	***	***
Frosttausalz	-	-	-	***	*	*	*	*
Verfärbung/Oxidation	-	*	*	*	*	*	-	*
SO <sub>2</sub> -Angriff	-	-	-	*	***	*	*	***
Bewertung:	*** wichtig		* zu beachten		- unbedeutend			

### 6.3.4 NATURSTEINE DES JURA

Die meist recht harten, oft etwas spröden Kalksteine des Juragebirges waren über viele Jahrhunderte gesuchte Bausteine, die in vielen lokalen Brüchen gewonnen und bis weit ins Mittelland verwendet wurden, da sie an Dauerhaftigkeit Mollassesandsteine übertrafen. Sie wurden vor allem als Mauersteine für Hochbauten verwendet; vom Kleinstein mit 10 bis 15 Zentimeter Höhe bis zu sauber gehauenen Riesensteinen von (100 x 150 x 100 cm Grösse), wie beispielsweise an der SBB-Aarebrücke bei Brugg.

Noch nach dem Zweiten Weltkrieg waren einige maschinell modern eingerichtete Steinbrüche mit der Verarbeitung von Jurakalken zu Platten und Mauersteinen gut beschäftigt. Aus nicht klar erkennbaren Gründen ist jedoch in den letzten 20 Jahren die Produktion von Naturbausteinen aus Jurakalken stark zurückgegangen und einst sehr bekannte Brüche wurden aufgelassen.

Ausser Kalkstein wird im Jura in sehr kleinem Massstab noch ein Keupersandstein gewonnen. Die Gesteinspalette des Juras ist verglichen mit den Alpen sehr bescheiden. Die anfänglich gelb-beige-bräunlichen und seltener auch grauen Kalksteine wittern im Laufe der Zeit fast weiss an und lassen aus Kalksteinblöcken errichtete Bauten (Kirchen, Schlösser, Burgen, Häuser und Brücken) von Schaffhausen über Solothurn bis Neuenburg und Genf ähnlich aussehen.

#### 6.3.4.1 Kalksteine

Die Jurakalke weisen altersmässig ein weites Spektrum von der Trias bis zur Kreide auf. Wurden früher auch dünnbankige Kalke, etwa ab 20 bis 50 cm Bankhöhe lokal verwendet, musste man sich mit der Einführung der maschinellen Bearbeitung auf kompakte Bänke von 80 bis 100 cm Höhe und mehr konzentrieren. Diese Vorkommen liegen meist in den massigen Malmkalken (wie auch die grossen Abbaue in der Fränkischen Alb, dort vornehm «Juramarmor» geheissen, welche die schweizerischen Jurakalke stark konkurrenzieren).

Für Naturbausteine im engeren Sinne werden heute nur noch folgende Vorkommen abgebaut:

*Lägeralkalk:* In den Steinbrüchen bei Dielsdorf–Steinmaur werden die Lägeralkalke von gelbbeiger bis grauer Farbe, die dem Sequanien und Kimmeridgien (Wangener/Wettinger Schichten) angehören, gewonnen. Der Abbau erfolgt durch Versatzsprengungen, bei denen ganze Abbaustufen von eini-

gen 1000 Kubikmetern Inhalt um Meter nach vorne versetzt und in sich gelockert werden; die flachliegende Bankung im Steinbruch ist für die Gewinnung sehr günstig. Der schon seit Jahrhunderten dauernde Abbau hat bis heute eine riesige Steinbruchnische geschaffen – eine richtige Wildnis mit vielen ökologischen Nischen. Daneben findet sich auch Platz für künstlerische Betätigungen (einige bildende Künstler haben sich richtige Refugien geschaffen) und kulturelle Veranstaltungen (ein Höhepunkt war wohl 1995 das Theaterstück «Karls kühne Gassenschau», welches sich des Steinbruches mit all seinen Eigenheiten als Kulisse bediente).

Als Hauptprodukt werden in Dielsdorf quaderförmige Blöcke, die auf einer der grössten existierenden Spaltmaschinen formiert werden, gehandelt. Typisch sind Grössen von 0,25 bis 1 Kubikmeter. Die Blöcke werden für Stützmauern im Strassen- und Gartenbau, zur Landschaftsgestaltung und im Wasserbau verwendet. Der kleinstückige Abbau wird zu Kiesen gebrochen. In kleinem Rahmen werden auch handwerklich bearbeitete Werkstücke und Mauersteine in verschiedenen Grössen produziert.

*Laufener Kalk und Liesberger Kalk:* In verschiedenen Steinbrüchen im Laufental (Dittingen-Schachlete, Liesberg) stehen die gelbbeigen bis rötlichen, meist gut erkennbar oolithischen Laufener Kalke (gelb-beige) und Liesberger Kalke (rötlich) aus dem Sequanien mit zahlreichen Tönhäuten an. In der Schachlete findet man heute eine lange, hohe Abbauwand ([Abbildung 6.68](#)), in Liesberg eine ausgedehnte Steinbruchnische. Durch Abbohren werden Blöcke zur handwerklichen Weiterverarbeitung oder zum Aufsägen in Platten gewonnen. Auch hier wird der Abbau durch die flache Lagerung der Gesteinsschichten erleichtert. Die einzelnen Bänke unterscheiden sich in Aussehen und Qualität und sollten deshalb anwendungsgerecht eingesetzt werden. Der kompakte Kalk erlaubt die Herstellung auch grösserer Platten für Beläge, Fassaden und andere Hochbauzwecke. Daneben werden handbearbeitete Werkstücke wie Cheminéeebänke oder Blockstufen produziert. Störend wirken sich gelegentlich die feinen Tönhäute aus, die sich bei Verwendung im Freien öffnen können und zu Abplatzungen führen.

*Solothurner Kalk:* Der Steinbruch von Lommiswil, in dem diese attraktiven, hell- bis dunkelgelben und grauen Solothurner Kalke aus dem Kimmeridgien mit den typischen, bis 15 Zentimeter grossen Nerineen (Spiralschnecken) abgebaut wurden, ist zuzeit nicht in Betrieb, doch besteht die Hoffnung, dass der Abbau wieder reaktiviert wird. Der Abbau bei





6.67

Lommiswil fand auf spektakuläre Weise an einer 45 Grad geneigten Schichtplatte statt, wo die Blöcke angebohrt und weggekeilt wurden, worauf sie dann auf der Schichtplatte herunterglitten. Erst kürzlich wurden in der Schichtplatte Dinosaurierspuren entdeckt, die auch besichtigt werden können. Da auch recht gute Sägeblöcke gewonnen werden konnten, wurde der gut polierbare Solothurner Kalk neben allen plattigen Anwendungen für vielfältige Werkstücke wie beispielsweise Cheminées oder Brunnen verwendet. Auch für den Nichtfachmann sind die zahlreich vorkommenden, grossen Spiralschnecken (Steinkerne von Nerineen) gut erkennbar ([Abbildung 6.67](#)).

*Roc de La Cernia:* Vielfältig ist der Abbau im Steinbruch von La Cernia oberhalb Neuenburg, wo ein bräunlich-grauer Kalkstein aus dem Portlandien abgebaut wird. Das moderne Werk ist hauptsächlich auf Schotter ausgerichtet, produziert aber neben Mauersteinen auch Platten und Werkstücke aller Art. Für grössere Teile wirken sich zahlreiche Ton- und Mergelhäute gelegentlich nachteilig aus und bedingen eine gute Selektion des Rohmaterials. Der aktuelle Steinbruch ist eine riesige, durch einen Tunnel zugängliche Grube hinter dem alten, an der Strasse liegenden Hangbruch. Regional hat der Roc de La Cernia eine gewisse Bedeutung, leider findet er kaum den Weg in die übrige Schweiz (dies im Gegensatz etwa zu den Laufener und Solothurner Kalken, die in neuerer Zeit weit verbreitet wurden).

Die Zahl von Jurakalksteinbrüchen, die eigentliche Naturbausteine für den Hochbau produzieren, ist sehr klein geworden. Als Lieferanten von rohen Mauersteinen und rohen Blö-



6.68

cken für Verbauungen (Stützmauern, Lärmschutzmauern, Böschungsverbau) stehen jedoch noch zahlreiche kleinere Steinbrüche zur Verfügung, die solche Produkte zusammen mit Brechschottern und Kiesen herstellen. Die wirtschaftliche Bedeutung ist schwer abzuschätzen, da fast alle Werke nur zu einem kleinen Teil Naturbausteine herstellen; die Hauptproduktion gilt den Brechprodukten und den Rohblöcken. An reinen Naturbausteinen, ohne Schotter und Verbauungssteine, dürfte die jährliche Produktion nur wenige hundert Kubikmeter betragen.

#### 6.3.4.2 Sandsteine

*Oberhofener Sandstein:* An einem einzigen Ort, bei Gansingen AG, wird ein dunkelkarminfarbiger Sandstein mit lebhafter gelbbraunlicher Zeichnung aus dem Keuper (Schilfsandstein) abgebaut; es ist die einzige Abbaustelle in der Schweiz, wo noch Keupersandstein gewonnen wird. Der kleine Steinbruch, als Nische am Hang angelegt, erlaubt keinen Abbau von grossen Blöcken. Lokal hat dieser Sandstein seine Bedeutung; er wird zu Mauersteinen, Cheminées und kleinen Werkstücken verarbeitet. Bekannt ist dieser Steinbruch unter Geologen, weil über dem Sandstein der «Gansinger Dolomit» aufgeschlossen ist.

Abbildung 6.67: Solothurner Kalkstein, Steinbruch Lommiswil.

Abbildung 6.68: Laufener Kalkstein. Steinbruch «Schachlete» (BL).

## 6.3.5 NATURSTEINE DES MITTELLANDES (MOLASSE)

Das bevölkerungsreiche Mittelland brauchte schon früh riesige Mengen Bausteine; sie wurden so nah als möglich am Verwendungsort gewonnen, auch wenn ihre Qualität nicht immer überzeugte. Der heutige Abbau beschränkt sich auf vier verschiedene Gesteinsarten:

- den «granitischen» *Sandstein* aus dem Aquitanien der unteren Süsswassermolasse im Bereich der am nördlichen Alpenrand überschobenen und aufgestellten subalpinen Molasse. Der Ausdruck «granitisch» kommt daher, dass in diesen Sandsteinen gut erkennbar kleine rote Feldspatkörnchen vorkommen (ähnlich den roten Feldspäten in Graniten). Die granitischen Sandsteine sind kompakt und massig; sie lassen sich nicht in Platten spalten. Die Farbe ist grau mit gelegentlich schwachen Tönungen ins Grünliche, Bläuliche oder bei Eisenimprägnation ins Gelbliche. Qualitativ sind sie die besten heute gewonnenen Molassesandsteine; sie sind auch sehr «steinmetzfreundlich». Ihre Wetterbeständigkeit ist, richtig angewendet, gut, doch sind sie wie alle Sandsteine auf Salze empfindlich. Die Vorkommen liegen in einem schmalen Band unmittelbar entlang des nördlichen Alpenrandes zwischen St. Margrethen im Osten und dem Entlebuch im Westen.
- den *Plattensandstein* aus dem Burdigalien der oberen Meeresmolasse. Er ist nur wenig jünger als der granitische Sandstein und ihm, zwischen Rorschach und dem Entlebuch, direkt nördlich vorgelagert. Der Plattensandstein verdankt seinen Namen der guten Spaltbarkeit, die bis in den Zentimeterbereich gehen kann. Er ist weniger kompakt und massig als der granitische Sandstein, dem er auch in der Wetterbeständigkeit etwas nachsteht. Innerhalb des gleichen Vorkommens gibt es erhebliche Unterschiede, die der Steinbruchbetreiber kennt. Auch dieser Sandstein ist salzempfindlich. Die Farbe ist ähnlich den granitischen Sandsteinen, doch sind die Tönungen ausgeprägter.
- den *Berner Sandstein*, ebenfalls aus dem Burdigalien der oberen Meeresmolasse, jedoch aus deren flachliegendem, nicht aufgeschobenen Teil im alpenferneren Bereich. Diese Sandsteine sind weniger stark «kompaktiert» und deshalb poröser und weicher als die beiden aus der aufgeschobenen Molasse stammenden vorgenannten Typen. Entsprechend ist deshalb ihre Beständigkeit im Freien als eher mässig einzustufen. Gerade dieser Umstand bewirkt aber, dass auch heute noch ein aktiver Abbau stattfindet, sind doch jährlich grosse Mengen für den Ersatz von alter, zu erhaltender Bausubstanz notwendig. Die Farbe ist grünlichgrau bis grünlich-

blau, oft mit einem kräftigen Stich ins Olive und Gelblichgrüne. Die Vorkommen dieser Sandsteine sind auf ein breites Band beschränkt, das sich etwa von Schaffhausen gegen Lausanne hinzieht. Grösste Mächtigkeit erreichen die Vorkommen im Raum Bern bis westlich Fribourg.

- den *Muschelkalk*, der mehrheitlich aus Fossiltrümmern besteht. Er gehört ebenfalls dem Burdigalien der flachen oberen Meeresmolasse an. Führt ein Muschelkalk neben den Schalenrömmern viel Sand, wird er etwa auch als *Muschelsandstein* bezeichnet. Die Muschelkalke sind trotz ihrer hohen Porosität sehr gute Bausteine, weil sie kaum wasserziehende Kapillarporen aufweisen (im Gegensatz zu Sandsteinen). Muschelkalke waren immer bevorzugte Bildhauersteine, da sie sehr «formfreudig» sind. Die Farbe ist grau-grünlich bis grünlich-bläulich, gelegentlich mit einem eisenbedingten Gelbstich. Eine Eigenheit der Muschelkalke sind zahlreiche, oft grosse Pyritknollen, die sich im Freien zersetzen und unschöne Rosthöfe und -läufe bilden können.

Allen Gesteinen der Molasse ist eigen, dass sie als ehemalige «Lockergesteine» (Sand, Schotter oder Fossiltrümmer) durch Kalk zementiert wurden. Dieser Kalk ist säurelöslich, was insbesondere bei nur schwach zementierten Sandsteinen zu einem raschen Zerfall durch Wassereinwirkung (mit Kohlensäure oder Schwefeldioxid) führen kann. Mit konstruktiven Massnahmen lassen sich jedoch auch im Freien viele Schäden verhüten. Die Molassegesteine sind auch heute noch sehr gesuchte Natursteine, und es findet in vielen Steinbrüchen ein mengenmässig bedeutender Abbau statt. Dazu werden moderne Methoden benutzt: Fast überall sind Diamantseilsägen und Schräg-Maschinen (Kettensägen) im Einsatz, die die Blöcke direkt vom Anstehenden trennen, wobei meist die letzte Seite des Blockes durch Spalten (Keile, Pressen) vom Fels getrennt wird. Teilweise wird aber auch Loch an Loch gebohrt. In den meisten alten Sandsteinbrüchen findet man noch Abbauwände mit Zweispitzspuren (siehe [Kapitel 6.2.1](#)), die vom mühsamen Abbau in früherer Zeit zeugen.

## 6.3.5.1 Granitische Sandsteine

Die massigen, recht dichten und beständigen granitischen Sandsteine mit charakteristischen roten Feldspatkörnchen werden zuzeit noch in sechs Steinbrüchen in grosser Menge, total über 10'000 Kubikmeter abgebaut. Die Abbaustellen liegen entlang einer Verbindungslinie, etwa zwischen St. Margrethen und Oberem Zürichsee:

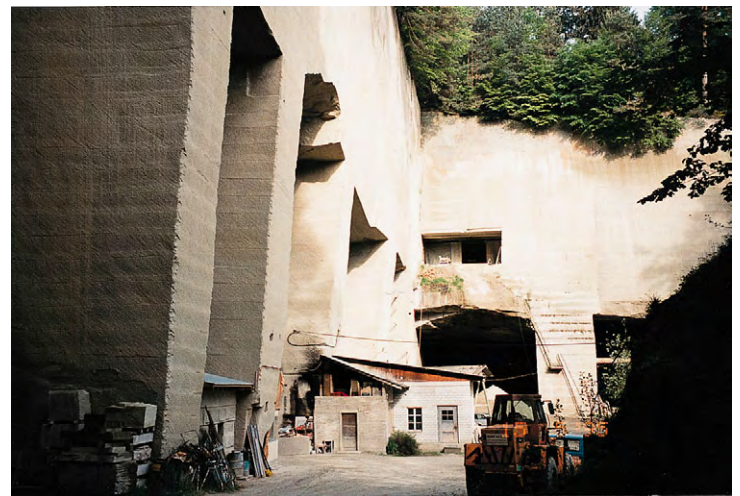




6.69



6.70



6.71

- *St. Margrethen SG*: Grosser alter Hangbruch am Dorfrand, zurzeit nur wenig Abbau, soll jedoch wieder aktiviert werden.
- *Büriswilen SG*: Neuer, kavernenartiger Abbau in steiler Rippe, der Schicht entlang unterirdisch in die Tiefe folgend.
- *Teufen-Lochmüli AR*: Steiler Hangbruch mit ausgeprägter Treppung, die abgebauten Blöcke werden mit einem Derrick nach oben gehoben.
- *Eschenbach-Brand SG*: Tiefreichender Schachtabbau, der steil einfallenden Schicht folgend, in altem Steinbruchgelände angelegt. Herausheben der Blöcke mit stationärem Autokran.
- *Bollingen-Lehholz SG*: Aktivierter historischer Nischenbruch, in dessen einer Ecke nun ein tiefer, teilweise unterschrittener Schacht angelegt wurde ([Abbildung 6.69](#)). Ein Derrick befördert die Blöcke an die Oberfläche.

Die vier letztgenannten Brüche benützen alle einen steil nach Norden eintauchenden Schenkel der aufgeschobenen

Molasse. Die gesunde, nutzbare Bank hat eine Mächtigkeit von 10 bis 20 Metern, wird aber etwa durch dünne Mergellagen und Konglomerat- bis Brekzienschüttungen unterbrochen.

- *Nuolen-Guntliweid SZ*: Dieser insgesamt an die 80 Meter hohe Hanganschnitt in der Nordflanke des Buchberges (Nuolen–Grynau) legt die hier mässig steil nach Süden einfallenden Schichten der Unteren Süsswassermolasse frei und zeigt sehr schön den wechselnden Aufbau dieser 20 Millionen Jahre alten Ablagerungen aus den sich hebenden Alpen. Der Abbau erfolgt vom Seeufer her (früher direkter Schiffstransport bis nach Zürich). Die Blöcke können aus dem Bruch abwärts zur Strasse befördert werden. Es werden drei verschiedene Sandsteinarten gewonnen: Guntliweider Sandstein (sehr hart und dicht), Buchberger Sandstein und ein rötlicher Sandstein (fast ausschliesslich für Bauten in Konstanz verwendet).

Abbildung 6.69: Bollinger Sandstein, Steinbruch Lehholz. Tiefer Grubenbruch, aus dem die Blöcke mit einem Derrick herausgehoben werden müssen.

Abbildung 6.70: Rorschacher Sandstein im Steinbruch Buchen bei Staad. Mit Diamantseil und Loch an Loch bohren werden Grossblöcke vom Fels getrennt und dann in Sägeblöcke zerlegt.

Abbildung 6.71: Berner Sandstein, Steinbruch Krauchthal. Ein Grubenbruch, der im Bergbau abgebaut wird.

### 6.3.5.2 Plattensandsteine

Die Plattensandsteine zeichnen sich durch eine mehr oder weniger ausgeprägte Schichtung aus, was die Herstellung von Platten, Stufen, Bordsteinen und auch Blöcken mit bruchrauhem Flächen ermöglicht. Sie werden vielfach im Gartenbau verwendet. Die für die granitischen Sandsteine typischen roten Feldspatkörnchen fehlen, dafür ist in den Plattensandsteinen der Glimmergehalt höher. Glitzernde Glimmerplättchen erkennt man gut auf den Plattenflächen. Plattensandsteine werden heute noch in folgenden Steinbrüchen gewonnen:

- *St. Margrethen–Fuchsloch SG*: In ebenem Gelände angelegter alter Grubenbruch mit zuseit bescheidenem Abbau. Die Blöcke müssen mit dem Kran aus der Grube gehoben werden.
- *Buchen bei Staad SG*: Ein im Walde liegender, mächtiger, schon seit langer Zeit bestehender Hangbruch ([Abbildung 6.70](#)) mit der heute weitaus grössten Fördermenge aller Sandsteinbrüche. Der Abtransport des gewonnenen Materials erfolgt über die am Hangfuss liegende Strasse.
- *Root-Rooterberg LU*: Alter, versteckter Nischenbruch, in dem der Sandstein hangparallel einfällt. Die Blöcke werden mit einem historischen Holzderrick bis zum Verladeplatz geschleift. Bemerkenswert ist die offenliegende Schichtplatte des Sandsteins, die wunderschöne Rippelmarken (versteintes Abbild von Wellenbewegungen) aufzeigt.

### 6.3.5.3 Berner/Freiburger Sandsteine

Die Berner und Freiburger Sandsteine liegen in der flachen Molasse, die vom Vormarsch der Alpen nach Norden nicht mehr betroffen wurde. Sie sind denn auch weit weniger verfestigt (schwache Diagenese) und dementsprechend auch in bautechnischem Sinne «weicher» als die granitischen Sandsteine und Plattensandsteine, obwohl sie aus der gleichen Zeit (Burdigalien) stammen. Aktuell abgebaut werden die Berner Sandsteine noch an folgenden Orten:

- *Krauchthal BE*: In einer alten Steinbruchnische wird heute der Stein im Kavernenabbau gewonnen ([Abbildung 6.71](#)). Die alten Steinbruchwände zeigen vielfach Spuren aus früheren Abbauperioden.
- *Ostermundigen BE*: Oberhalb der Ortschaft liegen im Wald die mächtigen alten Wände der früheren Brüche, die in Stufen weiter abgebaut werden.
- *Köniz, am Gurten BE*: Auch hier wird von alters her Berner Sandstein (besonders für die Instandsetzung des Berner Münsters) gewonnen.

Die drei genannten Brüche decken vor allem den Bedarf für die Instandhaltung der alten Bausubstanz in Bern und Umgebung. Ohne diesen, überwiegend durch denkmalpflegerische Überlegungen bedingten Bedarf wäre wohl der Abbau wesentlich bescheidener.

Von den vielen Steinbrüchen im Saanegebiet, in denen früher die Freiburger Sandsteine (der dem Berner Sandstein gleichzusetzen ist) gewonnen wurde, sind nur zwei übriggeblieben:

- *Villarlod FR*: Ein alter Steinbruch mit einer imposanten mächtigen Wand, durchwegs mit Zweispitzspuren. Ein bescheidener Abbau ist noch im Gange.
- *Massonnens FR*: Ein jüngerer, als flache Hangnische konzipierter, streng geometrisch angelegter Bruch, in dem treppenförmig und optimal abgebaut wird.

### 6.3.5.4 Muschelkalke

Muschelkalke, obwohl zur gleichen Zeit wie die vorgenannten Sandsteine entstanden, sind viel härter und auch witterungsbeständiger. Sie dienten deshalb bereits seit der römischen Besiedlung der Schweiz als Bausteine (Steinbruch von Würenlos). Heute sind noch drei Brüche in Betrieb:

- *Mägenwil AG*: Ein Grubenbruch nutzt das Muschelkalkvorkommen von Othmarsingen–Mägenwil seit langem.
- *Seiry FR*: Ein vor 30 Jahren noch unbedeutender Bruch, als Hangnische angelegt, hat sich gut entwickelt und liefert einen pyritarmen Muschelkalk.
- *Murist–La Molière FR*: Ein alter Grubenbruch auf einer flachen Hügelkuppe, unmittelbar neben dem trutzigen La Molière Turm, welcher dem «Grès de la Molière» den Namen gegeben hat; kaum systematisiert und nur noch unbedeutend. Gut sichtbar sind hier zahlreiche grosse Pyritkörner, die zu Rostläufen an den Bruchwänden führen.

### 6.3.5.5 Weitere Gesteine der Molasse

Im Mittelland wurden früher Gesteine abgebaut, die auch heute noch interessant wären, aber meist aus raumplanerischen und landschaftsschützerischen Erwägungen nicht mehr in Frage kommen. Zu nennen wäre etwa die *Seelaffe*, ein feinkörniger Muschelkalk aus der Gegend von Rorschach, kalkreiche Sandsteine (*Appenzeller Sandstein*, *Grès d'Attalens*), die sehr hart und widerstandsfähig sind und zur Zeit noch in einem Einmannbetrieb oberhalb Ebnet-Kappel abgebaut werden oder auch der *Appenzeller Granit* (Degersheimer





6.72



6.73

Kalknagelfluh), eine feinkörnige, dunkelgraue und sehr harte Nagelfluh sowie auch gut verkittete gröbere Nagelfluhen vom Typ Rigi/Rosberg, die heute gelegentlich lokal als Stützmauern verbaut werden.

*Kalktuffe*, als jüngstes Gestein des Mittellandes, kommen leider kaum mehr vor, da die vielen kleinen Vorkommen ausgebeutet sind oder unter Schutz stehen (z.B. Höllgrotten von Baar; [Kapitel 6.1.3.10](#)).

*Findlinge* (erratische Blöcke), als Fremdlinge bei Aushub und in Kiesgruben immer noch in grossen Mengen neu gefunden, zieren wohl manchen Garten, kommen aber als Baustein heute kaum mehr in Frage, da sie nicht wirtschaftlich verarbeitet werden können (ausser für bildhauerische Gestaltung, beispielsweise für Brunnenbecken; [Kapitel 6.1.3.10](#)).

### 6.3.6 NATURSTEINE DER ALPEN

Die Schweizerischen Alpen mit ihrer Vielfalt an geologischen Einheiten – die Südalpen, das Penninikum, die Zentralmassive, das Helvetikum und das Ostalpin – bieten uns eine grosse Palette verschiedenster Gesteine an; verschieden in ihrer Zusammensetzung, in ihrer Farbe und Zeichnung, ihren

technischen Eigenschaften und damit ihrer Eignung für Bauzwecke. Gemessen daran ist die Zahl der heute noch ausgebeuteten Bausteine relativ bescheiden. Wurden früher zur Erstellung von Steinbauten einfach in der Nähe vorkommende Gesteine abgebaut, auch wenn sie nicht besonders geeignet waren, werden heute hohe Anforderungen gestellt. Die mechanische Verarbeitung vor allem auf der Gattersäge bedingt grosse gesunde Blöcke, um rationell arbeiten zu können.

Die alpine Tektonik und Spannungen aus jungen Veränderungen der Oberflächenformen (insbesondere glaziale Durchtalungen) beanspruchten aber viele Gesteine bis in den Klebereich, und Zerrüttungszonen, Klüfte, Mikrorisse oder Talbankung beeinträchtigen die Gewinnung von Sägeblöcken. Dies betrifft vor allem Kalksteine, die, so attraktiv sie wären (z.B. «Ragazer Marmor», Kalk von St-Triphon), wegen ihrer Sprödigkeit kleinräumig zerrissen sind, so dass der Abbau von Blöcken in ökonomischer Grösse (2 bis 8 Kubikmeter) kaum möglich ist. So müssen heute bei Sanierungen statt Ragazer Marmor oder St-Triphon Kalk Ersatzplatten aus spanischem «Nero Marquina» eingepasst werden. Gneise hingegen liefern meist sehr gute Blöcke, da sie oft grossbankig anstehen, in sich kompakt sind und Störzonen gegenüber gesundem Fels stark zurücktreten.

Abbildung 6.72: Andeergranit Steinbruch bei Andeer GR, als Hangbruch angelegt.

Abbildung 6.73: Soglioquarzit Steinbruch Promontogno GR abenteuerrich in steiler Wand ob der Maira hängend.



Die Zugänglichkeit der Steinbrüche in den Alpen ist wirtschaftlich gesehen oft der limitierende Faktor für den Abbau von an und für sich qualitativ hochstehenden Natursteinen. Als «Nischenproduktion» werden aber teilweise auch in kleinerem Rahmen Gesteine abgebaut, deren Abbau und Verarbeitung nicht dem neuesten Stand entsprechen.

Für die folgende Zusammenstellung der wichtigsten Naturbausteine der Alpen wurde eine Gliederung nach den alpinen Grossräumen «Östliche Alpen», «Zentralalpen/Tessin» und «Westliche Alpen» gewählt.

### 6.3.6.1 Östliche Alpen

Der Bereich der östlichen Alpen umfasst die Kantone Graubünden (ohne das untere Misox und die Surselva, die dem Kapitel Zentralalpen/Tessin zugerechnet werden), den alpinen Teil des Kantons St. Gallen und den Kanton Glarus. Vom geologischen Aufbau her ist dieser Raum ausserordentlich komplex aufgebaut und weist eine Vielfalt verschiedenster Gesteine auf. Davon werden aber nicht mehr viele wirklich abgebaut. Es sind vor allem die Gneise der penninischen Decken, die heute den Hauptanteil an Natursteinen liefern, während die weit im Süden liegenden noch abgebauten Vorkommen von Graniten und Serpentiniten keinen breiten Markt haben. Im Helvetikum liegt nur der Abbau von Verrucano bei Mels. Die Beschreibung der Gesteine der östlichen Alpen ist wie folgt gegliedert:

- A) Bündner Gneise, Granite und Serpentinite
- B) Verrucano des Helvetikums

#### A) Bündner Gneise, Granite und Serpentinite

Die leukokraten (hellen) Gneise der Bündner Decken haben eine lange Tradition und lassen sich wegen ihrer ausgezeichneten Spaltbarkeit noch heute auf vielen alten (und leider nur selten neuen) Dächern finden. Der alte Handelsname «Bündner Quarzit» ist, mit Variationen der Geographie (Hinterrhein-, Rhein-, Bernharden-, Mesocco- und Soglioquarzit) auch heute noch gebräuchlich und täuscht den Anwender insofern nicht, als diese Gneise in den technischen Eigenschaften einem echten Quarzit kaum nachstehen. Der Unterschied liegt im wesentlichen im kleineren Quarzgehalt des Gneises, der dafür mehr Feldspat enthält. Typisch für die Bündnergneise ist der recht hohe Gehalt an hellen Glimmern (Muskovit, Serizit), die oft auch grün sind

(Fuchsit, Phengit). Dunkler Glimmer (Biotit), der für die Tessinergneise so bezeichnend ist, fehlt vollständig. Im Dreieck Splügen–Hinteres Rheinwald–Mesocco waren in den fünfziger Jahren ein gutes Dutzend Steinbrüche in Betrieb. Nach einer Periode mit nur noch einem einzigen Bruch sind zuzeit wieder zwei in Betrieb. Auch bei Vals sind kürzlich wieder neue Abbaue von Gneisen entstanden. Zurzeit werden im Penninikum die folgenden Gesteine abgebaut:

- **Andeergranit:** Im Schams, unmittelbar südlich von Andeer, wird in zwei Steinbrüchen (beide als Hangbrüche angelegt) der grüne Andeergranit, ein flaseriger, grobkörniger Gneis aus der Surettadecke abgebaut (Andeergranit ist auch bekannt unter den Namen Rofnaporphyr, Rofnagneis, Andeerergneis). Die Schieferung ist zwar gut erkenntlich, aber so grob, dass keine Platten gespalten werden können. Ein Grossteil der Rohblöcke wird denn auch plattig aufgesägt und weiterverarbeitet. Der Abbau geschieht in einem Bruch noch weitgehend durch Sprengung mit Schwarzpulver, wodurch viele wildförmige Blöcke anfallen. Im anderen Bruch wird auch mit Diamantseil und Bohren abgebaut, was aber wegen der Klüftung und Bankung nicht einfach ist. Entsprechend aufwendig ist deshalb die Weiterverarbeitung. Die Produktpalette dieses beliebten grünen Gesteins ist umfassend: Es werden für den Hochbau Bodenplatten, Trittplatten, Fassadenverkleidungen in allen Bearbeitungen wie auch Küchenabdeckungen und Cheminées produziert; Mauersteine, Pflastersteine und Blockmauerwerk sind im Garten- und Landschaftsbau gesucht und schliesslich sind auch Grabmale als «Felsen» oder in bildhauerischer Manier häufig anzutreffen. Dadurch, dass die Steinbrüche in eigenen Werken auch die Verarbeitung zum Endprodukt weitgehend in den Händen behalten haben, werden zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen, die für die sonst industrie- und gewerbearme Region volkswirtschaftliche Bedeutung haben.
- **Soglioquarzit:** Im Bergell bei Promontogno und an der Strasse nach Soglio hinauf wird in zwei grossen, am Hang angelegten Steinbrüchen Soglioquarzit abgebaut, ein sehr heller, dünn spaltender Gneis, dessen Farbe schwierig zu beschreiben ist (hell-licht-oliv wäre eine möglich Bezeichnung). Die Gneise gehören zur Tambodecke. Auch grössere Platten lassen sich mit sehr ebenen Flächen mit Stärken von 3 bis 5 Zentimeter spalten, was diesem Gestein seit langem Vorteile im Gartenbau verschafft hat. In neuerer Zeit werden die Blöcke auch aufgesägt, wodurch das beliebte Gestein vermehrt Zugang im Innenausbau und Fassadenbau findet.



Dieser Gneis findet immer mehr Liebhaber in ganz Europa. Der Abbau von kleineren Blöcken zum Aufspalten respektive grösseren zum Aufsägen erfolgt sowohl durch Sprengungen mit Schwarzpulver wie auch durch Abbohren am Berg unter engsten Platzverhältnissen. Die Weiterverarbeitung findet zum Teil an Ort, zum Teil jenseits der naheliegenden italienischen Grenze statt.

- *Hinterrheinquarzit, Bernhardinquarzit*: Von ähnlicher Farbe wie der Soglioquarzit, wenn auch etwas dunkler und grauer, sind die im Rheinwald gewonnenen *Hinterrheinquarzite*, die früher vielfach auch verallgemeinernd als *Bündnerquarzit* oder *Bernhardinquarzit* bezeichnet wurden. Noch nach 1945 waren ein gutes Dutzend Brüche beidseitig des Hinterrheins von Nufenen bis westlich des heutigen San-Bernardino-Tunnels und an der alten Passstrasse bis nach San Bernardino hinüber in Betrieb. Lange Zeit war dann nur noch ein Bruch im «Dürrboden» (Dürrbüel) halbwegs zur Passhöhe offen, während in neuerer Zeit wieder ein alter Steinbruch «Brunst» beim Panzerschiessplatz, etwa zwei Kilometer westlich des Tunneleinganges, reaktiviert wurde. Es werden dort Flussbausteine und Sägeblöcke unter der etwas zu stark verallgemeinernden Bezeichnung *Rheinquarzit* produziert. Im Steinbruch bei Dürrbüel werden gespaltene Platten für den Gartenbau unter dem Namen *Bernhardinquarzit* hergestellt. Bei beiden handelt es sich um Gneise aus der Aduladecke mit sehr guter Spaltbarkeit. Gelegentlich gehen die Plattengneise in schwach ausgeprägte Augengneise über, wobei dann die grossen Feldspäte auf den Spaltflächen typische Knoten, kleine Buckel von einigen Millimetern Höhe bilden.
- *Valsergneis*: Im hinteren Valsertal, westlich des Dorfes Vals, wird seit einigen Jahren der Abbau des *Valsergneises* intensiviert. Der Gneis ist in seiner Ausbildung sehr lebhaft und variiert von einem Glimmerschiefer bis zu einem Augengneis. Er ist feinkörnig von grauer Farbe mit weissen Adern und wurde in grosser Menge in der neuen Terme von Vals eingebaut. Auch in der übrigen Schweiz gewinnt er zunehmend an Bekanntheit, da er, im Gegenlager gesägt, eine attraktive Variante zu den Tessinergneisen bietet. Er stammt aus der Aduladecke. Die kompakteren Typen sind wetterfest und von guter Abriebbeständigkeit. Wegen der nicht parallelen Schieferung wird er meist nicht gespalten, sondern maschinell verarbeitet. Neben den genannten grauen Typen wird auch ein hellgrüner Gneis, seinerzeit als *Valserquarzit* bezeichnet, in geringer Menge abgebaut.

Im untersten Puschlav, bereits im Ostalpin, schliesslich werden gewonnen:

- *Campasciogranit*: Es handelt sich um einen der wenigen echten Granite, die in der Schweiz abgebaut werden (auch bekannt als «blauer» Brusiogranit aus dem Kristallin der Berninadecke, nach Rudolf Staub ein Banatit-Monzonit). Der Bruch am Westhang des Puschlav, zwischen Brusio und Campascio gelegen, ist klein. Es werden Sturzblöcke aus der oberhalb liegenden Fluh verarbeitet. Der Campasciogranit weist viele Einzelkristalle aus Pyrit auf, die im Freien rasch anrosten.
- *Zalende Nuvolato*: Damit wird ein grün-grauer, hochmetamorpher Schiefer des ostalpinen Altkristallins aus einem kleinen Hangbruch am Osthang des Puschlavs gegenüber Zalende bezeichnet (meist als «Metabasit» bezeichnet).
- *Poschiavoserpentinit*: Schon in den dreissiger Jahren begann der Abbau von Serpentinit in Selva bei Poschiavo, allerdings stagnierte dann der Abbau und wurde erst kürzlich wieder aufgenommen. Der Serpentinit, ein Ausläufer des grossen Malencokörpers, unterscheidet sich vom Hauptvorkommen durch seine helle, grüne Farbe und die bräunliche Anwitterung. Der Bruch liegt auf über 1500 m Höhe oberhalb Selva, am Westhang des Puschlavs hoch über San Antonio. Der Serpentinit wird vor allem als Verkleidung im Innen- und Aussenbereich verwendet.

## B) Verrucano des Helvetikums

Im Helvetikum der östlichen Alpen besteht nur noch ein Steinbruch für Naturbausteine:

- in *Mels* wird ein karminroter Verrucano (Axendecke) in kleinen Mengen für Bauzwecke abgebaut. Es handelt sich um eine etwas schiefrige, feinkörnige Varietät und nicht um ein Grobkonglomerat (wie z.B. der aus Findlingen bekannte Glarner Verrucano). Das Vorkommen ist so stark zerrissen, dass leider keine kompakten Blöcke gewonnen werden können, die sich zu grösseren Platten verarbeiten liessen.

### 6.3.6.2 Zentralalpen/Tessin

Der Kanton Tessin und das ihm hier zugerechnete bündnerische Calancatal sind zweifelsohne die bedeutendsten Steinbruchregionen der Schweiz für Naturbausteine. Die Anzahl

der Steinbrüche und ihr Ausstoss beträgt ein Mehrfaches aller übrigen Natursteinbrüche der Schweiz. In Anbetracht der Bedeutung wird mit der Südschweiz begonnen; der Abschnitt ist wie folgt gegliedert:

- Südschweiz: *A) Gneise der Tessinertäler und des Calancatales (GR)*  
*B) Marmore von Castione und Val Peccia*  
*C) Buntmarmore (Liaskalke) von Arzo*
- Zentralalpen: *D) Granite des Reuss- und Aaretales*  
*E) Kalksteine und Flyschsandsteine des zentralen Helvetikums*  
*F) Serpentine und Specksteine der Rhein-Rhonelinie*

#### A) Gneise der Tessinertäler und des Calancatales:

Das Kristallin der tieferen, im Tessin aufgeschlossenen penninischen Decken (Simano-, Antigorio-, Leventinadecke) besteht zum Teil aus Gneisen granitischen Ursprungs, die sich meist sehr gut für bauliche Zwecke eignen und seit altersher für Mauerwerk, Beläge und Dächer verwendet wurden. Die Beschreibung der heute abgebauten Gesteine beginnt mit den in den tiefsten tektonischen Einheiten liegenden Vorkommen. Ein Grossteil der seinerzeit von F. de Quervain [1969] beschriebenen kleineren Steinbrüche, vor allem im Misox, Pedemonte, Onsernone und in der Ceneri-Zone, sind heute aufgelassen und werden hier nicht mehr erwähnt. Die Steinbruchindustrie ist für den Kanton Tessin und für das Calancatal von wirtschaftlicher Bedeutung:

##### Steinbruchindustrie Tessin und Calancatal

Maggiatal und Vergeletto:	Gewinnung von Gneis: 70'000 m <sup>3</sup> , davon 50% Abraum
Riviera, Leventina und Bleniotal:	Gewinnung von Gneis: 100'000 m <sup>3</sup> , davon 30% Abraum
Castione:	Gewinnung von Marmor/Kalksilikatfels 500 m <sup>3</sup> , davon 50% Abraum
Val Peccia (Cristallina):	Gewinnung von Marmor 4'000 m <sup>3</sup> , davon 80% Abraum
Arzo:	Gewinnung von Kalkbrekzie/«Marmor» 100 m <sup>3</sup> , davon 50% Abraum

Mit dem Abbau und der Bearbeitung von Gneis waren  
im Jahr 1993 beschäftigt:

Riviera, Leventina, Bleniotal	350 Personen
Maggiatal und Vergeletto	270 Personen
Mendrisiotto	30 Personen
Übriges Tessin und Calancatal	150 Personen

Die beschriebenen Tessinergneise sind mit einigen, für den Praktiker wichtigen Merkmalen in der [Abbildung 6.74](#) zusammengefasst. Die Lage der Steinbrüche respektive Steinbruchgruppen ist in gesamtschweizerischer Übersicht ([Abbildung 6.83](#)) sowie auf einer separaten tektonischen Skizze ([Abbildung 6.74](#)) festgehalten.

Nach alter Tradition spricht man von «Tessinergraniten», auch bei den ausgezeichnet spaltbaren feinschiefrigen Gneisen. Man kann heute davon ausgehen, dass die korrekte petrographische Einordnung der Tessinergneise allgemein bekannt ist, so dass die Veredelung zu «Granit» keine Täuschung bewirkt. Im Tessin selbst unterscheidet man die «graniti», die schlecht spaltbaren massigeren Gneise (Leventina–Riviera), von den «beole», den leicht zu Platten spaltbaren dunklen Gneisen (Maggia usw.).

#### Gneise der Leventina und der Riviera

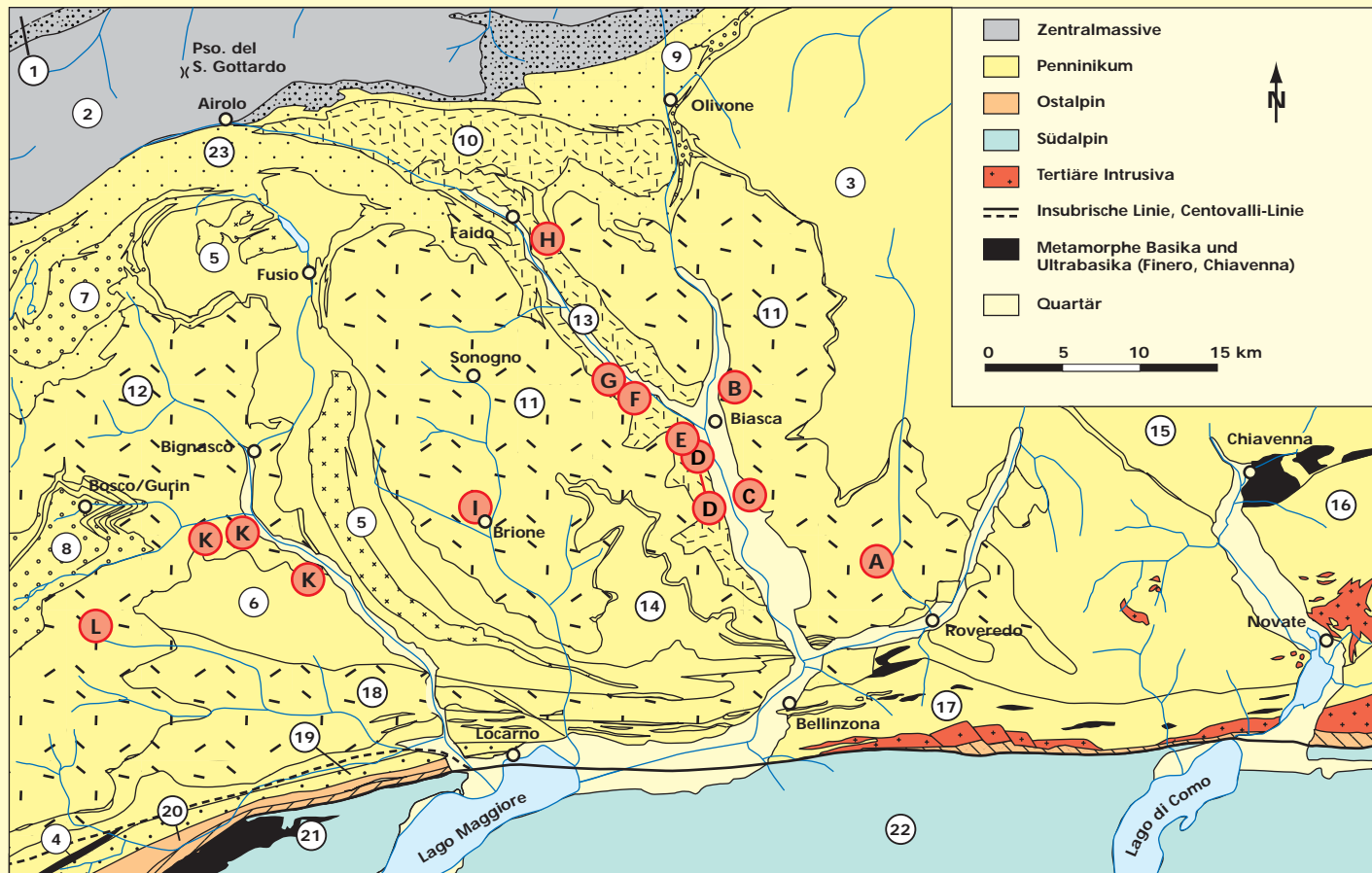
**Vorkommen:** Von Rodi im Norden bis Claro/Preonzo im Süden werden die unteren Bereiche der Talhänge von den flachliegenden, meist bankigen granitoiden *Leventinagneisen* eingenommen. Deren vorzügliche bautechnische Eigenschaften führten zur Nutzung durch die frühesten Siedler, um Unterkünfte, Stützmauern und Sakralbauten zu erstellen. Mit dem Bau der Gotthardbahn begann eine intensivere Nutzung, zuerst für die Bahnbauten selbst (Stütz- und Schutzmauern, Tunnelverkleidungen, Gebäude) und später dank der neuen Bahnlinie auch für Bauten nördlich der Alpen.

**Beschaffenheit:** Die Hauptmasse des Leventinagneises besteht aus quarzreichen Zweiglimmergneisen mit schwärzlichem Biotit und silberweissem Muskovit. Die Färbung der Gneise reicht von weisslich über ein liches Neutralgrau zu Dunkelgrau, andere Farben kommen nicht vor. Das Gefüge ist stark schiefrig bis massig mit allen Übergängen, wobei aber auch bei den massigen Ausbildungen noch Parallelorientierungen erkennbar sind. Die Glimmer sind überwiegend auf den Lagerflächen (strukturell: Schieferungsflächen) angereichert; die zum Lager parallelen Bruchflächen sind daher meist dunkler als andere Bruchflächen (Zweihäufigkeit). Wo das Gestein Stengelcharakter annimmt, sehen Lager- und Längsbruch sehr ähnlich aus, und der Querbruch täuscht massige Textur vor. Die Varietäten des Leventinagneises ändern generell mit den Abbaustellen, gehen aber häufig ineinander über. Sie sind nach den Abbauorten benannt:

- Typus *Claro*: fein- bis mittelkörnig; sehr hell; nur schwach schiefrig; Glimmerplättchen vorwiegend einzeln auftre-



# Vorkommen der wichtigsten abgebauten Tessiner Gneise



NAME	FARBE	STRUKTUR	SPALTBARKEIT	KORNGRÖSSE	TEKTONISCHE EINHEITEN
<b>A</b> Calanca	(violett)dunkel	feinschiefrig 2-4 mm	gut auf 4-5 cm	2-4 mm	1 Aarmassiv
<b>B</b> Legiuna	weiss-grau-bräunlich	grober Augengneis	schlecht	4-40 mm	2 Gotthardmassiv mit Mesozoikum
<b>C</b> Cresciano	weiss-schwarz	grobschiefrig 3-8 mm	mässig	4-12 mm	3 Adula-Decke
<b>D</b> Lodrino/Iragna	weiss-schwarz	mittelschiefrig 2-6 mm	mässig	2-10 mm	4 Antrona-Einheit
<b>E</b> Iragna dunkel	grau	fein/mittelschiefrig	mässig	2-4 mm	5 Maggia-Zone
<b>F</b> Personico	weiss-schwarz	mittelschiefrig 2-6 mm	mässig	2-10 mm	6 Vergeletto (Maggia-Zone)
<b>G</b> Bodio nero	dunkel	feinschiefrig/adrig 2-3 mm	gut auf 4-6 cm	1-5 mm	7 Lebendun-Decke
<b>H</b> Lavorgo	grau	sehr grob 5-15 mm	schlecht	4-15 mm	8 Bosco-Serie
<b>I</b> Verzasca dunkel	dunkel	feinschiefrig 2-4 mm	gut auf 4-5 cm	2-4 mm	9 Soja-Decke
<b>K</b> Maggia	dunkel	feinschiefrig 1-3 mm	sehr gut 4-5 cm	1-3 mm	10 Lucomagno-Gneis
<b>L</b> Onsernone	dunkel	feinschiefrig 1-3 mm	sehr gut 4-5 cm	1-3 mm	11 Simano-Decke
					12 Antigorio-Decke
					13 Leventina-Gneis
					14 Cima-Lunga-Einheit
					15 Tambo-Decke
					16 Gruf-Komplex
					17 Bellinzona-Dascio Zone
					18 Mergoscia-Arbedo Zone
					19 Locarno Zone
					20 Sesia-Zone
					21 Ivrea-Zone
					22 Südalpin
					23 Mesozoikum, vorwiegend Bündnerschiefer

6.74

Abbildung 6.74: Übersicht der wichtigsten abgebauten Tessiner Gneise.  
(leicht modifiziert nach: P. Heitzmann, 1990: Guida alle escursioni, VSP-Tagung 1990 in Locarno)

tend, geringe Konzentration in Lagen; bildet das Südende des Leventinagneiskörpers; Vorkommen in Claro und Preonzo; nicht sehr bedeutend. Zurzeit kein Abbau (früher bei Spineda am Westhang der Riviera gegenüber Claro).

- Typus *Cresciano*: vorwiegend mittelkörnig/gleichkörnig; stark schiefrig; Glimmer in welligen, nicht durchgehenden Lagen und Flatschen angeordnet (Gefüge zweihäufig); die Hell-Dunkelstruktur liegt in der Grösse von etwa 2 bis 3 cm (=grobflaserig), bildet das Hauptgestein der Brüche von Cresciano–Osogna; es bestehen Übergangsvarietäten zu den Typen *Claro* und *Bodio*. Wird in erheblicher Menge in Hangbrüchen am Osthangfuss der Riviera unmittelbar südlich der SBB-Station Osogna–Cresciano entlang der Geleise abgebaut.
- Typus *Iragna-Lodrino*: Ähnlich wie *Cresciano*, jedoch feinkörniger; die Hell-Dunkelstruktur hat eine Grösse von deutlich unter 2 cm (0.5–1.5 cm; =mittelflaserig). Ausgedehnter Abbau in Hangbrüchen am Fuss des Westhangs der Riviera und der südlichen Leventina bis vor Personico (wo der Gneis in die dunkle Varietät *Bodio nero* übergeht). Einige Brüche liegen auch höher über dem Talboden, besonders am Ausgang der Leventina.
- Typus *Bodio*: grau-schwarz, fein- bis mittelkörnig, meist deutlich porphyrisch mit grossen, oft eckig umgrenzten Kalifeldspat-Einsprenglingen; annähernd massig bis schiefrig (zwei- bis dreihäufig). Vorkommen nördlich von Osogna und Iragna bis in den Bereich der Biaschina. Gleicht dem Maggiagneis, jedoch mit charakteristischen weissen Adern und Flasern. Abbau nach langem Unterbruch in zwei Steinbrüchen am Westhang der Leventina nördlich und südlich von Personico.
- Typus *Lavorgo*: mittel- bis ziemlich grobkörnig, grau, mässig gut spaltbar; augen- und linsenförmige Feldspateinsprenglinge (deutlich sichtbar auf Längs- und Querbruch); Reduzierter Abbau am Osthang der Leventina zwischen Chiggiogna und Lavorgo.
- Typus *Faido*: meist hell, stark schiefrig-lagig, stellenweise gefältelt, Korngrösse wechselhaft; Vorkommen von Faido bis Rodi; nicht mehr abgebaut.
- Typus *Iragna scuro*: mausgrau, feinkörnig, biotitreicher und daher dunkler als die anderen Typen, Glimmer ziemlich gleichmässig verteilt, kommt in grösseren Linsen vor (südlich von Lodrino, bei Osogna, südlich von Iragna und zwischen Personico und Bodio). Gelegentlicher Abbau bei Iragna.

Dünnschliffanalysen zeigen, dass der Feldspat der Typen *Claro* und *Cresciano/Iragna-Lodrino* als saurer Plagioklas

vorliegt (reich an Natrium und arm an Kalzium), während die porphyrischen dunkleren Varietäten (*Bodio* und *Lavorgo*) neben Plagioklas viele lichtgraue Kalifeldspäte (Mikroclin) führen. Am Kontakt zwischen Plagioklas und Kalifeldspat kann Myrmekitbildung (Durchwachsung mit Quarz) im Plagioklas beobachtet werden; im übrigen zeigen die Feldspäte kaum Einschlussmineralien.

Die stärker verschieferten Gesteine zeigen eine deutliche Streckung der Mineralien (Glimmer, Feldspäte, z.T. auch Quarz) in der Schieferungsrichtung. Chemisch entsprechen die Hauptvarietäten den kieselsäurereichen granitischen und quarzdioritischen Gesteinen des Mont-Blanc-, Aar- und Gott-hardmassivs, während die dunkleren, feinkörnigen Typen deutlich basischer sind.

#### *Gneise des Bleniotals*

*Vorkommen*: Das östliche axiale Abtauchen der tektonischen Einheiten bewirkt, dass das Bleniotal in die über der Leventinadecke liegenden penninischen Decken eingeschnitten ist. Die Basis der Simanodecke, der untersten Einheit dieser Abfolge, wird aus granitoiden Gneisen gebildet, die nördlich des Val Pontirone (zwischen Biasca und Malvaglia) anstehen.

*Beschaffenheit*: Bei den hier abgebauten Augen-, Lagen- und Spindelgneisen handelt es sich um gut gerichtete, quarz- und feldspatreiche Zweiglimmergneise. Die bis zu 10 cm grossen Augen bestehen zum Teil aus grossen Feldspatkristallen, teils aus feinkörnigem Quarz-Feldspatgemenge und sind besonders auf dem Querbruch deutlich sichtbar.

- Typus *Legiuna*: ein grobkörniger, lebhaft strukturierter Gneis mit Feldspataugen bis etwa 8 cm Durchmesser. Abbau beim Ausgang des Val Pontirone, dessen Bach «Lesgiuna» (= Legiuna) heisst.

#### *Gneise des Calancatal*

*Vorkommen*: Von den früher recht zahlreichen Steinbrüchen im Misox und im Calancatal ist heute nur Arvigo als Abbaulokalität übriggeblieben. Hier werden Gneise der höheren Simanodecke abgebaut.

*Beschaffenheit*: Im Bereich von Arvigo dominieren die dunkleren fein- bis mittelkörnigen, meist plattigen Biotitgneise, deren Farbton einen ausgesprochenen Braun- bis Violettstich aufweist. Daneben treten auch helle, massigere Zweiglimmergneise auf.





6.75



6.76

- Typus *Calanca*: mittelkörniger, gut spaltbarer Gneis, durch den Violetstich und eine typische «Striemung» von Maggia- gneis gut unterscheidbar. Abbau in zwei grossen Hangbrü- chen am Westhang des Val Calanca südlich Arvigo.

#### *Gneise des Verascatals*

*Vorkommen:* Der grösste Teil des Einzugsgebietes des Verzas- catal befindet sich im Bereich der Simanodecke, die im Süden und Südwesten an den Cima Lunga-Lappen und im Westen an den Maggia-Lappen angrenzt. Abgebaut werden Gneise der Simanodecke.

*Beschaffenheit:* Die Verzascagneise sind dunkle, mittelkö- rni- ge Gesteine ähnlicher Ausbildung wie die Calancagneise. Daneben gibt es auch massigere, helle Typen mit relativ spärlichen, gleichmässig verteilten, glänzend-schwarzen Bio- titen (die ein auffälliges Punktmuster bilden) und silberweissen Muskoviten. Die geschieferten Gneise sind zum Teil zwei- häuptig, zum Teil dreihäuptig mit deutlicher Striemung.

Im Dünnschliff zeigt sich, dass der massige Gneis aus der Gegend von Brione aus 30% Quarz, 50% natriumreichem Plagioklas, 15% Kalifeldspat und 5% Muskovit/Biotit zusam- mengesetzt ist und damit petrographisch den Leventinagnei- sen von Claro und Cresciano verwandt ist, während die dunk- len Typen kaum von Calancagneisen unterschieden werden

können, da sie ebenfalls eine parallele «Striemung» aufweisen.

- Typ *Verzasca dunkel*: wie Typus Calanca, Abbau am Sporn zwischen der Val d'Osola und dem Val Verzasca bei Soriolo westlich Brione-Verzasca.
- Typ *Verzasca hell*: fast weisser Gneis mit charakteristischen schwarzen Punkten; seit längerer Zeit nicht mehr abgebaut (kein Steinbruch, nur Sturzblöcke).

#### *Gneise des Maggiatal*

*Vorkommen:* Das mittlere Maggiatal, von Someo an aufwärts, liegt zusammen mit den untern und mittleren Abschnitten des Rovana- und des Bavonatales in der Orsalia-Serie der Antigorio- decke, die im Bereich von Riveo-Cevio-Linescio nutzbare plattige und bankige Biotitgneise führt.

*Beschaffenheit:* Die heute im Maggiatal abgebauten Gneise zeichnen sich durch ihr feines, gleichmässiges Korn und durch ihre bei Spaltplatten vorwiegend glänzend-schwarze Färbung aus, die stellenweise einen leicht grünlichen Stich annimmt. Sie sind in ausgeprägtem Mass ebenflächig spaltbar entlang den mit Glimmern (vor allem Biotit) angereicherten Lager- flächen. Eine «Striemung» ist kaum vorhanden. Die Gneise bestehen hauptsächlich aus den gegeneinander verzahnten Hauptgemengteilen Quarz, Oligoklas, Orthoklas und Biotit, wobei die Glimmer meist gut eingeregelt sind. Grobbankige

Abbildung 6.75: Maggiagneis, Steinbruch Riveo TI.

Abbildung 6.76: Cristallinamarmor. Teilansicht des Steinbruches, der sich hinter Peccia über mehrere hundert Meter Höhe zieht.



Einschaltungen mit eher massigem Gestein sind recht häufig, vor allem im Bavenatal, wo sie aber nicht mehr abgebaut werden. Neben den altbekannten feinkörnigen Maggiagneisen sind lokal auch gröbere und hellere Varietäten abgebaut worden (z.B. Soladino).

- Typus *Maggia*: sehr feinkörnig mit hohem Anteil an feinschuppigem Dunkelglimmer, der abwechselnd mit Feldspat eine feine Hell-Dunkelschichtung bewirkt. Spaltflächen sind deshalb meist dunkler als gesägte Flächen, da sie entlang der Dunkelglimmer verlaufen. Gelegentlich sind reine Biotitlagen in die Schichtung eingestreut, entlang derer sehr ebene, völlig schwarze Spaltflächen entstehen (sogenannte «piani di mosca»). Abbau in Hangbrüchen bei Riveo am Osthangfuss des Maggiateles und von Riveo bis Cevio am Westhang, teilweise auch über dem Hangfuss liegend, sowie im Südhang der Rovana (Linescio, Valle di Campo).

#### *Gneise des Vergelettals*

*Vorkommen*: Das Vergelettal befindet sich zum grössten Teil im Bereich der Piodo di Crana-Zone, die sich nach Norden in die Orsalia-Zone (beide Antigoriodecke) und nach Osten in die Mergoscia-Zone fortsetzt.

*Beschaffenheit*: Die Gneise des hintern Vergelettals gleichen stark denjenigen von Riveo, Cevio und Linescio, wobei auch hier plattigere Zonen mit Bänken massiven Gneises wechsellagern.

- Typus *Onsernone*: vom Typus *Maggia* kaum zu unterscheiden, wenn nicht zusätzliche Merkmale (kleine Löchlein, helle Fläsern, Quarzaderung) eine Zuordnung zum Gewinnungsgebiet erlauben. Abbau in drei grossen Hangnischenbrüchen am Nordhang im hintersten Vergelettal, fast 6 Kilometer hinter dem Dorf Vergeletto. Hier werden besonders viele Sägeblöcke gewonnen.

### **B) Marmore von Castione und Val Peccia**

Die einzigen heute noch in der Schweiz abgebauten echten Marmore kommen aus dem Tessin; es sind metamorphe mesozoische Sedimente, einerseits aus der penninischen Wurzelzone an der Insubrischen Linie (Castione) und andererseits aus dem Nordpenninikum nahe am Kontakt zum Gotthardmassiv (Val Peccia).

#### *Marmor und Kalksilikatfelse von Castione*

*Vorkommen*: Der steilstehende, West-Ost streichende Marmorzug von Castione quert das Tessintal und das untere Misox nördlich von Bellinzona. Er bildet die Südgrenze der Simanodecke und die Nordgrenze des Cima Lunga-Lappens und ist bei Castione etwa 800 m mächtig. Die Abbaustellen befinden sich am Fuss des Bergrückens, der die Riviera vom Misox trennt.

*Beschaffenheit*: Der Marmorzug von Castione besteht aus fein- bis sehr grobkörnigen Marmoren, marmorisierten Kalken und Sandkalken sowie aus eigentlichen Kalksilikatgneisen mit Einschaltungen von biotitreichen Gneisen, Amphiboliten und Pegmatitgängen.

- Typus *Castionemarmor hell*: Aus dem südlichen Teil des Castionezuges werden die grobkörnigen Marmore gewonnen: weiss-grau gestreifter, stark strukturierter silikatführender Marmor einerseits mit grossen grünscharzen säuligen Diopsidkristallen und andererseits mit goldbraunen Glimmern (Phlogopit). Der Marmor kann gemischt verwendet oder nach Struktur aussortiert werden. Der Abbau erfolgt im südlichen der beiden Brüche am breiten Sporn zwischen der Riviera und dem Misox unmittelbar nördlich der Ortschaft Castione.
- Typus *Castionegranit dunkel*: Aus dem zentralen Teil des Castionezuges wird der als *Castione nero* oder *Granito nero* bezeichnete Kalksilikatgneis gewonnen, welcher aus einer feinkörnigen, wechsellagig grauweissen, graugrünen und braunen Matrix besteht, in welche rote Granatkörner mit Durchmesser von 2 bis 10 mm eingelagert sind. Die feinkörnige Grundmasse besteht hauptsächlich aus Kalkspat, Quarz, Plagioklas und/oder Skapolith, während die graugrünen Lagen besonders reich an Diopsid sind und die braune Grundmasse einen grossen Biotitgehalt aufweist. Die roten Granate sind durchwegs von anderen Mineralien durchsetzt.

#### *Marmor von Peccia*

*Vorkommen*: Das obere Val Peccia wird durchquert von einer recht mächtigen, der Trias zugeordneten Zone von karbonatischen Gesteinen, welche den Kontakt bildet zwischen dem Maggia-Lappen im Norden und der Orsalia-Serie im Süden. Die steil nach Norden einfallende isoklinale Mulde ist im Bereich von Gheiba im Val Peccia besonders mächtig und besteht, neben Einfaltungen und Einschuppungen von Kalkglimmerschiefern und Gneisen, vor allem aus Kalkmarmoren.

*Beschaffenheit*: Die Marmore sind meist grobbankig und wenig geklüftet. Das Korn ist praktisch durchwegs gleichmässig





6.77

grob und die Beimengungen, die aber auch fehlen können, bestehen aus Quarz, braunem Biotit, grünem Chlorit und anderen Silikaten. Die Bänderung des Marmors ist durch die Menge und Zusammensetzung der allgemein geringen Beimengungen bedingt. Es werden folgenden Typen unterschieden:

- Typus *Cristallina virginio hell*: einheitlich weiss bis leicht wolkig, Bank C6B
- Typus *Cristallina virginio dunkel*: heller Grund mit kräftigerer grauer Zeichnung, C6A
- Typus *Cristallina colombo normal*: wechselnd grau mit relativ starker ins Braune gehender Zeichnung, C4
- Typus *Cristallina colombo hell*: mittelgrau mit schwacher brauner Zeichnung, C4A
- Typus *Cristallina colombo dunkel*: dunkelgrau mit starker braunschwarzer Zeichnung, C6B
- Typus *Cristallina Tigrato braun*: hell mit kräftiger netzartiger bis gewellter braunschwarzer Zeichnung, C7B
- Typus *Cristallina Tigrato grün*: grau mit netzartiger bis gewellter grünschwarzer Zeichnung, C7A.

Bei dieser Einteilung in Typen handelt es sich natürlich um eine subjektive Unterteilung, die mit fortschreitendem Abbau Änderungen unterworfen sein kann. Der Marmor von Peccia ist so vielfältig, dass er sich schlecht in ein Typenschema pressen lässt, sondern immer wieder durch andere neue Variationen in Farbe und Muster überrascht. Es wäre falsch, wollte man ihn allzu einheitlich aussuchen, denn er zeigt beim Belassen seines natürlichen Spieles seine Schönheit und die reiche Geschichte seiner Entstehung erst richtig.

Der Abbau unter dem Pizzo Castello, zuhinterst im [Val Peccia](#) auf 1200 bis 1400 m (2 km hinter Piano di Peccia und



6.78

unweit der «Cristallina», die ihm den Namen gegeben hat), findet im steilen Westhang statt, in dem eine halsbrecherische Strasse zum jetzigen aktuellen Abbau führt. Die Steilheit des Hanges zwingt dazu, immer mehr in die Höhe zu gehen, da ein zu tiefer horizontaler Abbau zu einer Übersteilung führen würde.

### C) *Buntmarmore von Arzo*

**Vorkommen:** Während früher zahlreiche Vorkommen von Karbonatgesteinen der südalpiner Sedimentzone im Südtessin ausgebeutet wurden, ist heute nur noch das Buntmarmor-Vorkommen der Liasformation von Arzo im Abbau.

**Beschaffenheit:** Die brekziösen Gesteine werden als Ablagerungen auf einem in tektonischer Bewegung befindlichen Untergrund (Spaltenbildung im Hauptdolomit der Trias) betrachtet, während der «rosso» (Besaziokalk) als normales karbonatisches Sediment zu betrachten ist. Die Liaskalke von Arzo – die keine echten Marmore im petrographischen Sinne sind – sind von einer ausserordentlichen Farben- und Strukturvielfalt, und man findet sie seit frühen Zeiten weitverbreitet in Europa. Besonders für sakrale Anwendung (Altäre) fanden sie Verwendung ([Kapitel 6.1.3.6](#)). Sie sind von durchwegs kräftiger Farbe, braun, rot, braunrot, grau, gelb, teils eher uni, teils beliebig gemischt. Die Farben sind aber wegen der brekziösen Struktur scharf gegeneinander abgegrenzt. Fossilien, beispielsweise Seelilien, können in den Arzokalken vorhanden sein. Im Bruch werden folgende Varietäten selektioniert:

- Typus *Macchiavecchia*: Vorwiegend bräunlichgraue, aber auch dunkelgraue, gelbliche, blassviolette und grünliche Kalkfragmente in einer braunroten, fleischroten oder gelben

Abbildung 6.77: Arzomarmor. Hang- und Grubenbruch ausgangs Arzo TI. Hinter dem heutigen Steinbruch liegen grosse, alte Abbaustellen.

Abbildung 6.78: Arzomarmor. Schöne Rohplatte (Macchiavecchia) im Steinbruch Arzo.

karbonatischen Grundmasse bilden ein sehr variables Brekziengestein mit weisser Aderung

- Typus *Broccatello d'Arzo*: Dies ist ein wolkig-fleckiger, vorwiegend braunroter Marmor, teilweise mit Knollen- oder Brekzienstruktur, weiss gefleckt oder geadert.
- Typus *Rosso d'Arzo*: Meist braunrote, weniger deutlich gezeichnete Marmore, nicht selten mit streifiger Struktur. Die leuchtend orangerote Varietät heisst *Rosso vivo*.

Beide Hauptvarietäten *Macchiavecchia* und *Broccatello* sind ungebant und weitklüftig, was die Gewinnung von grossen Blöcken erlaubt. Der Abbau erfolgt heute nur noch in einem tiefen Grubenbruch bei Arzo, wo mit dem Diamantseil Blöcke herausgetrennt werden. Die Förderung ist bescheiden, da der Arzomarmor nie ein Massenprodukt war, sondern vor allem für ausgewählte Werkstücke verwendet wurde.

#### Weitere Gesteine

Regionale Bedeutung (Häuser, Stützmauern) hat auch der «Calcare di Moltrasio» (Liaskalk des Monte Generoso), der früher in mehreren Steinbrüchen abgebaut wurde und heute noch im Steinbruch Salorino abgebaut wird. Im Muggiotal, wo besserer und feiner gebankter Calcare di Moltrasio vorhanden ist, wurde dieser Kalk auch für Dachbedeckungen verwendet.

#### D) Granite des Reuss- und Aaretals

Das vom Bietschhorn im Wallis bis fast zum Tödi reichende, nördlich der Rhein-Rhone-Linie liegende Aarmassiv wird von zwei Querachsen, dem Reuss- und dem Aaretal durchschnitten, entlang denen seit altersher der zentrale Aaregranit abgebaut wurde.

Der früher so bedeutende «Gotthardgranit», auch «Urnergranit» benannt, stammt aus dem Kern des Aarmassivs (zentraler Aaregranit) im ernerischen Reusstal. Einst für seine Monumentalität bekannt – Werkstücke wie Balkonplatten, Blocktritte oder Randsteine bis 5 m Länge waren keine Seltenheit – ist seine Bedeutung geschrumpft, und es ist nur noch eine Abbaustätte in Betrieb ([Kapitel 6.1.3.8](#)).

- *Urnergranit*: Er wird heute nur noch aus Sturzblöcken im alten Steinbruch «Güetli» bei Gurtellen in kleineren Mengen gewonnen. Die Gewinnungsstätte liegt auf der Schutzgalerie der Nationalstrasse A2, die durch den alten Steinbruch führt. Zu massiv geratene Sprengungen in den vierziger Jahren hatten zu einer so kritischen Situation geführt,

dass der damalige Steinbruch 1947 aufgelassen werden musste. Heute liefert die labile, unterschossene Wand die Sturzblöcke. Der gewonnene Urnergranit ist recht grobkörnig mit Feldspäten bis über 1 cm und kann auch ganz leicht geschiefert sein. Der hellgrau-weiße Granit ist gekennzeichnet durch ungleichmässig verteilten, oft flaserig wirkenden schwarzbraunen bis -grünen Glimmer. Er wird heute vorwiegend gesägt und gleich verwendet wie die Tessinergneise. An alte Zeiten erinnert sein kürzlicher Einsatz für die Instandsetzung und den Umbau des Kraftwerkes Eglisau, wo aus Denkmalschutzgründen der «alte» Stein verwendet wurde.

Auch im Aaretal, wo einst für den Bau der Haslikraftwerke riesige Mengen von Granit verarbeitet wurden – so sind beispielsweise einige Staumauern des Grimselwerks mit Moellons aus lokalem Granit verkleidet –, ist nur noch eine kleine Gewinnungsstätte tätig:

- *Grimselgranit*: Auch der an der Grimselstrasse unterhalb des Räterichsbodensees über dem Strassentunnel bei «Chüenzen-tennen» gebrochene Granit gehört zum zentralen Aaregranit. Er sieht gleich aus wie der Urnergranit und wird in bescheidenem Umfang zu Grabmälern und gelegentlich auch Platten verarbeitet. Die Lage des Steinbruchs auf fast 1700 m Höhe beschränkt die Gewinnung auf die Sommermonate.

#### E) Kalksteine und Flyschsandsteine des zentralen Helvetikums

Aus den Kreidekalken der helvetischen Decken im Thunersee- und Brienzerseegebiet werden einige interessante Gesteine gewonnen; so am südwestlichen Ende des Brienzersees aus der Wildhorndecke grauschwarze, verkieselte bis verschieferter Kalksteine und im Kandertal Kieselkalk:

- *Ringgenberger Kalkstein*: In diesem Bruch nicht weit oberhalb der rechtsufrigen Brienzerseestrasse wurde viel Hauware aus einem feinspätigen Valanginienkalk hergestellt; zum Sägen eignet sich der Stein wegen der relativ feinen Bankung nicht. Zurzeit scheint allerdings der Abbau eingestellt zu sein.
- *Goldswiler Platten*: Nicht weit von den Ringgenberger Brüchen steht ein stark verschieferter und kieseliger Kalkstein des Hauterivien an, der sich zu recht grossen Platten aufspalten lässt. Leider ist auch dieser Steinbruch, zurzeit wenigstens, aufgelassen.
- *Blauseekalk*: Bei Blausee-Mitholz im Kandertal werden Sturzblöcke von Kieselkalk der Doldenhorndecke aus der Trümmernasse des Bergsturzes vom Fisistocks zu Platten



und Hauware verarbeitet. Sie zeichnen sich durch eine aussergewöhnliche Farb- und Strukturvielfalt aus, besonders wenn sie poliert werden. Der Bänderkalk zeigt einen unregelmässigen Lagenbau mit graubraunen (kalkreichen) und rot-violetten (kiesel- und eisenreichen) Kieselkalkschichten. Auch grünlichgraue Varietäten mit weniger ausgeprägter Bänderung existieren. Eine sehr kompakte und kaum gebänderte Varietät wird zu Schotter, Splitt und Wegkies gebrochen.

Die dunkelgrau bis schwarzgrauen Sandsteine des ultrahelveticen Flysches sind für ihre hervorragenden technischen Werte bekannt. Hohe Druckfestigkeit, sehr gute Frostbeständigkeit und günstiges Abriebverhalten – der Sandstein bleibt wegen der scharfkantigen Quarzkörner und des weicheren Kalkzementes im Gebrauch rau – prädestinieren sie für Pflastersteine und Zuschlagsstoffe für Strassenbeläge. Die Korngrösse ist wechselnd von 0,2 bis 2 mm (feinstkörnige Flyschsandsteine werden oft mit Basalten verwechselt). Beide heute noch produzierenden Bausteinbrüche liegen im Schlierenflysch.

- *Guber*: Unter dieser Bezeichnung wird hoch über der Grossen Schliere westlich von Alpnach Flyschsandstein abgebaut und mehrheitlich zu Pflastersteinen aller Grössen und Stellsteinen verarbeitet. Der Transport der Produkte über 500 Meter Höhendifferenz ins Tal erfolgt über eine schmale Strasse (früher mit einer Seilbahn) und stellt grosse Probleme.
- *Plasselb*: In der «Tätüren» im abgelegenen «Plasselschlund», am Weg zum freiburgischen Schwarzsee, wird ein dem *Guber* sehr ähnlicher Sandstein in kleineren Mengen zu Pflastersteinen verarbeitet.

## F) Serpentinite und Specksteine der Rhein-Rhone-Linie

Im Tavetscher-Zwischenmassiv (zwischen Brigels und dem Oberalppass) und im Aarmassiv (Oberalppass bis Brig) sowie an der Nordgrenze des Gotthardmassivs, im Rhein-, Urseren- und Rhonetal, wurden seit altersher Serpentinite und Specksteine gewonnen. Die Vorkommen sind immer nur schmale Linsen von 2 bis 50 Meter Breite und einigen Dutzend Metern Länge, meist als Vergesellschaftung von Serpentin mit Speckstein. Die bautechnische Bedeutung dieser grünschwarz-bräunlichen Gesteine war immer sehr bescheiden, sie sind aber trotzdem weitherum bekannt, da insbesondere dem Speckstein eine fast mystische Rolle zugeordnet wird, die heute wieder aktuell ist.

Serpentinite und Specksteine sind in den Alpen weitverbreitet, wurden aber nicht in allen Regionen abgebaut. Die

Petrographie dieser Gesteine ist sehr vielfältig: Grundsätzlich quarzarm oder quarzfrei, bestehen sie aus einem Gemisch von feinfaserigen bis feinblättrigen Serpentinmineralen (Antigorit, Chrysotil, Lizardit), die den eigentlichen Serpentin bilden. Dazu können härtere Minerale wie Olivin, Diallag und Magnetit vorkommen. Durch Metasomatose entstehen im Serpentin weichere Umwandlungsprodukte wie Chlorit, Talk und Karbonate. Es ist nicht definiert, wann ein Serpentin als Speckstein, Giltstein, Lavezstein, Ofenstein bezeichnet wird, da dies eher handwerkliche Bezeichnungen sind, die von der leichten Bearbeitbarkeit des Gesteins (Schnitzen, Drehen, von Hand sägen) abhängen. Als Kriterium gilt auch das «seifige» Anfühlen, das durch den Talkgehalt bewirkt wird. Bekannt ist die Jahrtausende alte Topfkultur der hinteren Maggiatäler (laveggi, giulla, pietra ollare) oder neuerdings die Schmucksteinherstellung aus «Parsennstein».

Neben der schon beschriebenen Gewinnung von Serpentin bei Selva im Puschlav ([Kapitel 6.3.6.1](#)) werden heute im Tavetsch, dem Urserental und dem Goms kleine Gewinnungsstätten betrieben:

- *Serpentin/Speckstein von Patschadauns* 1,5 km südöstlich Disentis, am Südhang des Vorderrheintales; grünschwarz mit leichter weisser Streifung (alle Farben am polierten Stein beschrieben). Abbau mit Seilsäge.
- *Serpentin/Speckstein von Mompé-Medel* südlich Disentis: Zwischen Vorderrhein und Mompé wurde ein bis vor kurzem betriebener Bruch aufgelassen, ein neuer Bruch etwas oberhalb steht in Prospektion; dunkelgraugrün, schwarz und weiss gefleckt mit wenig braun.
- *Speckstein vom Calmut* (Oberalppass), an der Südflanke des Inselberges Calmut an Fahrweg vom Oberalppass; dunkelgrün mit etwas weiss, viel hellbraune Flecken und Streifen (karbonatreich).
- *Gotthardserpentin und -speckstein von Chämleten* (Hospental), am Gratrücken zum Winterhorn an Fahrweg von der Gotthardpassstrasse; dunkelgrün mit hellen und schwarzen, etwa auch gelbbraunen Flecken. Dieses grösste an der Rhein-Rhonline bekannte Vorkommen besteht zur Hauptsache aus Serpentin mit einem kleinen Kern aus Speckstein. Die Umwandlung von Serpentin zu Speckstein ist bei dieser Linse nur unvollständig. Abbau mit Seilsäge.
- *Gomser Serpentin/Speckstein von Ulrichen*: Etwa 2,5 km östlich Ulrichen an der Nufenenpassstrasse, unmittelbar nach Brücke über die Ägene; graugrün-hellgrau lentikular gestreift mit hellbraunen Flecken. In den letzten Jahren sporadisch prospektiert und ausgebeutet. Ein Seilsägeschnitt zeigt ein

«Profil» durch diese Linse ([Abbildung 6.79](#)), in der wie in Chämleten Serpentin und Speckstein nebeneinander liegen.

Alle Abbaue dienen der Herstellung von Specksteinöfen und etwa Bechern und Töpfen (auf der Drehbank gedreht). Aus dem Gotthardserpentin werden auch Brunnen, kleine Verkleidungen und Bodenplatten produziert. Da die Vorkommen klein, rissig und meist schwierig ausbeutbar sind, wird der Bedarf durch Importe aus Italien und Finnland ergänzt.

### 6.3.6.3 Westliche Alpen

Das hier beschriebene Gebiet liegt ganz im Kanton Wallis, wo südlich der Rhone das Penninikum dominiert, während im Raum Martigny–St-Maurice autochthone Massive und deren Sedimentbedeckung anstehen. Im Gegensatz zum Penninikum der östlichen und zentralen Alpen fehlen hier die grossen Gneismassen, welche dort in grosser Menge abgebaut werden. Natürlich sind auch Gneise vorhanden, doch weisen sie nicht die Vorteile der östlicheren Vorkommen auf (abbaugünstige Lage, dünnplattige Spaltbarkeit). Im Wallis wurden früher wie überall, unzählige kleine Gesteinsvorkommen für lokalen Gebrauch ausgebeutet. Zur Entwicklung einer bedeutenderen Industrie für Naturbausteine ist es aber nie gekommen. Lediglich die hellgrünen Plattenquarzite von St. Niklaus (Embd-Kalpetran) fanden in den letzten Jahrzehnten europaweit in kleinerem Rahmen Verwendung. Die heutige Naturbausteingewinnung ist gekennzeichnet durch wenige kleine Steinbrüche, von denen jeder ein anderes Gestein anbietet. Die Vorkommen der westlichen Alpen werden wie folgt gegliedert:

- A) Konglomerate und Grüngesteine
- B) Gneise und Quarzite
- C) Kieselkalke und Kalkschiefer

#### A) Konglomerate und Grüngesteine

Zu den ältesten Sedimentgesteinen der Schweizeralpen gehören zwei Konglomerate mit den Handelsnamen «Vert de Salvan» und «Rouge de Collonges», das eine tiefgrün, das andere tiefrot:

- *Vert de Salvan* (*Vert des Glaciers*, *Gletschergrün*): In einem romantisch auf dem Bergrücken zwischen dem Dorf Salvan und der tiefen Trientschlucht liegenden, aber schwer zugänglichen neueren Steinbruch wird ein sattgrünes Konglomerat mit dunkelgrünen und weissen Kom-

ponenten bis 10 cm Durchmesser abgebaut, wofür moderne Maschinen (Bohrlafetten, Diamantseil) eingesetzt werden. Das sehr dekorative Gestein entstand im Karbon und gehört als «Vallorcine-Konglomerat» zur Karbonmulde zwischen Aiguilles Rouges- und Arpille-Massiv. Das weitgehend karbonatfreie Gestein ist sehr beständig und lässt sich auch gut polieren. Es wird neben der Verwendung im regionalen Bereich vornehmlich in der Grabmalkunst und bereits europaweit als Fassadenverkleidung eingesetzt.

- *Rouge de Collonges*: Vom Aufbau her dem *Vert de Salvan* nicht unähnlich, ist dieses Gestein tiefkarminrot. Die Gewinnung erfolgt nicht im Anstehenden, sondern es werden stark gerundete Blöcke aus dem Schuttkegel der von den Dents de Morcles herunterkommenden «Aboyeu» ausgegraben. Im Gegensatz zum feinkörnigeren und teilweise fast schiefrigen Verrucano von Mels ist der Rouge de Collonges grobkonglomeratisch und ausgesprochen wetterbeständig. Das Gestein wird vornehmlich in der regionalen Grabmalkunst verwendet, da keine grossen Mengen zur Verfügung stehen und auch die Plattengrössen beschränkt sind.

Es wurden einige Versuche unternommen, Steinbrüche in den zahlreichen Grünschiefervorkommen des Walliser Penninikums anzulegen; nur einer davon wurde während einiger Zeit betrieben, dann stillgelegt und jetzt wieder eröffnet:

- *Vert d'Evolène*: Der kurz vor dem Dorfe Evolène wenig nördlich oberhalb der Strasse liegende Steinbruch ist in talwärts fallenden Bänken angelegt, was den Abbau erschwert. Das ziemlich dunkle, graugrüne Gestein, ein Prasinit der penninischen Ophiolithdecke, ist von weissgelben, oft recht breiten Bändern durchzogen, die braun anwittern. Je nach Schnittrichtung wirkt das Gestein dann streifig oder wolzig. Es kann anpoliert werden, verliert im Freien den Glanz aber rasch.

#### B) Gneise und Quarzite

Von den drei hier zu nennenden Gesteinen hat nur eines eine gewisse Bedeutung:

- *Walliser Quarzit* (*Vert de St-Nicolas*): Der hellgrüne Plattenquarzit von Embd-Kalpetran steht nur in einer Bank von wenigen Metern Höhe an. Diese Bank liegt zudem in den fast senkrechten Wänden über der Matter Vispa südlich von Embd-Kalpetran. Nur über einen schmalen Fussweg von Embd her oder mit einer Seilbahn von der Kantonsstrasse über die Vispa kann der Steinbruch erreicht werden. Das





6.79



6.80



6.81



6.82

flach bergewärts fallende Quarzitband kann nur unterirdisch im Bergbau ausgebeutet werden, was Kosten verursacht, die immer höher werden, da das gewonnene Material im Berginnern zuerst nach oben zum Stollenausgang befördert und von dort mit einer kleinen Materialseilbahn ins Tal zum Gleis der Schmalspurbahn hinuntergelassen werden muss, welche die Platten nach Visp transportiert. Der Walliserquarzit stammt aus den permo-triassischen Sedimenten der Bernhardecke. Seine hellgrüne Farbe und auch die gute Spaltbarkeit verdankt er dem in dünnen Lagen angereicherten Phengiten (Hellglimmer). Er wurde wegen seiner ausgezeichneten Spaltbarkeit (2 bis 4 cm dicke, bis Quadratmeter grosse Platten) vorerst zur Dachbedeckung im Wallis verwendet, hat aber in den letzten Jahrzehnten weite Verbreitung als Gartenbauplatte in ganz Europa gefunden. Von den ehemals zwei Abbaustellen ist nur noch eine in Betrieb.

Zwei weitere Gesteine dieser Gruppe sind der Vollständigkeit halber zu erwähnen:

- *Quarzit von St-Léonard*: Unmittelbar an der Kantonsstrasse östlich St-Léonard liegt ein grosses Schotterwerk, das einen massigen, weissen und leicht karbonatischen Quarzit verarbeitet. Es wurden in letzter Zeit einige Versuche unternommen, auch Platten zu gewinnen, doch ist noch keine Produktion zustande gekommen. Das Vorkommen gehört zur «Unité de la Pierre Avoi» der Zone Sion-Courmayeur. Poliert ist dieser Quarzit bläulich-grau-weiss mit mehrfarbigen Aderungen und wäre nicht unattraktiv.
- *Gneis von Oberwald (noch kein Handelsname)*: Zwischen Oberwald und Gletsch wurde im nordseitigen Hang vor kurzem ein Steinbruch angelegt, der einen stark hell-dunkel gebänderten Migmatitgneis liefert. Das weiss-graue, schwarz-grün gestreifte Gestein sieht sehr attraktiv aus; es stammt aus

Abbildung 6.79: Speckstein/Serpentin. Kleiner Abbau an der Nufenenpassstrasse. An der mit dem Diamantseil abgetrennten Schnittkante der Felsnase lässt sich das Gestein sehr gut studieren.

Abbildung 6.80: Vert de Salvan. Steinbruch vor dem Dorf Salvan VS. Gut sichtbar sind die grossen Diamantseil-Schnittflächen.

Abbildung 6.81: Vert de Salvan. Detailaufnahme des Gesteins an einer Sägefläche im anstehenden Fels.

Abbildung 6.82: Rouge de Collonges. Gerundeter Block im Bachschuttkegel.



der südlichen Schieferhülle (Altkristallin) des Aarmassivs. Leider sind darin kleine Pyritkörner häufig, die im Freien rasch zum Anrosten führen. Ob das Gestein in genügender Menge und guter Qualität abgebaut werden kann, ist fraglich. Zurzeit ist die als tiefe Nische in einem Rundhöcker angelegte Abbaustelle rekultiviert. Interessant ist sie als Studienobjekt für Migmatitgneis.

### C) Kalke und Kalkschiefer

Im unteren Rhonetal zwischen Martigny und dem Genfersee wurde früher eine reiche Palette vorwiegend karbonatischer Gesteine abgebaut, die in der ganzen Schweiz und dem nahen Ausland Verwendung fanden (u.a. *Noir de St-Triphon*, *Arvel*, *Rouge jaspé*, *Rouge Suisse*, *Rouge de Collombey*, *Cipolin vert (Saillon)*, siehe auch [Seite 191 ff](#)). Von dieser Auswahl sind gerade noch zwei kleine Abbaue übergeblieben:

- *Dalles de Sembrancher*: Früher unmittelbar beim Dorf Sembrancher, heute hoch über der Ortschaft Vollèges an einer riesigen, nach Osten geneigten Schichtplatte wird ein sehr gut spaltbarer kieseliger Kalkschiefer (fast phyllitisch) von grau-schwarzer Farbe abgebaut. Es handelt sich um Liassedimente des Ultrahelvetikums. Die Platten werden im Gartenbau, seltener für Dachdeckungen und als Hauware lokal eingesetzt.
- *Rouge du Rhône*: Im Schotterwerk «Sous-Vent» unmittelbar östlich der Kantonsstrasse Bex–St-Maurice, am westlichen Abbruch des Plateaus von Chiètres, werden gesunde Blöcke aus einem rötlichen Spatkalk, teilweise mit Echinodermen, herausgesucht und aufgesägt. Das Gestein stammt aus der parautochthonen Morcles-Doldenhorndecke (Barrémien). Zur Verwendung kommt dieser dem *Rouge de Collombey* sehr ähnliche attraktive Stein für Bildhauer- und kleinere Plattenarbeiten ([Kapitel 6.1.3.5](#)).

Zu erwähnen ist zum Abschluss ein Gestein, das nur sehr untergeordnet für die Naturbausteinproduktion beigezogen wird:

- *Grès des carrières*: Unter dieser Bezeichnung werden am Rhone-Westhang zwischen Massongex und Monthey und im Val d'Illeiez Sandsteine bis kieselige Kalke für die Brechschotter-Herstellung abgebaut. Nur in einem Bruch – in Choëx oberhalb Monthey – wurden noch durch einen einzelnen Steinrichter Pflastersteine geschlagen. Die Grès des carrières sind von Flyschsandsteinen technisch nicht zu unterscheiden, sollen aber nicht dem Flysch, sondern der ältesten Molasse zugehören.



### 6.3.7 KARTEN UND TABELLEN ZU SCHWEIZERISCHEN STEINBRÜCHEN – TECHNISCHE WERTE VON SCHWEIZERISCHEN GESTEINEN

In den [Tabellen 6.4](#) bis [6.8](#) sowie in der [Abbildung 6.83](#) auf den folgenden Seiten wurden in konzentrierter Form geographische, geologisch-petrographische und technische Kennwerte zu wichtigen schweizerischen Bausteinen und Steinbrüchen zusammengestellt. Hinweise über Inhalt und Entstehung der Tabellen und der Abbildung sind nachfolgend zusammengefasst.

#### **Abbildung 6.83: Karte der 1993/96 in Betrieb stehenden Steinbrüche**

Wie schon in der Übersicht erwähnt, war es nicht sehr einfach, ein wirklich komplettes Inventar der aktuell ausgebeuteten Steinbrüche zu erstellen. Fast monatlich erfolgen Schliessungen, Eröffnungen oder Wiedereröffnungen vor allem kleinerer Steinbrüche. Basierend auf der unseres Wissens damals wirklich vollständigen Liste von Hans-Peter Schwarz «Die Steinbrüche in der Schweiz» [Diss Uni Zürich, 1983] wurde ein Grossteil der Standorte überprüft und die Daten aktualisiert, unter anderem durch ein Rundschreiben an sämtliche damals angeführten Steinbrüche.

Es muss aber davon ausgegangen werden, dass nicht alle Steinbrüche, die heute produzieren, auf der nachfolgenden Karte eingezeichnet sind. Vor allem kleine Brüche von lokaler Bedeutung, die oft nicht jedes Jahr aktiv sind, können fehlen. Waren in einem Gebiet viele Steinbrüche nebeneinander vorhanden, erlaubte es der Massstab der Karte nicht, alle einzeln einzuzeichnen; sie wurden in Gruppen zusammengefasst.

Die Nummern auf der Karte entsprechen den Nummern in den [Tabellen 6.4](#) und [6.5](#). An den Leser ergeht die freundliche Bitte, Korrekturen zur Liste der Steinbrüche an die Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH-Zentrum, 8092 Zürich weiterzuleiten.

#### **Tabelle 6.4: In Betrieb stehende Steinbrüche 1993/96**

Diese Tabelle listet alle in der Karte eingezeichneten Steinbrüche auf und gibt deren geographische Lage, den Handelsnamen des abgebauten Gesteins, die geologische Formation, die Farbe des Gesteins und die ungefähren Abbaumengen, die

zum Teil nur geschätzt sind, an. Zwei weitere Kolonnen zeigen, ob vom entsprechenden Gestein technische Werte vorliegen und ob der Musterordner der Pro Naturstein – der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für den Naturstein (Postfach 6922, 3001 Bern) – eine Farbtafel des Gesteins enthält.

#### **Tabelle 6.5: Technische Werte der 1993/96 abgebauten Gesteine**

Diese Tabelle ist gleich aufgebaut wie [Tabelle 6.4](#), gibt aber die genaue petrographische Bezeichnung an und die wichtigsten technischen Werte wie Rohdichte, Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit, Wasseraufnahme und Verwitterungsbeständigkeit. Leider konnte die Ankerdorn-Ausbruchkraft (oder Ausbruchskraft anderer Befestigungsmittel) nicht angeführt werden, obwohl sie für die Berechnung der Statik von Fassadenverkleidungen gebraucht wird. Die Zahlen sind mit einer gewissen Vorsicht anzuwenden, da meist weder die genauen Prüfmethoden noch die Art der Probenahme und die Prüfstelle bekannt sind. Im allgemeinen rechnet man mit Streuungen der Werte von 10–20%. Die Angabe der Verwitterungsbeständigkeit stützt sich auf Langzeiterfahrungen mit den einzelnen Gesteinen und ist mit Zurückhaltung zu interpretieren, da beim Verhalten eines Gesteins gegen Witterungseinflüsse sehr viele Faktoren zu berücksichtigen sind. So kann beispielsweise eine Dachschieferplatte in Aarau ein Alter von 80 Jahren erreichen, während die gleiche Platte in St. Moritz den ersten Winter nicht übersteht.

Es wird dem Leser auffallen, dass von vielen Gesteinen keine technischen Werte eingesetzt sind; tatsächlich haben bei der für dieses Buch veranlassten Umfrage bei allen Steinbrüchen weniger als ein Sechstel der Brüche technische Werte liefern können. Einige Zahlen stammen denn auch aus anderen Quellen (man vergleiche auch die Richtwerte in [Tabelle 6.7](#)).

#### **Tabelle 6.6: Technische Kennwerte von Mauersteinen (Aufstellung der um 1945 aktiven Steinbrüche)**

Diese sehr vollständige Liste stammt aus einem vom Schweizerischen Baumeisterverband unter Mitwirkung der SBB herausgegebenen Handbuch für den Bau von Naturstein-Mauerwerk. Sie zeigt die damalige Vielfalt der zur Verfügung stehenden Gesteine auf und enthält auch alle relevanten tech-

nischen Werte. Diese Tabelle kann insbesondere auch bei der Beurteilung alter Naturstein-Mauerwerke an Brücken, Pfeilern oder Häusern nützlich sein.

***Tabelle 6.7: Technische Richtwerte verschiedener Gesteine***

In dieser Tabelle sind Richtwerte technisch-physikalischer Eigenschaften der wichtigsten Gesteine zusammengefasst. Die Zahlen stammen aus verschiedensten Quellen und sind zum Teil Jahrzehnte alt. Für überschlägige Berechnungen verschiedenster Art genügt jedoch meist die Kenntnis der Größenordnung eines Wertes, und es erübrigt sich deshalb, für jede einzelne Steinsorte die dazu nötigen umfangreichen Prüfungen durchzuführen. Dem Fachmann (Geologe, Bauingenieur, Bauphysiker) können sie jedoch meist die Kennwerte mit genügender Genauigkeit liefern, die er zum Beispiel für die Wärmeberechnung einer Mauer und ähnliches braucht.

***Tabelle 6.8: Alte Steinbrüche  
nach Francis de Quervain (1969)***

Francis de Quervain hat in langjähriger Arbeit ein immenses Wissen über alte Abbaustellen in der Schweiz zusammengetragen. Aus der letzten Auflage der «Nutzbaren Gesteine der Schweiz» wurden alle darin genannten Abbauorte nach Gesteinen geordnet aufgetragen. Wie die [Tabelle 6.6](#), soll auch diese Aufstellung Hilfe bieten beim Beurteilen alter Bauten und Nachforschungen über die Herkunft historischer Gesteine.

***Tabelle 6.9: Steinbrüche für gebrochene Produkte***

Diese Tabelle fasst die wichtigsten Steinbrüche für gebrochene Produkte (hauptsächlich Schotter) zusammen. Die Nummern beziehen sich auf die Übersichtskarte der 1993/96 in Betrieb stehenden Steinbrüche auf [Seite 250/251](#) ([Abbildung 6.83](#)). In der Tabelle werden zusätzliche Hinweise auf die geologisch-tektonische Stellung der einzelnen Abbauorte gegeben. Gebrochene Festgesteine werden im [Kapitel 6.4](#) (ab [Seite 265](#)) beschrieben.



Tabelle 6.4: Naturbausteine – Im Betrieb stehende Steinbrüche 1993/96

Nummer auf Karte	STEINBRUCH	HANDELSNAME des Gesteins	GEOLOGIE	FARBE des Gesteins	Abbau pro Jahr (m³)	Technische Daten (in Tabelle 6.5ff)	Farbtafel in Natursteinordner*
<b>JURA</b>							
1	Dielsdorf-Steinmaur	Lägernkalk	Sequanien-Kimmeridgien	beige-grau	< 200	zum Teil	ja
2	Dittingen-Liesberg	Laufenerkalk	Sequanien	beige-gelb	< 200	zum Teil	nein
	Dittingen-Liesberg	Liesberger Kalk	Sequanien	gelb-rötlich	< 200	zum Teil	ja
3	Lommiswil	Solothurner Kalk	Kimmeridgien	dunkelgelb/grau/beige	-	zum Teil	ja
4	Valangin-La Cernia	Roc de la Cernia	Portlandien	gelb-braun	< 200	zum Teil	ja
<b>MITTELLAND</b>							
5	St. Margrethen-Fuchsloch	Rorschacher Sandstein	Burdigalien/Plattensandstein	graublau/graugelblich	< 200	zum Teil	ja
6	Buchen-Staad	Rorschacher Sandstein	Burdigalien/Plattensandstein	graublau/graugelblich	~ 6000	ja	ja
7	St. Margrethen-Dorf	St. Margrether Sandstein	Aquitaniien/Granitischer Sandstein	grau, graugelblich	< 200	zum Teil	ja
8	Büriswilen	St. Margrether Sandstein	Aquitaniien/Granitischer Sandstein	grau, graugelblich	< 200	nein	ja
9	Teufen-Lochmüli	Teufener Sandstein	Aquitaniien/Granitischer Sandstein	grau, graugelblich	< 200	zum Teil	ja
10	Eschenbach-Brand	Bollinger Sandstein	Aquitaniien/Granitischer Sandstein	grau, graugelblich	~ 2000	ja	ja
11	Bollingen-Lehholz	Bollinger Sandstein	Aquitaniien/Granitischer Sandstein	grau, graubeige	~ 800	ja	ja
12	Nuolen-Guntliweid	Buchberger Sandstein	Aquitaniien/Granitischer Sandstein	grau, graugelblich	zusammen	zum Teil	ja
	Nuolen-Guntliweid	Guntliweider Sandstein	Aquitaniien/Granitischer Sandstein	grau(-rötlich)	~ 1800	zum Teil	ja
13	Root-Rooterberg	Rooter Sandstein	Burdigalien/Plattensandstein	grau-grünlich	< 200	zum Teil	ja
14	Mägenwil	Mägenwiler Muschelkalk	Burdigalien/Helvetien	graublau, graugelblich	< 200	zum Teil	ja
15	Krauchthal	Berner Sandstein	Burdigalien	graugrün, graugelblich	< 200	zum Teil	ja
16	Ostermundigen	Berner Sandstein	Burdigalien	graugrün, graugelblich	~ 1500	zum Teil	ja
17	Köniz-Gurten	Berner Sandstein	Burdigalien	graugrün, graugelblich	< 200	nein	ja
18	Villarlod	Freiburger Sandstein	Burdigalien	graugrün, gelblich	< 200	zum Teil	ja
19	Massonnens	Molasse de Massonnens	Burdigalien	ocker-gelb-grau	~ 600	zum Teil	nein
20	Seiry	Muschelkalkstein	Burdigalien	graublau-gelblich	< 500	zum Teil	nein
21	Murist-La Molière	Grès de la Molière	Burdigalien	gelb-grau	~ 800 ?	zum Teil	nein
<b>ALPEN OST</b>							
22	Andeer	Andeergranit	Gneis der Surettadecke	grün	~ 4000	zum Teil	ja
23	Promontogno/Soglio	Soglioquarzit	Gneis der Tambodecke	hell-grünlich-grau		zum Teil	ja
24	Hinterrhein/Dürrboden	Bernhardinquarzit	Gneis der Aduladecke	grünlich-grau	< 200	nein	nein
	Hinterrhein/Panzerpiste	Rheinquarzit	Gneis der Aduladecke	grünlich-grau hell	< 200	nein	nein
25	Vals	Valsergneis	Gneis der Aduladecke	grau-bronze-grünlich		ja	ja
26	Campascio	Campasciogranit	Granit der Berninadecke	grau-blau	< 200	nein	ja
27	Campascio-Zalende	Nuvolato Zalende	Gabbrogneis, Ostalpin	grau-grün dunkel	< 200	nein	ja
28	Poschiavo	Puschlavserpentin	Serpentin/Ophiolith, Malencokörper	grün-schwarz	~ 250	zum Teil	ja
29	Mels	Melserstein rot	Verrucano der Axendecke	karminrot	< 200	zum Teil	ja
<b>TESSIN</b>							
	helle und dunkle Tessiner Granite (Riviera/Leventina/Bleniotal):				~ 100'000		
30	Cresciano	Crescianogranit	Leventinagneismasse	hell/dunkel grobkörnig		ja	ja
31	Lodrin-Iragna-Personico	Iragna-, Lodrinogranit	Leventinagneismasse	hell/dunkel mittelkörnig		ja	ja
32	Iragna	Iragnagranit dunkel	Leventinagneismasse	mausgrau feinkörnig		nein	nein
33	Personico-Bodio	Bodiogranit dunkel	Leventinagneismasse	dunkel feinkörnig		nein	nein
34	Lavorgo-Chiggiogna	Lavorgogranit	Leventinagneismasse	grau grobkörnig		nein	nein
35	Malvaglia-Biasca	Legiunagranit	Leventinagneismasse	hell/dunkel s. grobkörnig		nein	ja

Tabelle 6.4: Naturbausteine – Im Betrieb stehende Steinbrüche 1993/96 (Fortsetzung)

Nummer auf Karte	STEINBRUCH	HANDELSNAME des Gesteins	GEOLOGIE	FARBE des Gesteins	Abbau pro Jahr (m³)	Technische Daten (In Tabelle 6.5ff)	Farbtafel in Natursteinordner*
TESSIN (Fortsetzung)							
	dunkle Tessiner Granite (Calanca/Verzasca/Maggia/Vergeletto):				~ 70'000		
36	Arvigo	Calancagranit	Gneis der Simanodecke	dunkel gestriemt		nein	ja
37	Brione	Verzascagranit	Gneis der Simanodecke	dunkel gestriemt		nein	nein
38	Riveo-Cevio-Linescio	Maggiagranit	Gneis der Antigoriodecke	dunkel feinkörnig		ja	ja
39	Hinterstes Vergeletttotal	Onsernonegranit	Gneis der Antigoriodecke	dunkel feinkörnig		ja	ja
	Tessiner Marmore und Kalke				~ 1500		
40	Castione	Castionemarmor hell	Marmor der Simanodecke	weiss, dunkle Zeichnung		ja	ja
41	Castione	Castionegranit dunkel	Kalksilikatfels Simanodecke	dunkel mit Granat		ja	ja
42	San Carlo/Peccia	Cristallinamarmor	Marmor Maggia/Orsalina	weiss/dunkel strukturiert		ja	ja
43	Arzo	Arzomarmor	Liaskalk/-brekzie Südalpin	vielfarbig		zum Teil	ja
ZENTRALE ALPEN							
44	Gurtellen «Güetli»	Urnergranit	zentrales Aarmassiv	hell-dunkel	< 200	nein	nein
45	Grimspass ob Handegg	Grimselgranit	zentrales Aarmassiv	hell-dunkel	< 200	nein	nein
46	Ringgenberg	Ringgenberger Kalk	Valanginienkalk	grauschwarz	-	nein	nein
47	Goldswil	Goldswiler Kieselkalk	Hauterivienkalk	schwarz	-	nein	ja
48	Alpnacher «Guber»	Guber	Flyschsandstein	dunkelgrau		zum Teil	nein
49	Plasselb	Plasselber	Flyschsandstein	dunkelgrau	< 200	nein	nein
50	Blausee-Mitholz	Mitholzer Kieselkalk	Doldenhorndecke	schwarzgrau-grün	< 200	nein	ja
51	Disentis Patschadauns	Speckstein	Tavetscher Zwischenmassiv	grün-schwarz	< 200	nein	nein
52	Disentis «Mompé-Medel»	Speckstein	Tavetscher Zwischenmassiv	grün-schwarz	< 200	nein	nein
53	Oberalppass «Calmut»	Speckstein	Tavetscher Zwischenmassiv	grün-schwarz	< 200	nein	nein
54	Hospental «Chämleten»	Serpentin-Speckstein	Gotthardmassiv	grünschwartz	< 200	nein	ja
55	Ulrichen	Speckstein	Gotthardmassiv	grünschwartz	< 200	nein	nein
ALPEN WEST							
56	Strasse Martigny-Salvan	Vert de Salvan	Vallorcine-Konglomerat	sattgrün-weiss	~ 500	zum Teil	ja
57	Collonges	Rouge de Collonges	Verrucano	dunkelkarminrot	< 200	nein	ja
58	Evolène	Vert d'Evolène	Ophiolithdecke	dunkel graugrün	-	zum Teil	ja
59	Embd-Kalpetran	Walliserquarzit	Trias der Bernhardecke	hellgrün	? 500	zum Teil	ja
60	St-Léonard	Quarzit	Zone Sion-Courmayeur	bläulichweiss	-	nein	nein
61	Oberwald-Gletsch	Gneis	Südliches Aarmassiv	hell-dunkel gezeichnet	< 200	nein	nein
62	Vollèges	Dalles de Sembrancher	Zone Sion-Courmayeur	grauschwarz	? 1000	nein	nein
63	St-Maurice	Rouge du Rhône	Parautochthon, Barrémien	rötlich-grau	< 200	nein	nein
64	Monthey	Grès des carrières	Flysch/molasse rouge	grauschwarz	?	nein	nein

\* Musterordner der Pro Naturstein.  
 Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für den Naturstein,  
 Postfach 6922, 3001 Bern



zurück zur Startseite

nächstes Kapitel

vorangehendes Kapitel

## Die wichtigsten Steinbrüche in der Schweiz

Kartengrundlage: Bundesamt für Landestopographie  
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 16.6.1997

Angegeben ist meist die Standortgemeinde und nicht die genaue Lokalität.  
(Stand 1993/96)

### 64 Natursteinbrüche

Die Zahlen verweisen auf die  
Daten in den Tabellen 6.4 und 6.5

### 33 Hartschotterbrüche (Kieselkalk, Quarzsandstein etc.)

### 60 Schotterbrüche (Kalksteine)

Die Zahlen beziehen sich auf die Tabelle 6.9

Die Nummern 1–28 bezeichnen Schotterbrüche des Jura. Diese Brüche gewinnen dichte, mikritische bis oolithische Jurakalke und verarbeiten sie zu Koffermaterial, Brechsanden, -kiesen und Schottern, teilweise auch zu Rohblöcken (Wasserbau, Gestaltungssteine)

Die Nummern 29–61 bezeichnen Schotterbrüche in den Alpen. Abgebaut werden reine Kalksteine, Kieselkalke, Quarzsandsteine und – im Tessin – Kalksilikate. Die Produkte sind gleich wie im Jura, wobei sich Hartschotter zusätzlich als Bahnschotter eignet.

1:1'000'000

0 10 40 km

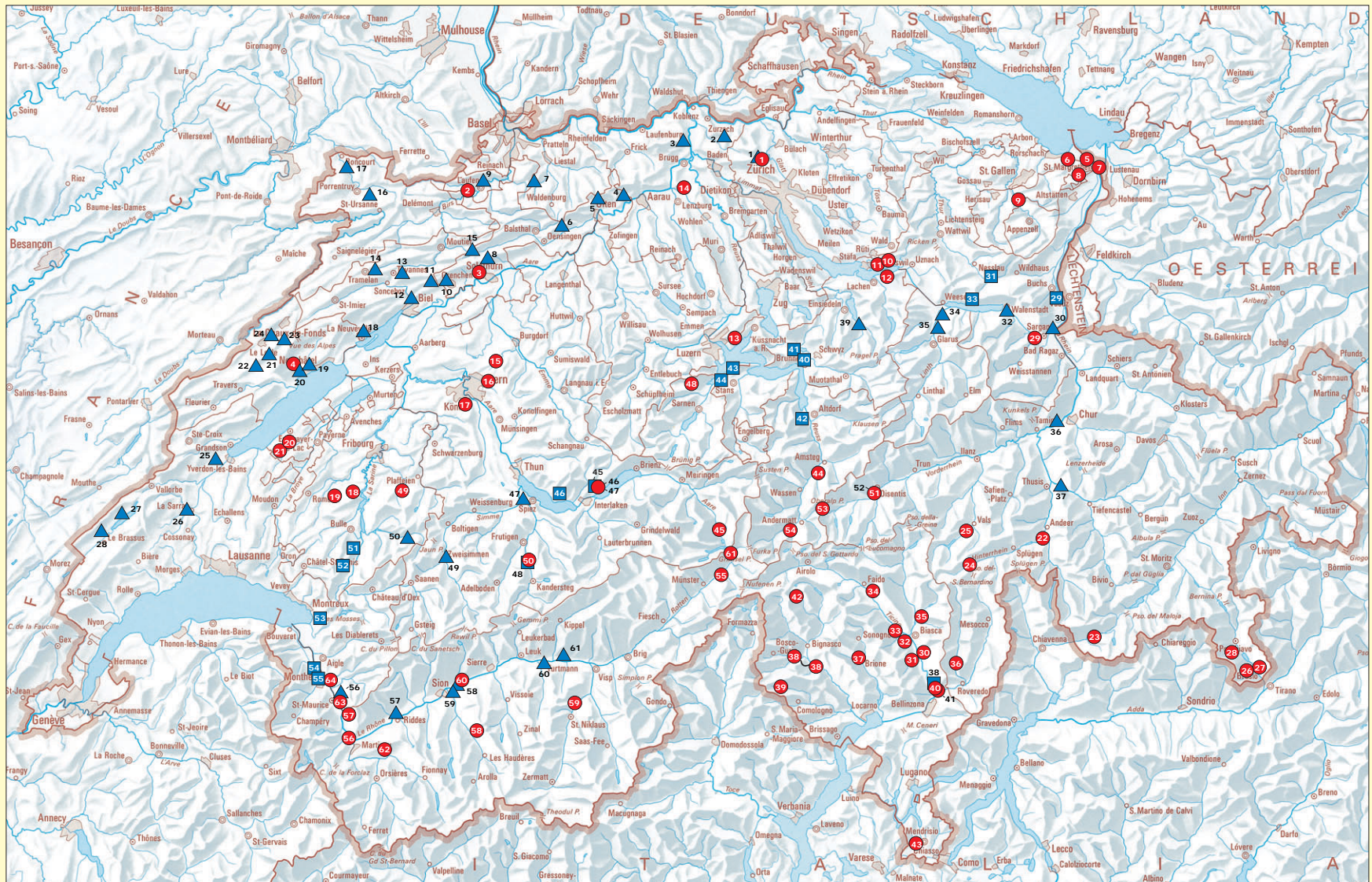


Tabelle 6.5: Naturbausteine – Im Betrieb stehende Steinbrüche 1993/96 – Technische Werte

Nummer auf Karte	STEINBRUCH	HANDELSNAME des Gesteins	PETROGRAPHISCHE BEZEICHNUNG	ROHDICHTE kg/m <sup>3</sup>	DRUCK-FESTIGKEIT N/mm <sup>2</sup>	BIEGEZUG-FESTIGKEIT N/mm <sup>2</sup>	WASSER-AUFNAHME Vol. %	VERWITTERUNGS-BESTÄNDIGKEIT*
<b>JURA</b>								
1	Dielsdorf-Steinmaur	Lägernkalk	Mikritischer Kalkstein	2660	92-163		0.48-0.88	2
2	Dittingen-Liesberg	Laufenerkalk	Oolithischer Kalkstein	2580-2680	100-150		0.5-0.8	2
	Dittingen-Liesberg	Liesberger Kalk	Oolithischer Kalkstein	2580-2680	100-150		0.5-0.8	2
3	Lommiswil	Solothurner Kalk	Mikritischer Kalkstein		110-1170			2
4	Valangin-La Cernia	Roc de la Cernia	Mikritischer Kalkstein		160			2
<b>MITTELLAND</b>								
5	St. Margrethen-Fuchsloch	Rorschacher Sandstein	Plattensandstein					2-3
6	Buchen-Staad	Rorschacher Sandstein	Plattensandstein	2570	74	6.9	6.0	2-3
7	St. Margrethen-Dorf	St. Margrether Sandstein	Granitischer Sandstein	2390	77-86		7.8	2-3
8	Büriswilen	St. Margrether Sandstein	Granitischer Sandstein					2-3
9	Teufen-Lochmüli	Teufener Sandstein	Granitischer Sandstein	2560	77-130			2-3
10	Eschenbach-Brand	Bollinger Sandstein	Granitischer Sandstein	2400	77-109	6.0	6.0-7.0	2-3
11	Bollingen-Lehholz	Bollinger Sandstein	Granitischer Sandstein	2400	70	4.9	7.2	2-3
12	Nuolen-Guntliweid	Buchberger Sandstein	Granitischer Sandstein	2510	82		5.3	2-3
	Nuolen-Guntliweid	Guntliweider Sandstein	Granitischer Sandstein	2595	108		4.1	2-3
13	Root-Rooterberg	Rooter Sandstein	Plattensandstein		80-90		4.9	2-3
14	Mägenwil	Mägenwiler Muschelkalk	Muschelkalkstein		38-53			2
15	Krauchthal	Berner Sandstein	Molassesandstein	2170-2300	32-46		12-14	3-4
16	Ostermundigen	Berner Sandstein	Molassesandstein	2220	40-50		12-14	3-4
17	Köniz-Gurten	Berner Sandstein	Molassesandstein					3-4
18	Villarlod	Freiburger Sandstein	Molassesandstein	2250	46-67		12-14	3-4
19	Massonnens	Molasse de Massonnens	Molassesandstein	2400	40		13-15	3-4
20	Seiry	Muschelkalkstein	Muschelkalkstein					2
21	Murist-La Molière	Grès de la Molière	Muschelkalkstein					2
<b>ALPEN OST</b>								
22	Andeer	Andeergranit	Orthogneis	2620	152		0.3-1.8	1
23	Promontogno/Soglio	Soglioquarzit	Hellglimmergneis		140-160			1
24	Hinterrhein/Dürrboden	Bernhardinquarzit	Hellglimmergneis					1
	Hinterrhein/Panzerpiste	Rheinquarzit	Hellglimmergneis					1
25	Vals	Valsergneis	Glimmergneis/-schiefer	2700	142-216	26	0.8	1
26	Campascio	Campasciogranit	Brusiogranit					2
27	Campascio-Zalende	Nuvolato Zalende	Gabbrogneis					2
28	Poschiavo	Puschlaverserpentin	Antigorit-Chlorit-Serpentinit		237	48 (?)	0.12 (?)	1
29	Mels	Melserstein rot	Verrucano-Konglomerat		90-120			2
<b>TESSIN</b>								
	helle und dunkle Tessiner Granite (Riviera/Leventina/Bleniota!):							
30	Cresciano	Crescianogranit	Grobkörniger Gneis	2660	191	18	0.88	1
31	Lodrino-Iragna-Personico	Iragna-, Lodrinogranit	Mittelkörniger Gneis	2650	202	13-20	0.86-0.90	1
32	Iragna	Iragnagranit dunkel	Feinkörniger Gneis					1
33	Personico-Bodio	Bodiogranit dunkel	Feinkörniger Gneis					1
34	Lavorgo-Chiggiogna	Lavorgogranit	Grobflaseriger Granitgneis					1
35	Malvaglia-Biasca	Legiunagranit	Augengneis					1



Tabelle 6.5: Naturbausteine – Im Betrieb stehende Steinbrüche 1993/96 – Technische Werte (Fortsetzung)

Nummer auf Karte	STEINBRUCH	HANDELSNAME des Gesteins	PETROGRAPHISCHE BEZEICHNUNG	ROHDICHTE kg/m <sup>3</sup>	DRUCK-FESTIGKEIT N/mm <sup>2</sup>	BIEGEZUG-FESTIGKEIT N/mm <sup>2</sup>	WASSER-AUFNAHME Vol. %	VERWITTERUNGS-BESTÄNDIGKEIT*
TESSIN (Fortsetzung)								
	dunkle Tessiner Granite (Calanca/Verzasca/Maggia/Vergeletto):							
36	Arvigo	Calancagranit	Zweiglimmergneis					1
37	Brione	Verzascagranit	Zweiglimmergneis					1
38	Riveo-Cevio-Linescio	Maggiagranit	Zweiglimmergneis	2720	224	26	0.96	1
39	Hinterstes Vergeletttotal	Onsernonegranit	Zweiglimmergneis	2730	222	23	0.79	1
	Tessiner Marmore und Kalke							
40	Castione	Castionemarmor hell	Marmor	2700	106	18	0.31	1
41	Castione	Castionegranit dunkel	Granatführ. Kalksilikatgneis	2820	178	12	0.75	2
42	San Carlo/Peccia	Cristallinamarmor	Marmor	2680	84	13	0.35	1
43	Arzo	Arzomarmor	Buntkalkstein/-brekzie		12-20			3
	ZENTRALE ALPEN							
44	Gurtellen «Güetli»	Urnergranit	Aaregranit					1
45	Grimselpass ob Handegg	Grimselgranit	Aaregranit		170			1
46	Ringgenberg	Ringgenberger Kalk	Kieseliger Kalkstein					1
47	Goldswil	Goldswiler Kieselkalk	Kieseliger Kalkstein					1
48	Alpnacher «Guber»	Guber	Flyschsandstein	2480	222		0.32	1
49	Plasselb	Plasselber	Flyschsandstein					1
50	Blausee-Mitholz	Mitholzer Kieselkalk	Kieselkalk					1
51	Disentis Patschadauns	Speckstein	Talk-Serpentinit					3-4
52	Disentis «Mompé-Medel»	Speckstein	Talk-Serpentinit					3-4
53	Oberalppass «Calmut»	Speckstein	Talk-Serpentinit					3-4
54	Hospental «Chämleten»	Serpentinit-Speckstein	Talk-Serpentinit					3-4
55	Ulrichen	Speckstein	Talk-Serpentinit					3-4
	ALPEN WEST							
56	Strasse Martigny-Salvan	Vert de Salvan	Vallorcine-Hartkonglomerat		140			1
57	Collonges	Rouge de Collonges	Verrucano-Konglomerat					1
58	Evolène	Vert d'Evolène	Prasinit	2900		26.7	0.63	2
59	Embd-Kalpetran	Walliserquarzit	Glimmerquarzit	2500			0.44	1
60	St-Léonard	Quarzit	Karbonatischer Quarzit					1
61	Oberwald-Gletsch	Gneis	Migmatitischer Gneis					2
62	Vollèges	Dalles de Sembrancher	Kalkphyllit					1
63	St-Maurice	Rouge du Rhône	Kalkstein					2
64	Monthey	Grès des carrières	Kieselkalkstein					1

\* Legende zu Verwitterungsbeständigkeit:

1 Sehr gut: Innen und aussen unter allen Bedingungen einsetzbar

2 Gut: Innen problemlos, aussen bei nicht extremen Bedingungen wie ständige Grundfeuchte, starke Temperaturschwankungen, Schadstoffbelastung

3 Mässig bis gut: Innen problemlos, aussen je nach Bedingungen

4 Mässig: Innen problemlos, aussen wenn gut geschützt

Tabelle 6.6: Technische Kennwerte von Mauersteinen (Aufstellung der um 1945 aktiven Steinbrüche)

Art	Bezeichnung im Handel	Hauptsächliche Gewinnungs-Gebiete und -Orte	Äusseres Gefüge (Textur)	Inneres Gefüge (Struktur)	Farbe	Druckfestig-keit trocken kg / cm <sup>2</sup>	Raum-gewicht kg / dm <sup>3</sup>	Spezifisches Gewicht kg / dm <sup>3</sup>	Wasser-aufnahme Gewichts-%	Bearbeit-barkeit
Granit	Gotthardgranit Urnergranit Andeerergranit	Uri: Gurtellen, Wassen, Göschenen Graubünden: Andeer Wallis: Monthey, Martigny	massig	körnig	weiss, grau, grünl. (schwarz gefleckt)	1600-2400	2.4-2,7	2.56-2.7	0.2-0.55	in verschied. Richtungen gut spaltbar
Gneis	Tessinergranit  Verzascagranit Bevola	Tessin: Rodi, Faido, Lavorgo Chiggiona, Bodio, Personico Pollegio, Biasca, Iragna, Claro Osogna, Lodrino, Cresciano Brione-Verzasca Maggiatal: Ponte-Brolla, Cevio, Someo	lagerhaft bis plattig	körnig-linsig	weiss, grau grünl. (schwarz gefleckt)	1300-2100	2.55-2,64	2.62-2.71	0.21-0.72	nach dem Lager sehr gut spaltbar, spaltbar in dünne ebene Platten
Kalkstein	Alpenkalk	St. Gallen: Oberriet-Rheintal, Quinten, Weesen Glarus: Näfels, Mollis Vierwaldstättersee: Brunnen, Seewen, Matt, Kehrsiten, Hergiswil, Rotzloch Thunersee: Balmholz Brienzersee: Ringgenberg	meist massig	feinkörnig	dunkelblaugrau	2000-2700	2.62-2.67	2.66-2.73	0.04-2.8	gut zu richten
Kieselkalk	Blauer Kalkstein									
Dichter Kalkstein	Lägerstein Jurastein	Schaffhausen: Hemmental Lägern: Dielsdorf, Baden Jura: Läufelfingen, Solothurn, Biel, Reuchenette, Neuveville Valangin, Chaux-de-Fonds Waadt: St-Thriphon	meist massig	fast kornlos	hellgelblich weiss, hellgelb grau dunkel (wird hellgrau)	1600-1750 1400-2000 1000-1500 1100-1500	2.58-2.68	2.70-2.74	0.2-3.2	gut zu richten und zu behauen
oolithisch (rogenartig)	St-Triphon-Marmor Laufenerstein	Jura: Laufen, Brislach, MuttENZ, Balsthal							0.1-2.6	
Poröser Kalkstein	Hauterivestein	Neuenburg: Hauterive St-Blaise	massig	porös	gelb, dunkelgelb	1100-1600			0.6-5.5	leicht zu behauen
aus Kalktief-Ablagerungen (Echinodermenkalk)		Waadt: Villeneuve (Arvel), Bex Wallis: Collombey	massig	fast kornlos	hell, gelbgrau	1800-2100 1100-1800			0.1-3.4	gut zu richten und zu behauen
Sandstein	St. Margretherst. Buchberger-Bollinger-Sandstein Zuger-Sandstein	St. Gallen: Margrethen Obersee: Buchberg, Bollingen, Jona, Schmerikon, Uznaberg Zug: Menzingen, Lottenbach	massig	feinkörnig	grau-bläulich gelblich-grau	500-800 500-1900	2.44 2.35-2.51	2.67 2.64-2.69	1.7-3.5 2.5-6.0	leicht zu behauen
Kalksandstein plattig	Rorschacherstein Rooterstein	St. Gallen: Staad-Rorschach Luzern: Renggloch, Root, Rooterberg	plattig	feinkörnig	grünlich-bläulich	800-1100	2.45	2.66-2.72	1.0-2.5	leicht zu Platten zu spalten
ungeschichtet (Berner)	Stockernsandst. Ostermundiger-sandstein Sandspachstein	Bern: Stockern, Ostermundigen Krauchthal, Oberburg Freiburg	massig	feinkörnig	grünlich-grau	250-400	2.15-2.26	2.67-2.72	5.5-7.6	leicht zu schneiden und leicht zu behauen
Kalkreich (Appenzeller)		Appenzell: Waldstatt, Teufen St. Gallen: Ebnat, Krumenau Obersee: Benken Westschweiz: Attalens, Chexbres, Echarlens (Corbières)	massig	feinkörnig	bläulich-grau graugelb-graublau	1100-1700	2.66-2.67	2.73-2.78	0.3-1.0	gut zu behauen
Quarz-sandstein (Flysch u. andere)		Glarus: Matt (Sernftal) Uri: Attinghausen Obwalden: Guber (Alpnach) Bern: Mitholz (Kandersteg), Schwarzenburg-Gurnigel Freiburg: Plasselb Wallis: Massongex, St-Gingolph St. Gallen: Buchserberg, Sevelen Nidwalden: Beckenried	massig	feinkörnig	grünlich-grau bläulich-grau	1600-2700 1800-3400	2.60-2.69 2.66-2.70	2.66-2.75 2.72-2.77	0.05-0.20 0.23-0.44	gut zu richten
Muschel-sandstein	Seelaffe Mägenwilerstein Muschelkalkstein	St. Gallen: Thal (Rorschach) Aargau: Mägenwil, Würenlos, Othmarsingen Freiburg: Seiry (Estavayer)	massig	grobkörnig	graugelblich-graubläulich	350-900	2.10-2.58	2.68-2.71	1.1-4.0	leicht zu behauen
Nagelfluh feinkörnig	Appenzeller-Granit	Appenzell: Herisau (Schachen) St. Gallen: Degersheim Zürich: Rüti	massig	erbssteinig	hellgrau	1400-1500	2.74	-	0.1-0.4	schwer zu richten
grob		Schwyz: Goldau (Bergsturz)	massig	grobsteinig	bunt	-	-	-		schwer zu behauen

Diese Liste stammt aus einem vom Schweizerischen Baumeisterverband unter Mitwirkung der SBB herausgegebenen Handbuch für den Bau von Naturstein-Mauerwerk. Sie zeigt die damalige Vielfalt der zur Verfügung stehenden

Gesteine auf und enthält auch alle relevanten technischen Werte. Die Tabelle kann insbesondere auch bei der Beurteilung alter Naturstein-Mauerwerke an Brücken, Pfeilern, Häusern usw. nützlich sein.



Tabelle 6.7: Richtwerte technischer Eigenschaften von Gesteinen

GESTEINSGRUPPE Gestein	ROHDICHTE t/m <sup>3</sup>	DRUCK- FESTIGKEIT N/mm <sup>2</sup>	BIEGEZUG- FESTIGKEIT N/mm <sup>2</sup>	GESAMT- POROSITÄT Vol. %	WASSER- AUFNAHME Vol. %	WÄRME- LEITZAHL Kcal/mhK	SPEZIFISCHE WÄRME Kcal/kgK
<b>MAGMATITE / Erstarrungsgesteine</b>							
Granit / Granodiorit / Tonalit usw.	2.6–2.8	100–270	10–40	0.4–1.5	0.2–1.2	4–8	0.2
Diorit / Syenit / Gabbro	2.7–3.0	80–300	10–40	0.5–1.5	0.5–1.2	4–8	0.2
Rhyolith / Quarzporphyr	2.4–2.8	80–300	12–40	0.5–2.0	0.5–1.8	3–7	0.2
Andesit / Dazit	2.5–2.8	80–250	11–40	0.4–1.6	0.4–1.4	3–4	0.2
Trachit / Vulkanischer Tuff	1.6–2.2	10–100	5–20	10–30	8–25	1–2	0.15
Basalt / Diabas	2.9–3.1	16–400	15–60	0.2–0.9	0.1–0.5	2–4	0.3
Basaltlava	2.0–2.5	25–100	5–20	8–20	5–20	1–2	0.15
<b>SEDIMENTE / Ablagerungsgesteine</b>							
Kalkstein / Dolomit dicht	2.6–2.8	50–200	3–30	0.6–2	0.5–1.5	3–5	0.21
Travertin / Kalktuff	1.7–2.5	10–80	3–20	2–25	1.5–20	1–4	0.15
Weichkalk	1.5–2	8–25	2–8	5–25	5–20	1–3	
Sandstein kieselig gebunden	2–2.6	40–250	7–33	1–25	1–20	2–4	
Sandstein kalkgebunden	2–2.6	30–180	3–18	2–20	1–18	2–4	0.15
Brekzie / Konglomerat	2.4–2.6	14–160	2–12	0.5–5	0.5–4	3–5	0.2
<b>METAMORPHITE / Umwandlungsgesteine</b>							
Gneis / Migmatit	2.5–2.8	70–200	8–45	0.4–2.0	0.25–1.5	4–5	
Quarzit	2.6–2.7	100–300	14–60	0.4–2.0	0.2–1.5	4–6	
Glimmerschiefer / Phyllit / Tonschiefer	2.5–2.7	50–150	8–40	0.6–3.0	0.5–2.5		
Serpentinit	2.6–2.75	55–200	11–60	0.3–2.0	0.25–0.18		
Marmor / Ophikalzit	2.5–2.7	40–230	10–40	0.3–0.8	0.2–0.5	3–5	0.21

GESTEINSGRUPPE Gestein	WÄRMEDEHNUNG 10 <sup>-3</sup> mm/mK	QUELLUNG IN WASSER mm/m	TROCKEN- SCHWUND mm/m	E-MODUL (dyn.) kN/mm <sup>2</sup>	SCHALL- GESCHWINDIGKEIT m/s	VERSCHLEISS (nach Böhme) cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup>
<b>MAGMATITE / Erstarrungsgesteine</b>						
Granit / Granodiorit / Tonalit usw.	5–8	0.06–0.2	0.15–0.2	37–72	4000–6000	0.06–0.22
Diorit / Syenit / Gabbro	5–8	0.06–0.2	0.15–0.2	50–120	4000–7000	0.15–0.30
Rhyolith / Quarzporphyr	3–8	0.06–0.2	0.15–0.2	30–76	3000–6000	0.1–0.25
Andesit / Dazit	2–7	0.1–0.25	0.2–0.25	30–70	3000–6000	0.12–0.27
Trachit / Vulkanischer Tuff	3–8	0.2–0.4	0.2–0.4	10–40	2000–4000	0.2–0.8
Basalt / Diabas	2–8	0.2–0.3	0.2–0.3	45–100	4000–7000	0.1–0.27
Basaltlava	2–5			20–40	3000–5000	0.18–0.45
<b>SEDIMENTE / Ablagerungsgesteine</b>						
Kalkstein / Dolomit dicht	4–8	0.09–0.16	0.13–0.4	16–80	3000–6000	0.25–0.65
Travertin / Kalktuff	4–8			10–40	2000–5000	0.3–0.8
Weichkalk		0.3–0.5	0.2–0.4	8–20	2000–4000	0.5–1.0
Sandstein kieselig gebunden	8–12	0.3–0.6	0.3–0.6	12–70	2000–6000	0.11–0.3
Sandstein kalkgebunden	8–12	0.4–0.8	0.4–0.8	6–32	1000–3000	0.17–0.47
Brekzie / Konglomerat	5–8	0.1–0.2	0.1–0.2	12–55	2000–5000	0.3–0.7
<b>METAMORPHITE / Umwandlungsgesteine</b>						
Gneis / Migmatit	8–13			25–65	3000–6000	0.07–0.53
Quarzit	5–8			50–75	5000–7000	0.05–0.15
Glimmerschiefer / Phyllit / Tonschiefer		0.2–0.6	0.2–0.6	20–60	3000–6000	0.07–0.6
Serpentinit				50–100	6000–8000	0.18–0.8
Marmor / Ophikalzit	5–10			65–105	4000–6000	0.25–0.5

Tabelle 6.8: Verzeichnis alter Steinbrüche [nach F. de Quervain, 1969]

Gesteine des Jura			
Geologie/Geographie	Bezeichnung	Abbaustellen inkl. historische	Bemerkungen
<b>TRIAS</b>			
Buntsandstein	Plattensandstein	Riehen, Maisprach, Buus	Mauersteine, Werkstücke
Oberer Muschelkalk	Trigonodusdolomit grau-bräunlich, feinkristallin, löchrig, dünn-dickbankig	Reigoldswil, Oberdorf, Eptingen, Läufelfingen, Densbüren, Gebenstorf, Augst, Wegenstetten, Obermumpf, Schupfart, Eiken, Kaisten, Sulz, Schleithelm, Hallau	Brechschorter, kaum Haustein
Oberer Muschelkalk	Hauptmuschelkalk Nodosus-/Trochitenkalk graubräunlich, fest und kompakt, plattig bis dünn-grobbankig «Elbenstein»	Zullwil, Lauwil, Reigoldswil, Titterten, Oberdorf, Läufelfingen, Wisen, Zeglingen, Oltingen, Kienberg, Oberhof, Asp, Schinznach, Hausen, Gebenstorf, Bettingen, Muttentz, Kaiseraugst, Giebenach, Magden, Maisprach, Buus, Obermumpf, Zuzgen, Hellikon, Wegenstetten, Schupfart, Eiken, Kaisten, Sulz, Etzgen, Mettau, Felsenau, Schleithelm, Hallau	Brechschorter, Bruchsteine, Werkstücke, Spaltplatten
Keuper	Stubensandstein	Seebi (Schleithelm)	Baustein
	Oberhofer Sandstein (Schilfsandstein) Karmin mit gelber Zeichnung	Gansingen, Oberhofen, Seebi-Schleithelm, Hallau, Sulz, Ittenthal, Hemmiken, Pratteln	Mauersteine, kleine Werkstücke
	Alabaster	Staffelegg, Cornol, Oberdorf, Lostorf, Habsburg, Ehrendingen, Schleithelm (im Muschelkalk-gips)	Werkstücke (Altare, Grabmale)
<b>LIAS</b>			
Arietenkalk	Kalkstein graublau, spätig, fest	Hallau, Frick, Pratteln, Muttentz, Trasadingen, Wilchingen, Oberhallau, Schleithelm	Brechschorter, Bruchsteine
<b>DOGGER</b>			
Murchinsonae-/Parkinsonschichten, Callovien	Sandkalke/Spatkalke graubräunlich, rotbraun, braungelblich, feinspätig, «dalle nacré» (plattig)	Zeiningen, Gansingen, Hottwil, Böttstein, Oberehrendingen, Mandach, Bözen, Sulz, Kornberg, Le Locle, La Chaux-de-Fonds, Val de Travers, Freiberge, Clos du Doubs, St-Ursanne, Bressaucourt, Roches	Brechschorter, Bruchsteine, Mauersteine, auch etwa Werkstücke
Hauptrogenstein	Rogenstein gelblich-bräunlich, groboolithisch	Pratteln, Muttentz, Münchenstein, Arlesheim, Dornach, Ueken, Hornussen, Oberfrick, Wittnau, Kienberg, Rothenfluh, Tecknau, Wenslingen, Rünenberg, Ormalingen, Gelterkinden, Tenniken, Rümelingen, Wittinsburg, Sissach, Arisdorf, Hölstein, Ziefen, Waldenburg, Bubendorf, Arboldswil, Liestal, Nuglar, St. Pantaleon, Reigoldswil	Schorter, Bruchsteine, Mauersteine
<b>MALM</b>			
Oxfordien: westlicher und zentraler Jura	Kalkstein oolithisch bis kompakt oder porös	Himmelried, Zullwil, Ettingen, Blauen, Soyhières, Mervelier, Pleigne, Charmoille, Bonfol, Courtemaiche, Porrentruy, Fontenais, Boncourt, Séprais, Berlincourt, Les Genevez, Montfaucon, Saignelégier, Les Breuleux, Le Noirmont, St-Imier, Les Bois, Les Convers, La Chaux-de-Fonds, Le Locle, Ste-Croix	Brechschorter, Bruchsteine, Mauersteine
Oxfordien: östlicher Jura (Wangener- und Geissbergsschichten)	Kalkstein graubläulich bis gelblich, kompakt, feinkristallin, gut gebankt	Ofringen, Dänikon, Rothacker, Aarau, Auenstein, Effingen, Bözberg, Brunegg, Scherzberg, Mülligen, Lauffohr, Würenlingen, Tegerfelden, Rümikon, Baden	Mauersteine, Bruchsteine, Brechschorter
Oxfordien: dito	Lägernkalk	Dielsdorf-Steinmaur	Werkstein, Mauerstein, Brechschorter
Oxfordien: Randen	Wohlgeschichtete Kalke	Hemmental, Merishausen, Barga, Siblingen, Löhningen, Beringen, Osterfingen	Bruchsteine, Brechschorter; in Hemmental Lithographiesteine
Rauracien (oberes) Rauracien (mittleres)	Weichkalke hell bis weiss, sehr porös, kreidig/schaumig Oolithischer Kalk	St-Ursanne, Bure, Courtemaiche, Courchavon, Buix, Boncourt, La Caquerelle, Ederswiler, Roggenburg, Kleinfützel, Rodersdorf, Hoggerwald, Mervelier, Grindel, Hofstetten, Ettingen, Witterswil, Dornach, Röschenz (intensiv rot)	Weichkalk Steinmetzarbeiten Brechschorter, Bruchsteine
Argovien	Kalkstein hell, feinkristallin	Dielsdorf, Villigen, Rinikon, Schinznach-Bad, Le Noirmont, Saignelégier, Les Bois, La Chaux-de-Fonds, Les Brenets	Brechschorter, Bruchsteine
Sequanien von Laufen	Laufener Kalk hellgelb/bräunlichgelb, oolithisch, feine Tonhäute, Salzlöcher (kleine Drusen)	Laufen, Schachental, Zwingen, Liesberg	polierbar; Baustein, Platten, Mauersteine, Werkstücke, Brunnen
Kimmeridgien	Solothurner Kalk	Lommiswil, St. Verenhügel/ Solothurn	Werkstein, Platten aller Art
Kimmeridgien: zentraler und westlicher Jura	Kalkstein weisslich, gelblich, bläulich, gräulich, bräunlich, kompakt, splittig brechend	Born, Oberbuchsiten, Egerkingen, Oberdorf, Welschenrohr, Gänsbrunnen, Lengnau, Pieterlen, Evillard, Reuchenette, St-Imier, Tavannes, Saicourt, Tramelan, Court, Moutier, Crémises, Courrendlin, Vermes, Vicques, Delémont, Develier, Glovelier, Souboz, Soule, Boécourt, Courgenay, Fontenais, Courtedoux, Chevenez, Rocourt, Reclère, Fahy, Courchavon, Miécourt, Coeuves, Vendlincourt, Dampfreux-Lugnez, Beurnevésin, Neuchâtel, La Chaux-de-Fonds, Le Locle, Les Planchettes, Ste-Croix	Brechschorter, Bruchsteine, Mauersteine, Werkstücke (Brunnenträge)
Kimmeridgien: östlicher Jura (Wettinger- und Badenerschichten)	hellbeige, feinkristallin, spröde, auch knollig, mergelig	Dielsdorf-Steinmaur, Rothacker/Olten (im Randen Massen-/Quaderkalke)	Mauersteine, Bruchsteine, Brechschorter



Tabelle 6.8: Verzeichnis alter Steinbrüche [nach F. de Quervain, 1969] (Fortsetzung)

Geologie/Geographie	Bezeichnung	Abbaustellen	Bemerkungen
<b>MALM (Fortsetzung)</b>			
Portlandien	Roc de La Cernia bräunlich, Tonhäute, dicht	La Cernia (Neuchâtel)	Brechsotter, Mauersteine, Platten, Werksteine
Portlandien: westlicher Jura	weisslich-grau, graubläulich, auch bräunlich, dolomitisch, dicht, feinkristallin, plattig-grobbankig, etwas fleckig, oft Tonhäute	Courtelay, St-Imier, Neuchâtel, Cernier, La Chaux-de-Fonds, La Sagne, La Chaux-du-Millieu, Bullet, Grenchen, Biel, Evillard, Reuchenette, Sonceboz, Court, Twann, Prêles, Diesse, Lignières, Neuveville, Val de Ruz, Le Locle, La Brévine, Les Verrières, Fleurier, La Côte-aux-Fées, Vallorbe, Le Sentier, St-Cergue	Brechsotter, Bruchsteine, Mauersteine, Werkstücke, Tröge
Portlandien (Tithon): Randen Liegende Bankkalk	Plattenkalk lichtbeige/-gräulich, dicht, oft etwas mergelig	Mühlental, Schaffhausen (historisch), Fulachtal, Herblingen, Neuhausen	Schichtmauersteine, Bruchsteine, Moellons, Werkstücke
<b>KREIDE</b>			
Valanginien	Berriaskalk gelb-bräunlich, oolithisch-spätig	Genolier	Brechsotter, Bruchsteine
Hauterivien	Marbre bâtard hellbeige, dicht, rissig	Vingelz, Landeron-Combes, Cressier, La Coudre, Corcelles, Ballaigues, Vaulion, Le Brassus, Arzier	Brechsotter, Bruchsteine, Mauersteine, Werksteine
	Calcaire roux gelbrot, spätig, dünnbankig	Aubin, Concise, Travers, Bonvillars, Bière	Brechsotter, Bruchsteine
	Pierre jaune ockergelb, porös, oolithisch-spätig	La Coudre, Hauterive, St-Blaise, Cornaux, Le Landeron, Corcelles, Colombier, Bôle, Boudry, Bevaix, St-Aubin, Boveresse, Uttins, Bretonnières, l'Isle, St-George	Moellons, Mauersteine (Baustein Neuenburgs), Brechsotter, Bruchsteine (aus westlich. Vorkommen)
Urgonien	Kalkstein gelb, bräunlich, weisslich, oolithisch-spätig, kompakt bis porig	La Coudre, Neuchâtel, Boudry, Bevaix, La Sauge, Vaumarcus, Concise, Rances, Orbe, Agiez, Bofflens, Croy, Orny, La Sarraz, Eclépens, St-George, Le Pont, Le Brassus, Mormont, La Lance, Travers (Pierre blanche)	Werksteine, Mauersteine, auch Bildhauersteine, Brechsotter, Bruchsteine
<b>TERTIÄR</b>			
Miozän	Tennikeragglomerat gelbbraun-rötlich, Konglomerat aus Kalkgeröllen und Fossilien	Tenniken, Diepfingen	Moellons, Mauersteine
	Randengrobkalk gelbbraunrot, aus Schalenrümern mit Sand, grob bis löchrig	Villnachern, Iberg, Altdorf/Randen, Bargaen	Moellons, Mülsteine, Mauersteine
	Muschelkalk (wie Molasse)	Tavannes-Court	Mauersteine, Moellons, Mülsteine
	Süsswasserkalk	Wölflinswil, Le Locle	Werksteine, Marchsteine
	Tüllingerkalk	Tüllingen	Baustein; nicht frostbeständig
<b>Oligozän (Rheintalgraben)</b>			

## Gesteine des Mittellandes

<b>TERTIÄR</b>			
Subalpine Molasse	kalkreiche Sandsteine	Ebnat, Maseltrangen, Benken, Attalens	Pflastersteine, Schalensteine, Stellsteine, Bodenplatten, Mauersteine, Brechsotter
	feinkörnige Sandsteine	Corbières, Echarlens (Grès de Corbières, Grès de Bulle), Le Bouveret, Übeschi (Thun), Horw (Horwerplatten)	Mauersteine, Pflastersteine, Schalensteine, Treppenstufen, Brunnenröge, Fassadenplatten
	granitische Sandsteine	St. Margrethen, Jona, Bollingen, Schmerikon, Neuhaus, Uznaberg, Ägeri, Lothenbach, Teufen	Bildhauerarbeiten, Cheminées, Bodenplatten, Gartenarchitektur, Fassadenplatten,
	Plattensandsteine	Rorschach, Buchen-Staad, Wienacht, Unterbilchen, Martinstobel, Notkersegg, St. Georgen, Bäch, Freienbach, Wollerau, Zürichsee (Ufenau, Lützelau), Rooterberg (Dierikon, Gisikon), Luzern, Renggloch/Kriens, Entlebuch (Hasenstalden), Krienmoos, Tannen	Mauersteine, Ofenplatten, Bodenplatten, Treppenstufen, Bildhauerarbeiten, Schleifstein

Tabelle 6.8: Verzeichnis alter Steinbrüche [nach F. de Quervain, 1969] (Fortsetzung)

Geologie/Geographie	Bezeichnung	Abbaustellen	Bemerkungen
<b>TERTIÄR (Fortsetz.)</b>			
Untere Süsswassermolasse	Sandsteine (Molasse grise)	Lausanne, Pissieux, Côtes de Montbelon, Renens, Cheseaux, Echallens, Donneloye, Yvonand, Klein-Bösigen, Aarberg, Genf (Pierre du lac), Bernex, Chèvres	Mauersteine, Ofenbau
Obere Meeresmolasse	Muschelkalksteine (Muschelsandstein)	Würenlos, Mägenwil, Othmarsingen-Dottikon, Seiry (Grès de la Molière), Châbles, Bollion, Blatten-Staad (Seelaffe)	Fassadenverkleidungen, Treppenstufen, Mauersteine, Steinmetz-/Bildhauerarbeiten, z.T. Mühlsteine (Schnottwil)
	Bernersandstein	Burgdorf, Oberburg, Krauchthal, Bolligen (Stockern), Ostermundigen, Gurten, Wabern, Fribourg-Beauregard, Galtern, Arconciel, Villarlod, Ecublens, Ursy, Servion, Massonnens, Alterswil, Niedereichi (Ruchmühle), Staffelbach	Mauerstein, Fassadenplatten, Cheminées, Ofenplatten
Obere Süsswassermolasse	Sandsteine	Lindenberg, Baarburg, Albiskette, Herrliberg-Meilen, Zürichberg-Loorenkopf, Winterthur, Seerücken	Bausteine
Nagelfluh	Appenzellergranit	Herisau, Degersheim, Laupen, Rüti	Mauersteine, Gebäudesockel, Treppenstufen, Portale, Brunnentröge, Taufsteine
<b>Gesteine der Alpen – Gneise und Granite</b>			
<b>GNEISE U. GRANITE GRAUBÜNDEN</b>			
Adulagruppe	Gneise (oft als Quarzite bezeichnet)	S. Bernardino, Hinterrhein, Vals	Bodenplatten, Fassadenplatten, Mauersteine, Pflastersteine, Grabsteine
Andeer	Porphyrische Gneise Rofnaporphyr, Rofnagneis, Tscherastein, Pigniagranit	Andeer, Splügenpasshöhe	Treppenstufen, Bodenplatten, Randsteine, Dachplatten, Werkstücke, Grabsteine
Promontogno-Soglio	Muskovitgneise (Soglioquarzit)	Promontogno	Mauersteine, Bodenplatten, Treppenstufen, Sockel-/Fassadenverkleidungen, Werkstücke
Silvrettadecke	Muskovitgneise	Davos, Zernez, Clüs	Mauersteine, Pflastersteine Stellsteine, Marksteine
Val Ferrera	Plattenquarzite	Campsut, Cröt	Wand-/Bodenplatten
Maloja	Muskovitgneise	Malojapasshöhe	
Fextal	Quarzphyllite (Fexerplatten)	Silseralp	Dachplatten, Tischplatten, Bodenplatten (sehr witterungsbeständig)
Poschiavo	Serizitgneise, Epidot-Chloritgneise	Poschiavo	Mauersteine, Bodenplatten, Treppenstufen
Campodecke	Gneise	Bever (Isellas)	Bruchsteine
Bergellermassiv	Biotitgranit	Maloja, Stampa, Bondo	Treppenstufen, Sockel, Marksteine, Pflastersteine, Werkstücke (oft Moränenblöcke verarbeitet)
Berninagruppe	Alkaligranite	Berninahäuser	Mauersteine
	Quarzdiorite	St. Moritz, Pontresina	Mauersteine, Brechsotter
	Hornblende-Biotitgranite bis Quarzdiorite	Miralago, Brusio	Mauersteine, Treppenstufen, Werkstücke, Brechsotter, Pflastersteine
Julier-Albula-Gruppe	Granite, Quarzdiorite (Juliergranit)	St. Moritz (Alpina), Sils	Mauersteine, Brechsotter
Albulatal	Quarzporphyre	Stuls	Brechsotter
Unterengadin	Granite (Tasnagranit)	Ardez, Sent, Remüs	Wuhrsteine
<b>GNEISE DES TESSINS UND DES MISOX</b>			
Leventina – Riviera	Leventinagneis (Granit, Granito)	Claro, Preonzo, Personico, Bodio, Lavorgo, Chiggiogna	Bausteine, Mauerquader, Dach-/Bodenplatten, Marksteine, Werkstücke, Pflastersteine
		Cresciano	
		Cresciano-Osogna	
		Lodrino (chiaro)	



Tabelle 6.8: Verzeichnis alter Steinbrüche [nach F. de Quervain, 1969] (Fortsetzung)

Geologie/Geographie	Bezeichnung	Abbaustellen	Bemerkungen
GNEISE DES TESSINS UND DES MISOX (FORTSETZUNG)	Leventinagneis (Granit, Granito)	Lodrino (chiaro)	Bausteine, Mauerquader, Dach-/Bodenplatten, Marksteine, Werkstücke, Pflastersteine
		Iragna	
	Glimmerschiefer	Piotta	Bruchsteine, Mauersteine
Bleniotal	Augen-, Lagen-, Spindelgneise	Ponte Leggiuna, Semione (Matasco)	Bausteine, Bodenplatten, Grabsteine, Pflastersteine
Misox und Calancatal	Granitgneise	San Vittore	
	Biotitgneise	Castaneda, Arvigo	Boden-/Fassadenplatten, Werkstücke
	Zweiglimmergneise	Cama, Sorte, Lostallo, Cabbio, Val di Montogn	Bodenplatten, Plastersteine, Hausteine
Verzascat	Muskovitgneise (Tambo-gneis)	Passo Barna	Boden-/Wandplatten
	Gneise (hell)	Lavertezzo, Motta, Sambughe, Gerra	Technische Eigenschaften wie Leventinagneise Werkstücke, Boden/Balkonplatten, Treppentufen
	Plattengneise (Beole)	Brione, Val d'Osola	Fassadenplatten
Maggiatal	Biotitgneise (Beole di Valle Maggia, Valle Maggia-granite)	Riveo, Cevio (Rovana), Linescio	Bodenplatten, Fassadenplatten, Sockel, Werkstücke
Bavonatal	Bavonagneise (hell)	Fontana, Ritorto	Werkstücke
Bellinzona – Locarno	Gneise	Molinazzo, Daro, Carasso, Sementina, Gudo, Reazzino, Losone	Wuhrsteine, Mauersteine, Brechschotter
Onsernonetal Vergelettatal	Gneise	Ponte Brolla, Verscio, Cavigliano, Intragna, Berzona	Mauer-, Hausteine, Pflastersteine
	Gneise		
Südalpen	Gneise	Taverne, Novaggio, Fescoggia, Cademario, Curio, Iseo, Medeglia, Magadino, S. Antonino	Mauersteine, Wuhrsteine, Brechschotter
GNEISE UND GRANITE DER ZENTRALMASSIVE			
Aarmassiv			
Granite	Aaregranit, Gotthardgranit, Urnergranit	Güetli, Wassen, Zumdorf (Urserental), Handegg	Bausteine, Werkstücke, Pflaster-/Stellsteine
	Diorit	Val Russein, Disla	Pflastersteine
	Innertkirchengranit	Innertkirchen	Mauersteine, Brechschotter
Gneise	nördliche Gneiszone (Jungfrau-/Erstfeldergneise)	Sustenstrasse	Mauersteine
	südliche Gneiszone	Ausserberg, Baltschieder, Naters	Mauersteine, Dach-/Bodenplatten
Gotthardmassiv			
Granite	Rotondogranit	Bedrettatal	Hausteine
	Tremolagranit	Val Tremola	Pflastersteine, Mauersteine
	Fibbiagranit		Pflastersteine (schlechte Eignung wegen Sandquarz), Mauersteine, Brechschotter
	Gamsbodengranit		Bausteine, Werkstücke
	Medelsergranit		Mauersteine, Brechschotter
	Cristallinagranit	Perdatsch, Selva Secca	Mauersteine, Brechschotter

Tabelle 6.8: Verzeichnis alter Steinbrüche [nach F. de Quervain, 1969] (Fortsetzung)

Geologie/Geographie	Bezeichnung	Abbaustellen	Bemerkungen
<b>GNEISE UND GRANITE DER ZENTRALMASSIVE (Fortsetzung)</b>			
<b>Gotthardmassiv (Fortsetzung)</b>			
Gneise, Glimmerschiefer	Serizitgneis	Andermatt	Bausteine
	Hornblendegarbenschiefer/Granatglimmerschiefer	Airola	Mauersteine, Brechschotter
	Verrucanogesteine	Ilanz, Waltensburg, Tavanasa	Mauersteine, Wührsteine
<b>Mont Blanc-Massiv</b>			
Granite	Mont Blanc-Granit	Monthey – Collombey, Martigny, Le Ravoir, Orsières, Issert, Lac Champex	Bausteine, Marksteine (aus grossen Ansammlungen erratischer Blöcke gewonnen)
Gneise	gebänderte Gneise	Martigny	Bruchsteine
<b>Aiguilles Rouges-Massiv</b>			
Granite	Vallorcinegranit	Miéville, Vallorcine	
Gneise	Hornfels	Collonges	Brechschotter/-splitt
<b>Gesteine der Alpen - Gneise, Quarzite, Grüngesteine, Lavez</b>			
<b>Penninikum Wallis</b>	Quarzite	Embd, St. Niklaus, Saas Fee, Bramois	Fassadenplatten, Bodenplatten, Dachplatten, Randsteine
	Gneise, Glimmerschiefer	Saas Fee, Mättertal, Eisten, Gondo	Dach-/Bodenplatten, Treppenstufen, Mauersteine, Randsteine
<b>Lugano</b>	Porphyrite (Porfido Rosso)	Melide, Carona, Figino	Brechschotter, Mauersteine, Pflastersteine, Randsteine, Bodenplatten, Werkstücke
<b>Schwarzwald-kristallin</b>	Gneise	Laufenburg, Schwaderloch	Bausteine, Brechschotter
<b>Serpentine, Amphibolite, Grüngesteine</b>	Serpentine	Selva (Poschiavo), Kämmleten (Hospental), Pontresina, Calmot, Mompé Medel, Totalp (Davos)	Werkstücke, Bodenplatten, Verkleidungen, Cheminées
	Lavezsteine (Ofensteine, Giltsteine, pierre ollaire, pietra ollare, laveggi, giulla)	Lötschental, Naters, Mörel, Guttannen, Sustenjoch, Maderanertal, Etlital, Äginental (Goms), Obergesteln, Gerendorf, Oberwald, Kämmleten, Gigestaffel, Calmot, Mompé Medel, Puzastg, Selva, Mompé Tavetsch, Ragisch, Val Somvix, Acla Plauna, Gotthardpass, Bedrettal, Botzeresse, Les Haudères, Moirygletscher, Vispental, Zermatt, Saastal, Berisal, Binntal, Brissago, Centovalli, Valle di Bosco, Val Peccia (Predora, Alpe Corso), Fusio, Val Broglio, Verzascatal, Bleniotal (Loderio, La Colma), Calancatal/Misox (Alpe d'Ajone, Rossa, Riale, Polone, Mai, Pian di Verdabbio), Oberhalbstein, Puschlav, Pontresina, Val Bondasca	Ofenplatten, Kochgeschirr, Steinlampen, Zierarbeiten
	Amphibolite	Brione, Vaglio, Lugaggia, Sonvico, Piandera, Marmorera, Davos, Süs, Zernez	Werkstücke, Bruchsteine, Mauersteine, Brechschotter (Vorkommen in allen kristallinen Einheiten der Schweizeralpen)
	Gabbros	Arolla, Zermatt, Saastal, Oberhalbstein	lokale Bedeutung
	Eklogite, Olivinfelse, Peridotite	Centovalli	
	Grünschiefer, Diabase	Zweisimmen, Iberg, Valsertal, Oberhalbstein, Unterengadin, Felsberg, Tamins, Walliser Täler	Mauersteine, Bruchsteine, Brechschotter/-sand, Werkstücke («Vert Bonat» im Val de Bagnes)
	Nephritgesteine	Scortaseo (Puschlav)	Schmuckobjekte
<b>Dachschiefer</b>			
<b>Karbon (Wallis)</b>	Dachschiefer (Schiefer/Phyllite)	Alesses, Dorénaz, Vernayaz, Salvan, Finhaut, Isérables, Haute Nendaz	Dachbedeckungen
<b>Mesozoikum</b>	Dachschiefer	Leytron, Val Ferret (Mont Catogne, Lac Champex, Orsières), Arbaz, Brig (Brigerberg, Termen, Mörel, Ausserbinn), Meiringen	Dachbedeckungen, Bodenplatten (nur Meiringen)



Tabelle 6.8: Verzeichnis alter Steinbrüche [nach F. de Quervain, 1969] (Fortsetzung)

Geologie/Geographie	Bezeichnung	Abbaustellen	Bemerkungen
Dachschiefer (Fortsetzung)			
Helvetischer Flysch	Mergelschiefer	Engi (Landesplattenberg), Pfäfers-Vadura (Diesbach, Reusstal, Engelberg, Mex, Troistorrents-Morgins)	Bodenbeläge, Fenster- simse, Tischplatten, Wand- tafeln, Ofenplatten
	Elmerschiefer	Elm	Schreibtafeln, Wandtafeln
Niesenflysch		Frutigen	Schreibtafeln
Verschiedene Schiefervorkommen		Val Zavragia (Verrucano) Oberhalbstein (Alp Flix; Liasschiefer) Fanas, Schuls (Bündnerschiefer) Lungern (Oxfordien-Kalkschiefer)	Dachbedeckungen
Gesteine der Alpen - Karbonatgesteine			
TRIAS			
Helvetikum	Rötidolomit	Trins, Tamins, Unterterzen, Ausserberg, Arbaz, Grimmisuat, Huémoz (Bex), Innertkirchen	Brechsotter, Bruchsteine (Bedeutung gering)
Penninikum/ Klippendecke	Kalksteine	St-Triphon (Marbre/Noir de St-Triphon)	Säulen, Altäre, Taufbecken, Cheminées, Grabmonumente, Bildhauerarbeiten, Sockel- verkleidungen, Brunnenbecken, Mauersteine, Brechsotter (Wetterbeständigkeit sehr gut)
	Kalk/Dolomit	St-Léonard	Brechsotter, Dekorationsgesteine
	weitere Karbonate	Spiez (Bürg, Hondrich), Simmental (Burgfluh), Diemtigtal (Horboden), Villeneuve (Val de la Tinière), Aigle, Vionnaz, Muraz	Mauersteine, Bruchsteine, Brechsotter, Dekorationsgesteine (heute ohne Bedeutung)
Penninikum	Marmor (Castione bianco)	Castione	Säulen, Brunnenbecken, Bildhauerarbeiten, Fassadenverkleidungen, Bodenplatten, Treppenstufen, Brechsotter
	Kalksilikatfels (Castione nero, Granito nero)	Castione	Boden-/Fassadenplatten, Säulen, Brunnen, Cheminées, Treppen- stufen, Sockel, Brechsotter
	Marmor	Val Peccia (La Rossa, Gheiba; Cristallina colombo hell klassisch)	Fassaden, Bodenbeläge, Grossplastiken, Kirchenausstattungen (frostbeständig)
	Rauhwacke	Dalpe	Bodenbeläge, Monumente
JURA			
Helvetikum	Liaskalke	Bönigen, Engelberg, Seeztal, Flums, Wangs	Bruchsteine, Brechsotter
	Doggerkalke	Leytron, Saillon, Walenstadt, Klöntal, Meiringen, Lütschinentäler, Montana, Arveyes	Stellplatten, Mauersteine, Bruchsteine
	Quintnerkalk (Malm)	Flims, Felsberg, Haldenstein, Trübbach, Flums, Walenstadt, Quinten, Berschis, Vils, Glarus, Silenen, Engelberg, Stans, Melchtal (Stöckalp), Meiringen, Brienz, Iseltwald, Gsteigwiler, Zweilütschinen, Netstal Untervaz (Bleu des Grisons)	Wuhrsteine, Mauersteine, Brechsotter, Bildhauer- arbeiten (Marmor), Altäre, Taufbecken, Cheminées, Möbelplatten
Penninikum/ Klippendecke	Liaskalke	Arvel (Villeneuve)	Mauersteine, Sockel, Fassadenplatten, Dekorationsgesteine, Brechsotter (vorzüglich wetterbeständig)
	weitere Liaskalke	Roche, Vouvry, Montreux, Rossinière, Spiez, Oberstocken, Blumenstein	Bruchsteine, Brechsotter
	weitere Doggerkalke	Zweisimmen, Gstaad, Saanen, Rougemont, (Brèche de Champéry, Brèche de Muraz)	Bruchsteine, Brechsotter (Dekorationsgesteine)

Tabelle 6.8: Verzeichnis alter Steinbrüche [nach F. de Quervain, 1969]

Geologie/Geographie	Bezeichnung	Abbaustellen	Bemerkungen
JURA (Fortsetzung) Penninikum/ Klippendecke (Forts.)	Malmkalk	Yvorne (Rouge jaspé, Rouge suisse, Gris suisse, Marbre de Roche, Viviser Marmor))	Wandbeläge, Möbelplatten, Treppenstufen, Kirchen- ausstattungen, Hausteine (sehr wetterbeständig)
		Saanetal (Lessoc, Neirivue, Grandvillard, Enney, Estavannes, Broc, Leysin, Hongrin)	Sockel, Treppen, Fenstereinfassungen, Monumente, Lithographiesteine, Brechschotter
	weitere Malmkalke	Reutigen, Wimmis, Grubenwald, Saanen, Charmey, Vouvry, Grammont, Les Evouettes, Bouveret	Mauersteine, Wührsteine, Brechschotter (Dekorationsgesteine)
Penninikum	Lias-Kalkschiefer (Dalles de Sembrancher)	Sembrancher, Vollèges	Mauersteine, Treppen- stufen, Bodenplatten, Randsteine, Dach- bedeckungen, Brunnen- becken
Südalpen	Lias-Kieselkalk	Vacallo, Dastello S. Pietro, Salorino, Val Muggio, Val Mara, Monte Bré, Caprino	Mauersteine, Brech- schotter/-splitt, Pflastersteine
	«Buntmarmore» Liasbrekzien	Arzo (Macchiavecchia, Broccatello d'Arzo, Rosso d'Arzo, Rosso vivo)	Möbelplatten, Fassaden-/ Bodenplatten, Kirchenausstattungen, Cheminées, Brechschotter
KREIDE			
Helvetikum	Öhrlikalk	Mollis, Ardon, Sierre	Wührsteine, Mauersteine
	Valanginienkalk	Ringgenberg, Mollis, Quinten, Oberriet, St-Maurice	Mauerquader, Sockelsteine, Randsteine, Brechschotter
	Grindelwaldnermarmor	Unterer Grindelwaldgletscher	Säulen, Kommodenplatten («Funkkommoden»), Cheminées
	Rosenlauimarmor (Oberhaslimarmor)	Schwarzwaldalp	Möbelplatten, Altararbeiten
	Kieselkalke	Oberriet, Starkenbach, Quinten, Weesen, Mollis, Seewen, Brunnen, Schwibogen, Matt, Kehrsiten, Rotzloch, Balmholz, Collombey	Brechgesteine, Pflaster- steine, Schalensteine, Stellsteine, Mauersteine, Wührsteine, (Wetzsteine)
	Spatkalke	Collombey (Marbre de Collombey), Bex (Rouge du Rhône)	Boden-/Wandbeläge, Treppenstufen, Bildhauer- arbeiten, Brechschotter
	Schrattenkalk	Untervaz, Muotathal (Muotathaler Marmor), Dölle (Alpnachersee; Pilatusmarmor), Montlingerberg	Bodenplatten, Treppen- stufen, Brunnentröge, Wührsteine
	Marmor (Cipolin vert moderne, – vert rubané, – grand antique)	Saillon	Säulen, Wandplatten, Tischplatten, Monumente, Sockel
	Seewerkalk	Weesen, Seewen	Strassensplitt, Filler, Gartenkiese, Bausand
TERTIÄR			
Helvetikum	Nummulitenkalke	Ragaz (Ragazermarmor, -stein), Einsiedeln, Merligen, Schwyz, Flüeli, Lenk	Sockel, Grabmäler, Säulen, Bildhauerarbeiten, Treppen, Brunnenbecken, Mauersteine
Sandsteine und Konglomerate			
Perm (Verrucano)	Sandsteine, Konglomerate (roter Ackerstein)	Mels, Vermol, Murg, Collonges (Rouge de Collonges)	Wührsteine, Mauersteine, Bodenplatten, Mühlsteine, Bildhauerarbeiten, Brech- splitt
Trias	Melsersandstein	Mels	Treppenstufen, Randsteine, Platten, Mühlsteine
Kreide	glaukonitische Sandsteine (Grünsandsteine), sandige Kalksteine (Echinodermenbrekzien)	Buchs, Sevelen, Grabs, Weesen, Beckenried,	Mauersteine, Wührsteine, Stellsteine, Schalensteine, Brechschotter
Oberkreide und Alttertiär	Flyschsandsteine (kalkige Sandsteine, Sandsteine mit vulkanischem Trümmermaterial)	Matt (Sernftal), Attinghausen, Alpnach (Guber), Mitholz, Zollhaus, Plasselb, Massongex, Monthey, Val d'Illiez	Pflastersteine, Schalen-/ Bordsteine, Tritte, Mauer- steine, Brechgesteine



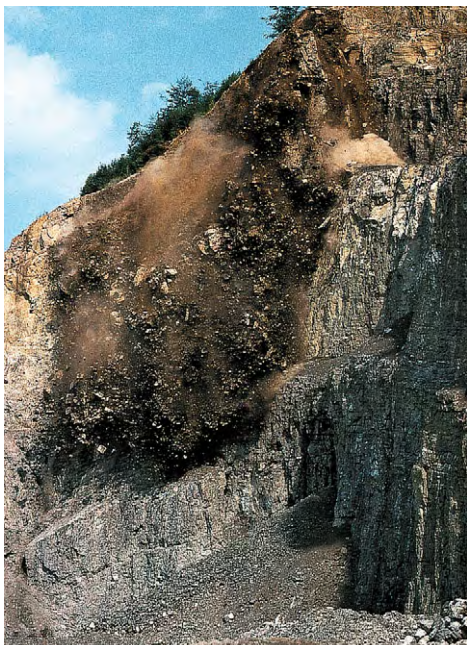
Tabelle 6.9: Steinbrüche für gebrochene Produkte

Nummer auf Karte	Standortgemeinde	Geologische Bezeichnung	Tektonische Stellung	Nummer auf Karte	Standortgemeinde	Geologische Bezeichnung	Tektonische Stellung
SCHOTTERBRÜCHE DES JURA				SCHOTTERBRÜCHE DER ALPEN			
Diese Brüche gewinnen dichte, mikritische bis oolithische Jurakalke und verarbeiten sie zu Koffermaterial, Brechsanden, -kiesen und Schottern, teilweise auch zu Rohblöcken (Wasserbau, Gestaltungssteine).				Abgebaut werden reine Kalksteine, Kieselkalke, Quarzsande und, im Tessin, Kalksilikatfels. Die Produkte sind gleich wie im Jura, wobei sich Hartschotter zusätzlich als Bahnschotter eignet.			
1	Steinmaur ZH	Kalke des unteren Malm (Oxfordien)	Faltenjura	29	Rans/Sevelen SG	Glaukonitischer Sandstein, mittlere Kreide	Helvetikum
2	Mellikon AG	Malmkalke	Tafeljura	30	Wartau SG (Schollberg)	Quintnerkalk, Malm	Helvetikum
3	Mönthal AG	Malmkalke (Sequanien)	Faltenjura	31	Starkenbach SG	Kieselkalk	Helvetikum
4	Obererlinsbach AG	Hauptrogenstein (Dogger)	Faltenjura	32	Walenstadt SG	Echinodermenbrekzie, Reischibe-Serie, Dogger	Helvetikum
5	Hauenstein SO	Hauptrogenstein des Doggers	Faltenjura	33	Quinten SG	Kieselkalk, frühe Kreide	Helvetikum
6	Egerkingen SO	Kalke des oberen Malm (Kimmeridgien)	Faltenjura	34	Mollis GL	Quintnerkalk, Malm	Helvetikum
7	Reigoldswil BL	Dolomite des oberen Muschelkalk (Trias)	Tafeljura	35	Netstal GL	Troskalk, Malm	Helvetikum
8	Oberdorf SO	Kalke des oberen Malm (Kimmeridgien)	Faltenjura	36	Felsberg GR	Dolomite, Epidot-Chlorit-schiefer, Verrucano (?)	Penninikum
9	Laufen/Liesberg BL	Kalke des unteren Malm	Faltenjura	37	Sils i. D. GR	Sandstein in Bündnerschiefern	Penninikum
10	Lengnau BE	Kalke des oberen Malm (Kimmeridgien)	Faltenjura	38	Castione TI	Kalksilikat, Kalkmarmor	Penninikum
11	Vaufelin BE	Kalke des oberen Malm	Faltenjura	39	Einsiedeln SZ	Nummulitenkalke (Tertiär)	subalpine Molasse
12	Biel BE (Tubeloch/Vorberg)	Kalke des oberen Malm (Kimmeridgien)	Faltenjura	40	Ingenbohl SZ	Glaukonitischer Sandstein, mittlere Kreide	Helvetikum
13	Tavannes BE	Kalke des Kimmeridgien	Faltenjura	41	Schwyz/Zingel SZ	Kieselkalk	Randkette, Helv. Bürgenstockdecke
14	Tramelan BE	Kalke des Kimmeridgien	Faltenjura	42	Attinghausen UR	Altdorfer Sandstein, Tertiär	Helvetikum
15	Gänsbrunnen SO	Kalke des Kimmeridgien	Faltenjura	43	Kehrsiten NW	Kieselkalk, frühe Kreide	Helvetikum
16	Courgenay JU	Kalke des Kimmeridgien	Faltenjura	44	Rotzloch NW	Kieselkalk, frühe Kreide	Helvetikum
17	Courtemaiche JU	Kalke des unteren Malm (Rouracien/Sequanien)	Faltenjura	45	Ringgenberg BE	Kieselkalk, frühe Kreide	Helvetikum
18	La Neuveville BE (Le Châble)	Kalke des oberen Malm (Portlandien)	Faltenjura	46	Balmholz BE	Kieselkalk, frühe Kreide	Helvetikum
19	Neuchâtel NE (La Cernia)	Kalke des oberen Malm (Portlandien/Kimmeridgien)	Faltenjura	47	Wimmis BE	Malm der Klippendecke	Préalpes
20	Corcelles NE	Kalke der Kreide	Faltenjura	48	Blausee-Mitholz BE	vorw. Kieselkalk der Fisistöcke	Bergsturzmaterial
21	La Sagne NE	Kalke des Portlandien	Faltenjura	49	Zweisimmen BE	Kalk-Dolomitbrekzien der Brekziendecke	Préalpes
22	Les Ponts-de-Martel NE	Kalke des oberen Malm	Faltenjura	50	Charmey/Jaun FR	Malm der Klippendecke	Préalpes
23	La Chaux-de-Fonds NE	Dalle nacrée (Callovien, ob. Dogger)	Faltenjura	51	Enney FR	Malm der Klippendecke	Préalpes
24	La Chaux-de-Fonds NE	Spatkalke, Callovien; Kalke, Argovien-Kimmeridgien	Faltenjura	52	Neirivue FR	Malm der Klippendecke	Préalpes
25	Treycovagnes VD	Kalke der frühen Kreide	Faltenjura	53	Villeneuve VD	Spatkalk, Kieselkalk, (oberer Lias)	Préalpes Médiannes
26	La Sarraz VD	Kalke der frühen Kreide (Urgonien)	Faltenjura	54	Monthey VS	Grès des carrières	Molasse subalpine
27	Le Lieu VD	Kalke des oberen Malm (Portlandien)	Faltenjura	55	Massongex VS	Grès des carrières, Sandstein, Tertiär, UMM	Subalpine Molasse
28	Le Sentier VD	oberer Malm (Portlandien)	Faltenjura	56	Bex VD	Spatkalk, Kreide (Barrémien)	Helvetikum
				57	Ardon VS	Valanginien (Öhrlikalk)	Helvetikum
				58	St-Léonard VS	Trias (Rötidolomit)	Helvetikum
				59	Grône VS		
				60	Turtmann VS	Kalkmarmor	Penninikum
				61	Hohentenn VS	Quintnerkalk (Malm)	Parautochthon helvetisch





6.84



6.85



6.86



6.87

Abbildung 6.84: Hartsteinbruch Rotzloch am Alpnachersee.

Abbildung 6.85: Gebrochene Festgesteine. Abbau im Steinbruch durch Grosssprengungen (Steinbruch Zingel).

Abbildung 6.86: Gebrochene Festgesteine. Zerkleinerung des Sprengmaterials im Vorbrecher.

Abbildung 6.87: Gebrochene Festgesteine. Brecher zur Splitttherstellung.



## 6.4 GEBROCHENE FESTGESTEINE

### 6.4.1 DEFINITION

Unter *gebrochenen Festgesteinen* oder *felsgebrochenen Gesteinen* verstehen wir Schotter, Splitt und Kiese, die in Steinbrüchen aus festem Fels durch Sprengen und anschließende Zerkleinerung in Aufbereitungsanlagen gewonnen werden. Gebrochene Festgesteine ergeben (mit Ausnahme von verfestigten Konglomeraten) scharfkantige Brechkörner ohne Rundflächen. Dieselbe Kornbeschaffenheit kann auch beim Zerkleinern von grobkörnigen Lockergesteinen (z.B. blockiges Bergsturzmaterial) resultieren. Werden Grobkomponenten von Kies oder verfestigten Konglomeraten (z.B. Nagelfluh) durch Brechen zerkleinert, so resultieren Körner mit Bruchflächen und natürlichen Rundflächen. Als Brechkorn wird normgemäss (SN 670 710d) ein Korn bezeichnet, das über 80% Bruchflächen aufweist. Als teilweise rund wird ein Korn bezeichnet, das 20 bis 80% Rundflächen aufweist; ein Rundkorn besitzt über 80% Rundflächen.

Da gebrochene Festgesteine hauptsächlich dort Anwendung finden, wo höchste Ansprüche bezüglich Festigkeit gefordert werden (im Bahnbau für das Schotterbett, im Strassenbau als Zuschlagstoff für Deckschichten), wird zwischen Hartgesteinen und mittelharten Gesteinen unterschieden (siehe [Tabelle 6.10](#)). Die Gesteinshärte wird aufgrund der mittleren Druckfestigkeit sowie dem Gehalt an harten Mineralen definiert. Als harte Minerale gelten solche, die den Stahl ritzen. Die häufigsten sind: Quarz, Feldspat, Amphibole, Olivin, Granat, Epidot und Gesteinsglas. Als mittelharte und weiche

Minerale gelten solche, die von Stahl geritzt werden. Die häufigsten sind: Kalzit, Dolomit, Serpentinminerale, Chlorit, Glimmer sowie zersetzte Feldspäte, Amphibole und Olivine.

Anfänglich wurden gebrochene Materialien aus Schrotten, also dem Abfall bei der Pflastersteinherstellung, hergestellt. Seit 1925 verwenden die SBB für die Gleisbettung ausschliesslich gebrochenes Material. Auch im Belagsbau wurden die Vorteile von gebrochenen Materialien erkannt, was vielerorts zur Industrialisierung des Abbaus und der Aufbereitung führte.

### 6.4.2 PRODUKTE UND VERFAHREN

**Abbau:** Die Massengewinnung erfolgt praktisch ausschliesslich im Tagebau nach einem festgelegten Abbauplan und generell mittels Grossbohrlochsprengungen, wobei die Terrassenhöhen 6 bis 40 Meter, im allgemeinen 25 bis 30 Meter betragen. Die Bohrlöcher von 64 bis 160 mm Durchmesser werden meist mit Im-Loch-Hämmern (Spezialbohrgerät) abgeteuft. Die Anordnung der Bohrlöcher, die Ladung und Zündung bestimmen die Blockigkeit des Sprenggutes. Wird unter Zwang gesprengt (allseitiger Einschluss) oder wird die Sprengstoffmenge zu hoch dosiert, so kann das Gestein in seiner Festigkeit und Verwitterungsbeständigkeit durch Bildung von Mikrorissen stark beeinträchtigt werden. Durch die Wahl der Terrassenhöhe im Steinbruch kann innerhalb des Sprenggutes eine gewisse Homogenisierung erreicht werden. Das Sprenggut wird anschliessend mittels Pneulader oder baggerbeschicktem Muldenkipper dem Vorbrecher zugeführt. Sofern grössere Blöcke nicht als Vorlagesteine Verwendung finden, müssen diese mittels Abbauhammer, Fallkugel oder Einzelsprengungen (Knäppersprengungen) zerkleinert werden.

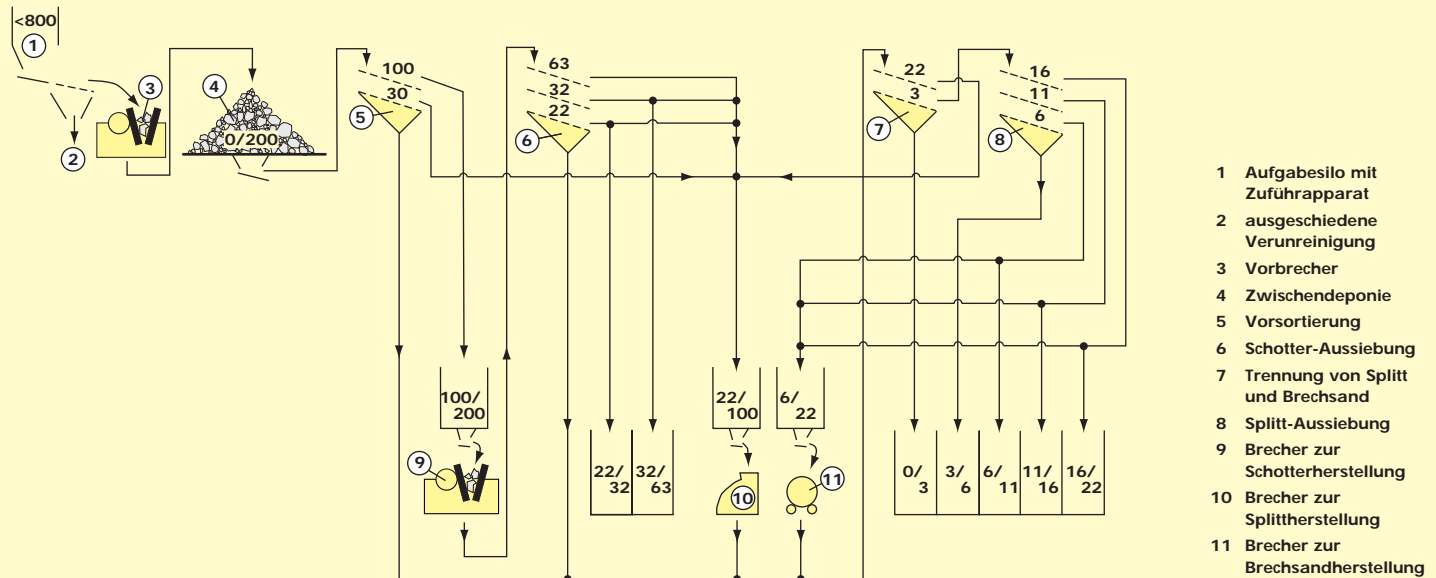
**Aufbereitung und Produkte:** Die Aufbereitung umfasst die Zerkleinerung, Sortierung und Entstaubung. Generelle Empfehlungen für die Ausrüstung eines Werkes gibt es nicht. Versuche müssen zeigen, welche Aufbereitungsmethode bezüglich dem vorhandenen Gestein und im Hinblick auf die Produkte sowie deren Qualität am optimalsten und am wirtschaftlichsten ist.

Als Vorbrecher werden üblicherweise Backenbrecher (Einschwingenbrecher für mittelharte Gesteine und Doppelkniehebelbrecher für Hartgesteine), seltener Grobkreiselsprecher verwendet. Vor oder nach dem Vorbrecher erfolgt eine Stückgutabscheidung. Dabei können ungeeignete Anteile, die sich im feinkörnigeren Spreng- oder Brechgut angereichert haben,

**Tabelle 6.10: Hartgesteine: Definition der Gesteinshärte gemäss Norm SN 670 710d und Vorschrift der SBB (R 211.1).**

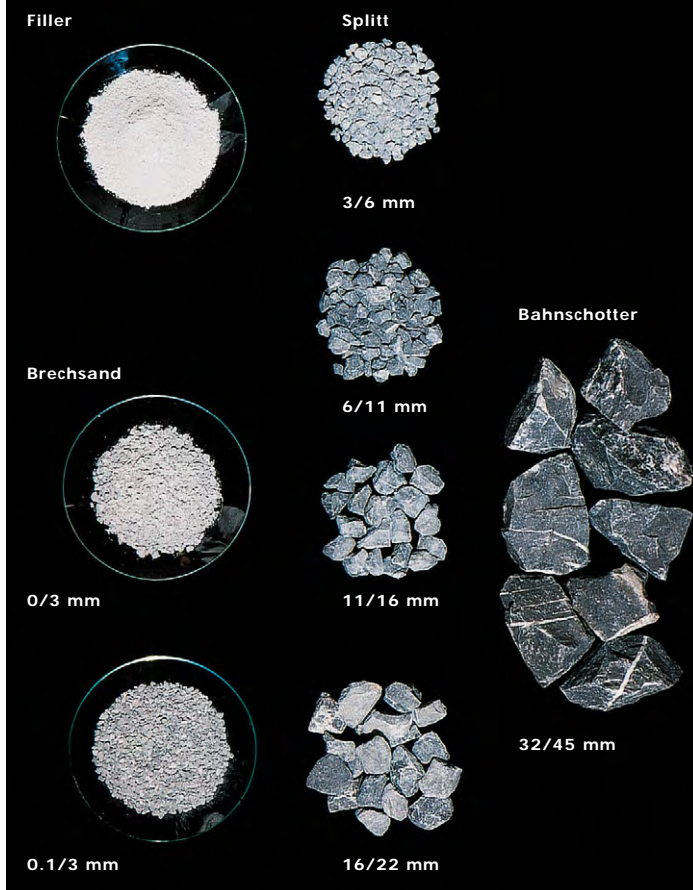
Härte	Mittlere Druckfestigkeit (in N/mm <sup>2</sup> )	Gehalt an harten Mineralen (in Gew.%)	Beispiele
Hart	> 140	> 25	Granite, Gneise, Amphibolite, Kieselkalke, alpine Sandsteine
Mittelhart	> 140	< 25	Kalke, Dolomite, Serpentine
	60 – 140	50 – 100	kalkreiche Sandsteine
Weich	60 – 140	< 50	Molassesandsteine, Mergelkalke, Glimmerschiefer, mürbe Gesteine
	< 60	0 – 100	

### Vereinfachtes Materialfluss-Schema eines Schotterwerkes



6.88

### Verschiedene Fraktionen gebrochener Festgesteine



6.89

Tabelle 6.11: Beeinflussung von Hartschottereigenschaften durch Abbau und Aufbereitung

Vorgang	Beeinflusste Parameter
<b>Abbauplanung</b> - separater Abbau ungeeigneter Gesteinsschichten - Abbauart (Mächtigkeit und Breite der Strossen: Separierung durch horizontalen Abbau, Homogenisierung durch vertikalen Abbau)	- Petrographie
<b>Sprengen</b> - Anordnung Bohrlöcher, Bohrlochabstand - Ladung (Menge, Verteilung) - Zündung	- Korngrösse - Petrographie einzelner Kornklassen - Festigkeit
<b>Aufbereitung: Stückgutabscheidung</b>	- Petrographie - Kornform
<b>Aufbereitung: Brechen</b> - Art der Brecher, Brechereinstellung, kontinuierliche Beschickung, Zustand der Verschleissteile - Zerkleinerungsgrad (Öffnungsweite Brecher) - Anzahl Brechvorgänge	- Petrographie - Kornform - Kornverteilung
<b>Aufbereitung: Siebanlage</b> - Dimensionierung Siebe, Aufgabemenge - Einstellungssiebe (Siebhub, Drehzahl) Verschleissteile	- Kornverteilung - Zustand - Über-, Unterkorn - Kornform (Schlitzsiebe)
<b>Aufbereitung: Entstaubung</b>	- Reinheit

Abbildung 6.88: Schematische Darstellung von Materialfluss und -aufbereitung in einem Schotterwerk.

Abbildung 6.89: Gebrochene Festgesteine: Verschiedene Fraktionen nach den einzelnen Brechdurchgängen.



eliminiert werden. Ungeeignete Anteile sind beispielsweise Glimmer-, Chlorit-, Talk- und Tonschiefer, grobkristalliner Kalkspat, weiche Molassesandsteine und andere Weichgesteine, Mergelkalke, stark poröse sowie verwittertes oder mürbes Material. Trotz erhöhtem Gehalt an ungeeigneten Anteilen genügt das Material aus der Vorabscheidung bei Gesteinsvorkommen, die hochwertige Produkte herstellen, oft den Qualitätsanforderungen für Fundationsmaterial. Die grossen Kapazitäten der Vorbrecher bedingen meist eine intermittierende Produktion mit Zwischendeponie, um die Aufbereitungsanlage kontinuierlich zu beschicken. Für die weitere Zerkleinerung (Nachbrecherei) werden Backen-, Kreisel- oder Prallbrecher eingesetzt. Der Zerkleinerungsfaktor sollte 4:1 nicht übersteigen; er bestimmt damit die Einstellung der Öffnungsweite beim Brecher. Die Kornklasse im Grössenbereich der mittleren Brecheröffnung enthält die grösste Anzahl kubischer Körner (der Anfall kubischer Körner nach einem einzigen Brechgang überschreitet üblicherweise die Grenze von 57% nicht). Nach verschiedenen Brechvorgängen werden die gewünschten Körnungen ausgesiebt; es entstehen Schotter, Splitte verschiedener Körnung und Brechsand ([Abbildung 6.89](#)). Gewisse Endprodukte mit komplexerem Kornaufbau (z.B. Betonzuschlag) müssen wieder anteilig gemischt werden. Zur Herstellung von fillerarmem Brechsand ist meist eine Nassaufbereitung notwendig. In Werken, wo der Sand- und Fillerbedarf hoch ist, werden zusätzlich Walzenbrecher oder Mühlen eingesetzt. Die heutigen Vorschriften bezüglich Reinheit erfordern meistens eine Entstaubung durch Waschen.

Verschiedene Parameter, die wesentlich die Qualität der Produkte bestimmen können, lassen sich beim Abbau und im anschliessenden Aufbereitungsprozess, beeinflussen; sie sind in [Tabelle 6.11](#) zusammengestellt.

**Tabelle 6.12: Qualitätsanforderungen für verschiedene Schottersorten.**

Prüfmerkmal	Grenzwerte für:		
	Schotter I	Schotter II	Schotter III
Los Angeles-Koeffizient (Kornverfeinerung infolge Schlag und Abrieb; nach SN 670 835)	max. 20%	max. 28%	max. 35%
Zertrümmerungsgrad Z (Kornverfeinerung infolge Druckbeanspruchung; nach SN 670 830)	max. 27%	max. 30%	max. 33%
Verwitterungsbeständigkeit im Kristallisierungsversuch (Massenverlust nach 40 Wecheln; F. de Quervain, 1967; SBB R 211.1)	max. 8%	max. 12%	max. 16%

### 6.4.3 ANFORDERUNGEN UND EIGENSCHAFTEN

Voraussetzung für den Abbau eines Gesteinsvorkommens ist, dass die Nutzschrift aus einem geeigneten Gestein besteht und homogen ausgebildet ist. An weiteren geologisch-technischen Kriterien müssen erfüllt sein:

- Ausreichende Mächtigkeit der Nutzschrift.
- Ungeeignete Gesteinsschichten separat abbaubar (z.B. Überdeckung, Abraum, Einschaltungen).
- Ungeeignete Anteile innerhalb der Nutzschrift eliminierbar durch Abbauplanung (kleinstückiges Sprengen, Blockauswahl), durch Vorabscheidung oder im Aufbereitungsprozess.
- Tektonische Komplikationen (Brüche, Überschiebungen) fehlen im Abbaugbiet oder sind nicht hinderlich für den Abbau.
- Klüftung ist nicht zu engständig und ergibt annähernd kubische Kluftkörper.
- Verwitterung, Tektonisierung und Beeinträchtigung der Gesteinsqualität durch metamorphe Überprägung sind minim.
- Geländestabilität wird durch Abbau nicht wesentlich verringert und Sicherheit beim Abbau ist gewährleistet.
- Das Abbaugbiet ist gut erschliessbar.
- Die verkehrstechnische Lage des Steinbruchs und des Werks erlauben eine wirtschaftliche Materialgewinnung.

Ökologisch-politische Kriterien, die den Natur- und Landschaftsschutz, aber auch das Forstwesen und den Gewässerschutz sowie Planungsfragen (Bauzonen, Verkehrswege, Naherholungsgebiete) betreffen, werden zusehends bedeutender und sind Gegenstand der Umweltverträglichkeitsprüfung, die bei einem abbaubaren Gesamtvolumen von mehr als 300'000 Kubikmetern gefordert wird (siehe auch [Kapitel 13](#)).

Die Eignung eines mineralischen Rohstoffs als Brechstein wird bestimmt durch dessen Anwendung. Die technische Einsetzbarkeit und die Wirtschaftlichkeit sind zwei grundlegende Aspekte zur Festlegung von Qualitätsanforderungen. Durch die natürlichen Eigenschaften der verfügbaren Gesteinsvorkommen und durch ihre vorhandenen Heterogenitäten sowie durch die beschränkten Möglichkeiten der Qualitätsbeeinflussung beim Abbau und bei der Aufbereitung werden der Festlegung von Qualitätsanforderungen Grenzen gesetzt. Die Beobachtung des Langzeitverhaltens ist von grosser Bedeutung und sollte erlauben, die für die Qualitätsbeurteilung wichtigen Materialeigenschaften zu definieren und diese dann im Laborversuch zu quantifizieren, wobei der Nachweis erbracht werden muss, dass das Experiment oder die Analyse reproduzierbar sind und das wirkliche Verhalten erfassen.

Tabelle 6.13: Gebrochene Festgesteine: zulässige Höchstmengen pro Körnung (in %) für verschiedene Anwendungen.

Prüfmerkmal	Deckschichten aus Mischgut				Heissmischtragschicht	Betonbeläge	Oberflächenbehandlung Tränkung	
	Typ S							
	<11 mm	> 11 mm	Typ N	Typ L				
Kornform nicht kubisch	35	40	45		45	45	siehe Typ S	
Kornrundung teilweise rund rund	20 0	25 1	33 2		0 0	0 0	Splitt 20 0	Schotter 33 2
Zertrümmerungsgrad								
Körnung 3/6 mm	16		19		19	-	19	
6/11 mm	18		21		21	-	21	
11/16 mm	20		23		23	-	23	
16/22 mm	-		-		25	-	-	
22/32 mm	-		-		27	-	-	27
32/63 mm	-		-		-	-	-	28
Los Angeles-Koeffizient								
Körnung 3/6 mm	20		23		25	-		
6/11 mm	20		23		25	-		
11/16 mm	18		21		23	-		
16/22 mm	-		-		23	-		
22/32 mm	-		-		23	-		
Polierwiderstand (PSV)	≥ 50		≥ 50	≥ 45	≥ 45	≥ 50	≥ 50	

Der Zertrümmerungsgrad Z bezeichnet das Ausmass der Kornverfeinerung von Splitt infolge Druckbeanspruchung.

Der Los Angeles-Koeffizient beschreibt das Ausmass der Kornverfeinerung von Splitt infolge einer gleichzeitigen Beanspruchung auf Schlag und Abrieb.

Der Polierwiderstand bezeichnet die verbleibende Oberflächenrauigkeit von Splitt nach Reibungsbeanspruchung. Massgebend ist der sogenannte PSV des Splittes (PSV: Polished Stone Value).

Für das Langzeitverhalten von gebrochenen Festgesteinen sind die *Witterungsbeständigkeit* und die *mechanischen Festigkeiten* von hauptsächlicher Bedeutung. Die Anwendung der Materialien bestimmt weitere Eigenschaften wie Kornverteilung, Kornform und Reinheit oder die Haftfestigkeit eines Bindemittels bei Verwendung gebrochener Materialien als Zuschlagstoff.

*Verwendung gebrochener Gesteine als Bahnschotter:* Die Qualitätsanforderungen sind von der Baudirektion der SBB festgelegt worden [Vorschriften SBB R 211.1]. Bahnschotter muss aus beständigem, festem, kompaktem und rissfreiem Gestein bestehen. Die Körner müssen 100% Bruchflächen aufweisen, unregelmässig geformt und scharfkantig sein. Der Gehalt an weichen und aufgrund der Petrographie als ungeeignet eingestuft Anteile soll in der Regel 3–5% nicht überschreiten. Neben der Kornverteilung, der Kornform und der Reinheit (Feinanteil der Fraktion < 0.5 mm unter 0.5 Gew.%) werden für die verschiedenen Schotterarten Qualitätsanforderungen bezüglich Festigkeit und Verwitterungsbeständigkeit verlangt (siehe [Tabelle 6.12](#)). Für die Kornform wird gefordert, dass der Anteil an kubischen Körnern höher als 60% sein muss (als kubisch gelten Körner dann, wenn die Dicke (kleinster Durchmesser) mindestens 40% der Länge beträgt).

Technische Voraussetzungen für die Lieferung von Bahnschotter an die SBB sind eine positive Eignungsuntersuchung des Gesteinsvorkommens und Eignungsprüfung des Schotters sowie eine positive Beurteilung des Schotterwerkes durch die SBB.

*Verwendung gebrochener Gesteine für Beläge, Oberflächenbehandlung und Tränkung:* Die im Strassenbau verwendeten mineralischen Rohstoffe dürfen für Deckschichten und Betonbeläge nicht mehr als 6%, für Tragschichten nicht mehr als 10% ungeeignete Körner (vergleiche [Kapitel 6.4.2](#)) enthalten. Für Mischgut des Typs S sind Splittkörnungen mit jeweils mindestens 60% harten Gesteinskörnern (Hartsplitt) zu verwenden [SN 670 710d], dasselbe gilt für Oberflächenbehandlung und Tränkung [SN 640 415c]. Die zitierten Normen enthalten neben Qualitätsanforderungen bezüglich Korngrößenverteilung, Kornform und Kornrundung und Verunreinigungen (Feinkorn, organische Beimengungen) auch Vorschriften bezüglich Festigkeit (Zertrümmerungsgrad, Los Angeles Versuch) und Polierwiderstand (PSV). Einige Kennwerte sind in [Tabelle 6.13](#) aufgelistet.

Verschiedene Forschungsarbeiten und Beobachtungen über das Langzeitverhalten [Eisenmann in Partl und Fritz, 1993; Blumer, 1989; Fenz et al., 1991] zeigten, dass die Verwendung von ausschliesslich gebrochenen Zuschlagstoffen in Trag-



schichten im Strassenbau die Spurrinnenbildung stark reduziert. Bezüglich Haftfestigkeit bituminöser Bindemittel am Gestein zeigten Untersuchungen [Junker, 1981], dass Kalke allgemein eine gute Bitumen-Affinität haben, im Gegensatz zu quarzreichen Gesteinen. Grosse Glimmergehalte und gut spaltbare Kluftkalzite sowie Feldspäte haben negative Auswirkungen auf die Stabilität und das Langzeitverhalten von Belägen. Vergleiche hierzu auch das [Kapitel 9.3.3](#) über die Verwendung von Strassenaufbruch als Sekundärrohstoff.

Die Qualitätsanforderungen an Filler (Kornfraktion kleiner als 0.09 mm) für bituminöses Mischgut sind in der Norm SN 670 760a festgehalten und umfassen neben Vorschriften bezüglich petrographischer Beschaffenheit (hydrophile und hydrophobe Körner, Gehalt an Tonmineralien), Korngrössenverteilung und Reinheit weitere Prüfmerkmale wie Hohlraumgehalt (Porenvolumen), versteifende Wirkung (Erweichungspunkt Filler-Bitumengemisch) und Volumenänderung bei Wasserlagerung.

*Verwendung gebrochener Gesteine als Betonzuschlag:* Keine der wesentlichen Betoneigenschaften wird durch Anwendung von gebrochenem Zuschlagsmaterial anstelle von Rundkies wesentlich verändert. Im allgemeinen werden bei Verwendung von gebrochenem Material die Festbetoneigenschaften (Druck- und Biegezugfestigkeit) bedeutend verbessert. Auch die Frischbetoneigenschaften von Splittbeton (Dichtigkeitsgrad) können mit Hilfe moderner Betontechnologie angepasst werden. Die Erfahrung zeigt, dass für hochfesten Beton gebrochener Zuschlag erfolgreich angewandt wird. Voraussetzung ist die Wahl eines Gesteins mit grosser Eigenfestigkeit und guthaftenden Bruchflächen sowie ein bindiger Mörtel, dessen Mengenanteil, Konsistenz und Festigkeit optimal sind [Cementbulletin 1981, 1984]. Die Anforderungen bezüglich petrographischer Beschaffenheit von Zuschlagstoffen sind in der Norm SIA 162 festgelegt.

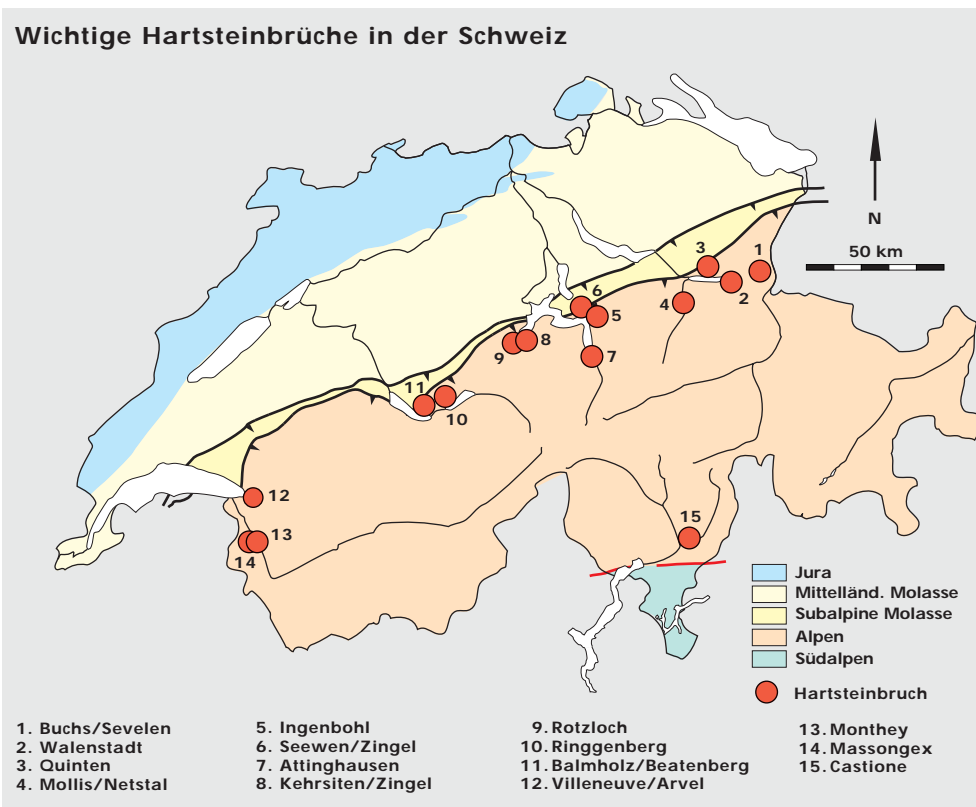
*Verwendung gebrochener Gesteine als Fundationsmaterial:* Gebrochene Materialien ergeben eine bessere Tragfähigkeit als Rundmaterialien und sind daher ein hochwertiger Ersatz. Für die Anwendung gelten dieselben Qualitätsvorschriften wie für Kiessande [SN 670 120b]. Kiessand SBB wird für Planumsschutzschichten bei Unterbausanierungen verwendet und hat die Funktionen von Sperrschicht, Foundationsschicht und Übergangsschicht zu erfüllen [Vorschriften SBB R 211.1]. Entsprechend der Anwendung ist die Korngrössenverteilung unterschiedlich definiert. Das Grösstkorn misst im allgemeinen

20 bis 120 mm. Ist der Feinanteil (Kornfraktion kleiner als 0.02 mm) grösser als 3 Gew.%, sind die Tragfähigkeitskoeffizienten (CBR-Werte) nach Verdichtung, Wasserlagerung und Frost-/Tauzyklus zu ermitteln [SN 670 320]. Um eine optimale Verdichtung zu gewährleisten, sollte der Anteil nichtkubischer Körner unter 50% sein (Qualitätsanforderung für Kiessand I, wo CBR-Versuche nicht erforderlich sind). Materialien für Foundationsschichten dürfen nur einen geringen Anteil an weichen Gesteinen aufweisen; massgebend ist der Zertrümmerungsgrad bei der Verdichtung [SN 670 320].

*Verwendung gebrochener Gesteine als Filtermaterialien:* Filtermaterialien müssen eine gleichförmige oder gut abgestufte Korngrössenverteilung aufweisen [SN 670 125a].

*Verwendung gebrochener Gesteine als Tragschichten und ton- oder kalkwassergebundene Verschleisschichten:* Bei Verwendung von gebrochenem Material als Tragschichten kann die Schichtdicke um 20 bis 40% reduziert werden oder es resultiert bei gleicher Schichtdicke eine höhere Tragfähigkeit im Vergleich zu Rundkies. Die Kornverteilung muss eine optimale Verdichtung erlauben und das Grösstkorn sollte einen Drittel der Schichtdicke nicht übersteigen [Kuonen, 1983; Hirt, 1992]. Für ton- oder kalkwassergebundene Verschleisschichten ist wesentlich, dass die verwendeten Baustoffe ausreichend tonige oder karbonatische Feinanteile enthalten, die zusammen mit Wasser ein natürliches Bindemittel ergeben. Der Feinanteil (Kornfraktion unter 0.002 mm) muss für tonige Gesteine mehr als 5 bis 10 Gew.% betragen, der Anteil der Fraktion unter 0.06 mm für karbonatische Gesteine mehr als 10 Gew.%.

*Verwendung gebrochener Gesteine als Massenschüttgut oder für Grabenfüllungen:* Der Abbau von Festgesteinen zur Gewinnung von Massenschüttgut ist unwirtschaftlich und für diesen Verwendungszweck wegen der geringen Qualitätsanforderungen nicht sinnvoll. Einzig Material aus der Vorabscheidung oder Abraum wird als Massenschüttgut oder zur Verbesserung von Dammschüttungen (z.B. als Sickerschicht bei Sandwich-Bauweise) verwendet. Je nach Gesteinsvorkommen kann Material aus der Vorabscheidung reichlich Mergel, Tonschiefer oder glimmerreiche Gesteine enthalten. In diesem Fall können sich stabilisierende Massnahmen positiv auf das Verhalten bei Frost und auf die Verdichtbarkeit auswirken. Auch für Grabenfüllungen im Bereich von Strassen [SN 640 535a] kann Material aus der Vorabscheidung verwendet wer-



6.90

6.91

den, wobei der Wassergehalt nicht wesentlich vom optimalen Einbauwassergehalt abweichen darf und die maximale Korngrösse höchstens 100 mm betragen sollte, damit eine gute Verdichtung gewährleistet ist.

*Verwendung formwilder Blöcke im Wasserbau und zur Böschungssicherung:* Es bestehen keine verbindlichen Normen oder Vorschriften. Werden technische Lieferbedingungen formuliert, so werden meistens als Anforderungen bezüglich der Beschaffenheit scharfe Kanten, raue Flächen und eine weitgehend kubische Form sowie ein gleichmässig dichtes Gefüge gewünscht. Weitere Qualitätsanforderungen betreffen die Witterungsbeständigkeit und den Widerstand gegen mechanische Beanspruchung. Häufig wird in Lieferbedingungen eine minimale Druckfestigkeit festgelegt (z.B. 100 N/mm<sup>2</sup>).

#### 6.4.4 PRODUKTION GEBROCHENER GESTEINE

Abbauwürdige Hartgesteine sind auf den alpinen Raum beschränkt, mittelharte Gesteine werden in den Alpen und im Jura abgebaut. Die Gesteine des Mittellandes sind im allgemeinen zu porös und zeigen eine zu geringe Druckfestigkeit.

Die jährliche Produktion felsgebrochener Materialien liegt bei drei Millionen Tonnen, davon sind rund die Hälfte Hartgesteine. In der [Tabelle 6.14](#) sind einige repräsentative Zahlen des Verbandes Schweizerischer Hartsteinbrüche für die Jahre 1993 und 1994 angegeben. Der Bahnschotterbedarf der SBB liegt seit Jahren bei rund fünfhunderttausend Tonnen, wobei 1993 elf schweizerische und zwei ausländische Werke Schotter I (etwa  $\frac{3}{4}$  des Bedarfs) und sieben schweizerische Werke Schotter II lieferten. Die Importe betrugen rund 8% des Gesamtbedarfs. Aus dem Sprenggut können im Aufbereitungsprozess ungefähr je ein Drittel Bahnschotter und Splitte gewonnen werden. Der restliche Drittel sind Produkte wie Vorlagesteine, Brechsand und Filler, sowie Koffer- und Planiematerialien. Bei Werken mit mittelharten Gesteinsvorkommen ist die Produktion meist auf Material zum Kiesersatz ausgerichtet. Die heutigen Qualitätsanforderungen und preisbedingten Rationalisierungsmassnahmen erfordern beim Anlagenaufbau sehr hohe Investitionen, was eine Umstrukturierung in der Steinbruchindustrie bedingt. Neben 15 bis 20 mittleren bis grossen Werken bestehen gegenwärtig (1995) noch rund 80 kleinere Betriebe. In der [Abbildung 6.90](#) sind nur die grössten Betriebe dargestellt.

Abbildung 6.90: Die wichtigsten Hartsteinbrüche der Schweiz. Auf der Karte der Steinbrüche der Schweiz ([Abbildung 6.83](#), [Seiten 250–251](#)) und in der [Tabelle 6.9](#) ([Seite 263](#)) sind zusätzlich alle grösseren Hartsteinbrüche verzeichnet.

Abbildung 6.91: Maschineller Abbau in einem Hartsteinbruch.



#### 6.4.4.1 Gebrochene Gesteine aus dem Jura

Im Gebiet des Juras sind ausschliesslich Kalke, untergeordnet Dolomite, als gebrochene Materialien technisch nutzbar. Aus verschiedenen stratigraphischen Niveaus sind meist feinkristalline bis dichte, teilweise feinspätige, seltener oolithische Kalke mit Druckfestigkeiten von 100 bis 170 N/mm<sup>2</sup>, maximal bis 200 N/mm<sup>2</sup>, zu gewinnen. Generell sind Jurakalke ungeeignet für die Herstellung von Bahnschotter sowie von Splitten für Verschleisschichten (mangels genügender Abriebfestigkeit) und als Zuschlagstoff für Spezialbeton. Jedoch sind Jurakalke meist ein guter Ersatz für Kiesprodukte als Zuschlagstoffe für normalen und hochwertigen Beton sowie für Heissmischtragschichten (gute Bitumenhaftung). Etliche Jurakalke neigen zu mergeliger Ausbildung, was Vorteile für tonwassergebundene Naturstrassen hat, aber die Anwendung als Fundationsmaterial mangels Frostbeständigkeit einschränkt. Die folgende Zusammenstellung stützt sich auf die Arbeit von Jäckli und Schindler [1986], die 22 Jurakalk-Vorkommen als Ersatz für alluviale Kiese untersuchten.

##### – Hauptmuschelkalk der Trias

*Stratigraphie:* 30 bis 50 Meter mächtige Abfolge (Trochitenkalk, Plattenkalk und Trigonodusdolomit) meist von Keupermergeln überlagert.

Tabelle 6.14: Verband Schweizerischer Hartsteinbrüche Absatzzahlen 1993/94 und Produktgruppen			
PRODUKTION	LIEFERUNGEN (in Tonnen)		
		1993	1994
Schotter	davon für SBB	459'915	426'065
	davon für Privatbahnen	72'914	87'336
	andere Körnungen	32'235	38'035
Splitt	16/22	45'001	60'684
	11/16	68'979	62'706
	6/11	155'548	203'946
	3/6	94'738	125'347
	andere Körnungen	98'121	87'860
Brechsand	0.1/3	59'241	36'134
	0/3	107'572	153'282
Filler		4'419	9'369
Vorlagesteine		44'297	87'823
Koffer- und Planiermaterial	Kiessand SBB	35'162	36'107
	0/X	442'328	612'178
Mauer- und Pflastersteine		1'606	882
Total		1'768'790	2'041'863
PRODUKTEGRUPPEN			
Anteil am Gesamtabsatz (%)			
Schotter total		31.9	37.0
Schotter SBB		26.0	20.7
Splitt		28.1	26.5
Brechsand		10.1	10.0
Koffer- und Planiermaterial		27.0	31.7

*Vorkommen:* Tafeljura (Basel, Aargau, nordwestliches Schaffhausen), Faltenjura (östlich von Laufen bis Baden)

*Ausbildung:* Feinkristalline Kalke, teilweise spätig, geschichtet bis gebankt (früher als Haustein verwendet), grau-braun.

*Ungeeignete Anteile:* Tonige oder dolomitische Bankfugen, poröse Dolomite, Kluftfüllungen aus Kalkspat.

*Abbaustellen:* Wegenstetten AG.

##### – Haupttrogenstein des Doggers

*Stratigraphie:* 30 bis 100 Meter mächtige Abfolge, teilweise getrennt durch Mergelbank (Acuminata-Schichten).

*Vorkommen:* Zentraler Teil des Juras (Aargau, Basel, Solothurn, Jura), fehlt im Osten (Lägern, Randen), im Westen zunehmend mergelig und oolithisch. Bildet oft Steilstufen im Tafeljura und Schichtköpfe im Faltenjura.

*Ausbildung:* Oolithischer oder spätiger Kalk, teilweise mit Schalenrümern, gebankt.

*Ungeeignete Anteile:* Mergelige oder lehmige Bankfugen, lehmige Klüfte, poröse und verwitterte Partien entlang von Klüften.

*Abbaustellen:* Chlosterchöpfli bei Muttentz BL, Gugen bei Niedererlinsbach SO, Hof bei Hauenstein SO, La Malcote bei Asuel JU.

##### – Dalle nacrée (Callovien)

*Stratigraphie und Vorkommen:* Entsprechend den Spatkalcken des Aargauer Jura wurden im westlichen Jura die Dalle nacrée abgelagert, die im Neuenburger Jura eine Mächtigkeit von 40 bis 60 Meter erreichen.

*Ausbildung:* Spätiger bis grobspätiger, teilweise oolithischer Echinodermenkalk, plattig bis dünngebankt, oft tiefgründig verwittert, gelbbraun.

*Abbaustellen:* Mont Jacques bei La Chaux-de-Fonds NE.

##### – Kalke des unteren Malm (Oxfordien)

*Stratigraphie:* Geringmächtige (10 bis 20 Meter) Abfolge von «Sequanien-Kalken» des Oxfordien sowie den östlichen Äquivalenten (Geissberg- und Wangener-Schichten) und den nordwestlich vorkommenden Vorbourg-Schichten.

*Vorkommen:* Weitverbreitet im gesamten Jura.

*Ausbildung:* Meist groboolithische, teilweise spätige und feinkristalline bis oolithische Kalke, weisslich-gelb bis bräunlich-grau, geschichtet bis gebankt.

*Ungeeignete Anteile:* Kreidig-poröse und mergelige Zwischenschichten, die teilweise schwierig separierbar sind. Die ooli-



6.92



6.93

thischen Kalke sind häufig mit Tonhäuten durchsetzt.

*Abbaustellen:* Schachlete bei Dittingen und Grundmatt bei Ettingen BL, Lägern bei Steinmaur ZH.

- Kalke des oberen Malm (Kimmeridgien, Portlandien)  
*Stratigraphie und Vorkommen:* Kalke des Kimmeridgien bilden im westlichen Jura (Kanton Aargau, Solothurn, Bern und Jura) die Reuchenette-Formation. Östlich des Hauensteins sind es die geringmächtigeren (um 50 Meter) Wettin-ger-Schichten. Im Gebiet Rheinfal-Schaffhausen-Hegau hingegen bilden die Kimmeridge- und Tithon-Schichten, teils als Massenkalk (Schwammriffe) ausgebildet, eine rund 100 m mächtige Abfolge. Kalke des Portlandien (Tithon) treten erst westlich von Solothurn wieder auf und erreichen Mächtigkeiten von 50 bis 100 Metern.

*Ausbildung:* Feinkristalline bis dichte, teilweise spätige, seltener oolithische Kalke mit rekristallisierten Schalen-trümmern, oft schwach gefärbt, bankig bis massig.

*Ungeeignete Anteile:* Mergelige oder kreidig-poröse Einschaltungen im Kimmeridgien und dolomitisch-poröse Bän-ke im Portlandien, teilweise pyritreiche Lagen.

*Abbaustellen:* Kimmeridgien-Kalke: Les Hauts Geneveys NE, Oberdorf SO (Klus und Steingrueben), Lengnau BE, Egerkingen SO; Portlandien-Kalke: Bevaix NE, La Cernia bei Neuchâtel, Cressier NE, La Neuveville BE, Tubeloch/Vor-berg bei Biel BE.

- Kalke der Kreide

*Stratigraphie und Vorkommen:* Sowohl im Berriasien als auch im Valanginien (Marbre bâtarde, Calcaire roux) und Hauterivien (Pierre jaune de Neuchâtel) treten im südlichen Jura westlich Biel verschiedene, geringmächtige (10 bis 20 Meter) Kalk-Komplexe auf.

*Ausbildung:* Spätige, teilweise feinkristalline oder oolithi-sche Kalke, manchmal etwas porös, geschichtet bis gebankt, meist gelblich oder bräunlich.

*Ungeeignete Anteile:* Mergelige Zwischenschichten und mergelige Kalkbänke, poröse Kalke.

#### 6.4.4.2 Gebrochene Gesteine aus den Alpen

Bedingt durch die komplexe Tektonik der Alpen ist auch die lithologische Vielfalt entsprechend breit. Grosse Bedeu-tung besitzt der alpine Raum für die Gewinnung von Hartge-steinen, insbesondere von Kieselkalken und alpinen Sandstei-nen. Aber auch mittelharte Gesteine, hauptsächlich Kalke, werden abgebaut, die bedingt durch die tektonische Vorge-schichte oft eine höhere Druckfestigkeit als Jura-Kalke zeigen und als Folge sandiger Ausbildung oder leichter Verkieselung ebenfalls bessere Eigenschaften gegenüber Abnutzung (Ab-rieb) aufweisen. Die technische Anwendbarkeit von alpinen Sedimentgesteinsvorkommen kann durch Mergeleinlagerun-gen in Kalken oder durch schiefrige beziehungsweise tonige

Abbildung 6.92: Hartsteinbruch  
Zingel bei Seewen am Lauerzersee  
(Kieselkalk).

Abbildung 6.93: Hartsteinbruch  
Zingel bei Stansstad/Kehrsiten am  
Vierwaldstättersee (Kieselkalk).



Einlagerungen, aber auch durch Tektonisierung stark eingeschränkt werden. Untergeordnete Bedeutung haben magmatische Gesteine, deren Eignung als Schotter und Splitt oft zweifelhaft ist, bedingt durch hohe Glimmergehalte oder umgewandelte Feldspäte (Verwitterung/Chloritisierung). Ebenso bewirkte die Metamorphose bei starker Schieferung häufig eine Verschlechterung der technischen Eigenschaften. Für die folgende Zusammenstellung konnte ein Manuskript von Heinrich Jäckli vom 8.12.1992 verwendet und ergänzt werden.

### Mittelharte Kalke und Dolomite des Helvetikums

#### – Rötidolomit (Trias)

*Stratigraphie und Vorkommen:* 20 bis 50 Meter mächtige Abfolgen im Parautochthon des Aarmassivs und in den helvetischen Decken zwischen Linth und Rhein.

*Ausbildung:* Feinkristalliner Dolomit von grauer Farbe und dünnbankiger Ausbildung mit gelber bis rötlicher Anwitterungsfarbe.

*Ungeeignete Anteile:* Poröse Rauhwacken, stark verkarstete Lagen.

*Abbaustellen:* Nur von lokaler Bedeutung.

#### – Echinodermenbrekzie des Doggers

*Stratigraphie und Vorkommen:* Etwa 60 Meter mächtige Abfolge, als Reischibbe-Serie in der Mürtschendecke aufgeschlossen.

*Ausbildung:* Teilweise gerundete Echinodermenbruchstücke und andere Fossilreste sind in einem grobkristallinen Zement eingebunden und bilden einen Komplex mittelharter Kalke von mässiger Abriebfestigkeit.

*Ungeeignete Anteile:* Schiefriige Zwischenlagen und mergelige Sandkalke (eisenschüssig) im Hangenden.

*Abbaustellen:* Walenstadt SG (Steinbruch Mürli), Leytron VS.

#### – Malmkalke

*Stratigraphie und Vorkommen:* Der Quintner- und der Troskalk sind weitverbreitet und bilden mächtige Vorkommen (über 100 Meter) in günstiger Verkehrslage der Haupttäler (Rhein, Reuss, Aare, Rhone).

*Ausbildung:* Feinkristalliner, spätig bis dicht ausgebildeter Kalk, grobgebankt bis massig von dunkler, meist grauer Farbe und geringer Abriebfestigkeit.

*Ungeeignete Anteile:* Tektonische Brekzien.

*Abbaustellen:* Mehrere Steinbrüche von lokaler bis regionaler Bedeutung ([Abbildung 6.95](#)).

#### – Kalke der Kreide

*Stratigraphie und Vorkommen:* Neben den Öhrli- und Bethliskalken (bis 100 Meter mächtig) ist hauptsächlich der Schrattenkalk mit Mächtigkeiten bis zu 400 Meter im nördlichen und mittleren Helvetikum von Bedeutung.

*Ausbildung:* Öhrlikalk: Oolithischer bis spätiger, gutgebankter Kalk; Bethliskalk: Feinkristalline bis feinspätige Kalke, teilweise sandig oder als Echinodermenbrekzie ausgebildet, lokal leicht verkieselt, meistens dünnbankig; Schrattenkalk: feinkörnig bis dicht, teilweise spätig oder oolithisch ausgebildeter Kalk von hellgrauer Farbe, meist massig bis bankig und oft verkarstet ausgebildet; Spatkalke: Das Barremien der Morcles-Decke ist als spätiger, bisweilen verkieselter und echinodermenreicher Kalkstein von hoher Druckfestigkeit ausgebildet (z.B. Sous-Vent bei Bex).

*Ungeeignete Anteile:* Feinbankige Partien mit Tonlagen auf den Schichtflächen, Mergelzwischenlagen und reichlich grobkristalline Kalkspatadern.

*Abbaustellen:* In etlichen Kieselkalksteinbrüchen bilden diese Kreidekalke die Basis beziehungsweise das Hangende. Sie werden nur in geringem Ausmass gewonnen.

#### – Kalke der Oberkreide (Seewerkalk und Wangschichten)

Die Kalke der Oberkreide sind meist feinkristallin sowie dünnbankig ausgebildet. Sie haben nur lokale Bedeutung und enthalten oft mergelige Einlagerungen oder sind durchsetzt von Tonhäuten. Ebenso haben tertiäre Kalke wegen der geringen Mächtigkeit kaum Bedeutung zur Herstellung gebrochener Produkte.

### Kalke und Dolomite der Präalpen und des Penninikums

Der Lias supérieur spathique (Mächtigkeit bis zu 160 Meter) wird im Unterwallis abgebaut. Die Kalke der Trias hatten früher zur Herstellung gebrochener Materialien ebenfalls im Wallis (St-Triphon) eine grössere Bedeutung. Die Malmkalke bilden zwischen dem Thunersee und dem Rhonetal rund 200 Meter mächtige Komplexe von lokaler Bedeutung. Eingelagerte Kalk- und Dolomit-Vorkommen in den Bündnerschiefern sind von geringer Mächtigkeit und Bedeutung sowie teilweise metamorph überprägt.

### Dolomite der südalpinen Trias

Aus dem Bereich der südalpinen Trias werden der Mendoladomit und der sehr mächtige Schlerndolomit (beide mittlere



6.94

Trias) im Gebiet des Luganersees am Monte San Salvatore und früher bei Caslano abgebaut. Es handelt sich um bräunliche bis grauweiße, feinkristalline Dolomite, gebankt bis massig.

### Kalke und Dolomite der Ostalpen

Die meist der Trias zuzuschreibenden Kalke und Dolomite haben im mittleren und südöstlichen Graubünden eine grosse Verbreitung, sind jedoch aufgrund der schlechten Erschliessbarkeit bloss von lokaler Bedeutung.

### Kieselkalke

Kieselkalke sind wichtige, abriebs- und druckfeste Hartgesteine und wurden zu verschiedenen Zeiten in unterschiedlichen Ablagerungsräumen gebildet.

*Stratigraphie und Vorkommen:* Kieselkalke des Lias der Préalpes Medianes sind hauptsächlich im Rhonetal erschlossen (Arvel bei Villeneuve), Kieselkalk des Lias der Südalpen östlich des Luganersees (Monte Generoso und Monte Bré) und Kieselkalke des Valanginien der helvetischen Zone (Ringgenberg BE, als Äquivalent der unverkieselten Sichelkalke). Die Kieselkalke des Hauterivien der helvetischen Zone bilden 100 bis 400 Meter mächtige Komplexe und werden in mehreren grossen Steinbrüchen abgebaut: Balmholz am Thunersee, Rotzloch am Alpnachersee (Abbildung 6.84), Kehrsiten (Abbildung 6.93),

Abbildung 6.94: Steinbruch Attinghausen im Urner Reusstal (Flyschsandstein).



6.95

am Lauerzersee (Abbildung 6.92), Schnür (Quinten) am Walensee sowie in Oberriet SG (heute aufgelassen).

*Ausbildung:* Kieselkalke sind feinkörnige bis dichte, geschichtete bis gebankte, graue Hartgesteine mit mikritischer (meist rekristallisierter) Grundmasse und authigener Kieselsäure. Akzessorisch sind Glaukonit, Phosphorit und Dolomit vorhanden. Unterschiedlich ist der Gehalt an detritischem Quarz und an Fossilbruchstücken (Echinodermen, Kieselschwammnadeln, Bryozoen und Kleinforaminiferen). Der Quarzgehalt (Bindemittel und Quarzkörner) liegt zwischen 25 und 45%. *Ungeeignete Anteile:* Schiefrige Zwischenlagen (Schwarten). Bei den Kieselkalcken des Lias mergelige Einschaltungen.

### Alpine Sandsteine, Brekzien und Konglomerate

*Stratigraphie und Vorkommen:* Verrucanogesteine des Perms (Konglomerat, Brekzien, Sandsteine) sind in den Glarner-Dekken (Vorderrheintal, Seetäl, Walensee, Linthal) aufgeschlossen, aber auch im Ostalpin Graubündens und in den Südalpen am Luganersee vertreten und haben lokale Bedeutung. Auch die geringmächtigen *Melerssandsteine* aus der helvetischen Trias und Sandsteinvorkommen in *Bündnerschiefern* haben untergeordnete Bedeutung. Von grösserer Bedeutung sind die *Grünsandsteine* der mittleren Kreide, die in der Drusberg-Säntis-Decke abbauwürdige Mächtigkeit erlangen und bei Sevelen im Rheintal abgebaut werden (30 bis 50 Meter Gamser-

Abbildung 6.95: Steinbruch Mollis im Glarnerland (hauptsächlich Malmkalke, wenig Kreidekalk).



schichten, 25 bis 30 Meter Brisischichten). In geringer Mächtigkeit (4 bis 6 Meter) werden Grünsandsteine zusammen mit *knolligen Sandkalken* (maximal 30 Meter) und Echinodermenbrekzien im Zementwerk Brunnen als Abraum verarbeitet. *Ausbildung:* Kalkarme, geschichtete bis gebankte Sandsteine mit hohem Quarzgehalt (40 bis 80%) und wechselndem Glaukonitgehalt, teilweise fossilführend (Spongiennadeln, Echinodermenrümpfer). Kornverwachsungen mit neugebildeter Kieselsäure sind in den Brisischichten zu beobachten.

*Ungeeignete Anteile:* Tonige Einlagerungen in Form von Flasern treten in den tieferen Teilen der Gamserschichten gehäuft auf.

### Flyschsandsteine des Tertiärs

*Stratigraphie und Vorkommen:* Trotz der grossen Verbreitung von Flyschablagerungen sind nur wenige Vorkommen zur Gewinnung gebrochener Materialien geeignet. Oft sind Tonschiefer-Einlagerungen so häufig, dass eine Separierung der Sandsteine nicht möglich ist. Für die Herstellung gebrochener Materialien wurden viele Gesteinsvorkommen, die früher für die Pflastersteinherstellung genutzt wurden, aufgegeben.

*Ausbildung:* Geschichtete bis gebankte, fein- bis mittelkörnige (seltener grobkörnige bis konglomeratische) Sandsteine mit Quarzgehalten über 40 Gew. % und karbonatischem Bindemittel, hart und abriebfest.

*Ungeeignete Anteile:* Einlagerungen von Tonschiefer, Siltsteine grosser Härte und geringer Abriebfestigkeit. Tektonisiertes Material.

*Abbaustellen:* Mehrere Steinbrüche von lokaler Bedeutung. Einzig der Steinbruch bei Attinghausen UR ([Abbildung 6.94](#)) hat regionale Bedeutung.

### Ablagerungen der Molasse (Grès des carrières)

*Stratigraphie und Vorkommen:* Ablagerungen der Molasse sind im allgemeinen für die Herstellung gebrochener Materialien ungeeignet mit Ausnahme der Grès des carrières, die im Unterwallis bei Choëx und Massongex abgebaut werden. Sie stammen aus der unteren Meeresmolasse (Rupelien). Durch den Zusammenschub während der alpinen Orogenese erfolgten lokale Überschiebungen, die eine Schuppenbildung und Verzahnung der Grès des carrières mit den älteren Schistes marno-micacés und der jüngeren Molasse rouge (Chattien) zur Folge hatte. Dadurch wurde die ursprüngliche Ablagerungsmächtigkeit (ungefähr 30 Meter) der Grès des carrières an geeigneten Abbauorten verdoppelt oder verdreifacht.

*Ausbildung:* Geschichtete bis gebankte Sandsteine, abrieb- und druckfest, meist feinkörnig mit rund 30% Quarz und karbonatischem Bindemittel.

*Ungeeignete Anteile:* Eingelagerte, schiefrige Silt- und Tonsteine.

### Magmatische Gesteine

Massige, feinkörnige Tiefengesteine, meist von granitischer Zusammensetzung, haben hauptsächlich im Bereich der Zentralmassive eine lokale Bedeutung, ebenso die Granite der Err-Bernina-Decke und der Bergellergranodiorit. Die Anwendung für gebrochene Produkte wird oft durch hohe Glimmergehalte und durch gut spaltbare und häufig umgewandelte Feldspäte (Chloritisierung, Vertonung) eingeschränkt.

Vorkommen von permischen Vulkaniten (Porphyre) sind auf die Südalpen (Gebiet Luganersee) beschränkt. Regional bedeutend ist einzig eine Abbaustelle auf italienischem Gebiet (Cuasso al Monte, nördlich von Varese).

### Metamorphe Gesteine

Zur Gewinnung gebrochener Produkte sind einzig feinkörnige, wenig geschieferte und glimmerarme Metamorphite geeignet. Abfälle aus der Werksteinherstellung von Tessinergneisen werden lokal zu gebrochenen Materialien aufgearbeitet. Amphibolite im Kristallin der Silvretta-Decke (Unterengadin), im Aiguilles Rouges-Massiv (Dorénaz) und im Aarmassiv haben entsprechend den geringmächtigen Vorkommen bloss lokale Anwendung. Von regionaler Bedeutung ist der Kalksilikatfels von Castione TI.

*Ausbildung:* Die hochgradig metamorphen Kalksilikatfelse sind meist massig ausgebildet, teilweise zeigen sie eine leicht schiefrige Textur. Die Struktur ist fein- bis mittelkörnig und teilweise granoblastisch.

*Ungeeignete Anteile:* Glimmerreiche, stark texturierte Einschaltungen von Marmor und schiefrigen Gneisen.



6.96

## 6.5 VERWITTERUNG UND ERHALTUNG VON NATURSTEIN AN BAUWERKEN UND DENKMÄLERN

Viele Bau- und Kunstwerke aus Natursteinen sind Altbauten. Davon sind die meisten, zumindest im weiteren Sinne, Denkmäler und stellen entsprechend hohe Anforderungen an Fachleute, die sie erhalten sollen. Das Problem der Erhaltung und der Verwitterung ist eng verknüpft mit den Vorgaben und Belangen der Denkmalpflege. Die Erhaltung ist meist auch Grund und Anlass, den Zerfall zu erforschen. Seit dem die Zusammenhänge zwischen der Luftverschmutzung und dem beschleunigten Zerfall der Baustoffe öffentlich bewusst geworden sind, ist auch die Steinkonservierung ein allgemein be-

kanntes Thema. Man glaubt, in der Luftverschmutzung die Hauptursache der materiellen und damit auch kulturellen und ökonomischen Verluste an alter Bausubstanz gefunden zu haben. Dem ist aber nur zum Teil so. Alterserscheinungen und Schäden an Bau- und Kunstwerken aus Steinen sind nicht nur Folgen der Verwitterung, sondern auch die Folgen menschlicher Zerstörung (Abriss, Aushöhlung und Renovierung). Die Verwitterung steht aber im Vordergrund, weil sie gerade die wertvollsten und empfindlichsten Kulturgüter, wie Skulpturen und Wandbilder, besonders stark und empfindlich schädigt.

Unter Verwitterung versteht man die witterungsbedingten optischen und materiellen Veränderungen beziehungsweise die Alterung und den Zerfall. Die Veränderungen geschehen durch physikalische, chemische und biogene Prozesse; die Auswirkungen sind verändertes Aussehen und Schäden an den Materialien. Nicht alle Veränderungen sind aber auch Schäd-

Abbildung 6.96: Gletschergarten Luzern, Löwendenkmal gehauen aus dem anstehenden Plattensandstein der Oberen Meeresmolasse in einem alten Steinbruch.



gungen, denn bestimmte Alterungserscheinungen werden als natürliche Patina geschätzt und akzeptiert.

Ob Bauwerke konserviert, renoviert oder restauriert werden, hängt von vielen Faktoren ab. Da fast alle gealtert und meist auch geschädigt sind, kommt man über die Wahrnehmung von Schäden, also von den Auswirkungen an die Verwitterung am Denkmal heran und versucht, weitere Schäden zu verhindern oder möglichst aufzuschieben. Dies lässt sich tun, indem man:

- die Ursachen beziehungsweise die Einwirkungen der Witterung behebt oder mildert;
- die SchADVorgänge durch Beeinflussung der Ablaufbedingungen hemmt;
- die Auswirkungen an den Materialien durch Erhöhung ihrer Witterungsbeständigkeit verringert.

Meist versucht man zur Konservierung nur das letztgenannte und will die Oberfläche mit geeigneten Schutzmitteln gegen die «durch Luftverschmutzung aggressiver gewordene» Atmosphäre schützen. Da die Mittel nicht universal wirksam, ihre Applikation kaum je ganz reversibel und ihre Aus- und Nebenwirkungen nicht langfristig erprobt und bekannt sind, besteht stets das Risiko, den Zerfall zu beschleunigen, statt ihn zu hemmen, was in der Tat auch an vielen Objekten geschehen ist. Dieses Risiko fällt um so mehr ins Gewicht, je wertvoller, älter und empfindlicher die Objekte sind (Malereien auf Verputzen und Steinen, farbig gefasste Skulpturen im Freien und feine Marmor- oder Sandsteinarbeiten). Die Abwitterung von einer auch nur Bruchteile eines Millimeters starken Schicht bedeutet beispielsweise für die Wandmalerei oder die Farbfassung auf der Steinplastik den Totalverlust. Der Konservierung muss jeweils eine möglichst zuverlässige Risikoabschätzung beziehungsweise Beurteilung der Gefährdung vorausgehen. Dazu muss bekannt sein, aus was das einmal entstandene und «historisch gewordene» Denkmal heute besteht, in welchem Erhaltungszustand es sich befindet, durch welche Ursachen und Vorgänge es als Ganzes oder in seinen Teilen zerfällt, wie rasch es zerfallen ist und in Zukunft weiter zerfallen wird.

So kann man die materielle Erhaltung von Denkmälern wie folgt definieren: Denkmäler als solche erkennen, ihren Zustand erfassen, ihre Gefährdung verstehen und dann so handeln, dass sie möglichst lange authentisch erhalten bleiben. Auf allen Stufen dieser Tätigkeiten – der Bestandesaufnahme, der Zustandserfassung, dem Beurteilen der Gefährdung und dem konservierenden Handeln – braucht die Denkmalpflege heute die Hilfe der Naturwissenschaften.

#### 6.5.1 STEINE AN ALTBAUTEN UND DENKMÄLERN

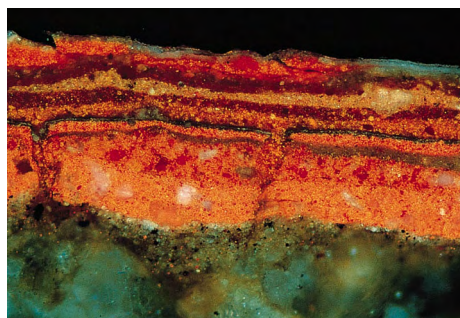
Bausteine sind meistens kombiniert mit anderen Materialien, mit welchen sie auch gemeinsam und unter gegenseitiger Beeinflussung (Synergieeffekte) verwittern. In der Denkmalpflege ist klar, dass die Materialien und ihre Erscheinungsformen an authentischen Bau- und Kunstwerken untrennbar und gleich wichtig sind. Es geht nicht nur um «schöne Steine», sondern um alles, was sie zum authentischen Bestandteil des Denkmals macht wie beispielsweise Herkunft, Ort, Lage, Verband, Oberflächenstruktur und -bearbeitung, Eigenfarbe sowie Putz- und Farbbeschichtungen. Man hat vor allem im 19. und beginnenden 20. Jahrhundert geglaubt, dass die Denkmäler «materialecht», also die Steine echt und die allfälligen Anstriche, Farbfassungen und Malereien Verfälschungen seien. Dadurch wurden sehr viele Farben und Wandmalereien entfernt und zerstört. Dies wäre vermieden worden, hätte man die Denkmäler damals wirklich gut beobachtet und untersucht. Dies mit dem Hinweis auf den damaligen Zeitgeist abzutun, wäre verfehlt. Wenn nämlich überhaupt etwas am Denkmal objektiv und damit unabhängig von einer vorherrschenden Meinung feststellbar ist, dann ist es der materielle Bestand. Vielleicht ist die sorgfältige und wissenschaftliche Bestandsaufnahme durch die Bauarchäologie der bedeutendste Fortschritt der Denkmalpflege in unserem Jahrhundert.

Die Erscheinung und die Anwendungsarten sind ebenso vielfältig wie die Natursteintypen selbst. Die «Denkmalsteine» befinden sich in Naturaufschlüssen (Felsengräber, Löwendenkmal im Gletschergarten Luzern ([Abbildung 6.96](#)), Einsiedelei Rüttenen SO) oder an Bau- und Kunstwerken. Es sind Monolithen (Obeliskten, Brunnenbecken, Statuen), oder sie sind zu Konstruktionen beziehungsweise Architektur gefügt. Es gibt einfache Gefüge aus Steinen (z.B. Brunnenanlagen, Standdenkmäler) oder kompliziert zusammengesetzte Bauwerke. Am häufigsten sind Steine zu Mauerwerken verschiedener Art gefügt. Diese Natur- und Kunststeine sind materialsichtig oder mit Verputzen, Schlämmen, Anstrichen und Malereien beschichtet ([Abbildungen 6.97](#) und [6.98](#)). Die Steine sind zudem am Bauwerk mit Mörteln (Mauer-, Fugen- und Verputzmörtel), mit Kunststeinen, mit Malereien, mit Metallen, Holz oder anderen Stoffen kombiniert. Die Vielfalt der Art und Funktion des Erscheinungsbildes und der Kombination mit anderen Materialien am Bau machen klar, dass es nicht genügt, die Verwitterung am Einzelstein zu untersuchen.





6.97



6.98



6.99



6.100

### 6.5.2 VERWITTERUNG VON BAU- UND KUNSTWERKEN AUS STEIN

Bau- und Kunstwerke aus Stein sind den verschiedenen Einwirkungen der Witterung ausgesetzt (Aussenklima, Raumklima). Wichtige *äussere Einwirkungen* sind: Temperaturschwankungen, Feuchte aus der Luft (Niederschläge, Kondensation, hygroskopischer Austausch), Feuchte vom Boden und Baugrund, Gase, Staub- und Säureniederschläge, Organismen (Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen) sowie Erschütterungen (Verkehr), Katastrophen (Erdbeben, Überschwemmungen, Brände ([Abbildung 6.99](#)), Kriege) und schädliche Materialien (z.B. Tausalze und alkalische Baustoffe wie Wasserglas- und Portlandzementprodukte ([siehe 6.5.3.3](#)) mit löslichen Alkalien). Wichtige *innere Einwirkungen* sind: Materialfeuchte, Porenlösungen mit ihren Salzen, ungeeignete Baumaterialien wie rostendes Eisen (Betonarmierungen!), durch Feuchte quellendes Holz oder injizierte, alkalische Baustoffe. Einige dieser Einwirkungen werden stark anthropogen beeinflusst und in der Regel verstärkt. Es sind dies neben Bauarbeiten und

menschlich erzeugten Katastrophen, besonders das Verwenden von Tausalzen, alkalischen Baustoffen und die Ablagerungen aus der Luftverschmutzung.

Die Art und die Intensität der erzeugten Schäden hängen von der Witterungsbeständigkeit und der Wetterexposition der Steine ab. Seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts wird viel über die *Witterungsbeständigkeit* geforscht. Trotzdem sind die wissenschaftlichen Aussagen über die Zusammenhänge zwischen Witterungsbeständigkeit und Materialeigenschaften noch ungenügend und vielfach nicht zuverlässiger als das Urteil von geübten und erfahrenen Steinhandwerkern. Die *Wetterexposition* bezeichnet die Art und Weise, wie die Materialien der Witterung ausgesetzt sind. Im Freien stehende Monolithe und Standdenkmäler sind frei exponiert. In die Architektur und Konstruktion eingebundene Steine können frei exponiert stehen (Bekrönungen, Statuen, Fialen), aber auch in berechneten oder in regengeschützten Bereichen, im Wirkungsbereich von aufsteigender Grundfeuchte oder von einsickerndem Wasser in Mauerwerke eingefügt sein. Bei der Beurteilung von Verwitterungserscheinungen gilt es, das Bau-

Abbildung 6.97: Berner Wappen am Münsterportal in Bern (mehrfach gefasster Berner Sandstein).

Abbildung 6.98: Berner Wappen am Münsterportal in Bern. Im Farbschnitt ist die Geschichte der wiederholten farbigen Fassungen von 1500 bis 1913/14 ablesbar. (Bildbreite 0.8 mm).

Abbildung 6.99: Folgen des Brandes an der Kapellbrücke in Luzern: der Granitische Sandstein (Untere Süswassermolasse) ist durch Feuereinwirkung gesprungen und rötlich verfärbt.

Abbildung 6.100: Sprengung des Granitischen Sandsteins und der Eisenplatte durch rostendes Eisen am Zürcher Hauptbahnhof.



werk in seiner Umgebung (bezüglich Ort, Lage, Baugrund, Regionalklima), das Bauwerk selbst (Architektur), die Bauteile, Mauern oder ähnliche Verbände aus Steinen (mit oder ohne Fugenmörtel), Steine (Natur- und Kunststeine) und den Mauermörtel, die Beschichtungen (Verputze, Schlämme, Fassungen, Anstriche, Wandbilder), die Mineralverbände in Steinen, die Mörtel und Farbschichten einschliesslich ihrer Porenräume sowie die Minerale mit ihren internen Zwischenräumen und Poren zu berücksichtigen. Alle diese Faktoren bestimmen die Qualität der Materialien, der Materialverbände und der Konstruktionen und somit das Witterungsverhalten massgebend.

### 6.5.3 VERWITTERUNGSVORGÄNGE

Bei der Verwitterung durch physikalische (mechanische), chemische und biogene Vorgänge spielt das Wasser eine entscheidende Rolle. Nicht nur die Feuchtigkeit selbst ist wichtig, sondern die Bedingungen, die sie verursacht, wodurch andere Prozesse wie Frost-, Rost- und Salzsprengung, chemische Reaktionen und biogene Stoffwechselreaktionen begünstigt werden können.

#### **Physikalische Verwitterung**

Diese Art der Verwitterung ist hauptsächlich bedingt durch Bewegungen und Setzungen, durch thermische und hygrische Dehn-Schwindvorgänge sowie durch Volumenänderungen, hervorgerufen durch gefrierendes Wasser, Salzkristallisation und andere Prozesse.

Verwitterung durch *thermische Dehn-Schwindvorgänge* kommt vor allem dort zum Zug, wo Materialien mit unterschiedlicher *Wärmedehnung*, beispielsweise weiche Sandsteine und harte Zementmörtel, im Verband stehen, oder wo Stossfugen die Ausdehnung behindern. Besonders stark tritt sie bei grobkörnigen Marmoren in Erscheinung, wo die Kalzitkristalle mit ihrer stark richtungsabhängigen Wärmedehnung (parallel zur Kristallachse a:  $-5.2 \mu\text{m/mK}$ ; parallel zur Kristallachse c:  $+23.6 \mu\text{m/mK}$ ) eine starke Anisotropie und damit grosse Deformationen bewirken können. Auch Farbe und Grösse der betroffenen Steine sind von Bedeutung; grosse, schwarze Schieferplatten als Dachdeckung können an der Grenze zwischen Sonnenschein und Schatten schon nach einigen Jahren auseinander brechen. Die schwarze Farbe bewirkt sehr hohe Temperaturunterschiede und die Grösse der

Platten grosse relative Dehnungsbeträge. Besondere Schäden bewirken auch Brände – vor allem dann, wenn sie mit Wasser gelöscht werden. Es entstehen splitterig-schalige Absprengungen, die oft von Rotfärbung begleitet sind ([Abbildung 6.99](#)).

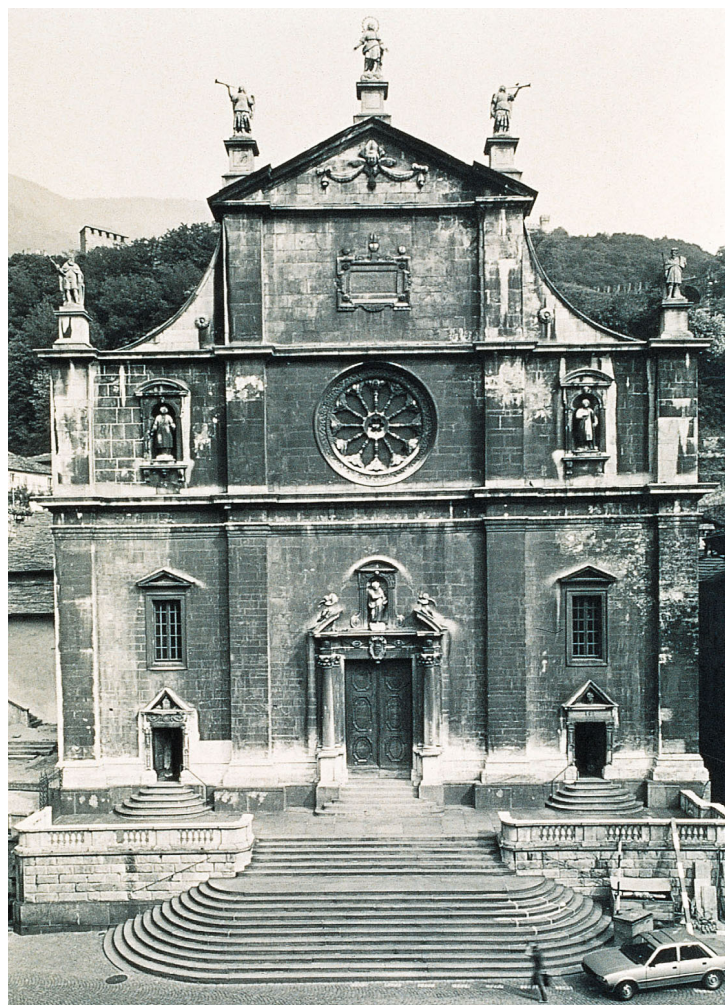
*Hygrische Dehn-Schwindvorgänge*, das heisst Volumen- oder Längenänderungen durch Wasseraufnahme, äussern sich besonders stark bei Gesteinen mit hohen Gehalten an quellfähigen Tonmineralen, so etwa bei mergeligen Kalken, bei Sandsteinen mit Ton- und Mergelinschlüssen oder bei dichten Kalken mit Tonhäuten. Doch können bei weitem nicht alle hygrischen Quell-Schwindvorgänge so gedeutet werden. Bei tonfreien Gesteinen (Marmore und Granite, aber auch Mörtel) müssen sie auf Kräfte zurückgeführt werden, die das Wasser im Mikroporenbereich ausübt. Hygrische Dehnungsbeträge liegen in der Regel unter einem Millimeter pro Meter; sie können bei manchen Molassesandsteinen bis  $3 \text{ mm/m}$  (in Extremfällen bis  $6 \text{ mm/m}$ ) erreichen. Verwitterte Steine dehnen sich stärker als unverwitterte. Bei Quell- und Schwindvorgängen kann man zwischen differentieller Ausdehnung einer äusseren, wärmeren oder durchfeuchteteren Schicht gegenüber dem unveränderten Innern zwischen der Gesamtausdehnung eines Steins oder der richtungsabhängigen anisotropen Ausdehnung (grobkörnige Marmore) unterscheiden.

*Frost-, Rost- und Salzsprengung* sind weitere, durch den physikalischen Kristallisationsdruck sehr verwitterungsaktive Vorgänge ([Abbildung 6.100](#)). Die Verwitterung durch Salze wird in einem eigenen [Kapitel 6.5.3.2](#) erläutert. Erosion durch Wind und Wasser tritt an Bauwerken untergeordnet auf. Praktisch alle Erscheinungen der *Alveolarverwitterung*, die man früher der Winderosion zuschrieb, erweisen sich als Wirkung der Verwitterung durch Salze ([Abbildung 6.112](#)).

#### **Chemische Verwitterung**

Chemische Verwitterung durch Mineralzersetzung und -neubildung, die im Naturaufschluss (in geologischem Zeitraum) sehr stark ist, spielt am Bau eine geringe Rolle. Bekannt ist die begrenzte Neubildung von Tonmineralien. Wichtig sind hingegen die Lösungsreaktionen, die im Zusammenhang mit verschmutzter Luft beträchtliche Schäden verursachen. Es entstehen Mikro-Karsterscheinungen an berechneten Oberflächen von Gips- und Kalksteinen, Oberflächenkorrosion an silikatischen Mineralen sowie Salzbildungsreaktionen. Die Umwandlung von Kalk zu Gips kann durch Schwefelverbindungen aus stark belasteter Luft unter bestimmten Bedingun-

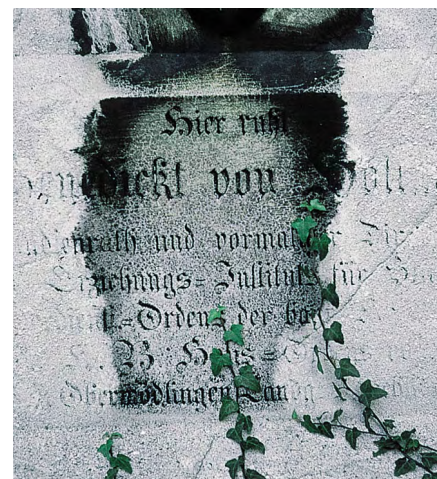




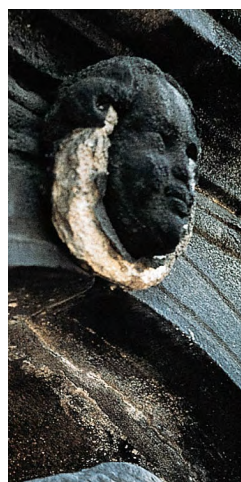
6.101



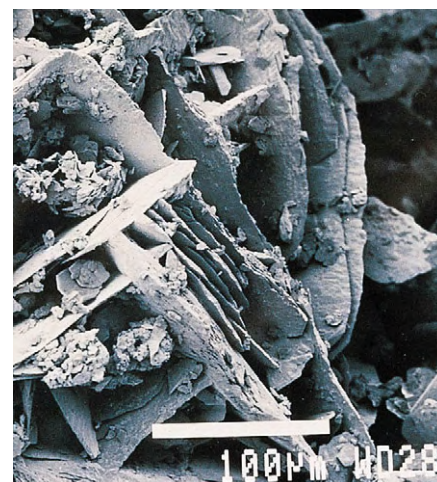
6.102a



6.102b



6.103



6.104

gen zum dominierenden Verwitterungsvorgang werden. Doch wird auch sie oft überbewertet – besonders dann, wenn man diese Sulfatation als einzige Schadenursache betrachtet.

### Biologische Verwitterung

Die *biogene Verwitterung* umfasst alle Vorgänge, die durch Aktivitäten und Stoffwechselprodukte von Makro- und Mikroorganismen ablaufen. Sie sind bisher sicher unterschätzt worden. Es zeigt sich aus neueren Studien, dass die Mikroorganismen bei vielen Verwitterungsprozessen massgeblich beteiligt sind, beispielsweise Nitrobakterien durch Bildung von Salpetersäure und Nitrat oder Pilze und Flechten, die auf Kosten der Stein-, Mörtel- und Farbsubstanz leben und Oxalatkrusten bilden. Besonders in feuchten Klimagebieten gibt es alle Arten von biogenen Belägen auf den Steinen.

### 6.5.3.1 Luftverschmutzung

Die Luftverschmutzung verstärkt die Verwitterung generell, besonders stark aber in industrialisierten, städtischen Gebieten. Gesteinsauflösung durch Säuren und Verwitterung durch Salzsprengung sind die Hauptvorgänge, die durch Luftverschmutzung verstärkt werden. Gase und Aerosole aus natürlichen und anthropogenen Quellen (*Emissionen*) werden mit der Luft durch die Witterung über kurze oder lange Distanzen befördert (*Transmission*), kommen an einem Ort an (*Immission*) und werden auf Steinoberflächen mit unterschiedlicher Reaktivität abgelagert (*Deposition*), in Form von Aerosolen und Gasen (*trockene Deposition*) oder mit dem Niederschlagswasser (*nasse Deposition*). Es ist nachgewiesen, dass die Hauptmenge der trocken deponierten Schwefelbestandteile aus lokalen Quellen stammt. Nach neueren Untersuchungen ist die trockene Deposition im Jura etwa 20 mal schwächer

Abbildung 6.101: Schwarze Gipskrusten an regengeschützter, weiss abgelaugter Marmoroberfläche an beregneten Teilen der Fassade aus Marmor von Castione der Collegiatakirche in Bellinzona.

Abbildung 6.102a,b: München Südfriedhof, Grabstein mit Gipskruste auf Kalkstein. Im regengeschützten Bereich unter der Konsole ist die Schrift scharf und gut lesbar, im beregneten Bereich hingegen fast nicht mehr lesbar, weil weggelöst.

Im Übergangsbereich ist die Verdickung durch Akkumulation von Gips schön zu sehen.

Abbildung 6.103: Gipskrusten im Detail auf dem Marmor von Castione der Collegiatakirche Bellinzona (vgl. [Abbildung 6.101](#)).

Abbildung 6.104: Gipskruste im Elektronenmikroskop.



## Temperaturschwankungen, Frostsprengung

Temperaturschwankungen nehmen im Stein von aussen nach innen ab und führen damit zu Wärmegradienten und zu unterschiedlicher Wärmedehnung. Dadurch bauen sich Scherspannungen auf, die manchmal – besonders bei harten Zementmörteln – fugenübergreifende Schalen entstehen lassen. Die Wärme steigt in Südwestexpositionen am stärksten an. Dort ist die Wetterseite unserer Gebäude. Deshalb konkurrieren dort hygrische Dehnung und Frost mit der Wärmedehnung.

Frostverwitterung erfordert gleichzeitig Feuchte oder Nässe und möglichst häufige Wechsel von Gefrieren und Auftauen. Beim Übergang von Wasser zu Eis können sich im völlig geschlossenen Raum, durch die Volumenzunahme von 9 Vol.-%, Drücke bis 220 N/mm<sup>2</sup> aufbauen. Es gibt auch lineare Wachstumsdrücke.

## Kristallwachstum

Durch das Wachstum von Kristallen (z.B. Salzkristallen) entsteht ein linear gerichteter Wachstumsdruck. Dieser wirkt sich weit bedeutender aus, als die ebenfalls sprengend wirkende, allseitige Kraft, die aus dem Volumenzuwachs beim Übergang von der Lösung zu Salzen resultiert.

Theoretisch berechnete Wachstumsdrücke für Sulfate:

Gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	ca. 33 bis 110 N/mm <sup>2</sup>
Epsomit ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	ca. 12 bis 40 N/mm <sup>2</sup>
Mirabilit ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )	ca. 8 bis 25 N/mm <sup>2</sup>

(Werte bei 50°C und einer Übersättigung der Lösung von 2 bis 10)

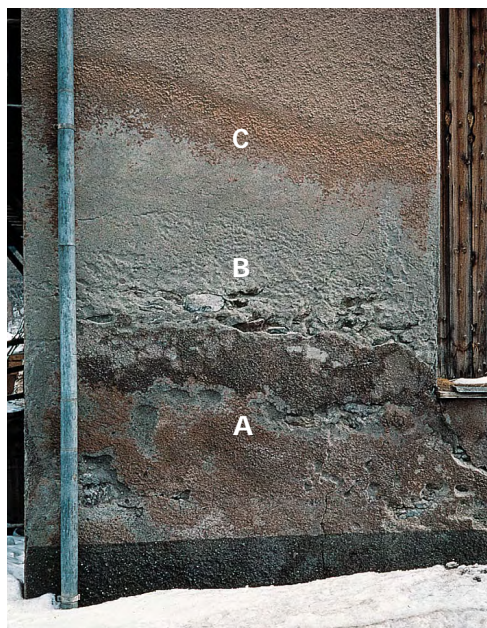
Durchschnittliche Druckfestigkeiten von typischen Zürcher Bausteinen bewegen sich zwischen 50 und 100 N/mm<sup>2</sup> im Falle von granitischem Sandstein und zwischen 80 und 110 N/mm<sup>2</sup> bei Plattensandsteinen. Die Zugfestigkeiten sind im allgemeinen 10 bis 15 mal kleiner. Damit genügt beispielsweise bei Mirabilit bereits eine zweifache Übersättigung der Lösung zur Salzsprengung.

als in den Städten Lausanne, Genf und Zürich und im Innern der Kathedrale Lausanne 80 mal niedriger als aussen. Mit anderen Worten heisst das, dass der Hauptanteil der steinschädlichen Luftverschmutzung hausgemacht ist und als trockene Deposition anfällt, und dass sie sich in Innenräumen, je nach Luftaustausch, sehr abgeschwächt auswirkt.

Die aggressiven Substanzen sind Gase (Kohlendioxid, Schwefel- und Stickstoffoxide, Ammoniak, Kohlenwasserstoffe, Chlor- und Fluorverbindungen), flüssige Stoffe (Säuren und Salzlösungen) und feste Aerosole (Mineralien, Metalloxide und -sulfide, Russ). Ein Hauptbestandteil der festen Aerosole ist das Ammoniumsulfat, das für die starke Entwicklung von Salpetersäure produzierenden Bakterien in Steinen (z.B. an den Türmen des Kölner Doms, also in Bereichen über der Reichweite der Grundfeuchte) verantwortlich gemacht wird. Die bekannteste und wohl auch aggressivste Wirkung ist jene des Schwefeldioxids, der Schwefelsäure und der Sulfataerosole. Sie erzeugen nebst verschiedenen Sulfatsalzen die bekannten, auffälligen schwarzen Gipskrusten an städtischen Bauwerken ([Abbildungen 6.101 bis 6.104](#)). Neben Gips entstehen durch Luftverschmutzung auch zahlreiche andere Sulfatsalze. Viele Studien und die für alle leicht nachvollziehbare

tägliche Beobachtung lassen ihre Entstehung einleuchtend erklären. Sie bilden sich aus der trockenen Deposition, also während den langen regenfreien Perioden, durch Reaktion der Schwefelsäure mit Kalk oder durch Ablagerung von Gips mit Russ- und Schlackenpartikeln an allen Oberflächen des Bauwerks. Ihre Entstehungsrate hängt ab von der Art und der Reaktionsfähigkeit der Steinoberfläche. Kalksteine reagieren stärker als Sandsteine, poröse Steine intensiver als dichte, feuchte Oberflächen besser als trockene. An den beregneten Oberflächen werden die schwarzen Krusten während den verhältnismässig kurzen Perioden mit effektivem Regenfall vom sauren Regenwasser zusammen mit etwas Gesteinssubstanz aufgelöst. Von den Oberflächen dichter Gesteine werden sie weggewaschen, von den Oberflächen poröser Gesteine aber weitgehend in den Porenraum verfrachtet und dort angereichert. Deshalb wirken die Steine an den beregneten Oberflächen sauber und hell, an regengeschützten dagegen schmutzig und dunkel bis schwarz. Die ursprüngliche Oberfläche mit den Werkspuren ist an den hellen und sauberen Oberflächen aber meistens weggelöst und wegerodiert, während sie an den mit schwarzen Gipskrusten belegten Oberflächen noch sehr gut erhalten sein kann. Am Rand der schwarzen Oberflächen, also im Grenzbereich zwischen den beregneten und den geschützten Flächen, sind die schwarzen Krusten in der Regel verdickt. Es bilden sich dicke «Sinterkrusten», und die Schäden durch Abschuppen und Absplittern sind hier besonders stark ([Abbildung 6.102](#)). Diese Zwischenzone wird bei Regen zwar nass, aber nicht gespült, und deshalb wird mit jedem Regen etwas gelöster Gips herangeführt und so akkumuliert. Kieselige Krusten und biogene Beläge können ähnlich aussehen; sie sind aber im Gegensatz zu den Gipskrusten an beregneten Bereichen der Gebäude entwickelt. Bei uns werden alle diese Krusten immer seltener, weil die Belastung der Luft mit Schwefelderivaten stark zurückgegangen ist und weil die Fassaden häufig gereinigt werden. Unsere städtischen Fassaden würden sonst alle so dunkel aussehen wie die Fassade der Collegiata in Bellinzona ([Abbildung 6.101](#)).

Die Reaktion der verschiedenen Steinarten auf die Belastungen durch die Schwefelabgase ist unterschiedlich. Kalkhaltige Gesteine sind viel empfindlicher als kalkfreie. Von den Sandsteinen sind die kalkhaltigen Molassesandsteine deshalb anfälliger. Am empfindlichsten reagieren Berner Sandsteine. Doch sind nicht alle schwarzen Krusten an Bauwerken aus Gips. Kieselige Krusten und biogene Beläge können ähnlich aussehen, sie sind aber im Gegensatz zu den Gipskrusten an beregneten Bereichen der Gebäude entwickelt.



6.105



6.106

### 6.5.3.2 Verwitterung durch Salze

Die Verwitterung durch kristallisierende Salze ist seit alters her bekannt. Erst in den letzten Jahrzehnten wurde deren Bedeutung aber allgemein wahrgenommen und entsprechend publik gemacht. Salzverwitterung ist eine weltweit verbreitete Art der Verwitterung, die sowohl in der Natur wie am Bauwerk vorkommt. Heute kennt man etwas über 40 verschiedene Salzspezies an Mauerwerken ([Tabelle 6.15](#)). Es handelt sich hauptsächlich um Karbonate, Sulfate, Nitrate und Chloride des Magnesiums, Kalziums, Natriums, Kaliums und Ammoniums.

Die Salzsprengung selbst ist nur ein Schritt der Entwicklung von Salzsystemen in Mauerwerken. Die Entwicklung beginnt mit der Verwitterung der Gesteine in der Natur. Ionen werden aus Gesteinen, Böden, Mörteln, Bausteinen und anderen Materialien ausgelaugt, aus der verschmutzten Luft abgelagert und durch den Stoffwechsel von Organismen erzeugt. Sie werden meist in verdünnten, wässrigen Salzlösungen transportiert. Grundwasser ist beispielsweise eine solche Lösung. Wo das Wasser verdunstet (*Verdunstung*), werden die Lösungen konzentriert (*Aufkonzentrierung*). Wird die Lösung dann für eine bestimmte Salzart (*Salzphase*) im System übersättigt, fällt diese aus und kristallisiert (*Ausfällung, Kristallisation*). Durch Aufkonzentrierung und Ausfällung vermehrt sich ihre Menge am selben Ort; das Salz reichert sich an (*Anreicherung*).

Aus Systemen mit mehreren und unterschiedlich löslichen Ionenpaaren scheiden sich die schwerlöslichen Salze zuerst, die leichter löslichen sukzessive später aus (*zeitliche Fraktionierung*). Bewegen sich die Salzlösungen dabei in einem porösen Medium (Mauerwerk), fallen die aufeinander folgenden Salze auch örtlich getrennt aus und bilden so Abfolgen nach ihrer Löslichkeit, das heisst sie fraktionieren wie in einem Chromatogramm (*örtliche Fraktionierung*). Die schwerlöslichen Salze werden näher zur Quelle, die leichter löslichen jeweils entfernter abgelagert. Im Grundfeuchtebereich werden so die schwerlöslichen Salze an der Mauer unten, die leichter löslichen weiter oben angereichert. Ähnliche Abfolgen bilden sich auch bei allen anderen Arten der Durchfeuchtung.

Während die Salze an oder hinter der Oberfläche der porösen Materialien kristallisieren (hydratisieren) und wachsen, vermögen sie stark auf die Wände der Poren und anderer Hohlräume zu drücken, so dass das Gefüge unter Umständen gesprengt wird (Drücke von einigen hundert Bar können dabei entstehen). Farbsplitter, Sandkörner, Putzschichten, Bröckel und Schalen werden dadurch abgestossen. Dies geschieht hauptsächlich dort, wo das Wasser in einem Feuchtigkeitsstrom verdunstet, aber auch dann, wenn die Luftfeuchtigkeit im Kontakt mit bereits angereicherten Salzen unter bestimmten Werten absinkt.

Eine gesättigte Salzlösung steht dabei im Gleichgewicht mit einer bestimmten relativen Luftfeuchte; für Kochsalz beträgt diese Gleichgewichtsfeuchte beispielsweise 75,4% bei

Abbildung 6.105: Typischer Grundfeuchtebereich mit den Zonen A-C (siehe [Seite 283](#)), Susch, Engadin (GR).

Abbildung 6.106: Grundfeuchte-zonen in Zürich. Drahtschmidli.



Tabelle 6.15: Salze in Mauerwerken; chemische Zusammensetzung, Vorkommen am Mauerwerk.

KARBONATE				
Kalzit	$\text{CaCO}_3$	Dolomit	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Die schwerlöslichen Kalzium- und Magnesiumkarbonate bilden stets helle Krusten. Natrit, Thermonatrit und Trona sowie Hydromagnesit und Nesquehonit stammen in der Regel aus alkalischen Baustoffen mit Portlandzement und Wasserglas.
Magnesit	$\text{MgCO}_3$	Nesquehonit	$\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	
Hydromagnesit	$\text{Mg}_5[\text{OH}(\text{CO}_3)_2]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Lansfordit	$\text{MgCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	
Natrit	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	Thermonatrit	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	
Nahcolit	$\text{NaHCO}_3$	Trona	$\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
Kalicinit	$\text{KHCO}_3$			
SULFATE				
Gips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Bassanit	$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	Die Sulfate sind die häufigsten Salze am Bau. Im Naturaufschluss und am Altbau blüht Epsomit am häufigsten aus; wo viel Portlandzement verwendet wurde, dominiert Mirabilit (oft entwässert zu Thenardit). Die Sulfate kristallisieren in verschiedenen Hydratstufen und unterschiedlichen Volumina, was die Schadenwirkung erhöht. Ettringit und Thaumasil sind gefährdete Salze im Portlandzement.
Epsomit	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Hexahydrat	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	
Kieserit	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Darapskit	$\text{Na}_3(\text{SO}_4)(\text{NO}_3) \cdot \text{H}_2\text{O}$	
Mirabilit	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Thenardit	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	
Arcanit	$\text{K}_2\text{SO}_4$	Astrakanit/Blödit	$\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	
Picromerit	$\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Syngenit	$\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	
Görgeyit	$\text{K}_2\text{Ca}_5(\text{SO}_4)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Glaserit/Aphthitalit	$\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$	
Ettringit	$\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	Thaumasil	$\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6(\text{CO}_3)(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	
Boussingaultit	$(\text{NH}_4)_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$			
CHLORIDE				
Bischofit	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Antarcticit	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Chloride sind mittel bis stark hygroskopisch und kristallisieren oft am Meer sowie aus Streusalzen an Strassen und Brücken. Sonst sind sie selten, weil sie zu hygroskopisch sind, um im Freien zu kristallisieren.
Tachyhydrat	$\text{CaMg}_2\text{Cl}_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Halit	$\text{NaCl}$	
Sylvin	$\text{KCl}$			
NITRATE				
Nitrocalcit	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Nitromagnesit	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Nitrate entstehen biogen aus dem Stoffwechsel von Nitrobakterien. Dass sie auch aus Stickstoffoxiden verschmutzter Luft entstehen, ist bisher nicht nachgewiesen. Mit Ausnahme von Nitrokalit sind sie zu hygroskopisch und kristallisieren daher selten aus.
Nitronatrit	$\text{NaNO}_3$	Nitrokalit	$\text{KNO}_3$	
OXALATE				
Whewellit	$\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$	Weddellit	$\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Oxalate entstehen biogen z.B. aus Flechten und bilden häufig Krusten an Kalksteinen in der Natur und am Bauwerk.

einer Temperatur von 20°C. Sie variiert für die bekanntesten Mauersalze zwischen etwa 30 % und beinahe 100 %. Sinkt die relative Feuchte der umgebenden Luft unter diese Gleichgewichtsfeuchte ab, kristallisiert das Salz, steigt sie darüber, löst sich das Salz hygroskopisch (unter Feuchtigkeitsaufnahme aus der Luft) auf, bis ein entsprechendes Gleichgewicht erreicht wird. Allein durch Wechsel der Luftfeuchtigkeit können Auflösungs- und Kristallisationszyklen (Salzsprengezyklen) erzeugt werden. Besonders in beheizten Innenräumen ist die Salzkristallisation an wechselnd feuchter Luft eine häufige Schadenursache.

*Salzanreicherungen im Grundfeuchtebereich:* Entwicklung und Wirkung von Salzanreicherungen lassen sich am Beispiel der im Mauerwerk aufsteigenden Grundfeuchte sehr gut verdeutlichen. Die kapillar aufsteigende Grundfeuchte setzt sich zusammen aus der Bodenfeuchte, aus dem am Mauerfuss sich ansammelnden und eindringenden Niederschlagswasser, aus Regen und Schnee und aus der aus der Luft stammenden hygroskopischen Feuchte. Diese Grundfeuchte ist im Prinzip eine verdünnte wässrige Lösung aus Sulfaten, Karbonaten,

Chloriden und Nitraten des Magnesiums, Kalziums, Natriums und Kaliums in verschiedenen Konzentrationen. Nitrate und Chloride sind im Bereich menschlicher Siedlungen stets vorhanden und sind in der Grundfeuchtezone von Mauern im Vergleich zu Sulfaten bis zehnfach angereichert. Das ist auch verständlich, denn Menschen und Tiere verzehren Kochsalz und scheiden es aus. Nitrate werden biogen von Nitrobakterien aus ammoniakhaltigen Stoffen gebildet.

Die Grundfeuchtezone an Bauwerken (Abbildungen 6.105 und 6.106) zeigt in der Regel eine zonare Abfolge, die transportierten Ionen werden nach der Löslichkeit der sich bildenden Salze fraktioniert. Unten im Mauerwerk, in den Zonen A und B reichern sich die schwerer löslichen Karbonate und Sulfate an. Die Zone A, direkt über dem Sockel, hat deutlich weniger Schäden als die darüberliegende Zone B, wo die meisten Salzausblühungen und -krusten und auch die Hauptschäden auftreten. Diese Salze sind bei uns hauptsächlich Magnesiumsulfat, Gips und Kaliumnitrat, oft auch Natriumkarbonat und Natriumsulfat. Sie sind wenig bis nicht hygroskopisch und haben eine mittlere Löslichkeit. Über dieser Zone folgt die besonders an Landwirtschaftsbauten stark entwickelte, aber





6.107



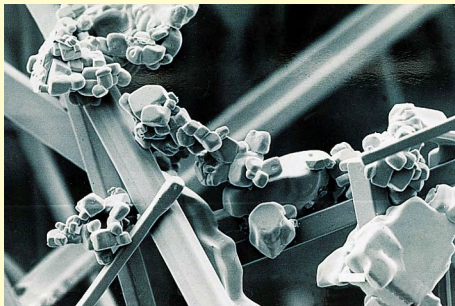
6.108

### Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen von Salzkristallen



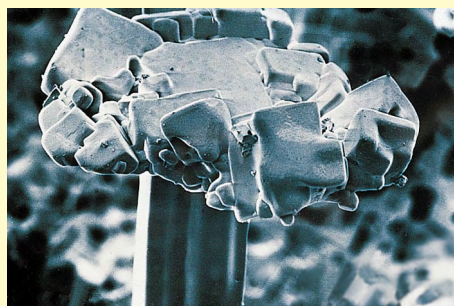
Links: Unten Hydromagnesitkruste ( $\text{Mg}_5[\text{OH}(\text{CO}_3)_2]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) und oben Nesquehonitkruste ( $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), wie sie durch die Reaktion alkalischer Baustoffe mit Mauersalzen entstehen. (REM-Aufnahme, Bildbreite ca. 1mm, Kapelle St. Magdalena, Susch, Engadin).

Rechts: Kalzitkruste ( $\text{CaCO}_3$ ), Collegiatakirche in Bellinzona. (REM-Aufnahme, Bildbreite 0.12 mm).



Links: Salzausblühung aus Halit ( $\text{NaCl}$ ) mit Nadeln im Whisker-Habitus. (REM-Aufnahme, Bildbreite 0.17 mm).

Rechts: Halit-Ausblühung ( $\text{NaCl}$ ) mit Würfeln (Habitus der Gleichgewichtsform). (REM-Aufnahme, Bildbreite 0.07 mm).



Links: Nitronatriit-Ausblühung ( $\text{NaNO}_3$ ) stösst Malschicht ab. (REM-Aufnahme, Bildbreite ca. 3.6 mm).

Rechts: Kruste aus Halit-Würfeln, hochgehoben von einem Halit-Whisker. (REM-Aufnahme, Bildbreite 0.2 mm).

6.109

Abbildung 6.107: Ruine Grasburg, BE. Alkalische Salze (Natriumkarbonat) aus dem Zement der Betonsteine von der Mauerkrone der Ruine sowie aus dem Zementmörtel der Fugen haben sich im hellen Bereich in der Mitte der Stützmauer aus

Quelltuff angereichert. Die Pflanzen sind in diesem Bereich wegen der stark alkalischen Umgebung (pH bis etwa 12) abgestorben.

Abbildung 6.108: Alkalische Salze (Parking-Mauer Zürich). Kaum zwei Jahre nach der Renovierung und der Betonhintermauerung sind starke Ausblühungen von Natriumkarbonat aufgetreten und haben die Steine oberflächlich angegriffen.

Abbildung 6.109: REM Aufnahmen von Salzen in Mauerwerken. Alle Aufnahmen K. Zehnder.



auch allgemein an Altbauten erscheinende, wenig bis nicht geschädigte, aber stets dunkel gefärbte und feucht aussehende *Zone C*, worin sich die in der Lösung verbliebenen, leichter löslichen Nitrate und Chloride ansammeln. Diese hygroskopische Fraktion bleibt in der Regel andauernd in Lösung, es sei denn, die Luft würde sehr trocken – je hygroskopischer die Salze sind, desto weniger kristallisieren sie aus. Die Zone C kann einige Zentimeter bis mehrere Meter hoch sein. Die Hauptschäden an alten Mauerwerken sind nicht einfach dort anzutreffen, wo die grössten Mengen an Salzen vorhanden sind, sondern dort, wo jene Salze angereichert sind, die unter den gegebenen Luftfeuchtigkeiten häufig kristallisieren.

Mit Ausnahme des Nitrokalits ( $\text{KNO}_3$ ) bleiben die Nitrate und Chloride unter den «normal feuchten» Bedingungen des Aussenklimas und in ungeheizten Innenräumen fast dauernd in Lösung. Das hat zur Folge, dass sie sich über die ganze Dauer des kapillaren Wasseraufstiegs, also über viele Jahrhunderte, stetig anreichern können und nicht abtransportiert werden. Dazu kommt, dass diese hygroskopischen Mischlösungen bei feuchten Klimabedingungen bis zur Wassersättigung des Porenraums und darüber hinaus Wasser aus der Umgebungsluft aufnehmen. So kann sich die Feuchte in der Mauer auch ohne Nachschub von unten weiter ausbreiten und höher aufsteigen, was die oft recht hoch liegende Obergrenze der Versalzung aus der Grundfeuchte erklären kann. Gleichzeitig be- und verhindert dieses hygroskopische Verhalten die Verdunstung der Feuchte aus Mauern. Dies erklärt auch viele scheinbare Misserfolge der Mauertrocknung. Jahre bis Jahrzehnte nach den Massnahmen wird die Zone C zuerst fleckig und dann durchgehend wieder dunkel und feucht, während die Zonen A und B darunter trocken sind. In diesem Fall stammt die Feuchte in der hygroskopischen Zone C aus der Luft und nicht notwendigerweise vom Baugrund.

### 6.5.3.3 Alkalische Baustoffe

Ein wichtiger Teil der Salzverwitterung wird durch die «Verunreinigung» alter Bauwerke mit inkompatiblen Baustoffen verursacht (Zementmörtel, Beton, alkalische Festigungs-, Schutz-, Abdichtungs- und Reinigungsmittel, Laugen). Besonders wirksam sind die seit dem letzten Jahrhundert immer mehr eingesetzten alkalischen Baustoffe wie Wasserglas (Kalium-, Natriumsilikat), Portlandzement (siehe [Kapitel 7.1.1](#)) und alkalische Reinigungsmittel (erhärteter Portlandzement enthält bis 1 % lösliche Alkalien, Wasserglas bis zu 30 %). Die entstehenden Produkte sind Alkalikarbonate in verschiede-

nen Hydratstufen ([Abbildungen 6.107](#) und [6.108](#)). Diese Stoffe wurden seit dem 19. Jahrhundert eingesetzt und werden heute noch in grossem Stil nicht nur für Betonkonstruktionen, sondern auch tonnenweise als Injektionsgut zur Festigung und Entfeuchtung von Mauerwerken oder in Mauer-, Fugen- und Putzmörteln verwendet. Die ausblühenden Salze sind schon vor Ort an ihrer alkalischen Reaktion zu erkennen. Die produzierten Salze sind vor allem Natriumkarbonate wie Natrit, Thermonatrit und Trona. Sie reagieren mit Schwefelsäure und den Sulfaten aus der sauren Luft, wobei aus Karbonaten Sulfate (Natriumsulfat und Kaliumsulfat) entstehen. Auch mit den in alten Mauern vorhandenen Ionen reagieren die Alkalikarbonate, wie dies in [Tabelle 6.16](#) ersichtlich ist. Aus den Sulfaten, Nitraten und Chloriden des Magnesiums und Kalziums entstehen solche des Natriums und Kaliums sowie schwerlösliche Erdalkalikarbonate, die ausfallen. Solche typischen Karbonate sind Hydromagnesit  $\text{Mg}_5[\text{OH}(\text{CO}_3)_2]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  und Nesquehonit  $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .

Die im Freien bei uns kaum je kristallisierenden, hochhygroskopischen Chloride und Nitrate des Kalziums und Magnesiums (siehe oben) werden so in die weniger hygroskopischen und häufiger kristallisierenden Nitrate und Chloride des Natriums und Kaliums umgewandelt. Es entstehen damit nicht nur mehr Salze; es werden auch weniger schädliche in schädlichere umgewandelt. Damit im Zusammenhang steht auch die alte Feststellung, dass bei den Molassesandsteinen im Naturaufschluss Magnesiumsulfat, am städtischen Bau dagegen Natriumsulfat vorherrscht. Letzteres ist nämlich ein Produkt der oben beschriebenen Reaktionen mit alkalischen Baustoffen.

Salze kristallisieren in spezifischen Kristallformen, die von inneren Faktoren (Atom-, Molekülstrukturen, Gitterenergie) abhängen und in unterschiedlichem Habitus und in verschiedenen Aggregatformen, die von äusseren Bedingungen wie beispielsweise der Materialfeuchte und dem Raumklima abhängen. So kann Halit ( $\text{NaCl}$ ) Krusten (Aggregatform) aus isometrischen Würfelkristallen (typische Kristallform und Gleichgewichtshabitus) oder Flaum aus langen Nadeln (dem Whisker-Habitus) bilden ([Abbildung 6.109](#)). Weil sich aus den unterschiedlichen Habitus- und Aggregatformen die äusseren Bedingungen ablesen lassen und diese Bedingungen manchmal doch beeinflussbar sind, bekommt die Untersuchung dieser Phänomene eine besondere praktische Bedeutung.

Durch Salzsprengung entstehen verschiedenartige und manchmal auch charakteristische Schadenformen. Am häufigsten beobachtet man, dass durch kristallisierende Salze poröse Steine absanden ([Abbildungen 6.111](#), [6.112](#)) und ab-





6.110



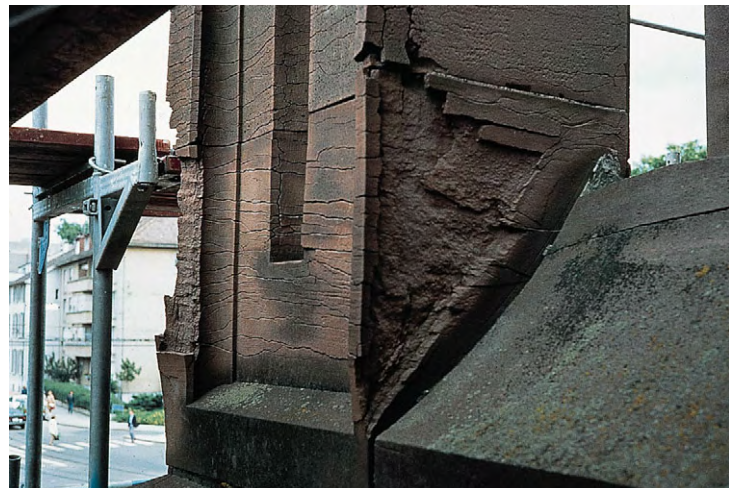
6.111



6.112



6.113



6.114

Abbildung 6.110: Typische Schalenbildung am granitischen Sandstein, Hofkirche Luzern.

Abbildung 6.111: Absanden am Berner Sandstein, Münzgasse in Bern.

Abbildung 6.112: Typische Alveolarverwitterung am Plattensandstein, Martinsbrugg bei St. Gallen (Naturaufschluss).

Abbildung 6.113: Abbröckeln von dichtem Kalkstein, Kasino Bern.

Abbildung 6.114: Kombination von Schalenbildung und schichtparallelem Aufspalten am roten Triassandstein des Spalentors in Basel.



Tabelle 6.16: Salze aus alkalischen Baumaterialien und ihre Reaktionen (vereinfachte Formeln).

URSPRUNG														
Portlandzement, Wasserglasprodukte, alkalische Reinigungs- und Abdichtungsmittel.														
SALZE														
Natrium- und Kaliumkarbonatsalze: Natrit, Thermonatrit, Nahcolit , Trona, Kalicinit														
REAKTIONEN AN DER LUFT														
$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$					----->					$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$				
$\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$					----->					$\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$				
REAKTIONEN MIT ERDALKALISULFATEN, -NITRATEN UND -CHLORIDEN IN MAUERN														
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	+	$\text{MgSO}_4$	---->	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	+	$\text{MgCO}_3$	I	$\text{K}_2\text{CO}_3$	+	$\text{MgSO}_4$	---->	$\text{K}_2\text{SO}_4$	+	$\text{MgCO}_3$
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	+	$\text{CaSO}_4$	---->	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	+	$\text{CaCO}_3$	I	$\text{K}_2\text{CO}_3$	+	$\text{CaSO}_4$	---->	$\text{K}_2\text{SO}_4$	+	$\text{CaCO}_3$
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	+	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	---->	$2\text{NaNO}_3$	+	$\text{MgCO}_3$	I	$\text{K}_2\text{CO}_3$	+	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	---->	$2\text{KNO}_3$	+	$\text{MgCO}_3$
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	+	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	---->	$2\text{NaNO}_3$	+	$\text{CaCO}_3$	I	$\text{K}_2\text{CO}_3$	+	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	---->	$2\text{KNO}_3$	+	$\text{CaCO}_3$
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	+	$\text{MgCl}_2$	---->	$2\text{NaCl}$	+	$\text{MgCO}_3$	I	$\text{K}_2\text{CO}_3$	+	$\text{MgCl}_2$	---->	$2\text{KCl}$	+	$\text{MgCO}_3$
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	+	$\text{CaCl}_2$	---->	$2\text{NaCl}$	+	$\text{CaCO}_3$	I	$\text{K}_2\text{CO}_3$	+	$\text{CaCl}_2$	---->	$2\text{KCl}$	+	$\text{CaCO}_3$
TYPISCHE PRODUKTE														
Hydromagnesit ( $\text{Mg}_5[\text{OH}(\text{CO}_3)_2]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), Nesquehonit ( $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ )														

schuppen oder Malschichten sich von der Unterlage abtrennen. Seltener sind Schalenbildungen. Am auffälligsten ist die Alveolarverwitterung (Abbildung 6.112), die früher der Winderosion zugeschrieben wurde und nun eindeutig als Folge der Salzsprengung erkannt ist. Salzsprengversuche beweisen, dass praktisch alle Gesteine durch Salze angegriffen werden können.

#### 6.5.4 AUSWIRKUNGEN DER VERWITTERUNG

Die bisher aufgeführten Verwitterungsvorgänge erzeugen eine Vielzahl von Veränderungen – oft als Schaden bewertet. Die Schaden- oder Verwitterungsformen und noch mehr die Schaden- oder Verwitterungssituationen lassen Rückschlüsse auf die Ursachen und die Art der Vorgänge zu. Deshalb ist es unentbehrlich, sie zu erkennen. Es geht dabei um alle Grössenbereiche, die am Bau anzutreffen sind: Von der Umgebung über den Bau, das Baudetail, das Mauerwerk, die Steine und Mörtel, die Mineralgefüge und die Minerale selbst. Auf Bewegungen des Baugrundes wird hier nicht eingegangen.

##### 6.5.4.1 Schadenformen

Je nach Grössenbereich des Bauwerkes, Bauteils oder Mauerwerkes können Risse entstehen oder ganze Mauerverbände aufgelockert sein. Im Bereich der Einzelsteine unterscheidet man ebenfalls zahlreiche Schadenformen (Abbildungen 6.110–

6.114). Die wichtigsten sind: Verfärbungen, Absanden (mit und ohne Alveolarverwitterung), Schalenbildung, Abblättern, Lagerisse oder schichtparalleles Aufspalten, Bröckelzerfall, Krustenbildung (Gips- und Kalkkrusten), Salzausblühungen, chemische Auflösungserscheinungen (Mikrokarst und chemische Korrosionserscheinungen) und biogener Bewuchs als Verfärbungen sowie Beläge (Matten) aus Algen, Flechten und anderen Mikroorganismen.

Welche Schadenformen entstehen, hängt von der Gesteinsart, von der Exposition, von der Art der Einwirkungen und ihrem Zusammenspiel ab. So gibt es beispielsweise an dichten Steinen kaum Absanden. Kalksteine, die von Haarrissen oder Tonhäutchen durchsetzt sind, neigen zum Bröckelzerfall, besonders dort, wo sie regenexponiert sind. In regengeschützten Bereichen entwickeln Kalksteine besonders ausgeprägt Gipskrusten, während kieselsäuregebundene Steine schwarze, kieselige Krusten in regenexponierten Bereichen bilden. Unter den Molassesandsteinen neigen die Berner Sandsteine besonders zum Absanden und bilden nur untergeordnet Schalen, während die granitischen Sandsteine stark zu Schalenbildung und weniger zum Absanden neigen. Schalen entstehen in der Regel in beregneten Bereichen. Dabei hängt die Dicke der Schalen bei gleichem Gestein direkt mit der Eindringtiefe des Regenwassers und der Stärke der Austrocknungsbedingungen zusammen, womit Schalen als Indikatoren für Durchnässung gelten können. Schalenbildung durch starke thermische Deh-





6.115



6.116



6.117

Abbildung 6.115: Schadensituation an der ehemaligen Klosterkirche Rheinau. Nur etwa 15 Jahre nach Abschluss der letzten Restaurierung (1975–78) haben sich am Granitischen Sandstein des Sockels Schalen gebildet.

Abbildung 6.116: Der Grund für die Schalenbildung liegt am Wasserspeier, der das Wasser auf die Sockelsteine spritzen lässt. Das ganze ist eine typische Schadensituation.

Abbildung 6.117: Schadensituation an der Künstlergasse in Zürich, [Beschreibung siehe Text](#).



nung kommt allerdings auch vor, dies kann in der Regel jedoch aus der Situation abgeleitet werden.

#### 6.5.4.2 Schadensituationen

Obwohl auch die Schadenformen Hinweise auf Ursachen liefern, kommt man in der Regel besser und direkter über die Schadensituationen an das Schadensgeschehen heran. Was die Schadensituation ist, lässt sich nicht allgemein und einfach definieren. Es sind Verwitterungsbilder mit einzelnen oder mehreren, kombinierten Verwitterungsformen (z.B. Grundfeuchtezonon, sichtbare Wassereinbrüche, «Wasserläufe» an Fassaden, Bereiche um defekte Wasserabläufe, Gipskrustenbildung), die aufgrund ihres Aussehens, ihrer Lage am Bauwerk, ihrer Exposition und anderer Erscheinungen Zusammenhänge erkennen lassen zu bestimmten Ursachen und Arten des Verwitterungsgeschehens (analog etwa zu einem Krankheitsbild in der Heilkunde).

Zwei Beispiele von konkreten Schadensituationen sind untenstehend erläutert (siehe auch [Abbildungen 6.115 bis 6.117](#)):

- Anlässlich der Restaurierung (1975–78) an der Westfassade der Klosterkirche Rheinau wurden am Sockel Quader aus granitischem Sandstein ersetzt. Innerhalb von 15 bis 18 Jahren bildeten sich neue Schalen ([Abbildung 6.115](#)), was üblicherweise eine Durchnässung der äusseren Gesteinschicht erfordert. Eine solche ist durch Regen an dieser Fassade nicht zu erwarten. Vom Wasserspeier ganz oben am Turm ([Abbildung 6.116](#)) spritzt jedoch Wasser bei jedem Regen genau auf diese Partie des Sockels und bewirkt die Durchnässung und Schalenbildung. Das ganze System – die Schalen am Sockel, die sichtbare Spritzwasserzone, der Wasserspeier, das Dach mit dem gesammelten Regenwasser – wird demzufolge als Schaden- bzw. Verwitterungssituation beschrieben.
- An einer rückseitig mit Erde angefüllten Stützmauer aus granitischem Sandstein in Zürich ([Abbildung 6.117](#)) sind verschiedene Schadenformen leicht zu erkennen. Die Steine unmittelbar unter der Abdeckplatte sind teilweise regengeschützt und mit einer schwarzen Gipskruste belegt. Etwas weiter unten sanden die gleichen Steine oberflächlich ab. Im regenexponierten Bereich darunter haben sich Schalen gebildet. In den stark regenexponierten und feuchten Bereichen am Fuss der Mauer sowie in den dunklen vertikalen Streifen unterhalb der Fugen zwischen den Abdeckplatten ist die Oberfläche besonders stark von Mikroorganismen besiedelt.

Die verschiedenen Schadenformen am gleichen Sandstein sind charakteristisch für die jeweilige Exposition. Zudem hängen sie in der Intensität und im Aussehen zusammen mit ihrer Lage an einer Stützmauer mit feuchter Hinterfüllung. Alles zusammen wird als Schadensituation bezeichnet.

Zur praktischen Beurteilung der Schäden an einem Denkmal ist es sehr nützlich, zuerst die Schadensituationen zu erfassen und zu beschreiben und erst danach auf die Schäden im Einzelnen einzugehen. Viele Ursache-Wirkungsbeziehungen der Verwitterung lassen sich am besten erkennen, wenn es regnet.

#### 6.5.5 VERWITTERUNG ALS GESCHEHEN

Um eine potentielle Gefährdung beurteilen oder eine Prognose über das zukünftige Verwitterungsverhalten stellen zu können, genügt es nicht, nur über die Ursachen im Bilde zu sein, genauso wichtig ist die Kenntnis der Schadenentwicklung. Dazu ist es notwendig, die Verwitterung als Geschehen zu sehen.

Verwitterungsvorgänge ereignen sich aus bestimmten Ursachen an bestimmten Orten, zu bestimmten Zeiten, mit bestimmten Geschwindigkeiten, unter bestimmten äusseren Bedingungen und mit bestimmten Auswirkungen. Das heisst auch, dass man sie unter Umständen auch lokalisieren, datieren und verfolgen, die Bedingungen ermitteln und die Auswirkungen überwachen kann.

Bei Ereignissen, die Denkmäler verändern und schädigen können, unterscheidet man zwischen einmaligen Ereignissen (Abriss, Brand, Überschwemmung, Blitzschlag) und sogenannten Ereignisfolgen. Diese wiederholen sich zufällig (Unwetter, starke Kondensationsereignisse, manche biogenen Vorgänge) oder zyklisch. Es können Tageszyklen (Frost-Tauzyklen, thermische und hygische Dehn-Schwindvorgänge, Salzkristallisationen, bestimmte Kondensationen), jahreszeitliche Zyklen (Regen-, Frost-, Kälte-, Heizperioden) und manchmal auch Wochenzyklen (wie z.B. das Raumklima in Kirchen bei Wochenendheizung) auftreten. Ebenfalls zyklisch sind letztlich die mit Lichtfrequenz (Tageslicht, Blitzlicht) sich wiederholenden fotochemischen Umwandlungen sowie andere Vorgänge im mittel- und langfristigen Klimageschehen. Die Ereignishäufigkeit kann verschieden sein (Tages-, Jahres- und Jahrhundertereignisse, Einzelereignisse).





6.118



6.119



6.120



6.121

Verwitterungsvorgänge können andauern (Schadenfortschritt), sie können aber auch unterbrochen werden oder einfach aufhören. So hat man beispielsweise an der Franziskanerkirche in Solothurn im Jahre 1979, zehn Jahre nach der Injektion des Mauerfusses mit mehr als 20 Tonnen eines Wasser-glas-/Portlandzement-/Natriumacetat-Gemisches, enorme Ausblühungen und Putzschädigungen durch die miteingebrachten alkalischen Salze festgestellt und eine entsprechend schlechte Prognose zur Schadenentwicklung gestellt. Dreizehn Jahre später stellte man erstaunt fest, dass die Schäden sich inzwischen nur sehr wenig weiterentwickelt hatten ([Abbildungen 6.118 und 6.119](#)). Es ist also, nach der starken Aktivität in den ersten Jahren, eine weitgehende Beruhigung des Schadenfortschrittes, eine Art stationärer Zustand, eingetreten. Entwicklungen von Schäden können unter Umständen direkt verfolgt

werden, wie jene um ein defektes Ablaufrohr am Gebäude der Generaldirektion der SBB in Bern. Hier zeigte sich am 13. November 1985 schon ein beträchtlicher Schaden mit Salzausblühungen ([Abbildung 6.120](#)). Bis zum 18. Juni 1987 ([Abbildung 6.121](#)) hatte dieser sich stark ausgebreitet. Der Schaden hat sich in zweieinhalb Jahren sehr stark – aber nicht kontinuierlich, sondern episodisch – weiter entwickelt.

Manche Schadenssituationen und -entwicklungen lassen sich nur aus der Geschichte erklären. Beispiele sind altägyptische Denkmäler mit ihren nach einer Standzeit von 2000 bis 5000 Jahren erstaunlich gut erhaltenen Steinen und Malereien. Diese, übrigens organisch gebundenen, Malereien würden, unserem Klima ausgesetzt, wohl nur einige Jahrzehnte überdauern; in Ägypten aber verwittern sie sehr langsam. Schon kurz nach ihrer Bauzeit wurden die bemalten Steine mancher

Abbildung 6.118: Schadenssituation an der Franziskanerkirche in Solothurn im Jahre 1979.

Abbildung 6.119: Gleiche Schadenssituation wie in [Abbildung 6.118](#), 13 Jahre später.

Abbildung 6.120: Schadenentwicklung am Berner Sandstein (Gebäude der Generaldirektion der SBB in Bern) im Bereich einer undichten Dachrinne am 13.11.1985.

Abbildung 6.121: Dito, am 18.6.1987.



Tempel zum Bau von «Nachfolgetempeln» benutzt. Später, vom Mittelalter bis in die Neuzeit, wurden viele Tempel durch Wüstensand halb zugeschüttet. Sie dienten – mit offenen Feuerstellen im Innern – als Wohnraum für Menschen und Haustiere; auf den Dächern standen kleine Häuser. Seit dem 19. Jahrhundert werden sie ausgegraben, restauriert und dem Tourismus zugänglich gemacht. Mit dem Wissen um diese Geschichte kann erklärt werden, warum die Malereien heute in manchen Tempeln noch leuchtend farbig und in anderen verschwärzt sind, oder warum die salzbefrachtete ehemalige Grundfeuchtezone noch heute, lange nach den Ausgrabungen, einige Meter über dem Boden anzutreffen ist und sich zugleich unten am Boden eine neue solche Zone entwickelt. Auch schweizerische Steindenkmäler haben ihre vielfältige und meist nur bruchstückhaft bekannte Bau-, Umbau-, Restaurierungs- und Verwitterungsgeschichte und auch hier ist die Entwicklung des Verwitterungsgeschehens nicht ohne die Geschichte erklärbar.

Der Aufwand, nicht nur Schäden festzustellen, sondern auch die Schadenssituationen mit ihrer Entwicklung zu verfolgen, lohnt sich. Denn nur so sammelt sich Erfahrungswissen an, das dann zusammen mit Beobachtungen und ergänzt durch Analysen und Messungen erlaubt, das Schadengeschehen in seiner historischen Dimension zu erfassen und die Gefährdung zutreffend zu beurteilen. Dadurch braucht man nur dort angemessen einzugreifen, wo dies aufgrund der wirklichen Schädigung notwendig ist.

#### 6.5.6 STEINKONSERVIERUNG IN DER DENKMALPFLEGE

Unter Steinkonservierung versteht man landläufig immer noch die Schutzbehandlung von Steinen mit chemischen Mitteln gegen den Zerfall durch die Luftverschmutzung und durch andere, vorgängig beschriebene Faktoren. Es geht meistens darum, Steine mit aufgelockertem Gefüge – mit Schalen, Krusten und anderen Schäden – durch Behandlung mit Festigungsmitteln (z.B. Kunstharze, Kieselsäureester, Alkalisilikate) wieder fest und durch Schutzbeschichtungen (Anstriche) oder wasserabweisende Imprägnierungen (Hydrophobierung) witterungsbeständiger zu machen. Dazu gehört auch der präventive Schutz gegen Graffiti (Sprayerkunst). Und es gibt tatsächlich Steindenkmäler, die sich nur noch so konservieren lassen. Doch betrifft dies nur einen möglichen Aspekt der Erhaltung von Steinen und steinartigen Stoffen an Denkmälern. Wie eingangs erläutert, heisst Denkmäler erhalten nämlich, sie zu erkennen, ihren Zustand

zu erfassen, die Gefährdung zu verstehen, um dann (auf die Gefährdung reagierend) das zu tun, was notwendig ist, um sie möglichst lange authentisch zu erhalten.

Verwitterung oder Zerfall der Materialien und Konstruktionen in ihrer Wechselwirkung mit der natürlichen und menschlichen Umgebung können rein naturwissenschaftlich verstanden werden, hingegen verändert man durch Eingriffe am Objekt oder Kulturgut Werte, wo Material und Aussage eine unersetzliche Einheit bilden.

#### 6.5.6.1 Beurteilung der Gefährdung

Zu einer *zutreffenden Beurteilung der Gefährdung* kommt man nur, wenn man über die Schadenswahrnehmung hinaus die Verwitterungsvorgänge mit ihrer Entwicklung im realen Kontext untersucht und erforscht. Gleichzeitig ist es unerlässlich, die möglichen und einsetzbaren Massnahmen zur Erhaltung mit ihren Grenzen und Nebenwirkungen zu kennen und zu beurteilen.

Auf eine historische (oder archäologische) *Bestandesaufnahme* folgt die *Zustandsaufnahme* der Bauteile und der Steine, Mörtel und Farben. Dazu beobachtet man die *Schäden* und *Schadenssituationen*, fragt nach deren Entwicklung und sucht, darauf abgestützt, das angemessene Vorgehen zur Erhaltung. Man kann folgende Fälle unterscheiden:

*Keine Schäden:* Ohne Schäden gibt es keine aktuelle Schadenaktivität. Wenn die Bedingungen sich nicht ändern, sind auch in naher und mittlerer Zukunft keine Schäden zu erwarten. Diese Stellen am Bau- und Kunstwerk sind nicht gefährdet und Massnahmen erübrigen sich. Diese Bereiche sind aber auf keinen Fall geeignet, um Konservierungsprodukte zu testen.

*Die Schädigung ist nicht mehr aktiv:* Ein sichtbarer Schaden ist zwar vorhanden. Die Indizien wie Art, Verschmutzung und Beschaffenheit der Oberfläche und die Schadenssituation insgesamt weisen darauf hin, dass die Schädigung zurzeit nicht aktiv ist. Solche Situationen sind beispielsweise ehemalige Wassereinbrüche mit Salzen, die unter den derzeitigen Bedingungen nicht kristallisieren. Man weiss aber, dass hier eine weitere Schädigung möglich ist, wenn die Bedingungen sich erneut ändern. Massnahmen sind zurzeit nicht notwendig, doch ist eine Überwachung zu empfehlen.

*Die Schädigung ist aktiv:* Man kann am Schaden, an der Schadenssituation, an abgefallenen Partikeln, im Vergleich mit früheren Beobachtungen (alten Fotos) oder mit analogen Fällen erkennen oder zumindest abschätzen, wie die Schädigung abläuft und wie rasch sie sich entwickelt.

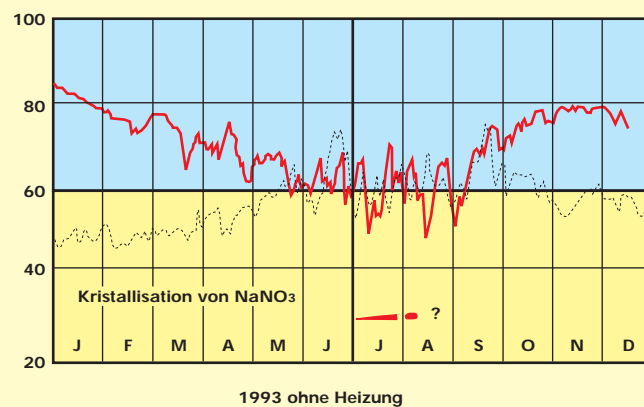
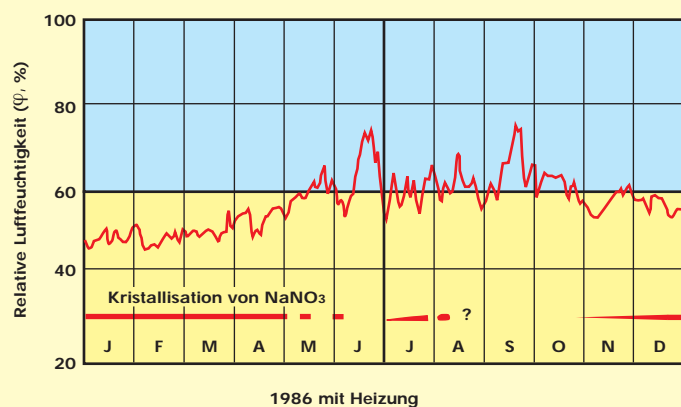
Tabelle 6.17: Schäden und Konservierung in verschiedenen Grössenbereichen an Baudenkmälern.

BEREICH	SCHADENFORM	FESTIGUNG	SCHUTZ
I Mauer als Gesamtes	Setzungen, Risse, Auflockerung des Mauergefüges	Statische Sicherung, Festigung der Mauerverbände	Bauliche Sanierung, Abdeckungen, Abdichtungen
II Mauerstein und Mörtel	Risse, Schalen, Abblättern, Bröckel, chemische Auflösung	Hohlraumfüllung, Hintergiessen, Kleben	Abdichten durch Füllen
III Kornbindung Korngefüge	Auflockerung und Vergrösserung der Poren, Absanden, chemische Auflösung	Imprägnieren mit Festigungsmitteln	Schutzanstriche, Hydrophobierung



6.122

Kristallisation von Natriumnitrat in Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit (Klosterkirche von Münstair, GR)



6.123

Bei *langsamem Fortschritt* ist die Gefährdung entsprechend gering. Je nach Objekt und Situation ist eine Konservierung nicht dringend oder bereits mit einer lokalen Sicherung zu erreichen. Man kann zuwarten und erhält Zeit, um allenfalls Analysen und Messungen zu machen. Manchmal wird es auch genügen, solche Schäden periodisch zu reparieren, indem man die «Verschleisschicht» erneuert. So kann es bei bestimmten Arten von Grundfeuchteschäden auch ökonomisch angemessen sein, die betroffenen Steine und Verputze periodisch zu flicken oder zu ersetzen, statt sehr aufwendige Sanierungen zu machen. Dasselbe gilt auch bei bestimmten Verputzschäden am aufgehenden Mauerwerk.

Bei *rasch fortschreitenden Schäden* ist die Gefährdung erheblich. Es muss sofort zumindest sichernd eingegriffen

werden. Die Ursachen müssen gefunden und behoben oder wenigstens gemildert werden.

Die Verfolgung und Überwachung des Schadenablaufs und der klimatischen Bedingungen kann, besonders bei so empfindlichen Objekten wie es Wandmalereien sind, unerlässlich sein. Dazu müssen die Schäden und Schadenssituationen sehr genau beobachtet und dokumentiert, der Schadenfortschritt verfolgt und gleichzeitig die klimatischen Bedingungen ermittelt und registriert werden, unter welchen die Schäden sich ereignen. Allenfalls müssen einzelne Schadensvorgänge identifiziert und im Labor unter kontrollierten Bedingungen reproduziert werden. So ergab sich in verschiedenen Fällen, beispielsweise an der Klosterkirche Münstair GR ([Abbildung 6.123 links](#)), dass Nitronitrit ( $\text{NaNO}_3$ ) aus dem hygroskopischen

Abbildung 6.122: Reinigung mit Wasser am Kunstmuseum in Basel. Die Gipskrusten auf dem Kalkstein wurden hier mit Wasser weg gelöst, das man der Oberfläche entlang abfliessen liess (Flutverfahren, Juli 1979).

 Abbildung 6.123: Kristallisation von Natriumnitrat ( $\text{NaNO}_3$ ) in Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit; beobachtet und registriert in den Apsiden der Klosterkirche Münstair GR.



Salzgemisch der Zone C der Grundfeuchte (siehe [Kapitel 6.5.3.2](#)) immer dann kristallisiert und Mörtel und Steine absanden lässt, wenn die relative Luftfeuchtigkeit im Raum (durch die Heizung) während mindestens einigen Tagen unter 60% absinkt. Nach dem Verzicht auf die Heizung konnte nachgewiesen werden, dass keine Kristallisations- und Schadenereignisse mehr eintraten ([Abbildung 6.123 rechts](#)).

#### 6.5.6.2 Erhaltungsmassnahmen

Die Erhaltung beginnt mit der baulichen Instandsetzung des Bauwerks und seiner Umgebung. Eine der unbedingt erforderlichen, aber nicht immer einfach zu erreichenden Erhaltungsmassnahmen ist die systematische Instandsetzung der ganzen Entwässerung inklusive Dachwasser mit allen Abläufen. Besonders kritisch sind Anschlüsse zwischen verschiedenen Bauteilen. Man isoliert gegen beobachtete Feuchteinbrüche von oben und von der Seite, gegen aufsteigende Grund- und Bodenfeuchte und gegen Hangwasser, sofern das notwendig und angemessen ist. Vorstehende Bauteile wie Gesimse, Terrassen, Balkone und manchmal auch Fensterbänke werden abgedeckt. In extremen Fällen werden auch Massnahmen gegen Schneeschmelzwasser erforderlich, wie beispielsweise an der Klosterkirche Müstair, wo man während des Winters am Sockel Bretterschläge anstellt, um den Schnee und damit das Schneeschmelzwasser vom Mauersockel fern zu halten.

Verschiedene Hilfsmittel wie Drainagen, Lüftungsgräben, horizontale Sperren in Form von wasserdichten Blei- und Kunststoffolien werden dazu eingesetzt. Oft versucht man auch den Feuchtetransport zu behindern, beispielsweise durch Injektionen von Bitumen, von wasserabweisenden Kunstharzen oder von Alkalisilikaten und Zement. Auch elektroosmotische Verfahren und Hochfrequenzverfahren kommen zum Einsatz. Es gilt aber zu beachten, dass durch den Einsatz von Alkalisilikat- und Zementinjektionen unter Umständen massive Folgeschäden durch Salzausblühungen verursacht werden können; im Einflussbereich von Wandmalerei und anderem Kunstwerk sind sie schädlich und ungeeignet. Periodisch erneuerbare Verschleissteile, beispielsweise die Sockelzone eines Altbaus, können oft ökonomischer und effizienter sein als teure und trotzdem fragliche Grundfeuchtesanierungen.

Eine weitere Erhaltungsmassnahme ist die *Reinigung*. Dabei werden verschiedene mechanische und chemische Verfahren und Mittel eingesetzt. Mechanisch wirken steinmetzmässige Überarbeitung, viele Arten von Sandstrahlverfahren,

Druckluft und Hochdruckreinigung mit Wasser oder Dampf. Chemisch lösend wirken kaltes oder heisses Wasser ([Abbildung 6.122](#)), Säuren, Laugen und organische Lösungsmittel. Sie werden flüssig oder als Pasten aufgetragen. Neuerdings werden Schmutzschichten auf Plastiken auch mit Laserstrahlen weggebrannt. Praktisch alle Reinigungsverfahren beschädigen aber die Oberfläche der Materialien mehr oder weniger stark. Besonders gefährlich sind Reinigungen mit Säuren und Laugen, welche die Steine anätzen und lösliche Salze zurücklassen.

Für die Festigungs- und Schutzbehandlungen ist es nützlich, die in [Tabelle 6.17](#) angegebenen Grössenordnungen zu unterscheiden. Alle Bereiche erfordern ein anderes Vorgehen:

- Der *Bereich I* umfasst das Mauerwerk als Ganzes. Die Schäden betreffen die Baustrukturen und reichen von Baugrundbewegungen (Setzungen) über Mauerrisse aller Art bis zur Auflockerung des Mauergefüges aus Steinen und Mörteln. In diesem Bereich spielen sich die meisten Schadenssituationen ab, denen man – soweit dies möglich ist – mit baulichen Massnahmen oder durch bauliche Instandsetzung begegnen kann. Dazu braucht es einerseits die allgemeine Erfahrung des Bauhandwerks; andererseits gibt es aber auch Ursachen und Schadenssituationen, die zuerst einer eingehenden Untersuchung bedürfen, bevor sie richtig saniert werden können. Die Mauerfestigung geschieht in der Regel handwerklich durch Flickern und Ergänzen der Mauerverbände, aber auch durch Injektionen.
- Der *Bereich II* umfasst die Mauersteine und Mörtel als Einzelobjekte. Die Schäden in diesem Grössenbereich sind Risse, Schalenbildungen, Abbröckeln, chemische Auflösungen und Gefügeauflockerungen. Hohlräume und Risse werden in diesem Grössenbereich mit mineralischen Bindemitteln wie Kalkschlämmen mit und ohne Puzzolanzusätzen (vulkanischer Tuff), mit mineralischen Mörteln oder mit Kunststoffen gefestigt und verklebt. Man braucht dazu hohlraumfüllende Mittel, die handwerklich eingebracht oder auch injiziert werden. Oft verwendet man recht grosse Anstrengungen darauf, die physikalischen Eigenschaften (Festigkeit, Elastizität und Deformierbarkeit) den vorhandenen Steinen und Mörteln anzupassen. Viele wertvolle Verputze und Steine werden nur deshalb ersetzt, weil sie weich und hohl tönen oder nicht fest genug mit der Unterlage verbunden scheinen. Dadurch geht viel wertvolle Verputz- und Steinsubstanz verloren, die trotz dieser scheinbaren Schwäche noch Jahrzehnte bis Jahrhunderte überleben könnte.

– Im *Bereich III*, der Kornbindung und dem Korngefüge, agieren die Steinkonservierer mit Imprägnierungen und Anstrichen. Die Schäden sind Gefügeflockungen, Porenraumvergrößerungen, Absanden und chemische Auflösungen. Auch manche Krustenbildungen und Ausblühungen gehören dazu. Gefügeflockungen werden durch Imprägniermittel gefestigt. Dazu braucht man heute vor allem Kieselsäureester als siliziumorganische Verbindungen, die unter Hydrolyse Kieselgele abscheiden. Man bezeichnet diese als mineralische Festigungsmittel, weil zumindest theoretisch nur mineralisches Kieselgel ausgeschieden wird und die Mineralkörner miteinander verklebt. Andere mineralische, aber sehr begrenzt verwendbare Mittel sind «Kalksinterwasser» mit gelöstem Kalziumhydroxid ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) sowie Wasserglas (Kalium-, Natriumsilikat), das wegen seiner Neigung zur Krustenbildung und dem Gehalt an löslichen Alkalien jedoch nur selten sinnvoll eingesetzt werden kann. Demgegenüber steht die Gruppe der Kunststoffe, etwa der Acrylharze, Epoxidharze, Polyesterharze. Es zeigen sich heute besonders an Wandmalereien immer mehr Folgeschäden, die allerdings nicht unbedingt durch das Mittel selbst, sondern durch dessen falschen Einsatz entstanden sind. Der Sinn der Festigung liegt hier vorerst darin, Substanz, die sonst abfallen würde, noch zu retten – und nicht in der prophylaktischen Behandlung.

Als weitere Erhaltungsmassnahme dient seit Jahrhunderten der schützende Anstrich oder – heute immer mehr – die wasserabweisende Schutzimprägnierung besonders mit Silikon- und Silanen, also siliziumorganischen Verbindungen. Das Ziel ist immer, eine Schutzschicht aufzubringen, die bewirken soll, dass Feuchte und andere Schadstoffe von der Oberfläche und vom Innern der Steine ferngehalten werden. Hier muss auf einen folgenschweren Irrtum hingewiesen werden, der immer wieder zur Schädigung und zum Verlust von originaler Substanz geführt hat, nämlich, dass ein Stein «atmungsaktiv» beziehungsweise «diffusionsfähig» sein müsse. Das heisst mit anderen Worten, dass abdichtende Beschichtungen schädlich und zu vermeiden seien. Dem widerspricht die Beobachtung, dass mit vielen übereinanderliegenden Ölfarben geschützte Objekte Jahrhunderte ohne Schaden überstehen können, während neue Steine ohne diese Ölanstriche nach einigen Jahrzehnten stark geschädigt sind. Das zeigt sich beispielsweise an den gotischen Plastiken der Portale des Berner Münsters ([Abbildungen 6.97](#) und [6.98](#)) und der Kathedrale von Fribourg, wo die seit dem Mittelalter gefassten

Figuren nach 500 Jahren besser erhalten sind, als die ungefassten Kopien und Ergänzungen nach einigen Jahrzehnten. Dieselben Erfahrungen hat man mit den farbig gefassten Brunnenstöcken und mit den mit Ölfarbe gestrichenen Fassaden der Stadt Basel gemacht. Gegenüber den unsichtbaren Hydrophobierungen haben die farbigen Anstriche den Vorteil, dass «Löcher» im Schutzsystem sichtbar sind und geflickt werden können. Der Schutzanstrich ist aber nur dort gut, wo keine Feuchtigkeit von innen kommt!

Das unbekannte Verhalten der modernen Schutzbehandlungen in der Zukunft bleibt ein Problem. Mit allen organischen Schutzmitteln und besonders, wenn diese imprägnierend gebraucht werden, wechselt man irreversibel vom mineralischen ins organische System. Ein mit Kunststoffen imprägnierter Stein kann in Zukunft nur noch mit Kunststoffen weiter imprägniert werden. Mineralische Mörtel und Schlämme brauchen hydrophile Oberflächen zum Haften und werden demzufolge auf hydrophobierten Flächen nicht haften. Deshalb muss das Prinzip des minimalen und möglichst reversiblen Eingriffs beachtet werden. Besonders bei sehr wertvollen Kunstwerken muss jeder Systemwechsel möglichst vermieden werden. Sinnvoll und schonend ist ein Erhalten in kleinen korrigierbaren Schritten, solange nicht bewiesen ist, dass das neue System unschädlich und besser ist.





6.124



6.125

## 6.6 ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG UND AUSSICHTEN

Der Naturstein wird seine Stellung im Baugewerbe auch langfristig ausbauen können. Mit wenig Energie produzierte Baustoffe liegen im ökologischen Trend und Naturstein darf für sich in Anspruch nehmen, besonders energiefreundlich zu sein, da weder für die Gewinnung noch die Verarbeitung Prozesswärme notwendig ist. Das gilt sowohl für den Naturbaustein wie auch für die Brechschotter und -kiese. Ihre Gewinnung und Verarbeitung beruht auf mechanischen Verfahren (Ausnahme: Sprengstoffeinsätze im Steinbruch), die gegenüber kalorischen Prozessen nur einen unbedeutenden Energieeinsatz bedingen.

*Naturbausteine* werden weniger nach technischen Kriterien ausgesucht, sondern nach ihrer architektonischen Wirkung. Das führt dazu, dass nicht die technische Güte und die kurze Transportdistanz ausschlaggebend sind für die Wahl, sondern eben Farbe, Struktur und allenfalls günstige Preise. Trotz der Vielfalt einheimischer Steine hat seit dem letzten Weltkrieg ein riesiger Importboom eingesetzt und der schweizerische Markt wird mit ausländischen Gesteinen richtiggehend überschwemmt. Das gilt für alle Sparten, nicht nur für den Innenausbau; so werden heute im Strassenbau wegen des günstigeren Preises beispielsweise Randsteine aus China und Pflastersteine aus Portugal, der Türkei, Vietnam usw. importiert. Der Anteil an ausländischen Natursteinen dürfte das 5-

bis 8fache der einheimischen Steine betragen, wobei immerhin ein Teil der Endbearbeitung der ausländischen Steine in der Schweiz erfolgt und so hier Arbeitsplätze sichert.

Langfristig werden jene Steinbrüche überleben, die entweder ein attraktives Gestein abbauen, das nicht durch ein anderes ersetzt werden kann (Beispiel Andeer), oder jene, deren Gestein langfristig aus anderen Gründen immer wieder benötigt wird (Beispiel Molassesandstein für die Renovation) sowie auch Verarbeitungsbetriebe, die einen eigenen Stein neben vielen andern führen. Schon heute besteht die Tendenz, Blöcke aus schweizerischen Brüchen aus Preisgründen im Ausland zu verarbeiten und dort auch gleich die Massenprodukte wie Bodenplatten herzustellen und nur heiklere Werkstücke wie Treppenanlagen oder Küchenabdeckungen noch in der Schweiz zu produzieren.

Die Farb- und Strukturpalette von heute in der Schweiz gewonnenen Gesteinen liesse sich noch ganz erheblich erweitern, einerseits durch die Wiederaufnahme des Abbaus früher beliebter und bekannter Sorten (z.B. «Pierre jaune de Neuchâtel», «Noir de St-Triphon», «Ragazer Marmor»), andererseits durch Neuanlage von Steinbrüchen in attraktiven, bisher nicht genutzten Vorkommen. Einfach ist dies allerdings nicht, denn abgesehen von raumplanerischen und naturschützerischen Vorbehalten bei der Anlage von neuen Steinbrüchen soll ein Gestein eben nicht nur optisch gefallen, sondern es muss sich auch mit modernen Maschinen verarbeiten lassen, d.h. es müssen fehlerfreie Blöcke (ohne Stiche, Klüfte, Mikrorisse) von einiger Grösse (ab 2 bis 3 m<sup>3</sup>) gewonnen werden können. In dieser Beziehung sind gerade jene Gesteine benach-

Abbildung 6.124: Steinbruch an der Strasse Gletsch/Oberwald. Vor kurzem begonnener Versuchsabbau. Nicht mehr in Betrieb.

Abbildung 6.125: Migmatitischer Gneis aus Steinbruch links (6.124). Ein sehr attraktives Gestein, das den Vergleich mit ausländischen Migmatiten nicht scheuen müsste. Wegen hohem Pyritgehalt leider sehr rostanfällig. Die hier an der

Erdoberfläche noch zu starke Rissigkeit würde in grösserer Abbautiefe abnehmen.

teilt, die ein breites Spektrum an Farben und Strukturen bieten, nämlich die harten alpinen Kalke, die von hell- zu dunkelgrau bis schwarz, rötlich und grünlich in allen Schattierungen gefärbt sind und durch weisse Zeichnungen aus Kalzitadern von Millimeterstärke bis Armdicke eine besondere Attraktivität erlangen: Sie sind praktisch immer durch die alpine Tektonik so gestört, dass grössere Blöcke auf der Säge zerfallen.

Aus Festgestein *gebrochene Schotter und Kiese* werden ebenso wie der Naturbaustein eine zunehmende Rolle spielen. Beton und insbesondere Strassenbelagsmischungen sind auf technisch hochwertige Zuschlagsstoffe angewiesen. Langfristig werden die Lockergesteinskiese mehr und mehr zur Mangelware werden, da deren Abbau zunehmend Schwierigkeiten bereitet (Grundwasser, Siedlungen, Richtpläne), so dass unter anderem auf gebrochene Gesteine ausgewichen werden muss. Im Gegensatz zu Lockergesteinskiesen, deren Petrographie dem Verwendungszweck nicht angepasst werden kann, lassen sich Brechschotter und -splitte entsprechend ihrer Verwendung einsetzen. So braucht es beispielsweise für Betonzuschläge keine hochwertigen Kiese, während für Belagsmischgut ein hartes, abriebfestes Gestein gewählt werden kann. Zurzeit ist für das Schüttgut Schotter und Kies die Transportdistanz immer noch ein preiswirksames Kriterium, dessen Relevanz allerdings immer unbedeutender wird.

Ob langfristig auch der hochwertige Bahnschotter noch benötigt wird, ist ungeklärt. Tunnelbaustrecken werden vermehrt ohne offenen Schotter gebaut, da die Gleise in Betonbankette gelegt werden, die dann nur normale Betonkiese benötigen. Erhebliche Konkurrenz kann den traditionellen Brechschotterwerken in den nächsten Jahren auch durch die Aufbereitung von Tunnelausbruchmaterial entstehen.

Die *schweizerischen Steinbrüche* werden sich auch in den nächsten Jahren und Jahrzehnten zu behaupten wissen, doch werden sich die Rahmenbedingungen verschiedenster Art (Richtpläne, Naturschutz, Umweltverträglichkeit, Arbeitsmarktlage, Bauwirtschaftssituation) immer stärker auswirken.

Wir glauben aber, dass die auch heute immer noch üblichste Organisationsform schweizerischer Steinbrüche, der familiär gebundene Klein- bis Mittelbetrieb, die beste Voraussetzung schafft, durch Zähigkeit, Beharrlichkeit und Beweglichkeit, aber auch durch innovatives Denken in schwierigen Situationen zu überleben und sich zu behaupten.



## 7 KALKE UND MERGEL FÜR DIE BINDEMITTEL-INDUSTRIE

### Übersicht

#### 7.1 Zementindustrie

##### 7.1.1 *Produkte und Produktionsverfahren*

###### 7.1.1.1 *Definition und Mineralogie des Zementes*

###### 7.1.1.2 *Herstellungsprozess*

###### 7.1.1.3 *Zementproduktion in der Schweiz*

#### 7.1.2 *Rohstoffe der Zementindustrie*

##### 7.1.2.1 *Anforderungen an die Rohmischung*

##### 7.1.2.2 *Anforderungen an die Rohstoffe*

#### 7.1.3 *Schweizerische Zementindustrie*

##### 7.1.3.1 *Geologische Voraussetzungen*

##### 7.1.3.2 *Beschreibung der einzelnen Zementwerke*

– *Untervaz*

– *Thayngen*

– *Rekingen*

– *Siggenthal*

– *Wildeggen*

– *Brunnen*

– *Olten*

– *Reuchenette*

– *Cornaux*

– *Eclépens*

– *Roche*

#### 7.2 Kalkindustrie

##### 7.2.1 *Hydraulischer Kalk*

###### 7.2.1.1 *Definition*

###### 7.2.1.2 *Herstellungsprozess*

###### 7.2.1.3 *Anwendung*

###### 7.2.1.4 *Rohstoffsituation in der Schweiz*

##### 7.2.2 *Brannkalk und Kalkhydrat*

###### 7.2.2.1 *Definition*

###### 7.2.2.2 *Herstellungsprozess*

###### 7.2.2.3 *Anwendung*

###### 7.2.2.4 *Rohstoffsituation und Produktion in der Schweiz*

###### 7.2.2.5 *Produktionsmengen und Verwendung*

---



# 7 KALKE UND MERGEL FÜR DIE BINDEMITTELINDUSTRIE



**Kapitelinhalt**



Autor: Dr. Franz-Josef Gsell (†), Holderbank Management und Beratung AG, 5113 Holderbank

Überarbeitung: Dr. Rainer Kündig, Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH-Zentrum, 8092 Zürich  
Dr. Werner Heckendorn, Holderbank Management und Beratung AG, 5113 Holderbank

Fotos: Franz-Josef Gsell (†), Holderbank Management und Beratung AG (7.18, 7.21, 7.26), "HCB Siggenthal (7.1), Holderbank Management und Beratung AG (7.4, 7.9), Heinz Leuenberger, DESAIR AG, Wermatswil (Titelbild, 7.10–7.17, 7.19, 7.20, 7.22–7.25), Rainer Kündig, Mettmensstetten (7.2), Uta Spittel, "HCB Siggenthal (7.3).

---

Abbildung auf Vorderseite, Zementfabrik Eclépens ("HCB): Blick auf die Zementfabrik. Im Vordergrund sind die Fabrikationsanlagen, dahinter der Kalksteinbruch sichtbar (siehe auch [Text auf Seite 320](#)).

In der Schweiz sind zur Zeit zehn Zementfabriken in Betrieb, die zusammen eine Jahreskapazität von etwa 4.4 Millionen Tonnen Klinker aufweisen.

## ÜBERSICHT

Unter der Bezeichnung Bindemittelindustrie spielen in der Schweiz zwei Industriezweige eine bedeutende Rolle: die Zementindustrie (Hauptprodukt Portlandzement) und die Kalkindustrie (Hauptprodukte hydraulischer Kalk, gebrannter Kalk, Kalkhydrat).

Zement ist ein feingemahlenes Bindemittel, welches mit Wasser hydratisiert, erstarrt und erhärtet und später wasserfest und steinähnlich ist. Da die Festigkeit durch Hydratation und nicht durch Trocknung entsteht, kann Zement auch unter Wasser angewendet werden. Zement ist eine Mischung aus sogenanntem Klinker und Gips. Klinker besteht aus vier Hauptkomponenten, nämlich Kalziumoxid ( $\text{CaO}$ ), Siliziumoxid ( $\text{SiO}_2$ ), Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und Eisenoxid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Für eine Rohmischung müssen diese Hauptoxide im Verhältnis 9:3:1:0.5 vorliegen. Als Ausgangsmaterial dienen eine kalkreiche Komponente, eine tonreiche Komponente und allenfalls Korrekturstoffe. Meistens wird eine Mischung von Kalkstein, Mergel und Ton verwendet. Rohmaterial, das schon die richtige chemische Zusammensetzung hat, ist selten. Die sehr fein gemahlene Mischung (Rohmehl) durchläuft grosse Drehöfen und wird bei steigender Temperatur (maximal etwa  $1450^\circ\text{C}$ ) gebrannt. Durch diesen Prozess (Sinterung) ergeben sich künstliche Minerale, sogenannte Klinkerminerale. Fein gemahlen und mit wenig Gips vermischt entsteht sogenannter Portlandzement, benannt nach der englischen Ortschaft Portland.

Da die Brennbarkeit des Rohmehls von der Qualität der Mischung abhängt, sind natürliche Mischgesteine wie mergelige Kalksteine oder kalkige Mergel vorzuziehen. Diese Gesteine lassen sich auch leichter mahlen und sind deshalb kostengünstiger. In der Schweiz werden ausschliesslich Sedimentgesteine verwendet. Nebenelemente wie Magnesium, Alkalien, Schwefel oder Chlor, wirken sich beim Übersteigen von Grenzwerten negativ auf den Prozess und die Produktequalität aus.

Die Schweiz ist reich mit Zementrohstoffen versehen. Der Jurabogen, die nördlichen Voralpen sowie in untergeordnetem Masse auch die Südalpen beinhalten Kalksteine, Tone und Mergel. Im Mittelland bieten sich zusätzlich die Molassemergel als tonreiche Komponente an. Infrastruktur, Marktgegebenheiten und Umweltschutzaspekte bestimmen heute Abbau- und Fabrikationsstandorte.

Im Bereich des Jurabogens bieten sich Kalke aus der Jurazeit und aus der unteren Kreide an. Tonig-mergelige Serien sind

von der oberen Trias bis zum Tertiär vorhanden. Im Mittelland kommen die Molassemergel nur in grenznahen Gebieten zum Juragebirge oder zu den nördlichen Kalkalpen in Frage. Die helvetischen Decken führen in den Lithologien des Jura, vor allem aber in den Kreideserien, kalkige und tonig-mergelige Formationen, die sich als Zementrohstoffe eignen. In den präalpinen Decken, kommen vor allem Serien des oberen Jura in Frage.

Bisher wurden in der Schweiz drei verschiedene Portlandzemente hergestellt. Neue europäische Zementnormen ermöglichen in Zukunft auch die Herstellung von Mischzementen mit Zuschlagstoffen wie Flugasche oder Hochofenschlacke. Diese Zuschlagstoffe sind in der Schweiz nicht in grossen Mengen vorhanden. Heute sind noch 10 Zementfabriken mit einer Gesamtkapazität von rund 5 Millionen Tonnen in Betrieb. Damit wird ein Grossteil des inländischen Zementbedarfs abgedeckt. Zement-Importe/Exporte bewegen sich in der Grössenordnung von weniger als 10%. Wichtigster Abnehmer ist die Bau- und Baustoffindustrie. Volumenmässig und auch umsatzmässig steht die Betonherstellung weit an der Spitze. Knapp 5 Millionen Tonnen betrug der Zementverbrauch 1991 in der Schweiz, davon wurden 64% in Transportbetonwerken und 18% in Baugeschäften verwertet, 7% oder etwa 340'000 Tonnen fanden in Zementwarenfabrikation Verwendung, die restlichen 11% verteilten sich auf diverse Anwendungen.

In der Kalkindustrie werden unter dem Begriff «Kalk» zwei Produkte zusammengefasst: hydraulischer Kalk und Branntkalk. Die chemische Zusammensetzung eines hydraulischen Kalkes kann einer Zementroh Mischung sehr nahe kommen. Der Kalziumkarbonat-Gehalt liegt bei 65–75%, der Siliziumoxid-Gehalt kann jedoch stark variieren und liegt zwischen 5 und 30%. Das Produkt kann bis 5% freien Kalk enthalten. Die hydraulischen Eigenschaften und die Festigkeit sind jedoch schlechter als bei Zement, denn die Brenntemperatur liegt höchstens bei  $1200^\circ\text{C}$ , was die Sinterung des Materials nicht ermöglicht. Verwendet wird hydraulischer Kalk hauptsächlich als Mauerwerkzement oder in Mörtel. Beigemischt zu Zement (10–15%) verbessern sich die Verarbeitbarkeit und die Pumpbarkeit des Betons. Der Verbrauch an hydraulischem Kalk nimmt seit Anfang der achtziger Jahre stets ab.

Branntkalk entsteht durch Kalzinierung eines reinen Kalksteines. Unter Zugabe von Wasser reagiert dieses Produkt heftig und bildet Kalkhydrat. Branntkalk findet in verschiedenen Industrien Verwendung.





7.1

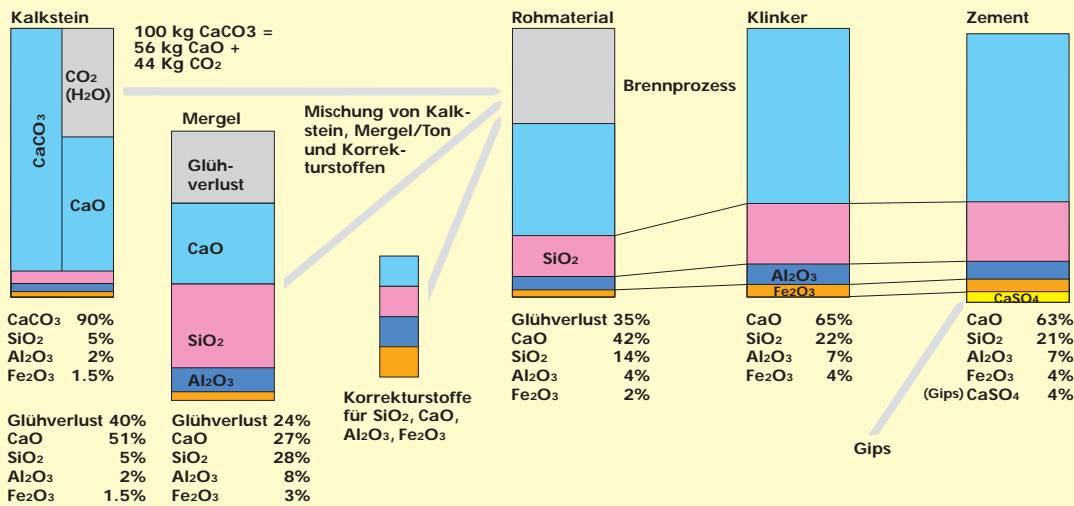


7.2



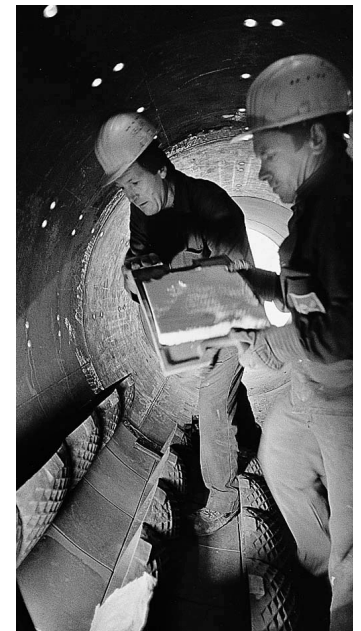
7.3

### Vom Kalkstein zum Zement – Änderung der chemischen Zusammensetzung



Die Differenz zu 100% erklärt sich aus weiteren Elementen wie Alkalien, Schwefel usw.

7.5



7.4

Abbildungen 7.1 und 7.2: Zementwerk Siggenthal ("HCB"). Im Vordergrund in der offenen Halle ist der lange Drehrohrföfen sichtbar. Die Rohmaterialmischung aus Kalk und Mergel wird über die Siloanlage von rechts dem Ofen aufgegeben (siehe auch Kapitel 7.1.3.2).

Abbildung 7.3: Zementföfen, Klinkermasse. Im Bild ist die rotglühende, zähflüssige Klinkermasse (Temperatur etwa 1450 °C) sichtbar, eine Sinterung mit flüssiger Phase, die aus dem Rohmehl entstanden ist (siehe Kapitel 7.1.1.2).

Abbildung 7.4: Zementföfen im Zementwerk Siggenthal ("HCB"). Ofenauskleidung mit Feuerfeststeinen (siehe auch Kapitel 4.2.4)

Abbildung 7.5: Zementherstellung: Variation der chemischen Zusammensetzung von Kalkstein, Rohmischung, Klinker und Zement.

## 7.1 ZEMENTINDUSTRIE

Unter den mineralischen Bindemitteln ist Zement sicher eines der wichtigsten, dessen Produktion, Handel und Anwendung in Bau- und Baustoffindustrie in der Schweiz grosse volkswirtschaftliche Bedeutung haben (1994 entfielen beispielsweise vom geschätzten Bruttoinlandprodukt von 357 Milliarden Franken etwa 54 Milliarden Franken auf die Bautätigkeit). Hergestellt werden in zehn schweizerischen Zementwerken vor allem Portlandzemente, untergeordnet auch spezielle Portlandzemente mit verbesserten chemisch-physikalischen Eigenschaften, beispielsweise mit erhöhter Beständigkeit gegenüber sulfathaltigem Wasser. Weitaus am wichtigsten ist die Verwendung des Zementes zur Herstellung von Beton, einem Gemisch aus Zement, Wasser, Kies und Sand. Für einen Kubikmeter Beton werden durchschnittlich 300 kg Zement, 150 kg Wasser und 2000 kg Kies als Zuschlag verwendet. Vom Beton unterscheidet man die Zementmörtel, die sich durch eine feinere Kornverteilung der Zuschlagstoffe (Beton mit kleinerem Grösstkorndurchmesser) auszeichnen. Für spezielle Anwendungen wie Verfüllungen und Injektionen werden auch Mikrozemente, das heisst extrem fein gemahlene Zemente verwendet.

### 7.1.1 PRODUKTE UND PRODUKTIONSVERFAHREN

#### 7.1.1.1 Definition und Mineralogie des Zementes

Als Zement (Pulver) wird ein feingemahlene, hydraulische Bindemittel anorganischer Zusammensetzung bezeichnet, welches mit Wasser angemacht Zementleim ergibt, der durch Hydratation erstarrt und erhärtet und nach dem Erhärten auch unter Wasser fest und raumbeständig bleibt. Zusammensetzung und Eigenschaften der Zemente werden in entsprechenden [Zementnormen](#) definiert ([SIA 215, Normen für mineralische Bindemittel](#)), welche gemeinsam von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA), dem Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein (SIA) und dem Verein Schweizerischer Zement-, Kalk- und Gips-Fabrikanten (VSZKGF) herausgegeben wurden\*.

Aus den natürlichen Rohstoffen Kalk und Mergel wird über einen Brennprozess *Klinker* hergestellt, welcher feingemahlen den Grundstoff des Zementes bildet. Die Bezeichnung «Klin-

ker» stammt aus dem letzten Jahrhundert, als man das Rohmehl noch zu Ziegeln und Rollkörpern presste und den damalen Schachttöfen in Schichten mit dem Brennstoff aufgab. Die hydraulischen Eigenschaften des Portlandzementes ergeben sich aus den mineralogischen Bestandteilen des Klinkers, die sich während des Brennprozesses bilden ([Tabelle 7.1](#)). Für die Festigkeitsentwicklung des Portlandzementes respektive des Endproduktes Beton (= Zement + Zuschlagstoff + Wasser) massgebend sind die dabei entstehenden Kalziumsilikatphasen Alit (Trikalziumsilikat;  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) und Belit (Dikalziumsilikat;  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), die etwa 75% der Klinkermineralien ausmachen. Daneben treten weitere Mineralphasen auf, wie Aluminat (Trikalziumaluminat,  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) und Ferrit (Tetrakalziumaluminatferrit;  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Diese ermöglichen beim Brennen die Bildung einer Flüssigphase, die für den Sinterungsprozess wichtig ist, die Festigkeitsentwicklung aber nur in der Anfangsphase beeinflusst.

Um eine günstige Mineralogie im Klinker zu erhalten, ist eine relativ enge chemische Zusammensetzung des Klinkers erforderlich, was wiederum eine relativ enge Auswahl der natürlichen Rohstoffe erfordert. Wie aus den [Tabellen 7.1](#) und [7.2](#) ersichtlich ist, sind es vor allem die vier Elemente (als Oxide ausgedrückt)  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , welche für

Tabelle 7.1: Mineralogische Zusammensetzung des Klinkers

Mineralphase	Mineralbezeichnung	Vereinfachte chemische Formel	Kurzschreibweise	Anteil
Trikalziumsilikat	Alit	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C <sub>3</sub> S	45–70%
Dikalziumsilikat	Belit	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C <sub>2</sub> S	15–25%
Trikalziumaluminat	Aluminat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C <sub>3</sub> A	3–12%
Tetrakalziumaluminatferrit	Ferrit	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C <sub>4</sub> AF	6–12%

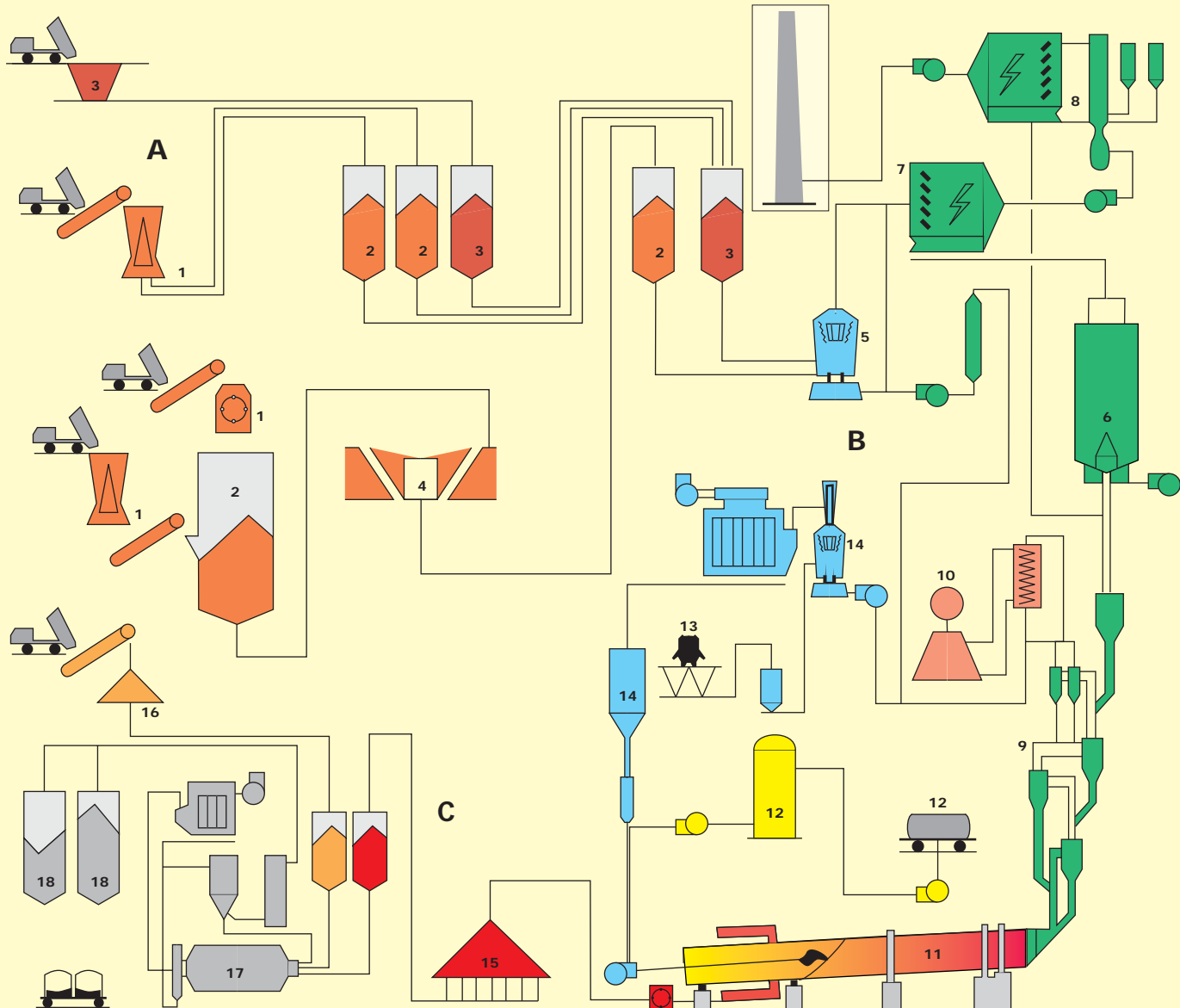
Tabelle 7.2: Typischer Bereich der Chemie des Klinkers

Elemente	Prozentualer Anteil in Klinker
$\text{SiO}_2$	18.0 – 25.0
$\text{Al}_2\text{O}_3$	4.0 – 8.0
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2.0 – 5.0
$\text{CaO}$	60.0 – 67.0
$\text{MgO}$	1.0 – 2.0
$\text{SO}_3$	0.3 – 1.2
$\text{K}_2\text{O}$	0.3 – 1.2
$\text{Na}_2\text{O}$	0.2 – 0.4
Cl	0.01 – 0.02
Glühverlust	0.3 – 0.5
Rest	0.05 – 1.0

\*Normen und Richtlinien sind über den Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein (SIA) erhältlich (Postfach, 8039 Zürich)



## Schema der Zementherstellung



### A Materialaufbereitung/-mischung

- 1 Brechanlagen
- 2 Rohmaterialsilos
- 3 Zuschlagstoffentlad/-silos
- 4 Mischbetthalle
- 5 Rohmehlmahlanlage
- 6 Mischkammersilo

### B Brennen

- 7 Elektrofilter
- 8 Rauchgasreinigung
- 9 Wärmetauscherturm
- 10 Wärmerückgewinnungsanlage
- 11 Drehofen
- 12 Ölentlad/Tanklager
- 13 Kohlentlad
- 14 Kohlenmahlanlage/-aufgabesilo

### C Lagern, Verpacken und Verladen

- 15 Klinkerlager
- 16 Rohgipsentlad/-lager
- 17 Zementmahanlage
- 18 Spedition/Zementsilos

7.6

Abbildung 7.6: Schema der Zementherstellung. Die einzelnen Fabrikationsstufen sind im Text ([Kapitel 7.1.1.2](#)) unter «Herstellungsprozess» erläutert.

die Klinkermineralogie bestimmend sind. Neben den für die Bildung der Klinkermineralien notwendigen Hauptelementen kommen durch die Rohstoffe und teilweise auch durch die Brennstoffe Nebenelemente wie Magnesium, Schwefel, Alkalien, Phosphor und Chlor in den Prozess. Diese können beim Übersteigen von gewissen Grenzwerten die Klinkerqualität (z.B. Magnesium, Phosphor) oder den Herstellungsprozess (z.B. Schwefel, Alkalien, Chlor) beeinträchtigen.

Die zulässigen Maximalgehalte an Nebenelementen sind teilweise durch die Normen limitiert. Zur Zeit werden in den europäischen Ländern die nationalen Normen durch eine einheitliche europäische Norm abgelöst (ENV 197). Neben reinen Portlandzementen sind in dieser Norm eine Vielfalt von Mischzementen definiert, die durch Zumengung von natürlichen Zumahlstoffen wie Puzzolan (vulkanische Asche), Kalkstein oder künstlichen Zumahlstoffen wie Flugasche, Hochofenschlacke entstehen.

Gemäss der bisherigen schweizerischen Norm SIA 215 wurden bis vor kurzem in der Schweiz vorwiegend reine Portlandzemente hergestellt. Diese wurden in die drei Hauptgruppen Portlandzement (PC), hochwertiger Portlandzement (HPC) und Portlandzement mit erhöhter Sulfatbeständigkeit (PCHS) unterteilt ([Tabelle 7.5](#)). Den Hauptanteil bildete mit etwa 95% der normale Portlandzement. Heute sind diese Bezeichnungen nicht mehr zulässig. In der europäischen Vornorm ENV 197-1, die als Norm SIA 215.002 seit 1994 in der Schweiz gültig ist, sind 150 verschiedene Mischzemente definiert. Diese theoretische Vielfalt reduziert sich in den meisten Ländern auf einige wenige produzierte Typen. Neu wird die Bezeichnung CEM für Zement stehen; beigelegt in römischen Ziffern und Grossbuchstaben sind die Zementart und mengenmässige Anteile wichtiger Bestandteile. Eine ebenfalls beigelegte Zahl bezeichnet die Festigkeitsklasse und die Festigkeitsentwicklung. Für die ganze Palette der Zementbezeichnungen sei auf Studer [1995] oder direkt auf die Norm SIA 215.002 verwiesen.

### 7.1.1.2 Herstellungsprozess

Die verschiedenen Produktionsstufen der Zementherstellung, von der Rohmaterialanlieferung über den Klinker-Brennprozess bis zur Mahl- und Abfüllanlage, sind in der [Abbildung 7.6](#) graphisch zusammengefasst und untenstehend summarisch erläutert.

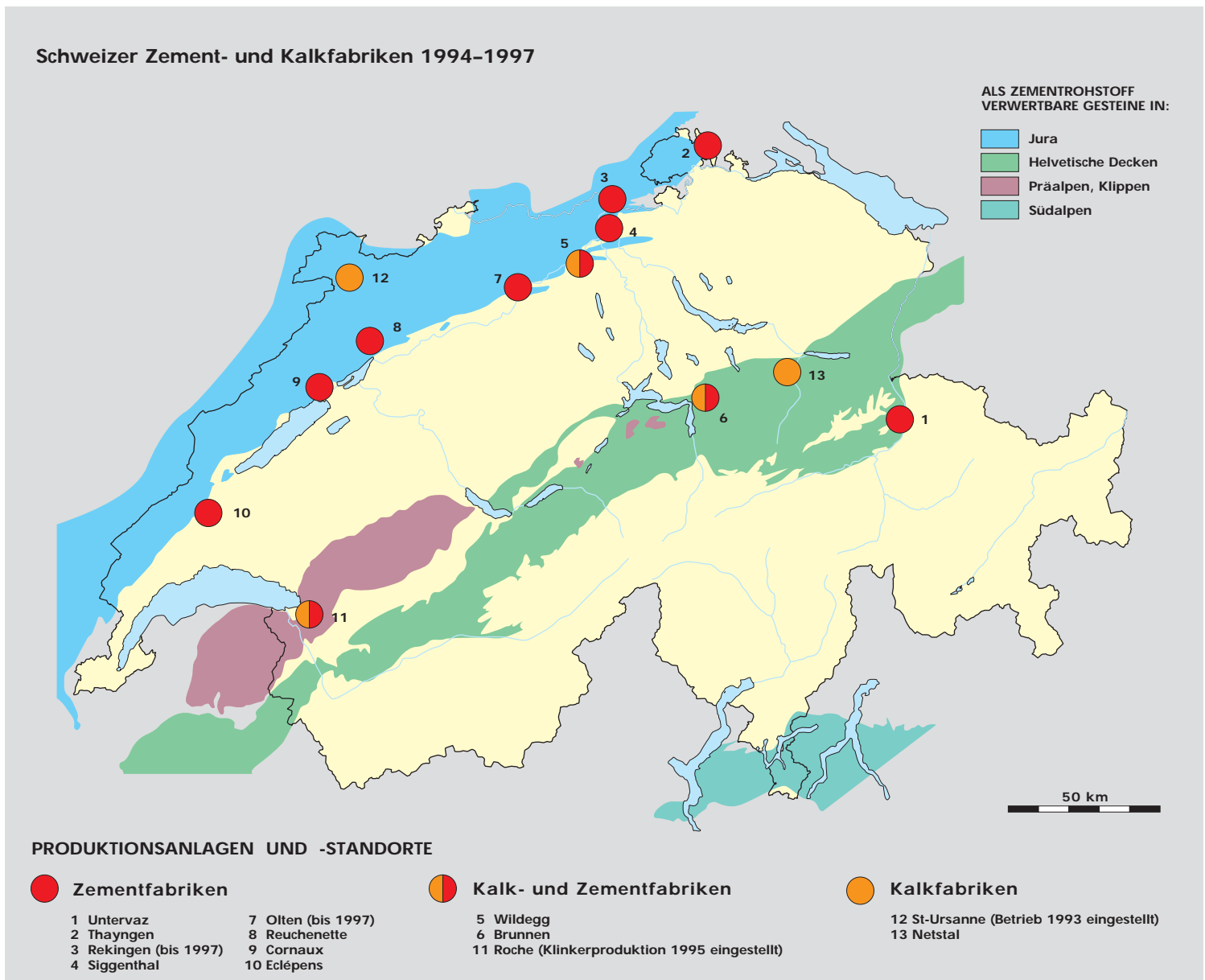
Die für die Zement- respektive Klinkerherstellung erforderlichen Rohgesteine (Kalk, Mergel oder Ton) werden im Steinbruch oder in der Grube gesprengt oder gerippt und im

Tabelle 7.3: Reaktionsabfolge beim Brennprozess

Prozessabschnitt	Temperaturstufe (°C)	Reaktion (Bezeichnung der Mineralphasen siehe <a href="#">Tabelle 7.1</a> )
Trocknen	100 100–300	Verdampfen des freien Wassers Abspalten des physikalisch gebundenen Wassers
	400–900	Austreiben des Kristallwassers (H <sub>2</sub> O- und OH-Gruppen) aus Tonmineralen
Kalzinierung	600–900	Entsäuerung des Kalksteins, d.h. Austreibung von CO <sub>2</sub> : (CaCO <sub>3</sub> → CaO + CO <sub>2</sub> )
	ab 800	Bildung von Klinkermineralen wie C <sub>2</sub> S, Aluminat, Ferrit und Zwischenprodukten
Sinterung	ab 1250	Bildung der Flüssigphase (Aluminat- und Ferritschmelze)
	ca. 1450	Bildung von C <sub>3</sub> S Vollständige Ausbildung von C <sub>3</sub> S und C <sub>2</sub> S
Kühlung	1300–1200	Kristallisation der Flüssigphase in C <sub>3</sub> A und C <sub>4</sub> AF

Brecher zerkleinert. Über ein Transportband werden die gebrochenen Rohstoffe einem Zwischenlager zugeführt, wo sie einzeln gelagert oder in einem Mischbett zusammen vorhomogenisiert werden. Beim Mischbett wird die chemische Zusammensetzung des Zwischenlagers durch kontinuierliche Probenahme und Analyse kontrolliert. Anschliessend werden die Rohmaterialkomponenten auf die Rohmehlmühle gegeben und feingemahlen. Die Rohmaterialien werden so proportioniert, dass konstante Mengenverhältnisse der Oxide von Kalzium, Silizium, Aluminium und Eisen erreicht werden. Im Bedarfsfall müssen diese Werte durch Beigabe von Korrekturstoffen (Quarzsand, Bauxit und Eisenerz; siehe [Kapitel 7.1.2.2](#)) herbeigeführt werden. Von der Mühle gelangt das Rohmehl in ein Homogenisiersilo, wo Qualitätsschwankungen ausgeglichen werden. Das homogenisierte Rohmehl wird anschliessend kontinuierlich einem dem Drehofen vorgeschalteten Vorwärmeturm zugegeben, in dessen Zyklonen es mit den heissen Ofenabgasen auf 800°C aufgeheizt und teilweise vorkalzinisiert wird (Beginn der Bildung von Klinkermineralen, siehe [Tabellen 7.1](#) und [7.3](#)). Nach dem Eintritt des Heissmehls in den Drehofen wird es beim Durchlauf kontinuierlich bis auf etwa 1450°C erhitzt und gebrannt, eine Sinterung mit Flüssigphase entsteht. Bedingt durch die Drehbewegung des Ofens bilden sich rundliche bis baumnussgrosse Körper, sogenannte Granalien, welche als Portlandzementklinker bezeichnet werden. Die bei der Klinkerherstellung





7.7

ablaufenden chemisch-physikalischen Reaktionen sind in der [Tabelle 7.3](#) zusammengefasst. Nach dem Ofenaustritt wird der Klinker gekühlt und zwischengelagert. Zur Herstellung des Zementes wird er anschliessend zusammen mit 3–5% Gips (als Abbinderegler) sowie gegebenenfalls mit weiteren Zumahlstoffen in der Zementmühle fein vermahlen und in Silos gelagert (siehe auch [Kapitel 8.1.5.3](#)).

Als Hauptbrennstoff für die Klinkerherstellung wird in der Schweiz Kohle verwendet. Diese wird in zunehmendem Masse durch alternative Abfallbrennstoffe wie Altholz, Trockenklärschlamm, Altreifen und Abfälle aus Industrie und Gewerbe substituiert. Verschiedene solche Anlagen stehen in Betrieb

(Rekingen; Altholz, Siggenthal; getrockneter Klärschlamm). Neben der Hauptfeuerung am Ofenende wird häufig zusätzlich eine Zweitfeuerung am Ofeneinlauf eingesetzt.

Die Klinkerherstellung erfolgte früher hauptsächlich im *Nassverfahren*, bei dem die Rohmaterialien zu einem Rohschlamm mit etwa 30% Wassergehalt aufbereitet wurden. Dadurch konnten die Rohmaterialien besser homogenisiert werden. Anschliessend musste der Rohschlamm jedoch mit hohem Energieaufwand getrocknet und gebrannt werden (5000–6000 kJ pro kg Klinker). Später haben sich die sogenannten *Halbnass-* und *Halbtrockenverfahren* durchgesetzt, Ver-

**Abbildung 7.7:** Standorte schweizerischen Zementfabriken sowie der beiden Kalkfabriken Netstal GL und St-Ursanne JU (die Kalkfabrik St-Ursanne hat 1993 die Produktion eingestellt). In der Schweiz sind zur Zeit (1997) 10 Zementfabriken in

Betrieb, die zusammen eine Jahreskapazität von gut vier Millionen Tonnen Zement aufweisen (vgl. dazu auch [Tabelle 7.6](#) und [7.7](#)).

Jahr	Öfen in Betrieb						
	Schachtofen	Drehöfen					Total Öfen
		Nassöfen	Lange Trockenöfen	Halbtrocken- öfen (Lepol)	Wärmetauscher- öfen	Wärmetauscheröfen mit Vorkalzinerung	
1965	11	12	1	13	3	—	40
1970	1	8	3	12	4	—	27
1975	—	1	2	6	6	—	15
1985	—	—	1	4	6	—	11
1992	—	—	—	3	8	—	11
1993	—	—	—	3	8	—	11
1994	—	—	—	3	8	—	11
1995	—	—	—	2	8	—	10

Zement-Typ	Besondere Eigenschaften	Feinheit (cm <sup>2</sup> /g; blain)	Mörtel-Festigkeit N/mm <sup>2</sup>	
			nach 7 Tagen	nach 28 Tagen
PC normaler Portlandzement	—	2800–3400	20	50–70
HPC hochwertiger Portlandzement	grössere Feinheit, höhere Hydratationsgeschwindigkeit	3500–4100	35	>65
PCHS Portlandzement mit erhöhter Sulfatbeständigkeit (Sulfacem, Sulfix)	erhöhte Sulfatbeständigkeit (z.B. gegen gipsführende Wässer), niedriger C <sub>3</sub> A-Gehalt	3000–3500	20	50–70

fahren, bei denen dem Rohschlamm für die Ofenaufgabe entweder mittels Filterpressen Wasser entzogen wird (bis auf etwa 17–22% Wassergehalt) oder wo nach der Trockenaufbereitung das Rohmehl zur besseren Granulierbarkeit angefeuchtet wird (bis auf 10–15% Wassergehalt). Mit diesen Verfahren liess sich der Energieaufwand beträchtlich senken (3000–5000 kJ pro kg Klinker). Dank immer besserer Techniken zur trockenen Mischung des Rohmehls setzte sich schliesslich das sogenannte *Trockenverfahren* durch. Heute wird in der Schweiz Klinker, respektive Zement, überwiegend nach diesem Verfahren hergestellt. Dabei werden die angefeuchteten Granalien oder direkt das Trockenmehl dem Brennprozess zugeführt. An die Stelle langer Nassöfen traten dadurch kürzere Drehöfen mit vorgeschalteten Wärmetauschern (Lepolroste/Wanderroste oder Schwebegaszyklonen). Dem verkürzten Lepolofen werden feuchte Rohmehlgranalien aufgegeben, bei den Wärmetauscheröfen erfolgt die Vorwärmung und teilweise Kalzinierung des Rohmehls ausserhalb des eigentlichen Ofenrohres in Steigleitungen und Zyklonen. Die Verwendung der verschiedenen Ofentypen in der schweizerischen Zementindustrie während der letzten 30 Jahren ist in [Tabelle 7.4](#) wiedergegeben.

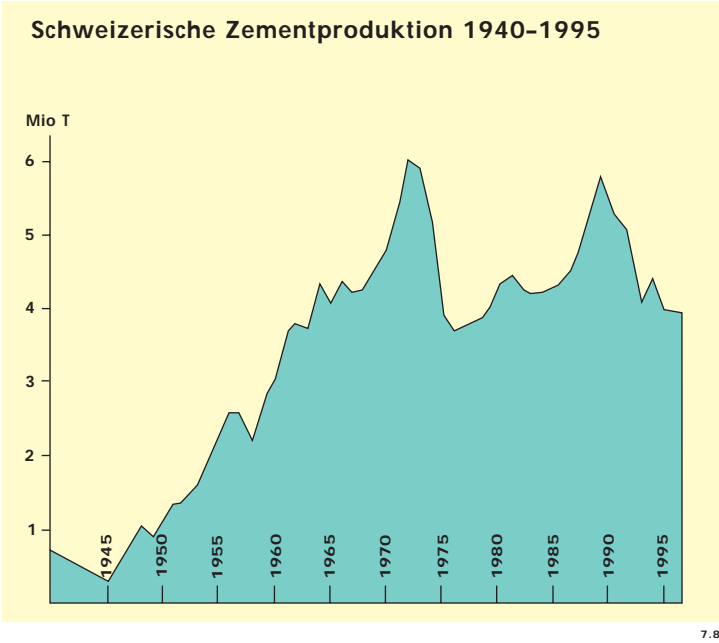
### 7.1.1.3 Zementproduktion in der Schweiz

Portlandklinker und -zement wurden 1994 in der Schweiz in 11 Fabriken hergestellt; deren Standorte sind in der [Abbildung 7.7](#) zusammengetragen. Die heute produzierenden Werke werden im [Kapitel 7.1.3.2](#) genauer beschrieben. Folgende Zementfabriken stellten in den letzten 20 Jahren den Betrieb ein:

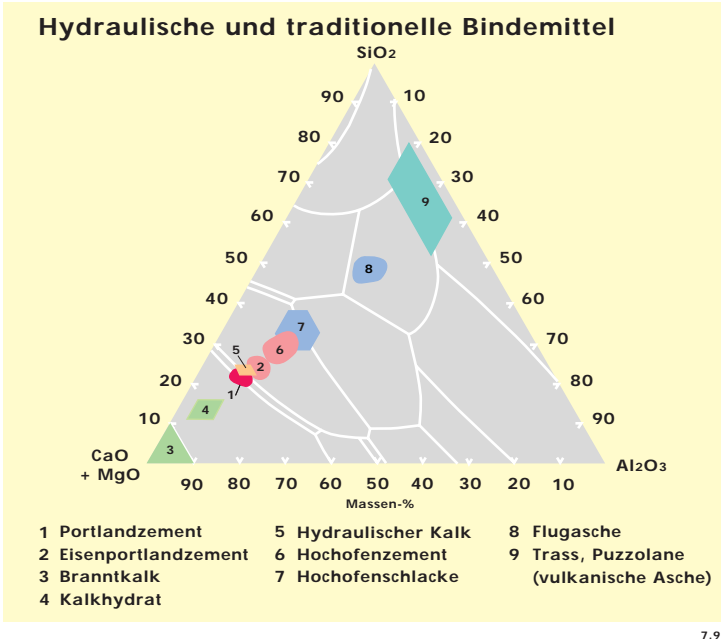
Società Anonima Cementi Saceba (Morbio Inferiore), Wilhelm Brodtbeck AG (Lausen), Cementwerke Därligen AG (Därligen), Cementfabrik Holderbank-Wildeggen AG (Holderbank), Portlandcementfabrik Laufen (Liesberg), Fabrique de Ciment Portland S.A. (Vernier), Société des Ciments Portland de St-Maurice S.A. (St-Maurice), Cement- und Kalkfabrik Unterterzen AG (Unterterzen), Société des Chaux et Ciments de la Suisse Romande (Vouvry) und die Portlandcementfabrik Laufen (Münchenstein).

*Produktionsmengen:* 1994 wurden in den 11 Zementwerken rund 4.4 Millionen Tonnen Klinker und Zement hergestellt. Seit dem Zweiten Weltkrieg stieg die Produktion von damals etwa 300'000 Tonnen bis 1972 ständig an bis etwa 5.9 Millionen Tonnen. Als konjunkturabhängiger Baugrundstoff brach im Zusammenhang mit der Ölkrise der Zementabsatz in den Jahren 1974 bis 1976 auf etwa 3.6 Millionen Tonnen pro Jahr ein, um sich in der Folge bis 1989 wieder auf 5.5 Millionen Tonnen pro Jahr zu erholen. Die dann einsetzende Rezession spiegelt sich deutlich in den abnehmenden Produktionszahlen. In [Abbildung 7.8](#) ist die Produktionskurve für den Zeitraum 1940 bis 1995 dargestellt. Die Klinkerkapazitäten und der Klinkerverkauf der einzelnen Fabriken für die Periode 1987 bis 1995 sind in den [Tabellen 7.6](#) und [7.7](#) aufgeführt. Nur geringe Mengen der schweizerischen Zementproduktion werden ins Ausland exportiert. 1989 waren es 21'000 Tonnen, 1990 23'000 Tonnen. Je nach Konjunktur werden jedoch bis zu 10% des nationalen Bedarfes importiert (1989 waren es 538'000 Tonnen, 1990 468'000 Tonnen). Die Verteilung des Zementes erfolgt etwa zur Hälfte mit der Bahn.





7.8



7.9

Tabelle 7.6: Schweizerische Zementfabriken; Klinkerkapazitäten (1992)

Fabrikstandort Werk	Gesellschaft*	Klinkerkapazität (t/J)	in Betrieb seit	Nr. in Abb. 7.7
Untervaz	BCU	800'000	1958	1
Thayngen	PCWT	250'000	1910	2
Rekingen	HCB	700'000	1975	3
Siggenthal	HCB	600'000	1913	4
Wildegg	JCF	600'000	1891	5
Brunnen	HCB	170'000	1895	6
Olten	PCO	375'000	1928	7
Reuchenette	Vigier	710'000	1891	8
Cornaux	Juracime (JCF)	275'000	1966	9
Eclépens	HCB	500'000	1953	10
Roche (vor 1995)	HCB	150'000	1897	11
Total		5'130'000		

\* BCU = Beton und Cementwerke Untervaz; PCWT = Portland Cementwerke Thayngen; HCB = Holderbank Cement und Beton; JCF = Jura Cementfabriken; PCO = Portlandcementwerk Olten

Tabelle 7.7: Zement- und Klinkerverkauf der klinkerproduzierenden Zementwerke der Schweiz 1987–1995

Werk	Zement- und Klinkerverkauf (in 1000 t/Jahr)								
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Untervaz	661	733	806	800	667	632	554	637	543
Thayngen	226	242	161	266	238	247	196	229	219
Rekingen	691	683	763	756	636	602	579	672	576
Siggenthal	562	644	683	621	576	520	585	537	467
Wildegg	419	489	546	514	466	425	412	441	409
Brunnen	158	155	169	186	156	138	163	177	145
Olten	331	367	390	356	324	282	256	298	234
Reuchenette	511	541	603	563	532	466	429	478	486
Cornaux	255	270	306	270	241	222	189	212	198
Eclépens	512	530	563	520	524	450	421	480	478
Roche	152	166	197	189	169	158	166	134	170
Total	4478	4965	5461	5208	4519	4142	3950	4295	3925

Abbildung 7.8: Die schweizerische Zementproduktion in den Jahren 1940–1995. Seit dem zweiten Weltkrieg stieg die Produktion der Schweizerischen Zementwerke von 300'000 Tonnen auf maximal 5.9 Millionen Tonnen im Jahr 1972 und betrug

1995 rund 4 Millionen Tonnen. Die Zahlen für die Zementproduktion in der Abbildung differieren von den Werten in [Tabelle 7.7](#), weil es auch Mahlwerke (Brodbeck, Saceba, Roche) gibt, die ihren Klinker von anderen Werken beziehen.

Abbildung 7.9: Darstellung der gebräuchlichsten hydraulischen und traditionellen Bindemittel im Dreieck  $\text{CaO}(\text{MgO})\text{--SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3$ . Hochofenschlacke und Flugasche sind Abfallprodukte aus der Schwerindustrie (Stahlherstellung) respektive von

thermischen Kohlekraftwerken. Sie werden heute, vor allem im Ausland, vermehrt für die Zementproduktion eingesetzt.

## 7.1.2 ROHSTOFFE DER ZEMENTINDUSTRIE

### 7.1.2.1 Anforderungen an die Rohmischung

In einer Zementroh Mischung müssen die vier Hauptoxide von Kalzium, Silizium, Aluminium und Eisen ( $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) in einem Verhältnis von etwa 9 : 3 : 1 : 0.5 vorhanden sein (Tabelle 7.2). Selten liefert die Natur jedoch ein Gestein, das diese Oxide gerade im erwünschten Verhältnis aufweist und welches wirtschaftlich in grossen Mengen abbaubar ist (zum Beispiel die Zementsteinschichten im Grenzbereich Jura/Kreide). Im Normalfall besteht eine Rohmischung deshalb aus einer Kombination von einer kalkreichen Komponente als Lieferant von Kalzium (in Form von  $\text{CaCO}_3$ ), einer tonigen Komponente als Lieferant von Silizium, Aluminium und Eisen (in Form von  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) sowie eventuell notwendigen Korrekturstoffen, um bestimmte unterdotierte Oxide zu ergänzen.

Der Anteil dieser Komponenten in einer Rohmischung hängt von ihrem Gehalt an entsprechenden Hauptelementen ab. Liegen als Rohstoffe hochprozentiger Kalkstein und reiner Ton vor, so beträgt das Mischungsverhältnis etwa drei Teile Kalkstein und ein Teil Ton. In der Natur treten aber sämtliche Mischstufen zwischen reinem Kalkstein und reinem Ton auf. Dies hat für die Herstellung einer Rohmischung insofern Vorteile, als die natürlichen Sedimente (mergeliger Kalkstein und Mergel), den reineren Gesteinstypen (hochprozentiger Kalkstein und Ton) vorzuziehen sind, da sie bereits ein natürlich vorhomogenisiertes Mineralgemisch darstellen und dadurch leichter aufbereitbar und brennbar sind.

In einer Rohmischung muss ein bestimmter Kalziumkarbonatgehalt (75–78%) erreicht werden. Die Gleichmässigkeit der Rohmischungen wird meist mit Hilfe der Röntgenspektralanalyse automatisch überwacht und zwar in bezug auf Hauptelemente durch bestimmte Verhältniszahlen der einzelnen Elemente zueinander. Die Definition dieser sogenannten Module und die typischen Wertbereiche für Rohmehl (und Klinker) sind in der Tabelle 7.8 aufgeführt. Nebenelemente wie Magnesium ( $\text{MgO}$ ), Sulfat ( $\text{SO}_3$ ), Alkalien und Chlor ( $\text{Cl}$ ) haben beim Übersteigen von Grenzwerten einen negativen Einfluss auf den Prozess und die Produktequalität und sind relevant in bezug auf Umweltvorschriften (z.B. Schwefel-Emissionen;  $\text{SO}_2$ ). Wenn Nebenelemente wie Schwefel, Alkalien und Chlor in zu hohen Konzentrationen vorhanden sind, werden im Herstellungsprozess – sofern keine geeigneteren Rohstoffe zur Verfügung stehen – oft kostspielige technische Massnahmen

Tabelle 7.8: Wichtige Verhältniszahlen bei der Zementherstellung

Benennung	Verhältnis	Notwendige Grössenordnung
Silikatmodul	$\frac{\% \text{SiO}_2}{\% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3}$	2.2 – 2.8
Tonerdemodul	$\frac{\% \text{Al}_2\text{O}_3}{\% \text{Fe}_2\text{O}_3}$	1.3 – 2.2
Kalksättigung	$\frac{100 \text{ CaO}}{2.8 \text{ SiO}_2 + 1.18 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0.65 \text{ Fe}_2\text{O}_3}$	93 – 98

Tabelle 7.9: Prozentuale Elementgehalte in der Rohmischung

$\text{SiO}_2$	13.6 – 15.1
$\text{Al}_2\text{O}_3$	2.9 – 4.1
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1.1 – 2.1
$\text{CaO}$	42.0 – 42.7
$\text{MgO}$	0.7 – 1.6
$\text{SO}_3$	0.1 – 1.0
$\text{K}_2\text{O}$	0.6 – 0.8
$\text{Na}_2\text{O}$	0.04 – 0.18
$\text{TiO}_2$	0.15 – 0.20
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.05 – 0.10
$\text{Cl}$	0.01 – 0.02
Glühverlust	35.0 – 36.0
Kalksättigung (KS)	86 – 99
Silikatmodul (SM)	2.3 – 3.3
Tonerdemodul (TM)	1.3 – 2.6

wie Gasbypass oder Gasreinigung notwendig, um die unerwünschten Elemente abzuziehen oder zu absorbieren. Auch andere, mit den Brennstoffen eingetragene Stoffe sind bei der Rohmischungsberechnung zu berücksichtigen, beispielsweise die Menge und die chemische Zusammensetzung der Kohlenasche, der Schwefelgehalt der Brennstoffe und weitere Parameter. Tabelle 7.9 zeigt einige typische Wertebereiche von Elementgehalten in einer Rohmischung.

### 7.1.2.2 Anforderungen an die Rohstoffe

Die in der Natur vorkommenden Mischstufen zwischen reinem Kalkstein und reinem Ton werden je nach ihrem Kalk- respektive Tongehalt, wie in Tabelle 7.10 dargestellt, unterteilt. Es stellen sich dabei verschiedene Anforderungen an die kalkige und an die tonige Hauptkomponente.

*Anforderungen an die kalkige Hauptkomponente:* Als kalkige Hauptkomponente kommen all jene sedimentären (z.B. Kalkstein, mergeliger Kalkstein), metamorphen (z.B. Marmor) oder



vulkanischen (z.B. Karbonatit) Gesteine in Frage, die einen Kalziumkarbonatgehalt ( $\text{CaCO}_3$ ) von über 78% aufweisen. In der Schweiz sind dies ausschliesslich Sedimentgesteine verschiedenster geologischer Formationen (siehe [Kapitel 7.1.3](#)). Mineralogisch bildet Kalzit den Hauptbestandteil des Gesteins.

Meist ist der Gehalt an störenden Nebenelementen im Kalkstein gering. Aus qualitativen Gründen ist im Zement der maximal zulässige Magnesium-Gehalt ( $\text{MgO}$ ) in der kalkigen Komponente je nach Anteil in der Rohmischung auf 3 bis 4% beschränkt. Ein weiteres Kriterium für die Verwendbarkeit eines Kalksteins ist aus Aufbereitungs- und Prozessgründen die Art des Siliziumgehaltes. So sind beispielsweise Silexknollen und grobkörniger Quarz unerwünscht. Der abzubauen Kalkstein sollte bei der Verwendung im Trockenprozess eine möglichst geringe Bergfeuchte aufweisen. Dichte Kalksteine sind deshalb kreidigen und porösen Kalksteinen vorzuziehen.

*Anforderungen an die tonige Hauptkomponente:* Die tonige oder silikatische Komponente hat die notwendigen Anteile an Silizium, Aluminium und Eisen in die Rohmischung einzubringen. Als Rohmaterialien kommen Gesteine aus dem sedimentären (Tone, Mergel), metamorphen (Schiefer, Amphibolite) und vulkanischen (Tuffe) Bereich in Frage. In der Schweiz werden Tone, Mergel und Schiefer verwendet.

Bei der Beurteilung von tonigen Gesteinen auf ihre Eignung als Zementrohstoffe ist der Gehalt an eventuell prozessrelevanten Nebenelementen wie Schwefel, Alkalien und Chlor ein entscheidendes Kriterium. Die mineralogische Zusammensetzung der tonigen Komponente hat einen grossen Einfluss auf das Reaktionsverhalten der Rohmischung im Ofen, abhängig vor allem von der Kristallinität der Silizium- und Aluminiumträger (z.B. Feldspäte, Tonminerale). Der Kalziumkarbonatgehalt kann zwischen 0% und 75% schwanken, je nachdem, ob es sich bei der tonigen Komponente um einen reinen Ton oder um einen kalkigen Mergel handelt. Die nicht-karbonatischen Minerale der tonigen Komponenten sind vor allem Quarz, Tonminerale (Montmorillonit, Illit, z.T. Kaolinit, Palygorskit oder Vermiculit), Glimmer, Feldspäte, Limonit und Goethit.

Bezüglich der physikalischen Eigenschaften von tonigen Komponenten sind für die Abbau- und Aufbereitungsprozesse vor allem die Bergfeuchte, das Wasseraufnahmevermögen und die Plastizität, resp. Klebrigkeit von Bedeutung. Unterschiede entstehen hauptsächlich auf Grund der Eigenschaften der verschiedenen Tonminerale ([Tabelle 7.11](#)). Je geringer die

**Tabelle 7.10: Klassifikation kalkig-toniger Sedimentgesteine**

Kalk-Gehalt (%)	Bezeichnung	Ton-Gehalt (%)
95 – 100	hochprozentiger Kalkstein	0 – 5
85 – 95	Kalkstein	5 – 15
75 – 85	mergeliger Kalkstein	15 – 25
60 – 75	kalkiger Mergel	25 – 40
40 – 60	Mergel	40 – 60
25 – 40	toniger Mergel	60 – 75
15 – 25	mergeliger Ton	75 – 85
0 – 15	Ton	85 – 100

**Tabelle 7.11: Physikalische Eigenschaften von Tonmineralien**

Tonmineral	Kristallinität	Wasseraufnahmefähigkeit, Klebrigkeit
Illit	gut	niedrig
Kaolinit	gut	niedrig
Kaolinit	schlecht	hoch
Illit	schlecht	hoch
Montmorillonit	schlecht	hoch

Kristallinität ist, um so grösser ist die Wasseraufnahmefähigkeit und damit auch das Klebrigkeitspotential.

*Korrekturstoffe:* Ist die chemisch erforderliche Zusammensetzung einer Rohmischung durch das Mischen einer kalkigen und tonigen Komponente nicht möglich, so müssen die untervertretenen Hauptelemente mit der Zugabe von Korrekturstoffen auf die erforderlichen Werte gebracht werden. Da Korrekturstoffe oft von weit her transportiert oder sogar importiert werden müssen, ist eine hohe Konzentration des erforderlichen Oxids anzustreben. Üblicherweise werden folgende Korrekturstoffe verwendet: hochprozentiger Kalkstein für  $\text{CaO}$ , Quarzsand oder Sandstein für  $\text{SiO}_2$ , Bauxit für  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und Eisenerz/Pyritabbau für  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

### 7.1.3 SCHWEIZERISCHE ZEMENTINDUSTRIE

#### 7.1.3.1 Geologische Voraussetzungen

Vom geologischen Standpunkt aus ist die Schweiz reich an Zementrohstoffen ([Abbildung 7.7](#)). Der ganze Jurabogen zwischen Genf und Schaffhausen, die nördlichen Voralpen sowie in untergeordnetem Masse auch die Südalpen beinhalten mögliche Zementrohstoffe wie Kalksteine, Tone und Mergel. Im Mittelland bieten sich die Molassemergel als tonige Komponente an. Infrastruktur, Marktgegebenheiten und Umweltschutzaspekte schränken den Abbau dieser Rohstoffe jedoch stark ein.

**Jura:** Im Bereich des Jura bieten sich die Dogger- und Malmkalke (Jura) sowie im Westen die Kalksteine der unteren Kreide als potentielle Zementrohstoffe an. Tonig-mergelige Serien sind im Keuper (Trias), in Dogger und Malm (Jura) und im Tertiär (vor allem in der im Süden angrenzenden Molasse) vorhanden.

Das Tertiär des Tafel- und Plateaujuras sowie des südlich angrenzenden Mittellandes beinhaltet in gewissen Abschnitten des Oligozäns und Miozäns Mergel und tonige Mergel, beispielsweise in der Unteren Süßwassermolasse, in der Oberen Meeresmolasse (Helicidenmergel im Jura) und in der Oberen Süßwassermolasse.

Kreidesedimente treten nur im westlichen Jura, etwa ab Biel, auf. Als mögliche Kalksteinkomponenten sind die «Urgonkalke» (Aptien, Barremien), die «Pierre jaune de Neuchâtel» (Hauterivien) und die Valanginienkalke zu nennen. Als tonige Komponenten kommen die Mergel des Hauterivien und des Valanginien in Frage.

Das grösste Zementrohstoffpotential bilden Malm- und Doggerschichten. Die Malm-Sedimente sind je nach Faziesraum lithologisch unterschiedlich aufgebaut. Im westlichen Teil des Jura, im Bereich der sogenannten keltischen Fazies, existierte in der Jurazeit eine Karbonatplattform, währenddessen im östlichen Teil, der schwäbisch-argovischen Fazies, ein tieferes Meeresbecken vorlag, wo neben kalkigen Ablagerungen vermehrt mergelige Sedimente akkumuliert wurden. Der östliche Teil der Karbonatplattform – die Grenze zwischen diesen beiden Faziesbereichen – verschob sich mit seinem Korallengürtel im Laufe des Malm von Solothurn immer weiter nach Osten bis etwa ins Gebiet zwischen Olten und Aarau.

Als kalkige Zementrohstoffe kommen vor allem folgende Schichten in Frage:

- im keltischen Faziesbereich: Kalksteine des Portlandien und des Kimmeridgien. Im Oxfordien ist die Schichtsequenz nur teilweise kalkig (Verenaschichten des oberen Oxfordien; Vorbourg-Kalke und St-Ursanne-Formation des mittleren Oxfordien);
- im schwäbisch-argovischen Faziesbereich: Sedimente des Portlandien (nur im Randengebiet; Plattenkalke). Der Kimmeridgien-Stufe entsprechen im westlichen Teil die Kalksteine der Wettinger- und Badenerschichten, im östlichen Abschnitt die Massen- und Quaderkalke. Aus den oberen und mittleren Oxfordien sind die Villiger- und Wildeggerformationen im westlichen Teil kalkig ausgebildet (Letzi-, Wangener-, Crenularis-, Geissberg- und Birnenstorfer-schichten), während im Osten neben den «wohlgeschichte-

ten Kalken» hauptsächlich Mergel und Mergelkalke am Schichtaufbau beteiligt sind.

Als potentielle tonig-mergelige Zementrohstoffe bieten sich folgende Einheiten an:

- im keltischen Faziesbereich: Humeralisschichten des oberen Oxfordien, Natica- und Liesberg-Schichten des mittleren Oxfordien sowie die «Terrains à chailles» und die Renggeri-Tone des unteren Oxfordien;
- im schwäbisch-argovischen Faziesbereich: Effingerschichten des mittleren Oxfordien (und Impressa-Mergel im Randengebiet als Äquivalent) sowie Schwarzbach- und Hornbuck-Schichten hauptsächlich des oberen Oxfordien im östlichen Gebiet des Schweizer Juras.

Im Dogger kommen als Kalksteinlieferanten im Westen die Dalle nacrée des Callovien und im Gebiet westlich des Aareknicks bei Wildeggen der Hauptrogenstein des Bajocien in Frage. Als tonig-mergelige Materialien sind im Westen die Ornatentone (Callovien), im Osten die Württembergica-, Parkinsoni- und Garantiana-Schichten des oberen Bajocien/Bathonien (mergelig ausgebildetes Äquivalent des Hauptrogensteins) zu erwähnen. Lokal verwendbar sind auch Schichten des unteren Bajocien und oberen Aalenien (Blagdeni-, Sauzei-, Sowerbi- und Murchisonae-Schichten), also die Mergel und sandigen Mergel des unteren Dogger. Ein wichtiger Tonlieferant ist der Opalinuston des unteren Aalenien.

Die Gesteinsschichten des Lias (unterer Jura) sowie die Gesteine der Trias-Formationen sind in bezug auf Zementrohstoffe unbedeutend.

**Mittelland:** Im Bereich der mittelländischen Molasse treten keine oder dann nur geringmächtige Kalksteinlagen auf. Die Verwendung von Molassemergeln als potentielle Zementrohstoffe kommt nur im Grenzgebiet zum Jura oder zu den nördlichen Kalkalpen in Frage.

**Alpen:** Die helvetischen Decken zwischen Rhone im Westen und Rhein im Osten ([Abbildung 7.7](#)) enthalten vor allem in Jura- und Kreideformationen verschiedene kalkige und auch tonig-mergelige Gesteinseinheiten. Die Kreide weist das grösste Potential an Zementrohstoffen auf. An Kalksteinen sind unter anderem die Wang-Formation (Maastrichtien), der Leimernkalkstein (Turonien-Santonien), die Seewerkalke (Turonien-Coniacien), der Schratzenkalk (Barremien-Aptien), und die Valendiskalke (Öhrlikalk) zu erwähnen. Als potentielle tonig-mergelige Zementrohstoffe kommen kalkreiche Mer-





7.10

gel des Tertiär, die Amdenermergel (Santonien–Campanien), Drusbergschichten (Barremien), Valendismergel (Valanginien) und die Öhrlimergel (Berriasien) in Frage. Auch die Juraabteilung weist einige Möglichkeiten auf, wie beispielsweise die Zementsteinschichten des obersten Malms, Kalksteine des Quintnerkalkes (Kimmeridgien–Portlandien, Malm) oder die Echinodermenkalke des Dogger. Als tonig-mergelige Komponente kommen die Mergel des obersten Doggers und des unteren Malms (Schiltschichten) in Frage, ebenso die Opalinusschiefer des Doggers und die Aalenischiefer des Lias. Von geringer Bedeutung sind die Quartenschiefer (Trias) und die Tonschiefer des Perms.

Die präalpinen Decken zwischen Rhone und Rhein ([Abbildung 7.7](#)) sowie die Klippendecke der Zentralschweiz weisen vor allem im Malm, untergeordnet auch in der Unterkreide und in der mittleren Trias, grössere Kalksteinvorkommen auf. Tonig-mergelige Sedimente kommen im Dogger und im Lias sowie in der oberen Kreide vor (z.B. Couches Rouges).

Die sedimentären Einheiten der Südalpen treten auf Schweizer Gebiet hauptsächlich südlich des Luganersees auf. Als Zementrohstoffe sind verschiedene Kalksteine zu betrachten, so der Ammonitico Rosso (Lias/Dogger) sowie die Majolica (Malm/Kreide) und eventuell die Meridekalke (Trias). Die Scaglia der Oberkreide besteht aus Mergeln und Mergelkalken. Weiteres toniges Material liefert das Tertiär.

Innerhalb der penninischen Decken können der Flysch und Teile der Bündnerschiefer tonig-mergeliges Material enthalten.

**Abbildung 7.10:** Steinbruch Fenza, Untervaz. In der oberen Bildmitte links ist ein Teil der Fabrikationsanlagen des Zementwerkes Untervaz zu sehen.



### 7.1.3.2 Beschreibung der einzelnen Zementwerke

#### Untervaz

Die Bündner Cementwerke AG Untervaz (BCU) wurden 1958 in Betrieb genommen. Das Werk am linken Rheinufer, etwa 6 Kilometer nördlich von Chur, verfügt über moderne, weitgehend automatisierte Anlagen. Es ist sowohl mit dem Schienennetz der SBB und der Rhätischen Bahn wie auch mit der Nationalstrasse A13 gut erschlossen. Kalk, Mergel und Sandstein werden im Steinbruch *Fenza*, etwa 500 Meter nordwestlich der Fabrik, durch Sprengen abgebaut ([Abbildung 7.10](#)). Tektonisch gesehen liegt die Abbaustelle in der autochthonen bis parautochthonen Sedimentserie, welche das kristalline Aarmassiv überdeckt (der nächstliegende Kristallinaufschluss ist das «Fenster von Vättis»). Generell streichen die Schichten von Nordosten nach Südwesten und fallen mit 50 bis 70° gegen Südosten ein. Durch die alpine Gebirgsbildung wurden die Gesteine zum Teil verschiefert. Dadurch wurde das ursprüngliche Gefüge und der Fossilgehalt zerstört und der ursprüngliche Mineralbestand umkristallisiert. Die abgebauten Gesteine gehören, geologisch gesehen, zwischen die Unter- und Oberkreide (Barremien, Albien, Cenomanien und Turonien). Wegen der starken tektonischen Beanspruchung, Verschuppung und Verfaltung der Gesteine ist die in anderen Regionen mögliche Unterteilung in *Seewerkalke*, *Seewerschiefer*, *Gault*, *Schrattenkalk*, *Drusbergschichten* hier nur bedingt oder kaum durchführbar. In der Praxis wird deshalb auf stratigraphische Unterscheidungskriterien verzichtet und mit petrographischen und chemischen Gesteinsbezeichnungen gearbeitet – *Kalkstein*, *Mergelstein*, *Tonstein*, *Sandstein*. Aufgrund der regionalen Geologie sind die Kalksteine entweder dem Seewerkalk oder dem Schrattenkalk, die Sandsteine eindeutig dem Gault zuzuordnen. Die Tonsteine könnten sowohl Teile des Gault als auch Seewerschiefer sein, währenddessen der Mergelstein den Seewerschiefen oder den Drusbergschichten zuzuordnen wäre.

Von der Textur her zeigt sich der *Kalkstein* dicht, massig, bankig bis grobbankig. Er ist mittelhart, hell- bis dunkelgrau, teilweise spätig und oft mit etwas Pyrit durchsetzt. Der *Mergelstein* ist dicht, zum Teil auch spätig ausgebildet, bankig bis plattig und mittelhart. Seine Farbe ist hell- bis dunkelgrau, oft durchzogen mit weissen Kalzitäderchen. Pyrit kann teilweise in Nestern angereichert sein. Der *Tonstein* besteht aus einer Wechsellagerung von Tonschiefen mit Kalzitlagen. Die feinfilzige Grundmasse der Tonschiefer besteht aus Quarz, Kalzit,

Tabelle 7.12: Mineralbestand, Kalkstein und Mergel von Untervaz

	Kalkstein (%)	Mergelstein (%)
Kalzit	75–90	40–50
Dolomit	Spuren	Spuren
Quarz	3–7	15–20
Feldspat	2–5	Spuren
Serizit	3–6	8–15
Chlorit	2–8	10–20
Glaukonit	Spuren	–
Pyrit	Spuren	–
org. Substanzen	Spuren	Spuren

Tabelle 7.13: Chemische Zusammensetzung der Rohstoffe; Werk Untervaz

Angaben in %	Kalkstein	Mergelstein	Tonstein	Sandstein
SiO <sub>2</sub>	2.91	21.37	56.63	51.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.88	2.72	6.37	4.59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.60	2.05	5.77	5.09
CaO	52.64	38.84	13.84	17.47
MgO	0.70	1.14	1.96	1.72
SO <sub>3</sub>	0.10	0.68	0.24	0.43
K <sub>2</sub> O	0.24	0.75	2.45	1.97
Na <sub>2</sub> O	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
TiO <sub>2</sub>	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cl	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Glühverlust	42.07	31.23	11.31	13.74

n.b. = nicht bestimmt

Glimmer und Chlorit. Pyrit ist wiederum in Nestern vorhanden. Der *Sandstein* schliesslich ist mittelhart bis sehr hart, splittig und zum Teil quarzitisch ausgebildet. Seine Farbe bewegt sich zwischen dunkelgrau und schwarz, er ist dicht, bankig bis plattig.

Der Mineralbestand von Kalkstein und Mergelstein aus dem Steinbruch Fenza ist in der [Tabelle 7.12](#) zusammengestellt. Entsprechend der erwähnten grossen Variabilität der Lithologien der vorhandenen Rohgesteinsarten variiert auch der Chemismus der Gesteine. In [Tabelle 7.13](#) sind einige repräsentative Durchschnittswerte aus zahlreichen Bohrungen und Oberflächenproben zusammengestellt.

#### Thayngen

Bei Thayngen, ungefähr sechs Kilometer nordöstlich von Schaffhausen, entstanden 1910 die Portland Cementwerke Thayngen AG (PCWT). Die mit der Bevölkerung eng verbundene «Cementi» liefert traditionsgemäss in die Nordostschweiz und exportiert zum Teil auch in den süddeutschen Raum. Die Klinkerproduktion wird vermutlich im neuen Jahr-





7.11



7.12

Tabelle 7.15: Chemische Zusammensetzung der Zementrohstoffe; Werke Thayngen und Rekingen

Angaben in %	THAYNGEN						REKINGEN		
	Plattenkalkstein Lohn	Massenkalkstein Lohn	zucker-körniger Kalkstein	Mergel, Biberegg	Obere Süßwasser Molasse	Wangener-schichten	Geissberg-schichten	Obere Effinger-schichten	Mittlere Effinger-schichten
SiO <sub>2</sub>	3.40	0.77	0.37	31.75	32.80	7.60	9.34	13.49	21.66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.20	0.59	0.38	10.27	7.78	2.07	2.00	2.95	5.87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.57	0.22	0.14	5.25	3.30	0.85	0.81	1.21	2.27
CaO	51.90	54.60	55.10	25.28	26.72	48.10	47.58	42.55	33.47
MgO	0.59	0.34	0.32	1.66	1.58	0.84	0.85	1.39	2.15
SO <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.11	0.01	0.09	0.12	0.68	1.28
K <sub>2</sub> O	0.25	0.01	0.02	1.64	1.73	0.50	0.50	0.71	1.44
Na <sub>2</sub> O	0.03	0.01	0.01	0.25	0.99	0.03	0.05	0.09	0.16
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.03	0.02	n.b	0.49	0.10	0.10	0.16	0.35
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.03	0.03	0.13	0.07	0.10	0.10	0.10	0.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.05	0.06	n.b	0.14	n.b	n.b	n.b	n.b
Cl	0.01	<0.01	<0.01	n.b	<0.01	n.b	n.b	n.b	n.b
Glühverlust	41.80	43.40	43.60	23.54	25.13	39.80	39.00	36.34	31.13
Total	99.91	100.07	100.07	99.88	100.75	100.08	100.45	99.67	99.85

n.b = nicht bestimmt

tausend nach Geisingen (Deutschland) verlegt werden, das Mahlwerk in Thayngen bleibt bestehen.

Die Zementrohstoffe für das Werk Thayngen (Abbildung 7.11) werden an zwei verschiedenen Stellen im benachbarten Tafeljurabereich abgebaut. Der neue Kalksteinbruch Lohn liegt nordwestlich, die Tongrube Biberegg nördlich der Fabrik. Der Kalkstein wird gesprengt und per Lastwagen zum Teil unterirdisch durch einen Tunnel zum etwa 500 Meter entfernten Brecher transportiert. Der Tonmergel wird gerippt, in der Grube in einem Pralltrockner zerkleinert und anschliessend per Lastwagen zur Fabrik gefahren. Der Rohmaterialbedarf für die Rohmischung wird etwa zur Hälfte aus den beiden Stein-

brüchen abgedeckt. Tektonisch gesehen liegt der Kalkstein praktisch störungsfrei, leicht gegen Südosten geneigt, währenddessen die Tonmergel östlich der grossen Randenverwerfung anschliessen und selbst durch Störungen mit bis zu 80 Meter Verwerfungshöhen durchzogen sind. Die Mergel des Tertiär fallen mit 5 bis 20° gegen Osten und Nordosten ein.

Die im Steinbruch Lohn zur Zeit in zwei Bänken abgebauten Malmkalksteine weisen eine Mächtigkeit von insgesamt etwa 65 Meter auf. Es handelt sich dabei einerseits um den Plattenkalk (Portlandien/Thitonien; gut gebankte, dichte, beige, hellbraun anwitternde, fossilarme Kalksteine; Bankung 20–45 cm; Mächtigkeit 30–40 m) und andererseits um den

Abbildung 7.11: Zementfabrik Thayngen mit Kalksteinbruch Lohn im Vordergrund. An der Basis der Abbauwand ist der Tunnelleingang sichtbar, der den umweltschonenden Materialtransport vom Bruch

zum Zementwerk ermöglicht. Bild: September 1991

Abbildung 7.12: Zementfabrik Rekingen mit Steinbruch Musital im Bildhintergrund. Das Rohmaterial wird durch einen Tunnel auf einem Transportband in das Werk transportiert. Zusätzlicher Kalkstein

kommt durch die Bandanlage im Vordergrund aus dem Steinbruch Mellikon. Bild: Oktober 1995.

**Massenkalk** (Kimmeridgien–Portlandien; massiger, z.T. poröser, z.T. dichter, hellbeiger bis weisslicher Kalkstein; Mächtigkeit etwa 25 m). Letzterer tritt in zwei Varietäten auf, als zuckerkörniger Kalkstein (stark porös; Poren oft mit Kalzit oder Ton ausgefüllt oder ausgekleidet; vermutlich rekristallisiertes Schwammriff) und als eigentlicher Massenkalk. Unterhalb der abgebauten Gesteine liegen die bis heute nicht verwendeten Quaderkalke des Kimmeridgien sowie die mittleren Malmmergel und die wohlgeschichteten Kalke des Oxfordien.

In der Grube *Biberegg* werden Mergel der älteren Juranagelfluh (Untere Süsswassermolasse) gewonnen. Sie liegen im abgesenkten Teil der Randenverwerfung und werden gegen Südwesten durch die Jurakalkscherfläche des nicht abgesenkten Gebietes begrenzt.

Mineralogisch setzen sich die einzelnen Kalksteintypen, welche in Thayngen zur Zementherstellung verwendet werden, wie in [Tabelle 7.14](#) gezeigt zusammen. Die chemischen Charakteristiken der verwendeten Rohstoffe sind in [Tabelle 7.15](#) aufgeführt.

## Rekingen

Am Rhein, nahe bei Zurzach AG, liegt das Werk Rekingen ([Abbildung 7.12](#)). Es wurde 1975 anstelle der gleichzeitig stillgelegten Stammfabrik Holderbank in Betrieb genommen und gehört heute zur "HCB-Gruppe. Wegen des anhaltenden Verbrauchsrückgangs von Zement, Kies und Beton wird die Zementproduktion Anfangs 1998 eingestellt.

Die beiden Hauptkomponenten Mergel und Kalkstein werden im selben Steinbruch «Musital» abgebaut, der etwa 2 km nordwestlich des Werkes liegt. Die Kalksteine werden gesprengt, die Mergel gesprengt (Effingermergel) oder gerippt (Molasse-Mergel). Anschliessend werden die Rohstoffe per Dozer auf geneigten Rampen in die Nähe des Brechers auf Zwischenlager geschoben, mit Schaufellader dem mobilen Brecher zugeführt, dort zerkleinert und per Bandstrasse (z.T. im Tunnel; Nurren) zur Fabrik transportiert ([Abbildung 7.13](#)).

**Tabelle 7.14: Mineralbestand von Kalksteintypen; Werk Thayngen**

Angaben in %	Platten-Kalkstein	Massen Kalkstein	zuckerkörniger Kalkstein
Kalzit	93–94	97–98	98–99
Quarz	2	≤ 0.5	0.2
Illit/Montmorillonit	3	–	–
Kaolinit	≤ 1	1–2	≤ 1
Hämatit	–	≤ 0.2	–

Tektonisch liegt das Steinbruchgebiet im Tafeljura. Die Schichten fallen hier im nordwestlichen Grubenareal flexurbedingt mit bis zu 18 Grad gegen Südosten ein. Südlich davon verflachen sie auf etwa 3 Grad.

Als Zementrohstoffe werden die Malm-Schichten des Oxfordien sowie die tertiären Mergel der Oberen Süsswassermolasse verwendet. Deren stratigraphische Zuordnung ist in der [Tabelle 7.16](#) gegeben, chemische Durchschnittsanalysen sind in [Tabelle 7.15](#) zusammengestellt. Das Vorkommen Musital ist mit zahlreichen Bohrungen gut untersucht. Der Abbaufortschritt wird auch mittels computergesteuerten Rohstoffbewirtschaftungsprogrammen gesteuert und optimiert. Dies erlaubt, dass die früher noch deponierte geringmächtige Moränenüberdeckung heute in den Zementherstellungsprozess integriert werden kann, ohne dass die Qualität beeinträchtigt wird.

Die Rohmischung besteht je nach der Art der mergeligen Komponente aus 55–65% kalkigem und 45–35% mergeligem Material. Sie wird im Mischbett (25'000 t) auf dem Fabrikgelände gezielt aufgebaut (vorhomogenisiert). Nach der Feinmahlung in einer Walzenschüsselmühle (Mahltrocknung, Kapazität 180 t/Stunde) wird das Rohmehl im Mischkammersilo homogenisiert. Der Klinkerbrand erfolgt im Wärmetauscherofen (2200 t/Tag). Als Brennstoff wird Kohle, seit Herbst 1995 auch bis zu 50% Altholz verwendet. Im Vollbetrieb der Altholzverbrennungsanlage könnten pro Jahr 70'000 Tonnen Altholz verwendet und dadurch bis zu 40'000 Tonnen Kohle ersetzt werden.

Der Zementklinker wird unter Zusatz von 5% Gips in einer Zweikammerversundmühle zu Portlandzement vermahlen. Für die Lagerung stehen zwei Silos zur Verfügung. Die Spedition erfolgt zu 95% im Loseverlad, zu 5% in 50-kg-Säcken. Über 80% der Produktion werden ab Werk per Bahn transportiert.

## Siggenthal

Das Zementwerk Siggenthal ([Abbildung 7.14](#)) liegt etwa fünf Kilometer nordwestlich von Brugg AG an der Aare, kurz nach deren Zusammenfluss mit Reuss und Limmat. Die frühere Portland-Cement-Werk Würenlingen–Siggenthal AG (PCW) nahm die Produktion 1913 auf. Nach mehreren Modernisierungen wurde das Werk 1993 in die "HCB Gruppe fusioniert und in "HCB Siggenthal umbenannt. Heute ist das Werk führend in bezug auf die Verwertung von Trockenklärschlamm im Brennprozess und auf ein neuartiges Verfahren



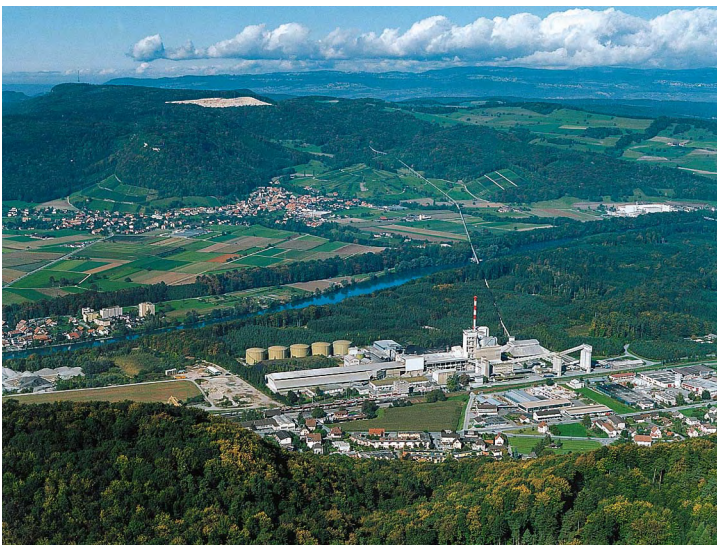
[zurück zur Startseite](#)

[nächstes Kapitel](#)

[vorangehendes Kapitel](#)



7.13



7.14

Tabelle 7.16: Stratigraphische Schichtabfolge im Steinbruch Rekingen	
Quartär	lokal verschwemmte Moräne
Tertiär (Miozän)	Obere Süßwassermolasse: rote siltige Mergel Mächtigkeit 0–27 m.
	Obere Meeresmolasse: graue Sandsteine und z.T. harte Konglomerate. Mächtigkeit 0–7 m.
Jura (Malm, Oxfordian)	Wangenerschichten: gut gebankter grauer bis gelbbrauner Kalkstein. Mächtigkeit bis 37 m.
	Geissbergsschichten, gelblich braune, gut gebankte, z.T. leicht mergelige Kalksteine. Mächtigkeit 18 m.
	«Obere» Effingerschichten, graubraune, siltige Kalkmergel mit einzelnen Mergellagen. Mächtigkeit etwa 15 m.
	«Mittlere» Effingerschichten, Wechsellagerung von grauen Mergeln und Kalkmergeln mit etwas Pyrit. Mächtigkeit über 50 m.



7.15

zur Entstickung der Ofenabgase (durch Eindüsung von Ammoniak in den Wärmetauscher). Die Rohstoffbedürfnisse des Werkes werden durch den Abbau von Mergeln und Kalkstein im Steinbruch *Gabenkopf* abgedeckt, der 3.8 Kilometer westlich der Fabrik, im nördlichen Teil des Villiger Geissbergs liegt ([Abbildung 7.15](#)). Das Gestein wird im Steinbruch gesprengt (in 6 Stufen à 20 m), gebrochen und mit Transportband in die Fabrik befördert ([Abbildung 7.14](#)). Die Rohmischung besteht je zur Hälfte aus Kalkstein und Mergel.

Das Steinbruchgebiet gehört tektonisch zum Tafeljura. Im südlichen Teil des Abbaus fallen die Schichten flach gegen Südsüdwest ein (6–8°), wogegen sich im nördlichen Teil bereits die Mandacher Verwerfung (WSW–ENE) bemerkbar

macht. Dadurch fallen die Schichten steiler gegen Südsüdost ein (10–20°) und sind steil geklüftet. Aus dem Oxfordien werden die Wangenerschichten (gut gebankte, graue bis beige, im unteren Teil organische Reste führende Kalksteine) und die Geissbergsschichten (gut gebankte Kalksteine mit dünnen Zwischenlagen von Kalkmergeln und Mergeln) abgebaut. Die Gesamtmächtigkeit der beiden Kalksteineinheiten erreicht 22 Meter. Die darunter liegenden Effingerschichten lassen sich aufteilen in einen kalkigen oberen und einen mergeligen unteren Abschnitt. Die kalkigen oberen Effingerschichten enthalten graue bis beige, mergelige Kalke bis Kalksteine mit zahlreichen Kalkmergel- und gegen unten auch Mergel einschaltungen. Die Kalksteinlagen sind oft kleinräumig wellig abge-

**Abbildung 7.13:** Zementwerk Rekingen mit Steinbruch Musital. Die Mergel werden im tieferen Teil (Effingermergel) und im obersten Bereich der Grube (Molassemergel) abgebaut. Dazwischen liegen die hellen Malmkalke. Der mobile Brecher und ein Teil der Förderbandan-

lage zum Werk sind in der Bildmitte erkennbar.

**Abbildung 7.14:** Zementwerk Siggenthal mit Steinbruch Gabenkopf im Bildhintergrund. Vom Steinbruch werden Kalk und Mergel über die

im Bild teilweise sichtbare Förderbandanlage (Ersatz für eine bis 1974 bestehende Seilbahn) zum 3.7 km entfernten Zementwerk geführt.

**Abbildung 7.15:** Der Steinbruch Villigen liefert den gesamten Bedarf

an Rohmaterial für die Zementproduktion in Siggenthal. 1994 mussten Felsstabilisierungen am Gabenkopf (Steinbruchareal rechts im Bild) ausgeführt werden, um den Vorbrecher und die Förderband-Aufgabestelle (unten im Bild) nicht zu gefährden.

grenzt. Die Mächtigkeit nimmt im allgemeinen von Osten nach Westen zu und schwankt zwischen 20 und 40 Meter. Die mergeligen unteren Effingerschichten beinhalten eine graue Wechsellagerung von Mergeln und Kalkmergeln, deren Mächtigkeit mindestens 120 m erreicht. Im Steinbruch werden zwei Rohstoffqualitäten abgebaut: Das Material der oberen drei Stufen wird als «Hoch» bezeichnet und umfasst die Kalksteine der Wangener- und Geissbergsschichten sowie den oberen Teil der kalkigen Effingerschichten, das Material der unteren drei Stufen wird als «Tief» bezeichnet und umfasst oben die kalkigen Mergel, unten die Mergel der Effingerschichten. Durchschnittsanalysen der beiden Rohstoffkomponenten sind für die Werke Siggenthal und Wildeg in [Tabelle 7.17](#) aufgeführt.

### Wildeg

Am rechten Aareufer bei Wildeg AG, ungefähr acht Kilometer westlich von Aarau, liegt die Zementfabrik Wildeg. Die Jura-Cement-Fabrik Wildeg (JCF) blickt auf eine lange Tradition in der Zementherstellung zurück; die Jura-Cementfabriken Aarau-Wildeg gehen zurück auf eine 1882 gegründete Zementfabrik Zurlinden & Co in Aarau und eine Fabrik in Wildeg (1891). 1929 wurde die Fabrik in Aarau stillgelegt, seither wird nur noch in Wildeg produziert. Das Werk wurde in verschiedenen Etappen erweitert und modernisiert.

Die Rohstoffe werden in zwei verschiedenen Steinbrüchen gewonnen. Der Kalksteinbruch *Oberegg* ist 1.6 km, der Mergelsteinbruch *Jakobsberg* 0.6 km von der Fabrik entfernt ([Abbildung 7.16](#)). Im Steinbruch *Oberegg* wird mit Grossbohrlochsprengungen, im *Jakobsberg* mit Rippen gearbeitet. Der Materialtransport geschieht in einem die Aare überquerenden Transportband. Die Rohmischung besteht aus je etwa 50% Material von den Steinbrüchen *Oberegg* und *Jakobsberg*.

In bezug auf die tektonische Stellung liegen die beiden Rohstoffvorkommen in der südlichsten Kette des Faltenjuras, in der Südflanke der Gisliflue-Antiklinale. Die Gesteinsschichten fallen im nördlichen Teil des Steinbruchs *Oberegg* mit 25 bis 30 Grad gegen Südsüdost ein, flachen zwischen *Oberegg* und dem *Jakobsberg* etwas ab (17–20°) und werden im Bereich des Steinbruchs *Jakobsberg* wieder steiler (22–25°). Mit der Aufwölbung der Gisliflue-Antiklinale ist auch die Bildung von ausgeprägten steilen Klüftungssystemen im Kalkstein verbunden. Die stratigraphische Stellung der Gesteinsschichten in den beiden Steinbrüchen ist aus der [Tabelle 7.18](#) ersichtlich.

**Tabelle 7.17: Durchschnittsanalysen der Rohstoffkomponenten in den Zementwerken Siggenthal und Wildeg**

	Siggenthal		Wildeg				
			Jakobsberg			Oberegg	
	A	B	C	D	E	F	G
SiO <sub>2</sub>	8.60	19.20	11.90	20.40	26.30	3.10	18.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.00	5.30	2.70	5.90	5.10	1.10	5.10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.70	1.90	1.10	2.30	2.20	1.10	3.30
CaO	47.70	35.70	44.00	35.00	33.60	51.80	36.40
MgO	0.40	2.00	1.40	2.20	1.0	0.70	1.60
SO <sub>3</sub>	0.28	1.80	0.86	1.13	0.12	0.38	2.80
K <sub>2</sub> O	0.47	1.40	0.74	1.40	1.20	0.19	1.00
Na <sub>2</sub> O	n.b	n.b	0.03	0.19	0.16	0.03	0.09
TiO <sub>2</sub>	n.b	n.b	0.14	0.33	0.31	0.06	0.30
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n.b	n.b	0.04	0.06	0.06	0.07	0.08
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	n.b	n.b	0.04	0.07	0.07	0.03	0.09
Cl	n.b	n.b	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01
Glühverl.	39.10	31.80	37.00	31.09	29.80	41.50	30.80
Total	99.25	99.10	99.96	99.99	100.07	100.07	99.97

A = «Hoch» Wangener- und Geissbergsschichten  
 B = «Tief» Effingerschichten  
 C = kalkiger Teil der oberen Effingerschichten  
 D = mergeliger Teil der oberen Effingerschichten  
 E = Moräne  
 F = Hauptrogenstein  
 G = Acuminataschichten

n.b. = nicht bestimmt

Im Steinbruch *Jakobsberg* wird für die Zementroh Mischung der obere Teil der total etwa 230 m mächtigen Serie der Effingerschichten als mergelige Komponente abgebaut. Untergeordnet werden Teile einer als Überdeckung vorhandenen, verschwemmten Moräne zugemischt. Die oberen Effingerschichten sind deutlich gliederbar in ein 40 bis 45 m mächtiges, oberes Paket von mergeligen Kalken und Kalkmergeln (durchschnittlicher CaCO<sub>3</sub>-Gehalt etwa 82%) und einen etwa 100 m mächtigen Komplex von Mergeln und Kalkmergeln in Wechsellagerung (durchschnittlicher CaCO<sub>3</sub>-Gehalt etwa 67%). Darunter befindet sich der auch morphologisch hervortretende Gerstenhübelkalk, eine gut gebankte Serie von Kalken und Mergelkalken mit einem durchschnittlichen Karbonatgehalt von 89% (wird zur Zeit nicht abgebaut). Die unteren Effingerschichten bestehen vor allem aus grauen Mergeln (pyritführend) und Kalkmergeln. Die einzelnen Schichten haben sehr verschiedene Karbonatgehalte (48–88%), im Mittel kann mit 68% gerechnet werden. Typisch für die tieferen Einheiten der unteren Effingerschichten sind knollige und schlierige Lagen.

Im Steinbruch *Oberegg* ([Abbildung 7.17](#)) werden hauptsächlich Hauptrogenstein, zeitweise auch kleinere Mengen der darunterliegenden Acuminataschichten abgebaut. Der Hauptrogenstein ist ein oolithischer, dunkelgrauer, bräunlich





7.16

anwitternder Kalkstein, der lokal durch Mergelinschaltungen in verschiedene Einheiten gliederbar ist (Oberer Haupttrogenstein, Homomyenmergel, Mittlerer Haupttrogenstein, Mäandrinaschichten und unterer Haupttrogenstein). Die Acuminataschichten sind oolithische, hell- bis dunkelgraue, zum Teil knollige Mergelkalke mit zahlreichen eingeschalteten Mergellagen. Die Abgrenzung zu den darunter liegenden Blagdenischichten ist nicht immer eindeutig definierbar.

Die mineralogischen Zusammensetzung der kalkigen und der mergeligen Abschnitte in den beiden Steinbrüchen Jakobsberg und Oberegg sind in [Tabelle 7.19](#) aufgeführt, die chemischen Durchschnittswerte der abgebauten Schichten sind in der [Tabelle 7.17](#) angegeben.

### Brunnen

Auf der linken Seite der Muota, kurz vor der Einmündung in den Vierwaldstättersee liegt in Brunnen SZ das Zementwerk in Brunnen. 1879 begann hier die K. Hürlimann Söhne AG (KHS) mit der Produktion von hydraulischem Kalk für die Gotthardbahn. 1895 wurde die Portlandzementfabrikation aufgenommen. Heute gehört das in verschiedenen Etappen erneuerte Werk zur Holderbank Gruppe ("HCB). Die Zementfabrik Brunnen gewinnt ihre Rohstoffe aus zwei Steinbrüchen.

Die tonig-mergelige Komponente wird im Steinbruch Nägeli, am Fusse des Urmiberges, etwa 1.5 km nördlich der Fabrik, in der Ebene Brunnen-Schwyz abgebaut und mit Lastwagen transportiert. Der Anteil des Nägelimaterials in der Rohmischung beträgt etwa 10%. Der Tonmergelbruch Nägeli



7.17

Tabelle 7.18: Stratigraphische Gliederung der Steinbrüche Jakobsberg und Oberegg

	Stratigraphische Gliederung		Mächtigkeit (m)
Jakobsberg	Obere Effingerschichten	Oxfordien, Malm	140-145
	Gerstenhübelkalk		13-28
	Untere Effingerschichten		60-70
	Birmenstorferschichten		4-6.5
Oberegg	Variansschichten	Bathonien, oberer Dogger mittlerer Dogger Bajocien	2.5-3.5
	Spatkalk		5-6.5
	«Zigzag»-Zone		60-76
	Haupttrogenstein		10-12 (25?)
	Acuminataschichten		20-30
	Blagdenischichten		

Tabelle 7.19: Mineralogische Zusammensetzung der kalkigen und mergeligen Abschnitte der Steinbrüche Jakobsberg und Oberegg

	Jakobsberg			Oberegg	
Angaben in %	A	B	C	D	E
Kalzit	55-60	70-75	55-60	94-96	58-63
Dolomit	-	2-4	4-8	1	3-6
Quarz	14-18	5-7	8-12	1	8-12
Feldspat	4-6	-	Spuren	≤ 0.5	Spuren
Montmorillonit	-	10-15	-	0.5-1	-
/Illit	10-15*	-	15-20	-	4-8
Kaolinit	3-6	-	3-6	≤ 0.5	10-14
Hämatit	-	-	Spuren	-	-
Pyrit	-	< 0.4	≤ 0.5	< 1	1.5-2

A = Moräne  
 B = kalkiger Teil der Effingerschichten  
 C = mergeliger Teil der Effingerschichten  
 D = Haupttrogenstein  
 E = Acuminataschichten  
 \* Glimmer in kleineren Mengen

Abbildung 7.16: Zementfabrik Wildegg mit den Steinbrüchen Jakobsberg im Vordergrund und Oberegg am Bildrand links. Der Materialtransport erfolgt über ein Transportband (Aare-Überquerung oberhalb der Fabrik).

Abbildung 7.17: Steinbruch Oberegg der Zementfabrik Wildegg. Abgebaut werden zur Hauptsache graue, bräunlich anwitternde Kalksteine (Haupttrogenstein) mit Mergelinschaltungen. Im Bild ist die

Brechanlage und Aufgabestelle auf die Transportanlage gut sichtbar.

wird tektonisch der Bürgenstock-Teildecke zugeordnet. Die eoänen, braunen Tonmergel (Stadschiefer) fallen mit 50 Grad und steiler gegen Südosten ein.

Der Kalksteinbruch *Dieggis* ([Abbildung 7.18](#)) liegt etwa zwei Kilometer südöstlich der Fabrik, auf einer Höhe zwischen 650 und 720 m. Aus diesem Steinbruch werden seit Anfang der achtziger Jahre die kalkige Komponente für die Zementherstellung sowie Kalksteine für die Schotterproduktion gefördert. Das abgebaute Material wird im Steinbruchgelände gebrochen und anschliessend über einen 90 Meter langen Vertikalschacht auf Bankniveau gebracht und von dort per Band teils unterirdisch zu Zwischenlagern am Fusse des Berges transportiert. Von hier bis zur Fabrik wird der Zementrohstoff per Schiene (Privatbähnchen) weiter befördert.

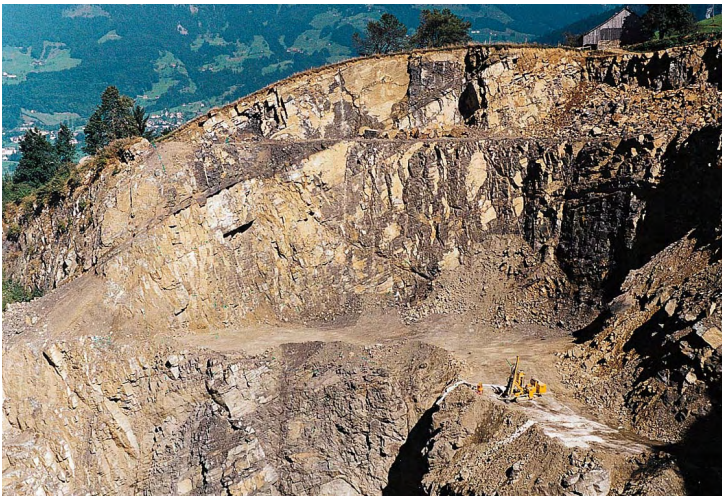
Der Kalksteinbruch *Dieggis* liegt in der Stirnpartie der Drusbergdecke, die im Fronalpstockgebiet eine gewaltige Südfalte bildet. Der Steinbruch befindet sich im unteren, nach Norden vorgeschobenen Teil dieser Falte und umfasst Sedimente der Kreide. Im oberen Teil liegen die Schichten fast horizontal, werden gegen Norden zu immer steiler und fallen schliesslich mit 30 bis 40 Grad gegen Nordwesten ein. Im Steinbruchgebiet verlaufen mindestens zwei grosse Abschiebungssysteme (Südwest–Nordost; mit 55–60° gegen Südosten geneigt). Verschiedene ausgeprägte Klüftungssysteme sind vorhanden. Aufgrund der tektonischer Komplikationen treten im Norden und Nordosten des Kalksteingebietes die jüngsten, im Süden die ältesten Schichteinheiten auf. Im alten Steinbruch Unterschönenbuch wurden früher die oberkretazischen Seewerschichten als Zementrohstoffe abgebaut. Diese See-

werschichten sind erosionsbedingt in ihrer vorhandenen Mächtigkeit reduziert und werden diskordant von Flysch überlagert. Sie bestehen einerseits aus einer unteren Seewerkkalkserie. Diese umfasst maximal 80 Meter dünn- bis mittelstark gebankte, braune oder rote bis graue, mit Tonhäuten durchsetzten, Kalke. Ohne scharfe Grenze findet nach oben ein Übergang in kalkige Mergel der Seewerschiefer statt. Im Gebiet *Dieggis*–*Hettis* taucht die darunterliegende Gault-Serie (*Garschella*-Formation) auf, die im Gebiet des *Dieggis*-Steinbruchs das jüngste Schichtglied bildet ([Abbildung 7.18](#)). Sie wird für die Schotterproduktion verwendet. Der Gault ist hier etwa 35 Meter mächtig und kann dreifach unterteilt werden: zuunterst liegt ein 3–5 Meter mächtiger, harter Glaukonitführender Grünsandstein, darüber eine 2–3 Meter mächtige Tonschicht mit reichlich Fossilien (z.B. Turritellen, Belemniten). Die oberen 25–30 Meter werden durch graue und grünliche, oft knollig erscheinende Sandkalksteine gebildet. Die höchste Formation der unteren Kreide wird durch die etwa 40 Meter mächtige Echinodermenbrekzienserie aufgebaut. Der obere, 18–20 Meter mächtige Abschnitt wird entsprechend seinem Chemismus als «Hohe Echinodermenbrekzie» bezeichnet und besteht aus einem spätigen Kalkstein mit vielen Crinoiden. Der untere, als «Tiefe Echinodermenbrekzie» benannte Abschnitt besteht aus etwa 15 Meter ebenfalls spätigem Kalkstein, ist jedoch deutlich angereichert an detritischen Komponenten (Sand, Ton). Charakteristisch sind drei bis vier, teilweise bis 3 cm mächtige feine Tonschichten im unteren Teil dieser Sequenz. Die unterste abgebaute Formation besteht aus Schratzenkalk, ein dichter, spätiger, dickbankiger, fossilführender, rötlich-brauner

Tabelle 7.20: Chemische Zusammensetzung der Rohstoffe; Werk Brunnen

Angaben in %	Tonmergel «Stadschiefer»	Grünsandstein «Gault»	Gault	Hohe Echinodermen- brekzie	Tiefe Echinodermen- brekzie	Schrattenkalk	Seewerkkalk	Amdener- schichten
	Nägeli	Dieggis	Dieggis	Dieggis	Dieggis	Dieggis	Unterschönenbuch	
SiO <sub>2</sub>	45.71	47.06	27.03	6.05	28.19	2.41	3.55	21.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.24	1.99	2.31	0.81	2.76	0.07	0.48	7.84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.94	3.85	1.94	1.27	3.02	0.17	0.33	2.79
CaO	15.49	24.60	35.77	49.07	35.58	50.57	50.29	33.20
MgO	1.62	1.58	1.35	0.65	1.32	0.44	0.39	1.28
SO <sub>3</sub>	0.89	0.29	0.28	0.37	0.83	0.13	0.10	0.17
K <sub>2</sub> O	2.45	1.04	1.05	0.17	1.12	0.06	0.13	1.73
Na <sub>2</sub> O	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
TiO <sub>2</sub>	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
Cl	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
Glühverlust	15.62	18.40	29.17	40.56	26.42	44.36	43.25	31.70
Total	98.96	98.81	98.90	98.32	99.27	98.21	98.52	98.96





7.18



7.19

Tabelle 7.21: Chemische Zusammensetzung der Rohstoffe; Werke Olten und Reuchenette									
Angaben in %	Olten			Reuchenette					
	Kalkstein	Mergel	Tonstein	Effinger-schichten	Birmenstorfer-schichten	Oxfordton	Dalle Nacrée	Callovien-Ton	Hauptrogen-stein
	Oxfordien Kimmeridgien	Oxfordien	Opalinuston						
SiO <sub>2</sub>	10.00	25.00	51.00	32.90	5.30	37.30	2.70	37.90	1.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.40	6.00	18.90	6.70	1.30	6.30	0.25	7.38	0.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.20	2.20	5.50	2.60	0.63	4.00	1.00	2.99	1.00
CaO	46.60	32.00	4.60	26.80	50.10	24.30	51.30	23.54	52.80
MgO	0.50	2.00	2.00	2.10	0.93	0.85	0.30	2.09	0.82
SO <sub>3</sub>	0.60	1.00	1.73	1.09	0.22	0.10	0.10	2.03	0.01
K <sub>2</sub> O	0.40	2.20	3.60	1.90	0.29	2.45	0.30	1.80	0.12
Na <sub>2</sub> O	n.b	n.b	n.b	0.16	0.05	0.10	0.30	0.12	0.02
TiO <sub>2</sub>	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
Cl	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
Glühverlust	37.60	29.20	12.50	24.60	40.00	22.80	42.55	21.54	42.70
Total	99.30	99.60	99.83	98.85	98.82	98.20	98.80	99.39	99.57

bis braun-grauer, hell anwitternder Kalkstein mit wenigen Mergelzwischenlagen. Gegenwärtig werden etwa die obersten 40 Meter des Schrattenkalles ausgebeutet. Die gesamte Mächtigkeit dürfte jedoch deutlich mehr als 100 Meter betragen. In der [Tabelle 7.20](#) ist die chemische Zusammensetzung der abgebauten Schichten aufgeführt.

Olten

Im Industriegebiet von Olten SO entstand 1932 das Portlandzementwerk Olten (PCO) als eine Tochtergesellschaft der Baustoff-Fabriken AG Hunziker & Cie., welche bereits 1928 die Herstellung von Zement aufgenommen hatte. Dem Werk wurden in den sechziger Jahren zwei Drehöfen zum Brennen

von Leca-Blähton, einem isolierenden Zuschlag für Leichtbeton (siehe [Kapitel 4.4](#)), angegliedert (Produktion Ende 1996 eingestellt). Die Zementproduktion in Olten wird aus wirtschaftlichen Gründen Ende 1997 eingestellt.

Die Zementfabrik Olten bezieht ihre Rohstoffe von zwei Abbauorten; Ton kommt per Lastwagen von der Grube *Hauenstein*, etwa 8 Kilometer nördlich der Fabrik, Kalkstein und Mergel werden über ein 1.5 Kilometer langes, unterirdisches Förderband aus dem Steinbruch *Born*, rund 2 Kilometer südwestlich von Olten, geliefert. Der Abbau des Kalksteins und Mergels geschieht durch Sprengen in 20–25 Meter (40 m) hohen Stufen. Für die Herstellung der Rohmischung werden etwa 75% Kalkstein, 20% Mergel und 5–10% Ton verwendet. Der Steinbruch *Born* ([Abbildung 7.19](#)) liegt in der Nordflanke einer

Abbildung 7.18: Steinbruch Dieggis, bei Brunnen. Blick gegen Osten in die obersten Partien des Steinbruchgebietes Dieggis-Hettis. Das Einfallen der Schichten sowie die zahlreichen Brüche sind gut sichtbar. Die Gesteine im Stirngebiet der Drus-

bergdecke liefern sehr unterschiedliche Materialqualitäten. Der hochwertige Kalkstein des Schrattenkalles ist von mergelig-sandigen Schichten überlagert (Gault, resp. Garschella-Formation).

Abbildung 7.19: Steinbruch Rutigen des Portlandzementwerks Olten. Der Steinbruch ist in der Nordflanke der Born-Antiklinale angelegt. Der Abbau wird dadurch eingeschränkt, dass die Bergkrete nicht

verändert werden darf. Abbau-schwierigkeiten ergeben sich teilweise auch aus der starken Verkarstung der Kalksteine.

Faltenjurakette, der Born-Engelberg-Antiklinale. Im Bereich des Steinbruches fallen die Schichten mehrheitlich flach bis mittelsteil gegen Nordwesten ein, zeigen jedoch – flexurbedingt – lokal im nördlichen Abschnitt ein deutlich steileres Einfallen von 70–80°. Durch zwei vorherrschende, senkrecht zueinander stehende Kluftsysteme (Nordost–Südwest und Nordwest–Südost) werden die kalkigen Schichten oft in quaderähnliche Blöcke unterteilt. Die Born-Engelberg-Antiklinale besteht hauptsächlich aus Kalksteinen des Kimmeridgien und des oberen Oxfordien; der Gewölbekern selbst ist aus Mergeln des mittleren Oxfordien aufgebaut. Die Effingerschichten (mittleres Oxfordien) dürften im Raume Olten eine Mächtigkeit von etwa 200 Meter erreichen. Im südlichen Teil des Steinbruches Born sind davon als unterste stratigraphische Einheit 40–50 Meter der oberen Effingerschichten aufgeschlossen, im unteren Abschnitt mergelig, gegen oben mergelig-kalkig ausgebildet. Darüber folgen etwa 10–15 Meter mächtige, gut gebankte, kalkige Geissbergschichten und die dem oberen Oxfordien zugeordnete Balsthaler-Formation, die aus grobbankigen bis massiven Oltner Korallenkalken und Äquivalenten der Wangener- und Letzi-Schichten besteht. Den obersten Abschnitt der abgebauten Serie bilden Äquivalente der Badener- und Wettingerschichten (Kimmeridgien) als Wechsellagerung von gebankten Kalksteinen und einzelnen Mergellagen. Die Mächtigkeit der abgebauten Kalksteinschichten (Geissberg- bis Wettingerschichten) beträgt 80–90 Meter. Die Kalksteinsequenz ist von erosionsbedingten Karstsystemen durchsetzt, die mit bunten, oft geschichteten siderolithischen Tonen, Hupersanden (weissliche oder gelblichgraue tonige Sande, «Klebsand») und Brekzien gefüllt sind. Das ganze Gewölbe ist glazial überprägt, so dass lokal begrenzte Moränenrelikte auftreten können.

Die *Tongrube Hauenstein* liegt in einem sehr komplizierten Abschnitt des Faltenjuras zwischen der Hauensteinsynklinale und der Farisbergantiklinale. Zahlreiche Brüche (Nordnordost–Südsüdwest) durchsetzen das Gebiet. Die Schichtfolge ist möglicherweise tektonisch gestört. Lokal kommen kleine Schuppen oder Überschiebungen vor, die entweder den plastischen Ton in seiner Mächtigkeit verdicken, ihn durch eingespieste Kalksteinschuppen des Lias verunreinigen oder durch starke Kompression die ursprüngliche Mächtigkeit des Opalinustones ausdünnen. Die im Norden anstehenden Liaskalke (Kalksteinrippe) fallen gleichmässig mit etwa 35° gegen Süden ein, unterbrochen durch einen Transversalbruch, der die Formation um rund 20 Meter gegen Süden versetzt. Südlich wird der Opalinuston durch Gesteine des unteren Doggers begrenzt. Die schwarzen und grauen bis hellgrauen, glimmerhaltigen,

kompakten Tonsteine (Opalinuston) weisen eine Mächtigkeit von 90–110 Meter auf, sie können stellenweise pyritführend sein. Überlagert wird der Opalinuston hier, vor allem in Depressionen im östlichen Teil, von verschwemmter Moräne. In der [Tabelle 7.21](#) sind chemische Analysen einiger in der Zementfabrik Olten verwendeter Rohstoffe aufgezeigt.

### Reuchenette

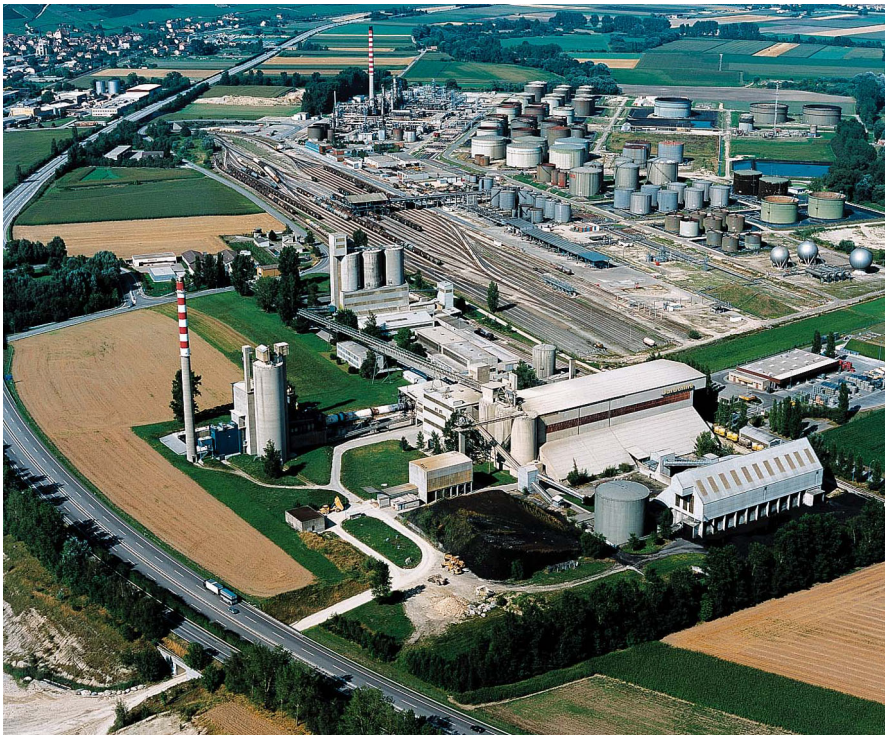
Zwischen Biel und Moutier, etwa 5 Kilometer nördlich von Biel, liegt südlich von Péry bei Reuchenette das Zementwerk Reuchenette (Vigier SA). Das Zementwerk liegt geologisch gesehen in einer Klus des Faltenjura, das heisst in einem Quertal der Chasseral-Antiklinale, wo jurassische Gesteine auftreten (Dogger, Malm). Die Achse des Chasseralgewölbes fällt im Gebiet der Klus von Reuchenette mit etwa 7° gegen Osten ein. Im alten Steinbruch La Charuque, 500 m östlich der Fabrik und der Kantonsstrasse Biel–Moutier, wurden früher als kalkige Komponente Birmenstorferschichten und als mergelige Komponente Effingerschichten abgebaut. Heute ist die kalkige Komponente (Birmenstorferschichten) erschöpft und der Steinbruch liefert nur noch Teile der mergeligen Komponente. 1989 wurde in der westlichen Talflanke (Châtelwald), rund 1 Kilometer westlich der Fabrik, in den Birmenstorferschichten ein neuer Steinbruch eröffnet, der aber wegen des Einfallens der Schichten gegen Osten nicht unproblematisch ist. Das neue Abbaugelände des Châtelwaldes ist systematisch abgebohrt und chemisch untersucht worden. Einige Gesteinsanalysen sind in der [Tabelle 7.21](#) zusammengestellt. Der Steinbruch ist so geplant, dass alle Schichtpakete vom Hauptrogenstein bis zu den Effingerschichten abgebaut werden. Die stratigraphische Gliederung des neuen Abbaugeländes ist in der [Tabelle 7.23](#) dargestellt.

### Cornaux

Zwischen dem Neuenburger- und Bielersee auf der linken Seite des Zihlkanals wird bei Cornaux NE seit 1966 Zement produziert (Juracime SA). Das Zementwerk schliesst unmittelbar südlich an das Gelände der Raffinerie Cressier NE an ([Abbildung 7.20](#)). Das Rohmaterial für die Zementproduktion stammt aus zwei Steinbrüchen in der Umgebung der Fabrik.

Der Kalksteinbruch ([Abbildung 7.21](#)) liegt 2.5 km westlich der Fabrik, wo das Gestein nach dem Sprengen im Abbaugelände gebrochen und per Transportband in die Fabrik gebracht wird. Der Bruch liegt im Bereich einer südöstlichen Falte des Juragebirges, in der Antiklinale von Roche des Châtoillon–Serrone,





7.20



7.21



7.22

die sich von St-Blaise bis in die Gegend der Montagne de Diesse verfolgen lässt. Diese Antiklinale ist auf die nordwestlich anschliessende Synklinale von Hauterive-Enges aufgeschoben und ist asymmetrisch, mit einem wesentlich steileren Nordwest- und einem flacheren Südostschenkel. In diesem Südostschenkel liegt der Steinbruch bei der Lokalität Bois Jaques. Im Steinbruch (Abbildung 7.21) können lokal steil gestellte Zonen auftreten (bis 80° Einfallen). Im Kalksteinbruch werden Gesteinsserien zwischen dem oberen Malm und der unteren Kreide abgebaut. Die stratigraphische Gliederung der einzelnen Gesteinsserien ist in der Tabelle 7.24 zusammengestellt.

Das in Cornaux verwendete tonige Material wird in einer nur etwa 300 Meter südwestlich des Werkes gelegenen Grube (Abbildung 7.22) durch Rippen abgebaut und per Lastwagen auf einer Werkstrasse unter der Autobahn durch in die Fabrik transportiert. Als Tonkomponente wird eine etwa 30 m mächtige Serie von grauem, braunem und buntem Ton, Mergel und Sandstein der Oberen Süsswassermolasse (Tertiär, oberes Miozän), tektonisch bereits zum Mittelland gehörend, abgebaut. In der Rohmischung werden etwa 78% Kalkstein und 22% Tonmergel verwendet. Die mergeligen Tone der Molasse gehören tektonisch zum Mittelland. Die chemischen Charakteristiken der abgebauten Gesteine sind in Tabelle 7.22 zusammengestellt.

### Eclépens

Am Jurafluss zwischen Yverdon und Lausanne wird seit 1953 westlich von La Sarraz ausserhalb des Dorfes Eclépens Zement produziert (Abbildung 7.23). 1953 wurde die Fabrik von der Société des Chaux et Ciments de la Suisse Romande (SCC) eröffnet, heute gehört sie zum Holderbank Konzern ("HCB"). Die Werk- und Ofenanlagen wurden in verschiedenen Etappen erneuert und optimiert, letztmals 1994, dies im Hinblick auf die Verwendung von Alternativbrennstoffen bei der Feuerung und wegen der geplanten Produktion von Spezialzementen. Die Fabrik bezieht ihre Rohstoffe aus zwei nahen Steinbrüchen.

Der Kalksteinbruch *Mormont* liegt am gleichnamigen Hügel direkt nordwestlich des Werkes (Abbildungen 7.23 und 7.25). Es wird mittels Sprengen abgebaut. Tektonisch gesehen bildet der Mormont einen isolierten Ausläufer des Faltenjuras und stellt ein erhöhtes Relief zwischen dem Tal der Venoge und der Ebene von Orbe dar. Die unterkretazischen Sedimente sind zu einer schwachen Antiklinale (SW-NE) aufgewölbt mit einer etwas steileren Nordwestflanke (bis 30°) und einer eher flachen Südostflanke (5–10°). In dieser befindet sich der Kalksteinbruch. Eindrücklich sind verschiedene Systeme von sinistralen (ungefähr Nord-Süd) und dextralen (Nordwest-Südost)

Abbildung 7.20: Zementwerk, Cornaux. Im Vordergrund sind die Fabrikationsanlagen des Zementwerkes, hinter den Bahngleisen die Raffinerie Cressier. Das Bild zeigt exemplarisch die enge Wechselbeziehung zwischen Zementherstellung,

Energieversorgung und optimaler Verkehrserschliessung.

Abbildung 7.21: Kalksteinbruch, Cornaux. Er ist in der Kreideformation des Südschenkels der Serrone-Antiklinale angelegt. Es werden

hauptsächlich der «Pierre jaune de Neuchâtel» und das «Urgonien» abgebaut.

Abbildung 7.22: Tonmergelgrube der Juracime in Cornaux. Die Mergelgrube ist in den bunten und

grauen Tonmergeln der unteren Süsswassermolasse (Oligozän) angelegt. Die schlechte Standfestigkeit des Gesteines erfordert sehr flache Böschungen.

Tabelle 7.22: Chemische Zusammensetzung der Rohstoffe; Werke Cornaux und Eclépens

Angaben in %	Cornaux						Eclépens	
	«Calcaire roux» ob. Valanginien	«Marbre bâtard» u. Valanginien	Kalkmergel Berriasien	Kalkstein Purbeckien	Dolomit Portlandien	Tonmergel, OSM oberes Miozän	Kalkstein	Tonmergel
SiO <sub>2</sub>	10.5	2.1	2.5	6.5	2.0	44.8	5.2	44.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.0	0.6	2.0	2.5	0.5	14.7	2.1	11.3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.0	0.6	1.0	1.1	0.3	5.5	1.5	4.5
CaO	42.3	53.1	51.0	42.5	34.0	13.5	51.1	15.0
MgO	2.1	0.5	1.0	4.5	17.8	4.0	1.1	4.9
SO <sub>3</sub>	0.5	0.5	0.5	0.7	0.2	0.3	0.6	4.1
K <sub>2</sub> O	0.3	0.1	0.3	0.7	0.1	1.9	0.2	1.9
Na <sub>2</sub> O	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	0.1	0.6
TiO <sub>2</sub>	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
Cl	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
Glühverlust	35.0	42.0	41.0	40.0	45.0	15.0	40.0	14.3
Total	98.7	99.7	99.3	98.5	99.9	99.7	101.9	100.6

Tabelle 7.23: Stratigraphische Gliederung des Abbauggebietes Châtelwald bei Reuchenette (von oben nach unten)

<b>Effingerschichten (Malm, Oxfordien):</b> dunkelgraue Mergel und kalkige Mergel, häufig mit Kalzitadern durchzogen. Mächtigkeit über 90 m.
<b>Birmenstorferschichten (Malm, Oxfordien):</b> Wechselagerung von grauen, dunkelgrauen und hellbeigen kalkigen Mergeln, mergeligem Kalkstein und krypto- bis mikrokristallinem Kalkstein. Mächtigkeit 35 m.
<b>Oxford-Tone (Malm, Oxfordien):</b> schwarze bis dunkelgraue Tonmergel. Mächtigkeit 4 m.
<b>Dalle nacrée (Dogger, Callovien):</b> beiger und grauer, harter, spätiger, teilweise oolithischer Kalkstein. Im Dach 40 cm rostbrauner, stark eisenschüssiger, oolithischer Kalkstein (Hardground). Mächtigkeit 15 m.
<b>Callovien-Tone (Dogger, Callovien):</b> dunkelgraue Tonmergel, gegen unten kalkiger Mergel. Mächtigkeit 13 m.
<b>Variansschichten (Dogger, Bathonien):</b> dunkelgrauer, sandiger, spätiger bis oolithischer Kalkstein mit vielen Fossilbruchstücken. Mächtigkeit 2 m.
<b>Hauptrogenstein (Dogger, Bathonien):</b> oben grauer bis dunkelgrauer, spätiger und oolithischer, harter, oft brekziöser Kalkstein. Gegen unten Wechselagerung von spätem, hartem Kalkstein, teilweise reich an Fossilresten und grauen bis schwarz-grauen kalkigen Mergeln. Mächtigkeit über 80 m.

Tabelle 7.24: Stratigraphische Gliederung der Zementrohstoffe von Cornaux (von oben nach unten)

<b>Calcaire Roux (oberes Valanginien):</b> stark eisenhaltige, rostrot verwitternde, oolithische Kalke mit Mergel- und Mergelkalkknollen zwischengelagert. Mächtigkeit über 7 m.
<b>Marbre Bâtard (unteres Valanginien):</b> grauer, graubeige anwitternder Kalkstein, dicht, teilweise oolithisch, Stylolithe häufig, feinsparitisch bis feinspätig, teilweise leicht mergelig, im oberen Abschnitt zum Teil knollige Struktur. Mächtigkeit 20 m.
<b>Mergel- und Kalkzone (mittleres Berriasien- unteres Valanginien):</b> Wechselagerung von mikritischen Kalksteinen und Mergeln und teilweise knolligen Mergelkalcken; hellgrau bis mittelgrau, gelblich anwitternd, zum Teil oolithisch, biotritisch oder stylolithisch. Mächtigkeit 7 m.
<b>Purbeckien (Goldberg-Formation, oberer Malm):</b> hell- bis dunkelgraue, hellbraun anwitternde Brekzie von Mergelkalk und Mergeln mit Tonhäuten, mit einzelnen dünnen, kreidigen Mergelkalklagen. Im basalen, 3 m dicken Abschnitt handelt es sich vor allem um dolomitische Mergel. Es treten Coelestindrusen auf. Mächtigkeit 18 m.
<b>Portlandien (Twannbach-Formation, oberer Malm):</b> beiger bis grauer, dichter, z.T. brekziöser Dolomit mit dolomitischen Kalksteinzwischenlagen. Lateral wechseln die Gesteinstypen relativ schnell zwischen bankigen bis plattigen, dichten, oolithischen, fleckigen, dolomitischen Kalksteinen und plattigen, zuckerkörnigen, rauhwacke-artigen und brekziösen Dolomiten. Die Mächtigkeit erreicht etwa 125 m, wovon die obersten 5 bis 10 m für die Zementproduktion mitverwendet werden.

Transversalverschiebungen mit beträchtlichen Sprunghöhen. Zwei Hauptstörungen (Nordwest–Südost) heben den Morfont, der gegen Nordwesten absinkt und in einen Graben (Vallée du Nozon) übergeht, als Horst heraus. Stratigraphisch werden die kalkigen Sedimente der unteren Kreide zugeordnet (Hauterivien, Barremien). Lithologisch lassen sich die Gesteinseinheiten in einem Sammelprofil in fünf Einheiten unterteilen (Tabelle 7.25). Im Steinbruch von Eclépens werden die Kalksteine des Barrémien, also etwa die oberen zwei Drittel

des Profils, abgebaut. (Abbildung 7.25). Die Kalksteinoberfläche ist lokal stark verkarstet und mit sandig-tonigen tertiären und quartären Füllungen eingedeckt.

Die Tonmergelgrube *Côtes de Vaux* des Zementwerkes Eclépens liegt etwa 1 km südöstlich des Werkes (Abbildung 7.26). Die tonig-mergelige Komponente stammt aus der Unteren Süßwassermolasse, der Abbau erfolgt durch Rippen. Es sind graue, rote bis bunte Tonmergel und Sandsteine (Marnes Bariolées und Grès de Mathod) des Chattien (oberes Oligozän).





7.23



7.24



7.25



7.26

Die Schichten liegen flach, können lokal aber auch bis 10 Grad gegen Süden oder Osten geneigt sein.

Die Rohmischung besteht aus etwa 75% Kalkstein und 25% Tonmergel. Mineralogisch wurden 3 nicht näher identifizierte Kalksteine analysiert (Tabelle 7.26). Chemisch lassen sich die Rohstoffe wie in Tabelle 7.22 angegeben charakterisieren.

### Roche

Unweit der Rhonemündung in den Genfersee wird seit 1896 Zement produziert, früher durch die Société des Chaux et Ciments de la Suisse Romande (SCC), heute gehört das Werk ebenfalls zum Holderbank Konzern ("HCB).

Die Fabrik baut ihre Rohstoffe in zwei nahe beieinander gelegenen Steinbrüchen 500 bis 1000 Meter südöstlich des Werkes, beim Dorf Roche, ab. (Abbildung 7.24). Die Rohmischung besteht aus ca. 20% Kalkstein und 80% Mergel. Tektonisch gesehen sind diese Rohstoffvorkommen den präalpinen Decken zuzuordnen. Im Lokalbereich bildet das Gebiet zwischen Tête de Sauquenil und Le Daillet eine grosse, gegen Nordwesten überkippte Synklinale. Die Normalflanke dieser Struktur besteht aus einer mächtigen, monoklinalen Serie aus jurassischen Mergeln und – hauptsächlich – Kalksteinen aus Lias, Dogger und Malm. Im Malm befindet sich der bisherige Kalksteinbruch *Sur le Moulin*. Der Kern der Synklinale wird aus stark tektonisierten und verfalteten Schichten der Couches Rouges (Oberkreide) aufgebaut. Darin befindet sich der

Abbildung 7.23: Zementwerk Eclépens (siehe auch Titelbild zum Kapitel 7). Das Werk liegt vertriebstechnisch günstig am Süden des Mormont, nahe des Kalksteinbruches (Abbildung 7.25).

Abbildung 7.24: Zementwerk Roche. Der ausserordentlich steile Steinbruch ist in den «Couches Rouges» und im Malm der Préalpes Medianes in einer engen Synklinale angelegt. Das Gestein wird teilweise durch Schwerkraft transportiert.

Abbildung 7.25: Kalksteinbruch Eclépens. Die flach gelagerten Formationen des «Urgonien» werden für die Zementproduktion verwendet. Verkarstung und Brüche komplizieren stellenweise den Abbau.

Abbildung 7.26: Tonmergelgrube Côtes de Vaux. Die sandigen Mergel des Chattien werden als silikatreiche Komponente verwendet.



**Tabelle 7.25: Stratigraphische Gliederung des Abbaugebietes Mormont bei Eclépens (von oben nach unten)**

<b>Oberes Barremien, «weisses Urgonien»:</b> oolithischer bis pseudo-oolithischer, weisser Kalkstein, zuckerkörnig, rekristallisiert, mit Asphaltspuren. Mächtigkeit etwa 6 m.
<b>Mittleres Barremien:</b> oolithischer bis pseudo-oolithischer, gelber bis brauner Kalkstein, massiv, etwas rekristallisiert, mit einzelnen Mergelzwischenlagen. Mächtigkeit etwa 30 m.
<b>Unteres Barremien:</b> oolithischer oder biodetritischer, krümeliger und mergeliger Kalkstein, braun bis gelb, gegen unten grau bis dunkelgrau, mit einzelnen Mergelagen. Der untere Abschnitt besteht aus spätigen, glaukonitischen, etwas quarzführenden Kalksteinen. Mächtigkeit 18.5 m.
<b>Oberes Hauterivien:</b> oolithischer, beige bis brauner Kalkstein, oben glaukonitisch, dünnbankig: Pierre jaune de Neuchâtel. Mächtigkeit 15 m.
<b>Mittleres Hauterivien:</b> biodetritischer, grauer Kalkstein, spätig, glaukonitisch, mit grauen Mergelzwischenlagen. Mächtigkeit 17 m.

**Tabelle 7.26: Eclépens; Mineralgehalt dreier Kalksteinproben**

Angaben in %	grauer Kalkstein	gelber Kalkstein	schwarzer Mergelkalk
Kalzit	96	96	77-80
Dolomit	-	-	6-9
Quarz	1	1	4-6
Pyrit	0.45	-	0.80
Glaukonit	-	< 0.5	~ 1
Montmorillonit/Illit	2-3	2-3	6-8

**Tabelle 7.27: Chemische Zusammensetzung der Rohstoffe; Werk Roche**

Angaben in %	Mergelkalk (Couches Rouges)	Kalkstein
SiO <sub>2</sub>	18.10	0.85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.90	0.39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.30	0.13
CaO	40.60	52.96
MgO	0.81	1.80
SO <sub>3</sub>	0.01	0.06
K <sub>2</sub> O	0.79	0.06
Na <sub>2</sub> O	0.24	0.03
TiO <sub>2</sub>	0.16	0.02
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.13	0.04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09	0.17
Cl	0.01	0.02
Glühverlust	33.50	43.47
<b>Total</b>	<b>99.54</b>	<b>100.00</b>

Mergelsteinbruch *Scex Rouge*. Die überkippte südöstliche Faltenflanke ist stark zerbrochen und besteht hauptsächlich aus Malmkalken. Die Kalksteinsequenz gehört stratigraphisch dem oberen Malm an und umfasst das obere Oxfordien, Kimmeridgien und Portlandien. Es handelt sich um massive,

weissliche bis graue, teilweise oolithische Kalksteine, die gegen oben stellenweise Silex führen. Die Couches Rouges (Cenomanien-Ypresien) bestehen aus grauen, rötlichen bis roten Mergelkalken bis tonigen Mergeln mit reicher Mikrofauna. Kalkstein und Mergel werden gesprengt. Interessant ist der Abbau der Couches Rouges, der von oben nach unten erfolgt. Der Transport von Mannschaft und Ausrüstung vom Tal auf die Abbauhöhe geschieht per Standseilbahn. Das heute etwa auf Niveau 900 m ü.M. abgebaute Material wird über eine offene, zum Teil in den Fels gesprengte Runse ([Abbildung 7.14](#)) über eine Höhendifferenz von etwa 430 Meter per Schwerkraft befördert, wobei eine gewisse Vorzerkleinerung stattfindet. Die chemischen Analysen der Rohstoffe sind in [Tabelle 7.27](#) aufgezeigt.



## 7.2 KALKINDUSTRIE

Ebenfalls aus Kalkmergeln natürlicher Herkunft durch Löschen und Mahlen hergestellt, aber bei tieferer Temperatur gebrannt, werden zwei Produkttypen, *hydraulischer Kalk* und *Branntkalk*, die in ihrer Zusammensetzung und Anwendung sehr unterschiedlich sind. Durch das Brennen bei tieferer Temperatur erreichen sie nicht die Festigkeit der Zemente ([Kapitel 7.1](#)).

*Hydraulischer Kalk*: Die chemische Zusammensetzung des Rohmaterials kann einer Zementroh Mischung recht nahe kommen. Die Eigenschaften des Produktes sind jedoch verschieden, da die Brenntemperatur des Rohgesteins für hydraulischen Kalk etwa bei 1050°C (höchstens 1200°C) liegt. Das Rohmaterial wird zwar kalziniert, im Gegensatz zum Zementklinker aber nicht gesintert ([Kapitel 7.2.1](#)). Verwendet wird hydraulischer Kalk als Mauerwerkszement oder Mörtel, durch Zugabe von Sand und Wasser.

*Branntkalk* oder Weisskalk (ungelöschter Kalk) entsteht durch Kalzinieren (Brennen) eines hochgradigen (= reinen) Kalksteines. Beim Brennen wird die Kohlensäure (CO<sub>2</sub>) ausgetrieben; zurück bleibt Branntkalk. Das resultierende Produkt wird entweder als Stückkalk (Ätzkalk, CaO) ausgeliefert oder gemahlen als Weissfeinkalk. Durch Löschen des Branntkalkes (Zugabe von H<sub>2</sub>O) wandelt sich das CaO unter Wärmeentwicklung zu «gelöschtem Kalk» (Kalkhydrat [Ca(OH)<sub>2</sub>]) um. Branntkalk wird in verschiedenen Industrien gebraucht (siehe [Kapitel 7.2.1](#) und [Tabelle 7.32](#)).

### 7.2.1 HYDRAULISCHER KALK

#### 7.2.1.1 Definition

Hydraulischer Kalk ist ein Bindemittel, das durch Kalzinierung unterhalb des Sinterungspunktes aus mergeligem Kalk oder kalkigem Mergel hergestellt wird. Das Ausgangsmaterial muss einen Kalziumkarbonatgehalt zwischen 65 und 75% aufweisen. Der gebrannte hydraulische Kalk wird gelöscht und gemahlen. Um das Abbinden zu regulieren, kann Gips während des Mahlvorganges zugegeben werden. Dabei sind Normvorschriften einzuhalten ([SIA 215](#), siehe auch [Seite 301](#)). Im Vergleich zu Zement weist hydraulischer Kalk stark variieren-

de SiO<sub>2</sub>-Gehalte (5–30%), keinen Alit (Trikalziumsilikat), jedoch viel Belit (Dikalziumsilikat; siehe [Tabelle 7.1](#)) und einen höheren Freikalkgehalt (>5%) auf. Eine bessere Verarbeitbarkeit, jedoch schlechtere hydraulische Eigenschaften und geringere Festigkeiten (1–5 N/mm<sup>2</sup>) sind weitere Unterschiede.

#### 7.2.1.2 Herstellungsprozess

Die Anforderungen an die Rohstoffaufbereitungen für die Herstellung von hydraulischem Kalk sind bedeutend geringer als bei der Zementherstellung. Das Brennen des hydraulischen Kalkes ist eine Feststoffreaktion, die durch verschiedene Faktoren wie Brenntemperatur, Dauer der Temperaturbehandlung, Qualität der Rohstoffe, Reaktivität der Komponenten (Mineralogie), Korngrösse und spezifische Oberfläche der Rohstoffe und Anteil an Nebenelementen, die als Katalysatoren wirken, bestimmt wird. Die meisten Rohstoffparameter sind normalerweise durch die Art des Ausgangsgesteines (Steinbruchbedingungen) vorgegeben. Rohmaterialabbau und -aufbereitung sind vergleichsweise einfach. Normalerweise kann das im Steinbruch vorhomogenisierte und gebrochene Material direkt dem Ofen aufgegeben werden.

Chemisch-physikalische Eigenschaften des Rohmaterials sowie dessen Reaktivität sind entscheidend für die Ofenwahl. Für die zwei gebräuchlichen Ofentypen (Schachtofen, Drehofen) ist die Aufbereitung des zu brennenden Rohmaterials verschieden. Für einen Schachtofen wird eher grobes Material (Stückgrösse 30–100 mm), für den Drehofen zerkleinertes Material (Stückgrösse unter 30 mm) verwendet. Als Brennstoff wird Kohle oder Öl verwendet. Der Energiebedarf pro Kilo hydraulischer Kalk bewegt sich zwischen 3000 und 4000 kJ. Brenndauer und Brenntemperatur sind abhängig von den Rohmaterialeigenschaften. Die Brenntemperatur liegt normalerweise zwischen 900 und 1050°C (maximal 1200°C) und muss niedriger sein als der Sinterungspunkt des Materials. Während des Brennprozesses werden im Ofen verschiedene Mineralphasen gebildet (siehe unten\*, vgl. auch [Tabelle 7.1](#), [Seite 301](#)). Bestandteile des gebrannten Produktes sind auch gewisse Mengen von nicht aktivierten Oxiden wie SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sowie CaO (als Freikalk) und MgO. Den grössten Einfluss auf die Festigkeitsentwicklung haben Dikalziumsilikat (Belit) und Freikalk. Freikalk rekarbonatisiert nach der Formel:



Die Kalziumaluminat erhöhen die im allgemeinen niedrigen Anfangsfestigkeiten. Gips dient dabei als Abbinderegler,

\* Trikalziumsilikat (Alit): Kurzformel C<sub>3</sub>S;

Dikalziumsilikat (Belit): Kurzformel C<sub>2</sub>S;

Trikalziumaluminat (Aluminat): Kurzformel C<sub>3</sub>A; C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>; CA

Tetralziumaluminatferrit (Ferrit): Kurzformel C<sub>4</sub>AF

Gehlenit: Kurzformel C<sub>2</sub>AS

Kurzformel: C steht für CaO, S für SiO<sub>2</sub>, A für Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und F für Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Vergleiche dazu auch die [Tabelle 7.1](#) im Zementteil.

**Tabelle 7.28: Kriterien für die Beurteilung möglicher Rohstoffe**

Kriterium	Grössenordnung (in %)		
CaCO <sub>3</sub> (CaO)	65 (35)	-	75 (42)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	-	8.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	-	4
SiO <sub>2</sub>	15	-	25
CaO SiO <sub>2</sub>	1.25	-	2.5
SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2	-	4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≥ 2		

**Tabelle 7.29: Produktionsstätten von hydraulischem Kalk**

Firma	Kapazität (t/a)	Nr. auf Abbildung 7.2
Jura-Cement-Fabriken Aarau- Wildeg, Wildeg	50'000	5
K. Hürlimann Söhne AG, Brunnen	> 8'000	6
"Holderbank Cement und Beton, Werk Roche	8'000	11

**Tabelle 7.30: Produktion, Import, Export und Verbrauch von hydraulischem Kalk (in Tonnen pro Jahr). Quelle: Jura-Cement-Fabriken, Wildeg**

Jahr	Schweizerische Produktion	Importe Hydr. Kalk	Gesamt- verbrauch	Export
1982	48'253	16'714	64'967	4'206
1983	44'251	13'295	57'546	3'452
1984	42'946	13'450	56'396	2'464
1985	39'075	15'838	54'913	787
1986	35'808	14'502	50'310	787
1987	33'776	14'535	48'311	839
1988	33'298	16'566	49'864	788
1989	30'491	16'077	46'568	956
1990	25'651	14'496	40'147	548
1991	21'904	12'119	34'023	444
1992	22'000	9'608	31'608	600
1993	16'300	7'968	24'268	500
1994	17'000	8'790	25'790	800
1995	16'300	7'587	23'887	1100
1996	15'900	7'052	22'952	1200

**Tabelle 7.31: Schweizerische Produktion von hydraulischem Kalk (t/Jahr)**

Jahr	JCF Wildeg	KHS Brunnen	HCB Roche	Total
1987	7'900	2'400	7'800	18'100
1988	8'500	2'000	6'200	16'700
1989	13'500	5'900	6'600	26'000
1990	13'400	5'300	6'200	24'900
1991	11'700	4'300	5'300	21'300
1992	14'300	3'700	4'000	22'000
1993	11'600	1'100	3'600	16'300
1994	13'400		3'600	17'000
1995	13'300		3'000	16'300
1996	13'200		2'700	15'900

kann aber zusätzlich auch die Anfangsfestigkeiten verbessern. Gehlenit, ein Kalziumaluminosilikat, trägt nichts zur Festigkeitsentwicklung bei. Eine gute Qualität des hydraulischen Kalkes ist dann gewährleistet, wenn die beiden festigkeitsbestimmenden Bestandteile Freikalk und Belit in genügenden Mengen vorhanden sind, wobei im Falle von Freikalk der Festigkeitsgewinn durch Karbonatisierung erfolgt (nicht hydraulischer Teil), im Falle von Belit durch Hydratation (hydraulischer Teil). Für die Hydratisierung des gebrannten Produktes wird der hydraulische Kalk mit einer bestimmten Wassermenge besprüht. Die notwendige Wassermenge hängt vom Freikalkgehalt des Produktes ab und muss für jede Fabrik individuell festgelegt werden. Zu geringe Wasserzugabe führt zu unvollständiger Hydratation, so dass der verbleibende Freikalk im Endprodukt während des Erhärtens Kalziumhydroxid bilden kann, was zu Dehnungs- und Rissbildungen führt. Eine zu grosse Wasserdosis verursacht Klebrigkeit des Produktes und dadurch Schwierigkeiten im Mahlprozess. Zudem werden die erreichbaren Endfestigkeiten herabgesetzt. Bei sehr gerin-

gem Freikalkgehalt (sog. «Romankalk») ist keine Hydratisierung notwendig. Um eine vollständige Hydratation zu gewährleisten, wird das angefeuchtete Produkt etwa drei Wochen gelagert. Anschliessend wird der hydratisierte hydraulische Kalk zusammen mit 3 bis 4 Prozent Gips feingemahlen.

### 7.2.1.3 Anwendung

Hydraulischer Kalk wird vor allem für die Herstellung von Verputzmörtel (hydraulischer Kalk + Wasser + 2 bis 3 Teile Sand) verwendet. Geschätzt wird er vor allem wegen der guten Verarbeitbarkeit und Adhäsionseigenschaften. Ebenso findet der hydraulische Kalk Anwendung bei der Herstellung von Mauerwerksmörtel für die Herstellung von Mauerwerken mit Backstein-, Zement- oder Kalksandblöcken. Um die Verarbeitbarkeit und Pumpbarkeit des Betons zu verbessern, wird gelegentlich hydraulischer Kalk (10–15% des Zementgewichtes) zugegeben.



**Anforderungen an das Produkt:** In der Schweizer Norm SIA 215 (vgl. [Seite 303](#)) sind nur wenige Charakteristiken des hydraulischen Kalkes definiert, nämlich Abbindebeginn, Druckfestigkeit, Raumbeständigkeit und  $\text{SO}_3$ -Gehalt. Die deutsche Norm DIN 1060 und neu die europäische Norm prEN 459-1 geben weitere Spezifikationen bezüglich hydraulischem Kalk.

**Anforderungen an die Rohstoffe:** Für die Herstellung von hydraulischem Kalk sind mergelige Kalksteine und Mergel in einer recht grossen Bandbreite geeignet. Vorzugsweise sollte nur eine Rohmaterialkomponente verwendet werden, die etwa den chemischen Anforderungen entspricht. Je homogener die Oxide der vier Hauptelemente  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  im Gestein verteilt sind (z.B. Mergel), umso besser ist die Reaktivität während des Brennprozesses im Ofen. Die Kriterien für die Beurteilung der Eignung der Rohstoffe für die Herstellung von hydraulischem Kalk sind in [Tabelle 7.28](#) aufzeigt. Der  $\text{MgO}$ -Gehalt darf in den Rohstoffen für hydraulischen Kalk höher sein als in Zementrohstoffen, da das expansive Potential im Zeitraum der Feuchtlagerung gemäss der Reaktion:  $\text{MgO} \rightarrow \text{Mg(OH)}_2$  (Brucit) abgebaut wird.

#### 7.2.1.4 Rohstoffsituation in der Schweiz

Als potentielle Rohstoffe für die Herstellung von hydraulischem Kalk können all jene Gesteine betrachtet werden, die bereits im [Kapitel 7.1.3.1](#) als mögliche mergelige Rohstoffe für die Zementherstellung aufgeführt wurden, also beispielsweise die Effingerschichten im Jurabereich, die Couches Rouges in den präalpinen Decken oder die Seewerschiefer und Drusbergschichten im Helvetikum.

**Produktionsstandorte:** Hydraulischer Kalk wird heute noch in zwei Werken produziert (siehe auch [Abbildung 7.7](#) und [Tabelle 7.29](#)). Die Jura-Cement-Fabriken Aarau-Wildegg (JCF) und die Holderbank Cement und Beton ("HCB"), Werk Roche, produzieren mit Schachttöfen (JCF mit 2, "HCB Roche mit 4); die K. Hürlimann & Söhne AG produzierten bis 1993 im Drehofen.

**Verwendete Rohstoffe:** Die JCF verwendet Effingermergel, die "HCB Roche Couches Rouges als Rohstoffe (Chemische Analysen siehe [Tabellen 7.17](#) und [7.24](#)). Die KHS stellte aus verschiedenen Gesteinen ein Rohmaterialgemisch her.

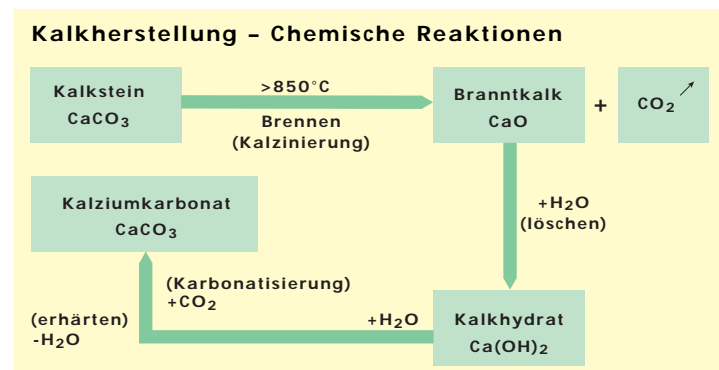
**Produktionsmengen:** Seit Anfang der achtziger Jahre nahm sowohl die einheimische Produktion wie auch der Verbrauch

von hydraulischem Kalk ab (siehe [Tabelle 7.30](#)). 1992 wurden in den drei schweizerischen Produktionsstätten noch etwa 19'000 Tonnen hydraulischer Kalk produziert, etwa 9600 Tonnen importiert, insgesamt wurden in der Schweiz etwa 28'600 Tonnen verbraucht. Der Anteil an exportiertem Kalk ist unbedeutend. Für die Jahre 1987 bis 1992 produzierten die drei Werke die in der [Tabelle 7.31](#) angegebenen Mengen hydraulischer Kalk. Als einziges Werk exportierte die Jura-Cement-Fabrik Aarau-Wildegg hydraulischen Kalk in der Grössenordnung von einigen 100 Tonnen pro Jahr. Die heute recht bescheidene Produktion war in früheren Jahren beträchtlich grösser. Dieser Rückgang, bedingt durch sich ändernde Anforderungen von seiten des Baustoffmarktes, drückt sich auch in den im folgenden aufgezählten, in den letzten 20 Jahren stillgelegten Produktionsstellen von hydraulischem Kalk aus: Cementwerk Därligen AG, Därligen (1969); Cement- und Kalkfabrik Liesberg (1976); Cementfabrik Holderbank, Holderbank (1981); Cement- und Kalkfabrik Unterterzen (1988); Cementwerke Vigier AG, Luterbach (1988); Kalkfabrik Spühler AG, Rekingen (1989).

#### 7.2.2 BRANNTKALK UND KALKHYDRAT

##### 7.2.2.1 Definition

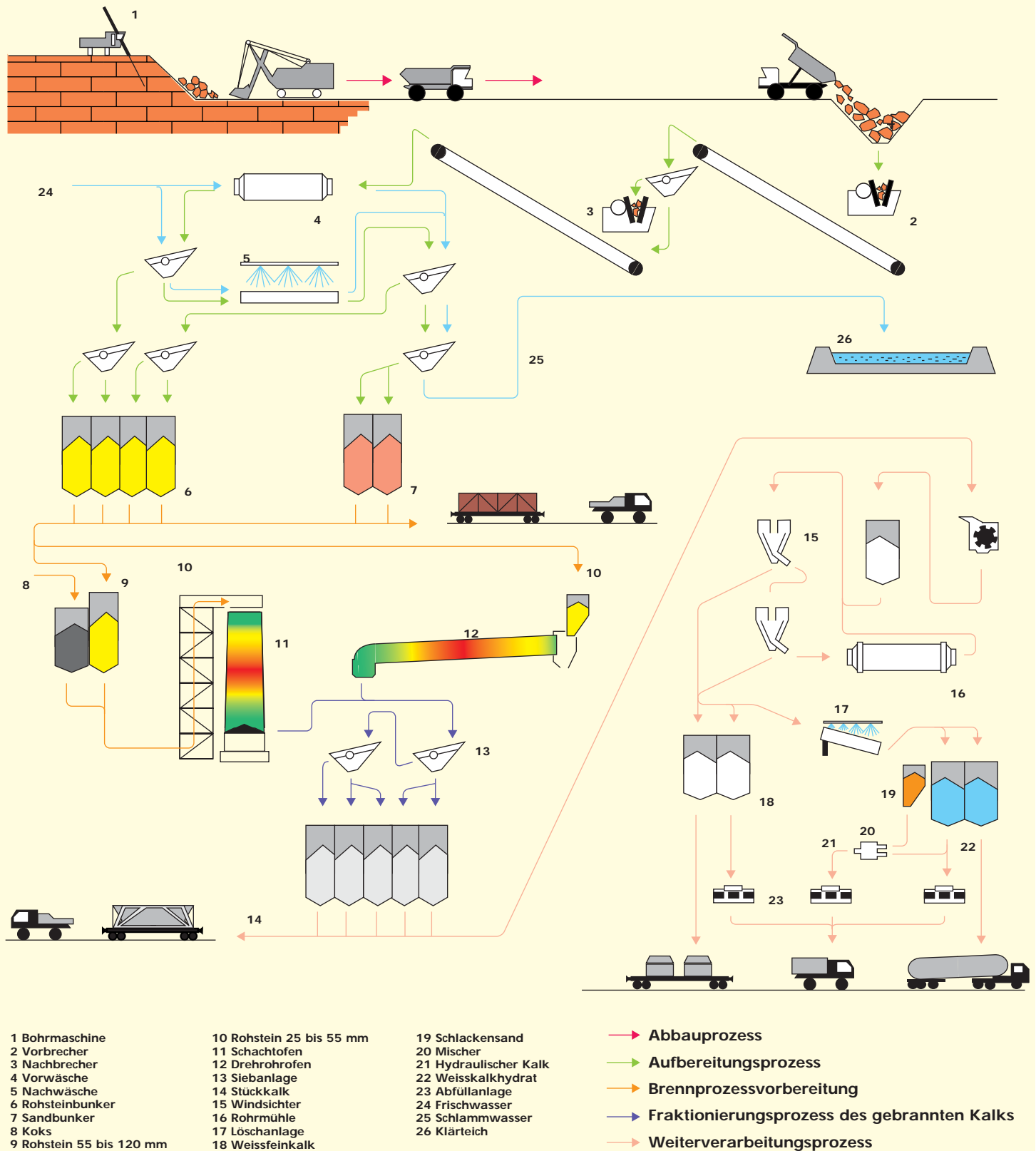
Durch Brennen (Kalzinierung) von meist hochprozentigem Kalkstein bei Temperaturen unter dem Sinterungspunkt (etwa 900 bis 1200°C) entsteht Branntkalk ( $\text{CaO}$ ) unter Abgabe von  $\text{CO}_2$ . Wenn Wasser zugegeben wird, reagiert dieses Produkt heftig und bildet Kalkhydrat ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), wobei die gebrannten Kalkbrocken zerfallen. Durch zusätzliche Wasserzugabe wird auf der Baustelle eine Paste hergestellt, die anschliessend durch Wasserverdunstung und Aufnahme von  $\text{CO}_2$  aus der



7.27

Abbildung 7.27: Kalzinierung und Karbonatisierung. Schema der chemischen Reaktionen bei der Kalkherstellung.

# Schema der Kalkherstellung



7.28

Abbildung 7.28: Produktionsschema und Herstellungsprozess von Kalkprodukten (Hydraulischer Kalk, Branntkalk, Kalkhydrat). Zusammenfassung der wichtigsten Produktionsschritte vom Rohmaterialabbau bis zum Vertrieb der Produkte.

Für die detaillierte Beschreibung der einzelnen Produktionsstufen und für die Erklärung ablaufender Reaktionen sei auf den Text verwiesen.



Luft zu Kalziumkarbonat (Karbonatisierung) erhärtet ( $\text{CaCO}_3$ ). Ein Nachteil von Kalk ist seine geringe Frühfestigkeit. Die Karbonatisierung geschieht langsam. Unterwasseranwendung ist wegen ausbleibender Erhärtung nicht möglich. Schematisch können diese Vorgänge wie in [Abbildung 7.15](#) aufgezeigt dargestellt werden.

### 7.2.2.2 Herstellungsprozess

Der Herstellungsprozess von Branntkalk und Kalkhydrat wird in drei Produktionsphasen aufgeteilt ([Abbildung 7.16](#)):

- **Aufbereitung** des Kalksteins: Im Steinbruch wird das Gesteinsmaterial durch Sprengen gewonnen und über Vorebrecher und Nachbrecher der Waschanlage zugeführt. Dort werden tonige und sandige Bestandteile entfernt; diese gelangen in die separate Sandgewinnung und werden im Sandbunker für den Vertrieb zwischengelagert. Das gewaschene Material wird klassiert und gelangt in den Rohsteinbunker.
- **Kalkbrennen**: Das gereinigte und klassierte Rohmaterial wird im Dreh- oder Schachtofen zu sogenanntem Branntkalk gebrannt und anschliessend, je nach Verwendungszweck, gebrochen, als Stückkalk gelagert oder bei Verwendung als Weissfeinkalk der Mühle zugeführt.
- **Kalklöschen**: Der gebrochene Branntkalk wird über die Löschanlage zu Weisskalkhydrat weiterverarbeitet.

**Branntkalk:** Bei der Aufbereitung des Kalksteins ist neben seiner Reinheit das mechanische Verhalten wichtig. Nach dem Brechen wird häufig der ganze Gesteinsstrom über eine Wasch- und Sortieranlage geleitet, um Feinstfraktionen, einschliesslich tonige Partikel, herauszuwaschen. Anschliessend werden über eine Reihe von Schwingsieben definierte Korngrössenklassen aussortiert. Die zum Brennen im Ofen erforderliche Korngrösse hängt vom Ofentyp (Schachtofen, Drehofen) und vom Brennstoff (Koks, Anthrazit, Öl, Erdgas) ab.

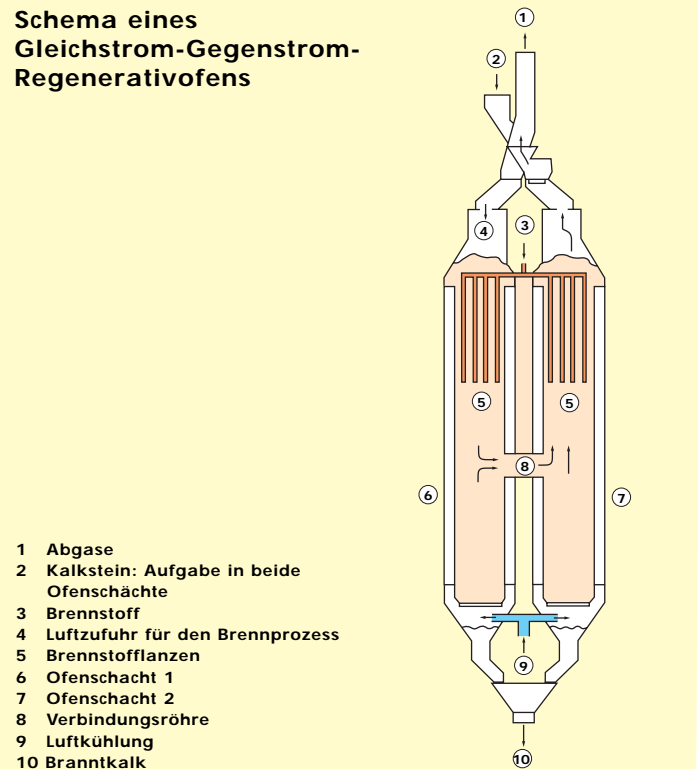
In der Schweiz wurden bisher für das Brennen des Kalksteins meistens Schachtofen verwendet, die mit Koks oder Öl beheizt werden. Mit Öl befeuerte Öfen werden periodisch über eine Förderanlage mit Kalkstein beschickt. Für die mit Koks geheizten Schachtofen wird ein wohldosiertes Gemisch von Kalkstein und festem Brennstoff dem Ofen zugeführt, wobei mittels einer Vibratorrinne grobkörnigerer Kalkstein im Zentralteil und die feinere Kalksteinfraktion zum Ofenrand hin verteilt werden. Zum Schutze der Ofenausmauerung wird die Ofenrandpartiefüllung nicht mit Brennstoff versehen. Auf

dem vertikalen Weg durch den Schachtofen durchläuft der Kalkstein von oben nach unten drei Temperaturzonen:

- **Vorwärmzone**: das Material wird durch die aufsteigenden heissen Gase erwärmt.
- **Brennzone**: bei Temperaturen zwischen 1100 und 1250°C wird der Kalkstein kalziniert, das heisst das  $\text{CO}_2$  wird ausgetrieben. In dieser Zone verbrennen die beigemischten festen Brennstoffe im koksbeheizten Ofen, oder Öl wird durch spezielle Ölbrenner vergast und mit einer Temperatur von 1100°C in den Ofenraum gepresst.
- **Kühlzone**: das gesamte Material kühlt im Luftstrom im untersten Teil des Ofens ab. Die dadurch erwärmte Luft steigt in die Brennzone. Am unteren Ende des Schachtofens wird der gebrannte Kalk mechanisch abgezogen.

Den modernsten Stand der Technik bildet der sogenannte Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativofen (GGR-Ofen). Er besteht aus zwei Schächten, die jeweils abwechselnd befeuert werden. Während der Befeuerung des einen Schachts wird im anderen der Kalkstein mit dem heissen Abgas vorgeheizt. Dieser Ofentyp arbeitet mit optimaler Energieumsetzung ([Abbildung 7.29](#)).

**Schema eines Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativofens**



7.29

Abbildung 7.29: Schema eines Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativofens, wie er bei der Kalkfabrik Netstal AG im Einsatz ist [nach Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry, 1990].

Tabelle 7.32: Anwendung von Branntkalk und Kalkhydrat in der Schweiz

INDUSTRIE	BRANNTKALK	KALKHYDRAT
Baugewerbe		Mauer- und Verputzmörtel, Kalkfarbanstrich
Strassenbau	Bodenstabilisation	Teerstabilisierung
Baustoffindustrie	Kalksandsteine, Gasbeton	Fertigputz, Trockenmörtel, Isolierbauelemente
Chemische und andere Industrien	Mittel zur Neutralisation, Hilfsstoffe für Reaktionen, Zuckerindustrie (hier wird normalerweise selbst gebrannt)	Mittel zur Neutralisation (Papierindustrie, Gerbereien). Kühlwasserenthärtung
Eisen- und Stahlindustrie	Zuschlagstoff für Schlackenbildung im Elektroofen	Gleitmittel auf Drahtziehbank
Landwirtschaft		Düngekalk, Mittel zur Verbesserung saurer Böden und für die Agrarchemie
Umweltschutz	Abwasserklärung, Neutralisation, Schlammstabilisierung Rauchgasreinigung	Neutralisation, Abwasserklärung, Schlammstabilisierung, Rauchgas-Waschanlagen

Quelle: Kalkfabrik Netstal AG

Die Eigenschaften des Branntkalkes werden weitgehend durch das Brennverhalten des Kalksteins bestimmt, welches aufgrund der geologischen Entstehung und der physikalischen und chemischen Beschaffenheit des Gesteins sehr unterschiedlich sein kann. Im Schacht- oder Drehofen entsteht je nach Temperatur und Brenndauer durch die thermale Zersetzung mit steigender Temperatur ein Schwachbrand, Mittelbrand oder Hartbrand. Reaktivität und Porosität nehmen dabei sukzessive ab. Während des Brennens laufen mit steigender Temperatur folgende Reaktionen ab:

- *Ausdehnung* des Kalksteins vor der Entsäuerung
- Beginn der oberflächlichen *Entsäuerung*; das Porenvolumen nimmt zu, während das Probenvolumen sich wenig verändert.
- Nach Beendigung der *Kalzinierung*, das heisst nach dem Austreiben des CO<sub>2</sub>, wachsen die CaO-Kristalle, das Porenvolumen erreicht das Maximum. Die Kristallgrösse beträgt bei 900 bis 1000°C etwa 1 Mikrometer, vergrössert sich aber mit zunehmender Brenndauer auf mehr als 10 Mikrometer. Anorganische Unreinheiten wie SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sowie Kohlenasche tragen zu diesem Phänomen bei.
- *Zusammensintern* der CaO-Kristalle und Abnahme des Poren- und Probenvolumens.

Der gebrannte Kalk gelangte früher von den Öfen in eine Lesestation, wo von Hand einerseits der Ausschuss und andererseits besonders reiner, weich gebrannter Kalk ausgelesen wurden. Heute kommt man durch die Optimierung des Brennprozesses in modernen Öfen ohne Handarbeit aus. Ein Teil des Materials wird direkt als Stückkalk weiterverkauft, ein ande-

rer durch Mahlen zu Weissfeinkalk verarbeitet oder für den Löschvorgang für die Herstellung von Kalkhydrat vorbereitet.

*Kalkhydrat*: Die Aufbereitung des Branntkalkes zu Kalkhydrat geschieht über einen Löschvorgang. Der zu löschende Stückkalk wird im Brecher oder in einer Mühle auf eine bestimmte Korngrössenbandbreite zerkleinert (z.B. 0–10 mm) und anschliessend gemischt. Der Löschvorgang (Hydratation) geschieht durch Zugabe von Wasser nach der Reaktion:



Gelöscht wird mit flüssigem oder dampfförmigem Wasser. Einfluss auf das Löschverhalten des Kalkes haben der Brenngrad des Kalkes (die Löschgeschwindigkeit des Kalkes nimmt mit steigendem Brenngrad ab), die Beschaffenheit des Löschwassers (Härte, Sulfat-, Chloridgehalt) und die Temperatur in den verschiedenen Stufen der Hydratanlage.

In der Kalkindustrie wird heute praktisch nur noch *trocken gelöscht*. Unter Zugabe von Wasser wird der Kalk in der Hydratanlage gerührt und hydratisiert, wobei das fertige Hydrat nach oben steigt und überläuft. Durch die Löschwärme verdampft ein Teil des Wassers. Die Bildung von Ca(OH)<sub>2</sub>, beziehungsweise Portlandit ist mit einer markanten Volumenzunahme verbunden, wodurch das Kalkhydrat in Pulverform zerfällt (Dichte von CaO = 3,33 g/cm<sup>3</sup>, Dichte von Ca(OH)<sub>2</sub> = 2,24 g/cm<sup>3</sup>). Um eine vollständige Hydratation zu erreichen, sind 32% Wasser notwendig, die chemisch gebunden werden. Zusätzlich muss noch das Wasser zugeführt werden, das durch die Reaktionswärme verdampft. 100 Ton-



Tabelle 7.33: Anforderungen an die chemische Zusammensetzung von Weisskalk für die Herstellung von Branntkalk oder Kalkhydrat für verschiedene Verwendungszwecke

	Deutsche Normen bzw. Richtwerte nach (DIN 1060, 19614); in %		
Bauindustrie	CaO (CL 90, CL 80, CL 70*)	≥ 90, 80, 70	
	MgO	≤ 5	
Stahlindustrie	CaO	50	– 55
	MgO	0.6	– 1.7
	SiO <sub>2</sub>	0.6	– 1.7
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.6	– 1.7
	S	0.003	– 0.05
Kalksandstein-Industrie	CaO	51	– 53
	MgO	(≤ 2.8)	
Wasseraufbereitung	(Typ 1, 2, 3):	CaO ≥ 87, ≥ 84, ≥ 80	
Bodenstabilisierung	CaO	≥ 50	

\*CL = Calcium lime (CaO aus Kalk)

nen Branntkalk und 32 Tonnen Wasser ergeben demnach 132 Tonnen Kalkhydrat.

*Nasslöschen* (Herstellen eines Kalkschlammes) wird durch die Zugabe einer Überdosis Wasser zu Stück- oder Feinkalk erreicht. Dieses Verfahren wurde früher noch in Löschpfannen auf Baustellen oder industriell in Mörtelwerken und chemischen Fabriken angewandt. In Bereichen, in denen grössere Mengen an Kalkmilch (> 500 Tonnen/Jahr) benötigt werden, kann der Einsatz einer Löschanlage sinnvoll sein (z.B. Kehrichtverbrennungsanlagen). Ansonsten ist das Trockenhydrat, das in modernen Anlagen produziert wird, von so guter Qualität, dass sich das Löschen vor Ort nicht lohnt.

### 7.2.2.3 Anwendung

Das Spektrum der Anwendbarkeit und Verwendungsmöglichkeit von Kalk und Kalkhydrat ist sehr breit. Die Anforderungen an das Produkt sind je nach Endabnehmer unterschiedlich. Die Hauptverwender von Kalkprodukten sind in der [Tabelle 7.32](#) dargestellt.

*Anforderungen an die Produkte:* Die Anforderungen an das Produkt können chemische Parameter wie CaO/Ca(OH)<sub>2</sub>, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CO<sub>2</sub> und physikalische Eigenschaften wie beispielsweise Reaktivität, Feinheit, Schüttdichte und Litergewicht umfassen und richten sich nach den Spezifikationen der Anwender. In der Schweizer

Tabelle 7.34: Grobe Einteilung der Kalksteine nach ihrer Eignung zur Herstellung von gebranntem Kalk

Zunahme der Qualität	Güteklasse	Kalksteintyp	Beispiel
	1	Kalksteine, die während des Aufheizens schon bei tiefen Kalzinertemperaturen Risse bilden und leicht zerfallen	Dichte, grobkristalline Kalksteine
	2	Kalksteine, die zu einem dichten, wenig porösen, wenig reaktiven Kalk führen, auch unter den mildesten Bedingungen	Feinkristalline Kalksteine und solche mit hohem Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Gehalt
	3	Kalksteine, die bei den meisten Kalzinierungsbedingungen zu einem porösen, reaktiven Kalk führen und die schwer zu überbrennen sind	Kreidige Kalksteine
	4	Kalksteine, die bei milden Kalzinierungsbedingungen einen porösen, reaktiven und bei härteren Brennbedingungen einen dichteren, weniger reaktiven Kalk geben	Kalksteine mit organischen Verunreinigungen

Norm SIA 215 sind nur wenige Charakteristiken, nämlich Raumbeständigkeit, Reaktionsfähigkeit, Mahlfeinheit sowie die zulässigen Gehalte an aktivem CaO, aktivem Ca(OH)<sub>2</sub> und MgO, definiert (siehe auch europäische Norm ENV 459 «Weisskalk» und DIN 19611 «Weisskalk zur Wasseraufbereitung»).

*Anforderungen an die Rohstoffe:* Die drei wichtigsten Beurteilungskriterien für den Kalkstein sind das mechanische Verhalten (Druckfestigkeit, Abrieb), die chemische Zusammensetzung und das Brennverhalten.

*Mechanisches Verhalten:* Druckfestigkeit und Abrieb des Kalksteines sind für die Ofenwahl entscheidend. Im Schachtofen darf das Aufgabematerial nicht durch das darüberliegende Material zerdrückt werden; im Drehofen darf der Abrieb nicht zu gross sein, damit die Stücke nicht zu Pulver zerfallen. Kalksteine mit geringer Druckfestigkeit, wie beispielsweise Kreide, können nur im Drehofen gebrannt werden. Schon beim Brechen des Rohmaterials sollte möglichst wenig Feinanteil entstehen, da dieser abgesiebt und verworfen werden muss.

*Chemische Zusammensetzung:* Die Brauchbarkeit eines Kalksteines zur Kalk- oder Kalkhydratproduktion hängt vor allem von seinem CaCO<sub>3</sub>-Gehalt ab und lässt sich aus den Normen und Richtlinien für Branntkalk und Kalkhydrat ableiten. Kalk und Kalkhydrate im Bausektor verlangen Kalksteine mit Titrationswerten ≥ 80%. Der MgO-Gehalt darf (auf Kalksteinba-





7.30

sis umgerechnet), je nach Norm maximal 1.4% (entsprechend 2.5% MgO im gebrannten Kalk) bis 6.0% (entsprechend 10% MgO im gebrannten Kalk) betragen. Für die verschiedenen Sonderkalke werden je nach Verwendungszweck  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  oder  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  begrenzt. In [Tabelle 7.33](#) sind die den Anforderungen für Kalk entnommenen und auf Kalkstein umgerechneten Werte zusammengestellt.

**Brennverhalten:** Unter dem Brennverhalten eines Kalksteines versteht man im allgemeinen die Geschwindigkeit der  $\text{CO}_2$ -Abgabe beim Kalzinieren, das Dehnungs-Schwindungsverhalten während der Zersetzung und die Abhängigkeit der chemischen Reaktionsfähigkeit des entstehenden Kalkes von der Zersetzungstemperatur (Hartbrand-Weichbrand). Das Brennverhalten hängt vor allem von der Art des Gefüges des Kalksteines, von seiner Textur und der Art und dem Gehalt von Beimengungen ab. Kalksteine mit einem dichten Gefüge (Massenkalke) brauchen im allgemeinen eine höhere Zersetzungs-

temperatur, während sich feinkristalline Kalksteine etwas leichter und kreidige Kalksteine sehr leicht brennen lassen. Organische Einschlüsse im Kalkstein erleichtern das Brennen, solange sie nicht zum Zerfall des Kalksteins im Schachtofen führen. Betrachtet man die verschiedenen Einflüsse auf das Brennverhalten, so lassen sich die Kalksteine grob in vier Klassen einteilen, wobei ihre Eignung von der Klasse 1 bis 4 zunimmt ([Tabelle 7.34](#)).

#### 7.2.2.4 Rohstoffsituation und Produktion in der Schweiz

Reine Kalksteine finden sich in der Schweiz vor allem in der Malmformation des Jura gebirges und der helvetischen Decken sowie zum Teil in der Kreideformation der letztgenannten tektonischen Einheit. Zur Zeit wird Branntkalk nur noch in einer Fabrik in der Schweiz hergestellt, der Kalkfabrik Netstal AG (siehe [Abbildung 7.7](#) und [7.30](#)). Bis vor kurzem

Abbildung 7.30: Fabrik und Steinbruch der Kalkfabrik Netstal AG.



wurden die beiden Produkte auch in der «Fabrique de Chaux de St-Ursanne S.A.» hergestellt, im Laufe des Jahres 1993 wurde die Produktion in St-Ursanne jedoch eingestellt. Da der unterirdische Abbau in St-Ursanne doch etwas Spezielles war in der Schweiz, wird das Werk trotzdem kurz beschrieben.

In den letzten 20 Jahren sind ferner folgende Kalkwerke stillgelegt worden: Kalk- & Steinfabrik AG, Beckenried (1971); K. Hürlimann Söhne, Brunnen (1972); Hunziker AG, Olten (1980) und Kalkfabrik Thayngen AG, Thayngen (1982).

### Kalkfabrik Netstal AG (KFN)

Das seit 1900 produzierende Werk (Abbildung 7.30) hat eine Kapazität von 100'000 Tonnen pro Jahr und ist ausgerüstet mit zwei koksgefeuerten Beckenbach-Öfen à 100 Tonnen pro Tag, die sich derzeit nicht mehr in Betrieb befinden und Mittel- bis Hartbrand erzeugten, sowie mit einem ölgefeuerten, umgebauten Fiedler-Ofen à 60 Tonnen pro Tag, mit dem Weichbrand produziert wird. Ein neuer GGR-Ölofen (Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativofen) mit einer Kapazität von 200 Tonnen Kalk pro Tag hat 1994 die beiden Koksöfen ersetzt (siehe Seite 328). Produziert werden etwa 75% Branntkalk (Stückerkalk, Weissfeinkalk und Stabilitkalk) mit über 95% CaO und etwa 25% Weisskalkhydrat mit über 97% Ca(OH)<sub>2</sub>. Daneben wird auch ungebranntes Material (Schotter) hergestellt.

Der am Elggis abgebaute Kalkstein wird tektonisch der Elggis-Scholle, einer Unterschuppe der Glarnerdecke (Helvetikum), zugeordnet. Die abgebaute Kalksteinsequenz wird durch eine stark tektonisierte, mehr oder weniger Nord-Süd verlaufende Zone zweigeteilt, so dass die Vermutung besteht, dass es sich um zwei tief getrennte Einheiten (Schollen) handeln könnte, die eventuell sogar zwei verschiedenen Decken (Glarner- und Mürtschendecke) zuzuordnen wären. Diese tektonische Störung bildet wegen der damit verbundenen Dolomitisierung eine eigentliche Abbaurennfläche. Die abgebauten Gesteine sind vor allem der Malmformation zuzuordnen. Makroskopisch ist keine verlässliche Altersabfolge erstellbar. Lithologisch können folgende Einheiten unterschieden werden:

– *Quintnerkalk*: muschelrig brechender, feinkörniger bis dichter, dunkelgrauer bis schwarzer Kalkstein. Untergeordnet in Bänken und Linsen, Fleckenkalke und feinspaltige Kalkbrekzien. Dolomitisierungserscheinungen entlang von Scher-, Kluft- und Bruchflächen. Selten sind einzelne Silixknollen sichtbar.

- *Troskalk*: feinkörniger bis dichter, beiger bis weisslicher Kalkstein mit untergeordnet dunklen, teilweise korallenführenden Partien. Silixknollen sind selten.
- *Spätiger Kalk, Korallenkalk*: Wechsel von spätigem, meist hellgrauem, beige bis bräunlichem Kalkstein und spätigem, schwarzem bis gräulichem Kalkstein mit auffälligen weissen Korallen und Korallennestern. Die helleren, spätigen Kalksteine sind zum Teil etwas onkolithisch und gleichen dem unteren Öhrlikalk der Kreideformation.
- *Grenzschichten Jura-Kreide*: die Gesteine dieser Serie lassen sich nicht klar einteilen; sie sind farblich und in der Textur stark wechselnd und werden deshalb als Übergangsschicht angeschaut. Es wird vermutet, dass es sich um eine kalkige Ausbildung der Zementsteinschichten handeln könnte.

Tabelle 7.35: Chemische Zusammensetzung der Kalksteine von Netstal und St-Ursanne [CSD, 1990]

Werk	Netstal	St-Ursanne
Geologie	Malm (in %)	St-Ursanne-Formation, Oxfordien (Malm)
Glühverlust 400°C	0.15	0.11
Glühverlust 1000°C	43.80	43.77
CaCO <sub>3</sub>	>98.00	99.36
HCl unlöslich	0.1	0.10
Ca	n.b	39.88
MgCO <sub>3</sub>	<1.0	n.b
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.2	n.b
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.2	n.b
SiO <sub>2</sub>	0.2	n.b
SO <sub>4</sub>	n.b	0.15
Mg	n.b	412 ppm
Sr	70 ppm	<208 ppm
PO <sub>4</sub>	n.b	<208 ppm
Na	30 ppm	573 ppm
K	n.b	165 ppm
Al	n.b	119 ppm
Fe	n.b	100 ppm
Ti	n.b	11 ppm
Mn	7.7 ppm	n.b
Pb	<1 ppm	n.b
Ag	<0.5 ppm	n.b
Cu	1.8 ppm	n.b
Zn	3.0 ppm	n.b
Ni	<0.5 ppm	n.b
Cr	1.4 ppm	n.b
Ba	1.5 ppm	n.b
Bi	2.6 ppm	n.b
Cd	<0.1 ppm	n.b
Co	<0.5 ppm	n.b
Li	<0.5 ppm	n.b





Angaben der Kalkfabrik Netstal wurden die in der Schweiz produzierten Kalkprodukte in den verschiedenen Industriezweigen proportional wie folgt verwendet:

- 35% in der Eisen- und Stahlindustrie. Zugabe von Stückkalk beim Schmelzvorgang zur Ausbringung von Verunreinigungen (→ Schlacke)
- 24% im Umweltschutz: Trinkwasseraufbereitung, Neutralisation und Schlamm Trocknung in Kläranlagen, Rauchgasreinigung in Kehrrechtverbrennungsanlagen, Zementwerken und anderen Industrien, Behandlung des Wassers in Kernkraftwerken mit Kühltürmen.
- 22% in der Baustoffindustrie: Kalksandsteinfabrikation und Verputzindustrie.
- 12% im Baugewerbe: Verwendung von Stabilitkalk für Straßenbau, Wald- und Güterwege (Stabilisierung von ton- und lehmhaltigen Böden).
- 7% in anderen Industrien, beispielsweise der chemischen Industrie, in Zucker- und Papierindustrie, in galvanischen Betrieben, Verzinkereien, Abblaugereien oder in der Pharmaindustrie.

Neben den eigentlichen Kalkprodukten (hydraulischer Kalk, Branntkalk und Kalkhydrat) produzierten die schweizerischen Kalkwerke auch 250'000 bis 300'000 Tonnen Kalksteinprodukte (Schotter und Kalksteinmehl).

## 8 GIPS UND SALZ

### Übersicht

#### 8.1 Gipsindustrie

##### 8.1.1 Einführung

##### 8.1.2 Grundlegende Begriffe der Gipsfabrikation

##### 8.1.3 Abbinden des Gipses

##### 8.1.4 Merkmale und Eigenschaften der Gipse

##### 8.1.5 Verwendung

##### 8.1.5.1 Gips als Baustoff

##### 8.1.5.2 Spezialgipse

##### 8.1.5.3 Gips in der Zementindustrie

##### 8.1.5.4 Produktionszahlen

##### 8.1.6 Anforderungen an das Rohmaterial

##### 8.1.6.1 Naturgips

##### 8.1.6.2 Industriegips

##### 8.1.7 natürliche Rohmaterialresourcen und ihre Nutzung

##### 8.1.7.1 Gipsvorkommen im Jura

##### 8.1.7.2 Gipsvorkommen in den Alpen

###### – Nördliche Kalkalpenzone

###### – Innere und südliche Alpengebiete

###### – Aufschlussverhältnisse

##### 8.1.7.3 Beschreibung der einzelnen Vorkommen

###### – Leissigen–Krattigen

###### – Bex

###### – Kerns/Melbach

###### – Granges

###### – Zeglingen

#### 8.2 Salzlagerstätten

##### 8.2.1 Einführung

##### 8.2.2 Geologie der Salzvorkommen

##### 8.2.2.1 Steinsalz des Mittleren Muschelkalks –

###### Geologie der Rheinsalinen

##### 8.2.2.2 Salzlager des Keupers

##### 8.2.2.3 Salzvorkommen im Ultrahelvetikum –

###### Geologie der Minen von Bex

###### – Lithologische Charakterisierung (Bex)

###### – Tektonische Verhältnisse (Bex)

##### 8.2.3 Nutzung der schweizerischen Salzvorkommen

##### 8.2.3.1 Geschichte der Mines et Salines de Bex

###### – Produktion (Bex)

##### 8.2.3.2 Geschichte der Nutzung der Salzvorkommen am Hochrhein

##### 8.2.4 Technik der Salzgewinnung

##### 8.2.4.1 Solegewinnung

##### 8.2.4.2 Salzproduktion

##### 8.2.5 Verwendung des Salzes



# 8 GIPS UND SALZ

**Kapitelinhalt**



Autoren: Prof. Dr. Lukas Hauber, Geologisch-Paläontologisches Institut, Universität Basel, Bernoullistr. 16, 4056 Basel ([Kapitel 8.2](#))  
Dr. Klaus Stucky, Branzistrasse 13, 8303 Bassersdorf (vormals Gipsunion AG, 5113 Holderbank) ([Kapitel 8.1](#))

mit Beiträgen von: Lucien Fournier, ch. Montaillet 5, 1880 Bex ([Kapitel 8.2](#))  
Dr. Marc Weidmann, sentier du Molard 3, 1805 Jogny ([Kapitel 8.2](#))

Fotos: Heinz Leuenberger, DESAIR AG, Wermatswil (8.13, 8.17), Slavko Mesaric, Spiegel bei Bern (Titelbild, 8.14, 8.15), Tonio Merz, Gipsunion AG, Holderbank (8.2), Ribordy-Luyet SA, Sion (8.16), Rudolf Schicht, Mühlehorn (8.4, 8.5), Leo Uehli, Gipsunion AG, Holderbank (8.13), REM-Labor der Universität Basel (8.19).

---

**Abbildung auf Vorderseite: Der  
Gipsbruch Leissigen/Krattigen BE  
auf der Südseite des Thunersees.  
Das Bild stammt von 1993, die  
Blickrichtung ist gegen Süden.**



## ÜBERSICHT

---

Unter dem Ausdruck «Salzlagerstätten» im weiteren Sinne werden natürliche Vorkommen von Gesteinen verstanden, welche aus Salzmineralen aufgebaut werden. Zu den Salzmineralen gehören vorwiegend die Verbindungen von Kalzium, Magnesium, Natrium und Kalium mit Sulfat und Chlorid. Es handelt sich um eine breite Palette verschiedenster Minerale, auch von Mischkristallen, welche durch das Eindunsten von Wässern sowohl im kontinentalen als auch und vor allem im marinen Bereich entstehen. Sie gehören zu den Verdunstungsgesteinen oder Evaporiten und weisen als solche eine grosse Verbreitung auf.

Bei der Verdunstung von normalem Meerwasser fallen zunächst die wenig löslichen Karbonate aus. Wenn die Konzentration um den Faktor 3.4 zugenommen hat, setzt die Ausfällung von Gips ein; wenn die Konzentration den Faktor 11 erreicht hat, fällt Steinsalz aus, und erst bei einer Anreicherung um den Faktor 60 beginnt die Ausscheidung der Kalium- und Magnesiumsalze. Entsprechend sind diese Salze auch wieder leicht löslich und unter unseren klimatischen Gegebenheiten oberflächlich nicht der Beobachtung zugänglich. Gips und Salz sind in wirtschaftlich-technischer Hinsicht die wichtigsten Gesteine aus der Gruppe der Evaporite. Beide besitzen seit jeher eine grosse Bedeutung für die menschliche Gesellschaft, sei dies nun Gips als Baustoff oder Salz als Nahrungsmittel(zusatz).

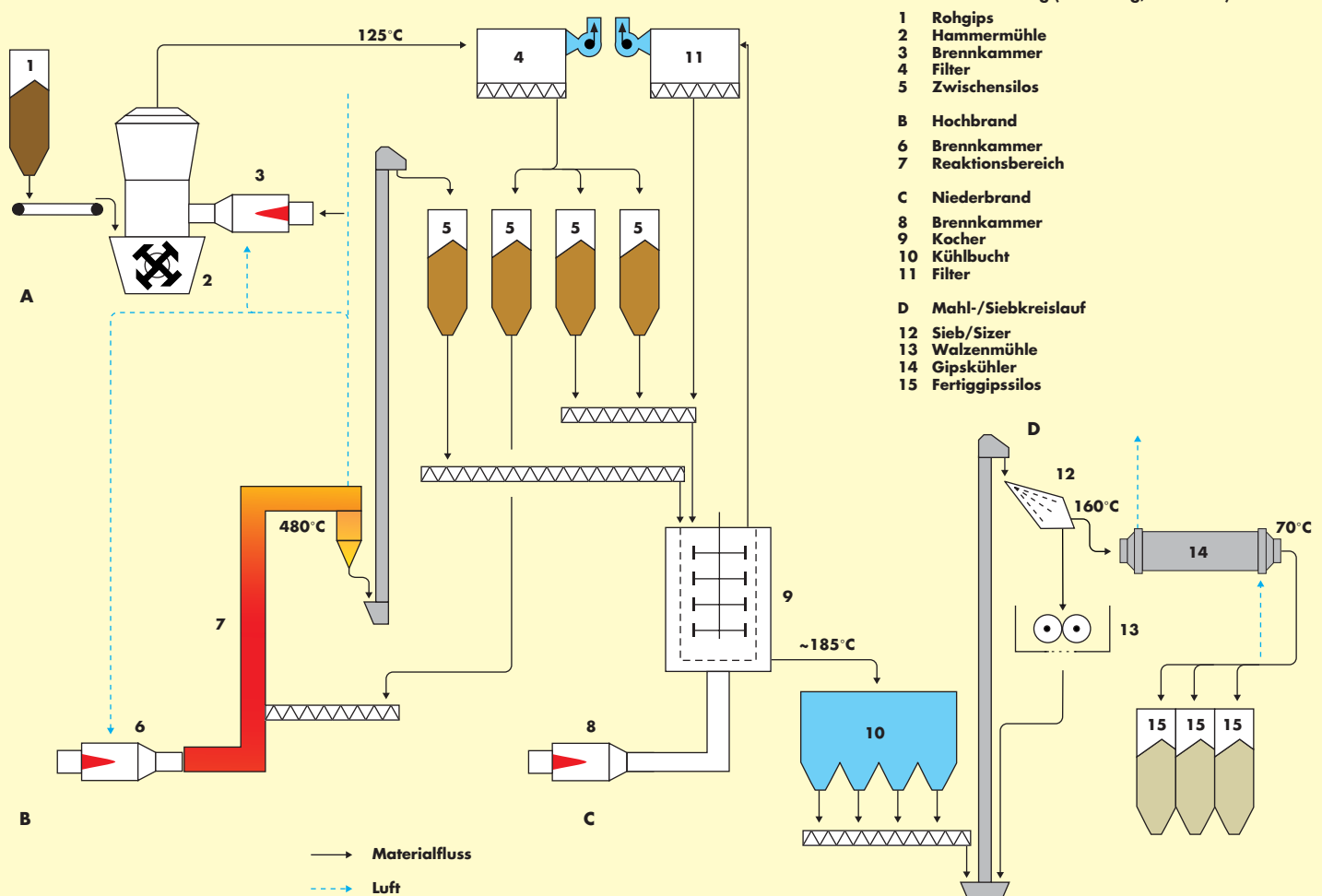
Gips ist einer der ältesten bekannten Baustoffe; er wurde schon von den Ägyptern beim Bau der Cheopspyramide von Gizeh verwendet. Aber nicht nur die Ägypter, sondern auch die Assyrer kannten ihn. Gegen 300 vor Christus berichtet der griechische Philosoph Theophrast in seinem Buch «Peri lithôn» (Von den Steinen) von Gipsproduktionsstätten, namentlich auf Zypern, in Phönizien und Syrien, wo man diesen Baustoff als Verputz sowie auch für Flachreliefs und in der Bildhauerei verwendete. Sein Gebrauch tauchte gegen das 12. Jahrhundert in Frankreich wieder auf, wobei aber die Herstellung bis ins letzte Jahrhundert rein empirisch erfolgte. Schon seit Jahrtausenden kennt man die bemerkenswerte Eigenschaft des Gipses, bei Zugabe von Wasser abzubinden, wenn er zuvor bei mässiger Temperatur dehydratisiert worden ist.

Neben den Anwendungsbereichen im Baugewerbe, wo hauptsächlich Gipsputze und aus Gips hergestellte Spezialpro-

dukte verwendet werden, seien noch die ungezählten Anwendungen von sogenanntem Modellgips in Giessereien, in der keramischen Industrie, im Kunsthandwerk, in der Zahntechnik und Chirurgie erwähnt. Auch für die Zementindustrie hat Gips eine grosse Bedeutung, da durch Zugabe von Gips das Abbindeverhalten des Zementes reguliert wird (vergleiche [Kapitel 7.1](#)).

Unter dem Begriff «Salz» im engeren Sinne werden Kalium- und Stein- oder Kochsalz verstanden. In der Schweiz sind keine Vorkommen von Kalisalz bekannt, hingegen ist Steinsalz weit verbreitet. Das Salz, respektive der Besitz von Salzvorkommen spielten in der menschlichen Ernährung und in der gesellschaftlichen Entwicklung eine wichtige Rolle. In der jüngeren Vergangenheit ist diese Bedeutung durch die Verwendung von Salz in der chemischen Industrie noch gestiegen. Bis in das 16. Jahrhundert mangelte die Salzversorgung in der Schweiz. Erst mit der Entdeckung der grossen Steinsalzlager am Hochrhein wurde unser Land von Importen unabhängig. Die Zentren der schweizerischen Salzgewinnung befinden sich am Hochrhein (Vereinigte Schweizerische Rheinsalinen) und in der Gegend von Bex VD. Die Produktion von Industrie- und Gewerbesalz, Streusalz, Speisesalz, Salz für die Landwirtschaft und Sole beläuft sich jährlich auf etwa 30'000–40'000 Tonnen von Bex und etwa 250'000–350'000 Tonnen von den Salinen Schweizerhalle und Riburg am Hochrhein.

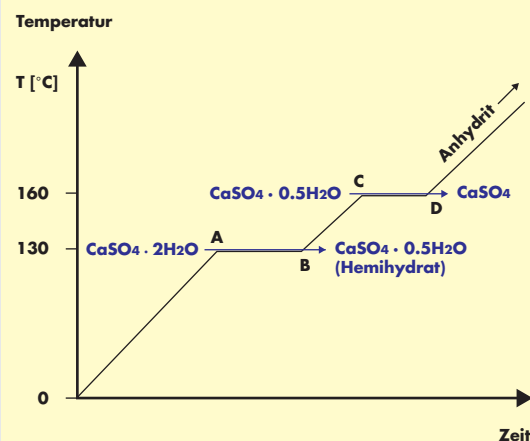
# Schema der Gipsfabrikation (Hoch- und Niederbrand)



8.1

## Reaktionen bei der Gipsfabrikation – Temperaturverlauf

- Von der Temperatur 0°C bis A erhitzt sich der Gips proportional zur erhaltenen Wärme, aber er erfährt keine beachtenswerte Veränderung, solange die Temperatur von Punkt A (ca. 130°C) nicht erreicht wird. Bei fortschreitender Brenndauer wandelt sich Gips bei gleichbleibender Temperatur unter Freisetzung von Wasserdampf zu Hemihydrat ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ) um.
- Im Punkt B sind drei Viertel des Kristallwassers ausgetrieben und das Hemihydrat, das den Hauptbestandteil des Basisgipses bildet, hat den ursprünglichen Gipsstein vollständig ersetzt. Vom Punkt B an ist also ein neues Hydrat vorhanden, das einen eigenen Dampfdruck besitzt und das sich bei weiterer Wärmezufuhr ohne Reaktion bis auf eine Temperatur von etwa 160°C erhitzen lässt (Punkt C). Nach Erreichen von 160°C setzt mit einer weiteren Dehydratationsreaktion die Bildung von wasserfreiem Gips (Anhydrit  $\text{CaSO}_4$ ) ein. Die Reaktionsfähigkeit von Anhydrit wird um so schwächer, je höher und/oder je länger er weiter erhitzt worden ist.
- Über 200°C ergeben sich keine chemischen Veränderungen mehr, aber zwischen 300 und 400°C findet eine exotherme Umkristallisation des Kristallgitters statt.



8.2

Abbildung 8.1: Schematische Darstellung des Fabrikationsprozesses von Gips am Beispiel der Anlage von Bex.

Abbildung 8.2, links: Reaktionen beim Brennen von Gips mit dem entsprechenden Temperaturverlauf bei gleichbleibender Wärmezufuhr.

Abbildung 8.2, rechts: Die Makrokristalle von Gips – dem Sammler wegen ihrer oft beachtenswerten Ausbildung wohl bekannt unter den Namen Marienglas, Schwalbenschwanzkristall oder Selenit – sind

für die Gipsfabrikation wertlos. Nur die kompakten Gesteine aus natürlichem Gips (Mikrokristallisation) sind für die Produktion von Bedeutung.



## 8.1 GIPSINDUSTRIE

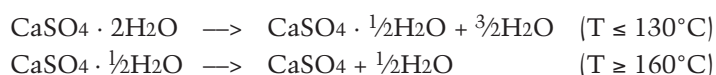
### 8.1.1 EINFÜHRUNG

«Gebrannte Gipse werden gewonnen durch Erhitzen (Kochen oder Brennen) und Mahlen von natürlichem Gips (Kalziumsulfatdihydrat  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Mit Wasser angemacht, erhärten sie an der Luft.» Im folgenden sei aufgezeigt, dass die Wirklichkeit komplizierter ist als diese einfache Definition, bedeutet der Gips doch heute für den Fachmann ein besonderes Gebiet für die Anwendung moderner Forschungsmethoden.

Das Rohmaterial für die Herstellung von Gips ist das kristallisierte Kalziumsulfat mit zwei Wassermolekülen ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Natürlicher Gips oder Gipsstein ist in der Natur in Sedimentgebieten ein verbreitetes Material. Für die Gipsfabrikation sind allerdings nur die kompakten Gesteine aus mikrokristallinem Gips interessant. Im reinen Zustand enthält der Roh-Gips 79.1 Gew.% Kalziumsulfat und 20.9 Gew.% Kristallwasser, das chemisch gebunden ist. Je nach geologischen Entstehungsbedingungen zeigen die Kalziumsulfatlager unterschiedliche und oft sehr ausgeprägte Merkmale. Nicht nur die physikalische Struktur des Minerals ist sehr vielfältig, es kommt auch nur ausnahmsweise in grossen Mengen rein vor. So ist der Gips aus den in der Schweiz gefundenen Lagern – deren Entstehung in die Trias zurückgeht – fast immer von wasserfreiem Kalziumsulfat ( $\text{CaSO}_4$ ), dem Anhydrit, begleitet. Die Ablagerungen bestehen an manchen Stellen sogar fast ausschliesslich aus Anhydrit, der für die Herstellung von Gips aber ungeeignet ist. Ausser diesem chemisch nah verwandten Stoff enthalten die Gipsgesteine auch eine Reihe von fremden Substanzen, wie beispielsweise Kalzit, Dolomit, Quarz, Eisen- und Aluminiumoxide und Tonminerale. Die Kapitel 8.1.2–8.1.6 sind teilweise nach Schwiete & Knauf [1968], Knauf [1968] und Pièce et al. [1964] übernommen.

### 8.1.2 GRUNDLEGENDE BEGRIFFE DER GIPSFABRIKATION

Vom physikalisch-chemischen Standpunkt aus kann die Gipsfabrikation als fraktionierte Dehydratation des Gipssteines definiert werden. Sie beruht auf den beiden folgenden, nacheinander ablaufenden Reaktionen:



Diese Dehydratation – die Hauptumsetzung für die Fabrikation von Gips – ist eine endotherme Reaktion, es muss also Wärme zugeführt werden (Abbildung 8.1 zeigt ein Fabrikationsschema). Im Bereich der üblichen Brenntemperaturen und -drücke kann sie die folgenden, dehydratisierten Verbindungen zur Folge haben:

- $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ : Halb- oder Hemihydrat des Kalziumsulfats. Dieses entsteht, sobald der Gips über etwa  $110^\circ\text{C}$  erhitzt wird, es ist eine ganz klar bestimmte chemische Substanz, die sich im kristallisierten Zustand unter gewissen Temperatur- und Druckbedingungen bildet.
- $\text{CaSO}_4$ : wasserfreies Kalziumsulfat (Anhydrit). Über etwa  $150^\circ\text{C}$  spaltet sich das Hemihydrat seinerseits (Reaktion 2) und liefert ein wasserfreies Sulfat, von dem jedoch mehrere Modifikationen existieren, je nach Dauer, Temperatur und Wasserdampfdruck des Brennvorganges.

In einer ersten Phase entsteht eine Modifikation von Kalziumsulfat mit der Bezeichnung löslicher Anhydrit – oder besser Anhydrit III nach der internationalen Klassifikation – mit der Eigenschaft, sich rasch in Hemihydrat zu verwandeln, sobald er der Luftfeuchtigkeit ausgesetzt wird. Das Vorhandensein dieser Form von Anhydrit im Gips – die Wärme entwickelt, wenn sie sich hydratisiert – ist dafür verantwortlich, dass der Gipser von «warmem» Gips spricht. Die Baugipse, welche aus einer Mischung von Hemihydrat, löslichem Anhydrit und übergebranntem Gips bestehen, müssen daher in der Fabrik gelagert werden, damit sich diese instabile Form hydratisieren kann (Alterung oder Stabilisierung des Gipses).

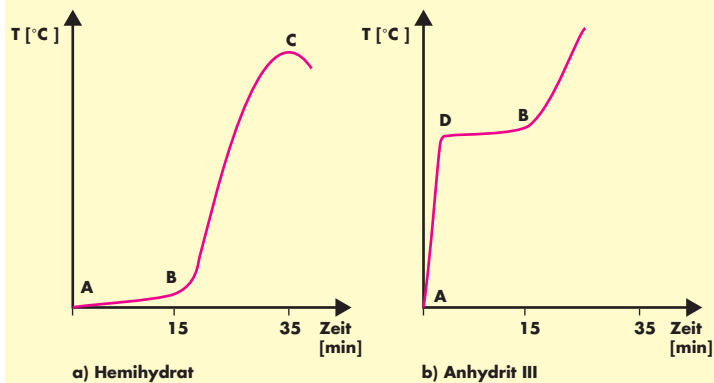
Die Reaktionen, die sich im Temperaturbereich von 0 bis  $200^\circ\text{C}$  abspielen, lassen sich in einem einfachen Versuch darstellen. Ein Thermometer wird in eine Masse von pulverisiertem Gipsgestein gesteckt und diese langsam und progressiv erhitzt. Die entstehende Zeit-Temperatur-Kurve kann in fünf Abschnitte unterteilt werden, welche ganz bestimmten Umwandlungen entsprechen (vergleiche Abbildung 8.2). Wenn das Brennen bei höherer Temperatur ( $250$  bis  $300^\circ\text{C}$ ) oder über längere Zeit fortgesetzt wird, setzt sich die wasserfreie Form progressiv in sogenannten langsam abbindenden Anhydrit um, auch als Überbrand bezeichnet (wasserfreier, stabiler Gips). Er verleiht dem Gips besondere Erhärtungseigenschaften, welche insbesondere seine Verwendung als Putz erlauben. Wird der Gips bei noch höheren Temperaturen gebrannt (um  $900^\circ\text{C}$ ), entsteht ein unlöslicher Anhydrit (Anhydrit II), der mit dem natürlichen Anhydrit verglichen werden kann und der unter normalen Bedingungen bei Zugabe von Wasser nicht mehr oder nur sehr langsam abbindet.

Tabelle 8.1: Physikochemische und kristallographische Daten zum System  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  [nach Knauf, 1968]

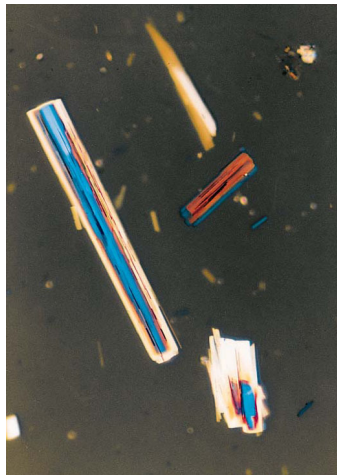
		Dimension								
Bezeichnung der Phase		–	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O Dihydrat	CaSO <sub>4</sub> · ½ H <sub>2</sub> O Halbhydrat		CaSO <sub>4</sub> III Anhydrit III		CaSO <sub>4</sub> II Anhydrit II		
Bezeichnung der Trennformen und Reaktionsstufen		–		α	β	α	β	schwer- löslicher Anhydrit	unlöslicher Anhydrit	Estrichgips
Beispiele labormässiger Entstehungstemperaturen		°C		~100 (nasser Druck)	>45	50 (Vakuum) 100 (Atmosphäre)		aus Halbhydrat α ~177 aus Halbhydrat β ~400		
Beispiele technischer Entstehungstemperaturen		°C		105 – 135 (nasser Druck)	125 – 180 (trocken)	110 – 220	290 – 310	350	400	800
Spezifisches Gewicht		g/cm <sup>3</sup>	~ 2.315	2.757	2.619 – 2.637	2.587	2.484	2.93 – 2.98		
Molekulargewicht		–	172.17	145.15		136.14		136.14		
Wasser- gehalt	stöchiometrisch	%	20.92	6.21		0.0		0.0		
	praktisch		20.92	6.21 – 8.0	6.21 – 12.0	0.02 – 0.05	0.6 – 0.9	0.0		
Spezifische Wärme		cal/Mol °C	21.84 + 0.76T	16.95 + 0.039T	11.84 + 0.061T	14.1 + 0.061T		14.1 + 0.061T		
Hydratationswärme bei 25 °C		cal/Mol D °)	–	4100 ± 20	4600 ± 20	6150 ± 20	7210 ± 10	4030 ± 20		
		kcal/kg D °)	–	23.8 ± 0.12	26.7 ± 0.12	35.7 ± 0.12	41.88 ± 0.06	23.4 ± 0.12		
Löslichkeit in Wasser	bei 3 °C	g/100cm <sup>3</sup> Lösung	0.1810	0.825	1.006	1.15		0.377		
	bei 50 °C		0.2038	0.426	0.426	0.48		0.184		
Kristallsystem		–	monoklin	orthorhombisch verdrillt > 45 °C rhomboedrisch		hexagonal trapezoedrisch sehr ähnlich Halbhydrat		rhombisch		

<sup>\*)</sup> D = Dihydrat

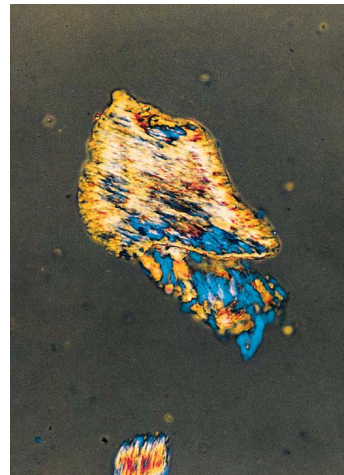
### Temperaturverläufe beim Abbinden von Gips



8.3



8.4



8.5

Abbildung 8.3: Der Temperaturverlauf beim Abbinden von Gips ist unterschiedlich, je nachdem, ob die Masse hauptsächlich aus Hemihydrat (a) oder aus Anhydrit III (b) besteht. A: Ausgangspunkt, B: Anfangspunkt des Abbindens (Umwandlung

von Hemihydrat zu Gips), C: Abschluss des Abbindens (Umwandlung von Hemihydrat zu Gips), D: Abschluss der Umwandlung von Anhydrit III zu Hemihydrat.

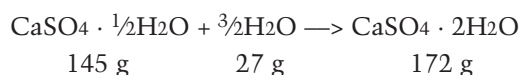
Abbildung 8.4:  $\alpha$ -Halbhydrat.

Abbildung 8.5:  $\beta$ -Halbhydrat.



### 8.1.3 ABBINDEN DES GIPSES

Das Abbinden des Gipses stellt genau den umgekehrten Vorgang der Dehydratation (siehe [Kapitel 8.1.2](#)) dar. Das Hemihydrat und die verschiedenen Formen des wasserfreien Kalziumsulfates wandeln sich – wenn sie dem Einfluss des Wassers ausgesetzt sind – bei Normaltemperatur in Gipsstein um, der chemisch identisch ist mit dem ursprünglichen Mineral, aus dem der Baustoff entstanden ist. Das Schema dieser Umsetzung ist für Hemihydrat wie folgt:



Das bedeutet, dass 145 g Hemihydrat (= 1 Mol) sich mit 1.5 Mol Wasser (27 g) zu 172 g Gips (= 1 Mol) verbindet. Während die Herstellung von Gips Wärme verbraucht, liefert die Umkehrreaktion Wärme; eine abbindende Gipsmasse erwärmt sich. Die Umwandlung von Gipsbrei in harten Gips wird begleitet vom physikalischen Vorgang der Lösung des Kalziumsulfats, auf welche die Kristallisation der so übersättigten Lösung in Form eines feinen Gipsnadelgewebes folgt. Dieser Struktur muss die Verfestigung und Verhärtung der hydratisierten Masse zugeschrieben werden.

Erfahrungsgemäss sind die entstehenden Gipskristalle um so kleiner und die schliesslich erreichte Festigkeit um so grösser, je grösser das Verhältnis von Gips zu Wassermenge ist. Die genauen physikalisch-chemischen Bedingungen des Abbindeprozesses, der die besondere Eigenschaft des Gipses, die Grundlage aller Anwendungen, bildet, sind hier weggelassen. Es genügt die Feststellung, dass für die in der Praxis nötige Kontrolle der Verlauf der Umwandlung mit einfachen Mitteln verfolgt werden kann; mit der Registrierung der Temperaturentwicklung als Funktion der Zeit, vom Moment des Einstreuens des Pulvers an. Beim Hemihydrat entsteht die in [Abbildung 8.3a](#) dargestellte Kurve: Die Temperatur steigt zuerst nur unmerklich. Vom Punkt B an beschleunigt sich die Erwärmung, bis bei C nach 35–40 Minuten ein Maximum erreicht wird, wo die Erwärmung ganz aufhört. Man betrachtet den Punkt B als Anfangspunkt des Abbindens (nach ungefähr 20 Minuten), während Punkt C dessen Abschluss markiert. Die erhärtete Masse kühlt sich dann allmählich auf die Umgebungstemperatur ab.

Wenn der Gips nicht aus Hemihydrat, sondern im wesentlichen aus instabilem, wasserfreiem Gips (Anhydrit III) besteht, so ändert sich der Verlauf der Kurve. Sie nimmt die Form der in [Abbildung 8.3b](#) gezeigten Kurve an: Im Moment, wo Wasser

und Gips miteinander in Berührung kommen, ist eine rasche Erhöhung der Temperatur zu beobachten, die der Hydratation von Anhydrit III zu Hemihydrat entspricht. Vom Punkt D an besteht die Masse nur noch aus Hemihydrat und Wasser, es gelten wieder die Bedingungen der ersten Kurve.

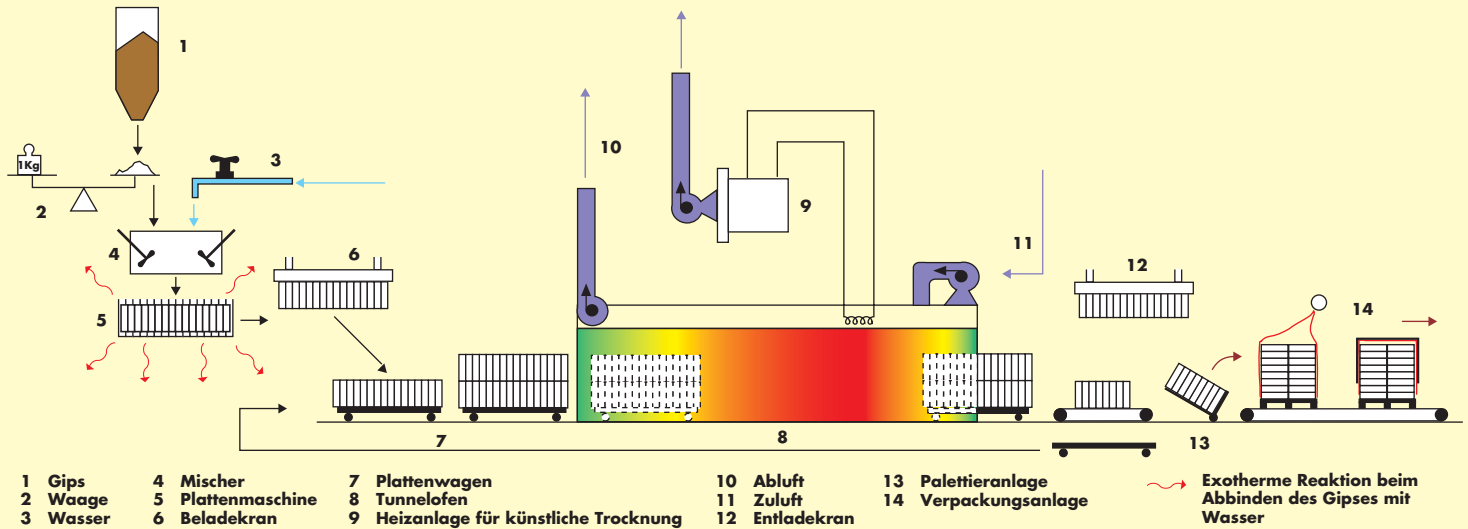
Handelt es sich um wasserfreien, sehr stark gebrannten Gips (über 300 °C), so entsteht eine Kurve, deren Temperaturanstieg um so flacher verläuft, je höheren Temperaturen der untersuchte Gips ausgesetzt worden ist. In diesem Falle wird es sehr schwierig, Anfangs- und Endpunkt auf der Kurve zu bestimmen. In der Praxis macht man oft Mischungen dieser erwähnten Varietäten. Die Temperaturkurven verlaufen dann irgendwo zwischen den beschriebenen Kurvenformen ([Abbildung 8.3](#)). Man kann daraus Schlüsse auf die Zusammensetzung der Mischung ziehen (beispielsweise bei der Bestimmung eines frischen Gipses).

Die Temperaturmessung ist somit ein einfaches Mittel, die verschiedenen Arten von Kalziumsulfat zu vergleichen und zu untersuchen, welche Faktoren einen Einfluss auf die Abbindezeit ausüben (beispielsweise der Feinheitsgrad, das Anmachverhältnis, der Kristallisationstyp des Gipses oder die Einwirkungen von verschiedenen Substanzen, die, gewollt oder zufällig, dem Gips beigelegt wurden).

Man unterscheidet  $\alpha$ - und  $\beta$ -Halbhydrat, die beide rhombisch kristallisieren, aber unterschiedliche physikalische Eigenschaften aufweisen ([Tabelle 8.1](#)). Während  $\alpha$ -Halbhydrat unter dem Mikroskop gut ausgebildete, kompakte Kristalle zeigt ([Abbildung 8.4](#)), erscheint  $\beta$ -Halbhydrat flockig und zerklüftet ([Abbildung 8.5](#)). Selbst bei starker optischer Vergrösserung sind keine Kristallflächen mehr zu erkennen. Unterschiede in der spezifischen Oberfläche und in der Kristallitengrösse bewirken erhebliche Unterschiede in der Löslichkeit und im Reaktionsverhalten.

$\alpha$ -Halbhydrat entsteht aus Dihydrat durch Dehydratation in feuchter Atmosphäre unter Druck bei wenig über 100 °C oder in bestimmten Säure- oder Salzlösungen ohne Druck und bei niedrigen Temperaturen.  $\beta$ -Halbhydrat entsteht durch trockene Dehydratation im Vakuum bei 100 °C, technisch oberhalb 150 °C mit brauchbarer Reaktionsgeschwindigkeit (Stuckgips) und ist bisher nur in rhombischer Struktur bekannt. Einen Überblick über die physikochemischen und kristallographischen Daten zum System  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  gibt [Tabelle 8.1](#).

### Produktionsanlage für Vollgipsplatten



8.6

Tabelle 8.2: Überblick über die Gipstypen und deren Charakteristiken [nach Knauf, 1968].

Grad der Dehydratation		Partiell dehydratisierte Niedrigbrandgipse				Total dehydratisierte Mittelbrandgipse				Natürlicher und synthetischer Anhydrit
		Technische Gipse	Baugipse			Technische Gipse	Baugipse			(Baugips)
Verwendungszweck		Industrie- und Dentalgipse	Stuck- und Mörtelgipse	Haftgipse	Putzgipse	Sikkativ	Füllstoff	«Marmorgips»	«Estrichgips»	Fussböden- und Putzgipse
Abbinde-eigen-schaften	Normen-einstreumenge	sehr gross	mittel	gross	mittel	(sehr klein)	(sehr gross)	gross	sehr gross	sehr gross
	Versteifung	schnell und langsam	mittel	langsam	BV* früh EV* spät	überaus schnell	überaus langsam	langsam	sehr langsam	sehr langsam
	Festigkeit	sehr hoch	mittel	hoch	mittel	gering	sehr gering	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch
Phasenzusammensetzung		Halbhydrat		Halbhydrat und Anhydrit		Anhydrit III	Anhydrit II			Anhydrit II
		α	β							
Anreger		-	-	-		-	-	Alaun	CaO	verschiedene

\* BV = Beginn der Versteifung; EV = Ende der Versteifung

#### 8.1.4 MERKMALE UND EIGENSCHAFTEN DER GIPSE

Die nach ihrer Verwendung für die verschiedenen Gipse entstandenen Bezeichnungen sind in [Tabelle 8.2](#) nach den kennzeichnenden Merkmalen geordnet zusammengefasst.

*Stuckgips* ist ein Halbhydratgips (engl. plaster of Paris), *Mörtelgips* (retarded plaster) verzögerter [Halbhydratgips](#)\*, der mit Sand oder Leichtzuschlagstoffen verarbeitet wird. *Putzgips* ist ein Halbhydrat/Anhydrit-Mischgips, der manchmal mit, aber meistens ohne Zuschlagstoffe verarbeitet wird. *Est-*

*richgips* ist hochgebrannter anhydritischer Gips, der freies Kalziumoxid enthält. Als *Marmorgips* wird anhydritischer Gips, mit Alaun (Kalium-Aluminium-Hydrosulfat) zur Anregerung, bezeichnet.

*Haftgipse* sind Gipse auf Putzgips- oder Stuckgipsbasis mit chemischen Zusätzen (Stellmittel, z.B. Methylzellulose) zur Verbesserung der Haftung auf besonders glattem Putzgrund. *Ansetzgips*, *Fugengips*, *Spachtelgips* sind verzögerte Putz- oder Stuckgipse mit Haftmitteln und sonstigen chemischen Zusätzen, die die Verarbeitbarkeit auf Gipsplatten fördern.

Abbildung 8.6: Fabrikationsschema für Vollgipsplatten.

\* Verzögerter Halbhydratgips: Die Abbinde-reaktion wird durch besondere Additive verzögert.



*Gipstrockenmörtel* (premixed plaster) ist ein Putzmörtel auf Putzgips- oder Stuckgipsbasis, der schon im Gipswerk gebrauchsfertig mit leichten (Perlit) oder schweren (Sand) Zuschlagstoffen vermischt wurde. *Maschinenputzgips* ist ein speziell für das maschinelle Verputzen und seine besonderen Anforderungen entwickelter Gips.

### 8.1.5 VERWENDUNG

Die Verwendung des Kalziumsulfates und seiner Hydrate in Industrie und Technik ist ausserordentlich vielfältig. Besonders sind folgende Verwendungszwecke zu erwähnen:

- Dihydrat ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ) in der Gipsindustrie als Rohstoff, in der Zementindustrie zur Regelung des Erstarrens (siehe 8.1.5.3 und 7.1.1.2) und in der Papierindustrie als Füllstoff.
- Halbhdyrat ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ) in der Bauindustrie als Bindemittel, in der Gipsplattenindustrie als Werkstoff, in der keramischen Industrie für Modelle und Arbeitsformen sowie in der Chirurgie und in der Zahntechnik für Gipsbinden oder für Abdrücke.
- Anhydrit III ( $\text{CaSO}_4$  III) in der chemischen Industrie als Trockenmittel (Sikkativ, Dryer).
- Anhydrit II, gebrannt ( $\text{CaSO}_4$  II), in der Bauindustrie für Estrich und Kunstmarmor sowie in der Papierindustrie als Füllstoff.
- Anhydrit II, mineralisch (= Naturanhydrit;  $\text{CaSO}_4$  II), in der Bauindustrie als Rohstoff für Estrich und Putz sowie als Rohstoff für die Zementindustrie (vergleiche 7.1.1.2).

#### 8.1.5.1 Gips als Baustoff

*Gipsputze*: Für Innenputze besitzt Gips als Bindemittel den Hauptanteil der benötigten Ausgangsstoffe. Bei den meisten Gipsputzen macht der Gips auch den mengenmässigen Hauptanteil aus. Die Klassierung erfolgt nach der Zusammensetzung in reine Gipsputze und Gipssand-, Gipskalk-, Kalkgipsputze sowie Putze mit Gips als Hauptbindemittel und organischen Zusatzmitteln oder nach den Verarbeitungsarten (manuelle und maschinelle Verputztechnik) oder nach den Putzarten in geglättete Gipsputze (Weissputz), Grundputz, Spachtelmasen sowie Bauspezialitäten (beispielsweise Kleber).

Fabrikmässig gemischte Putze enthalten meist kleine Mengen (kleine Mengen, aber grosse Wirkung) organischer Zusatzmittel zur Erzielung optimaler Konsistenz sowie optimalem Abbinde- und Wasserrückhaltevermögen. Durch Bei-

mischen von Zuschlagstoffen können die Eigenschaften der Putze oder der erhärteten Verputze massgebend beeinflusst werden. Die vorgemischten Putze lassen sich in ihren Eigenschaften mit einem Massanzug vergleichen: Sie sind in bezug auf die Konstanz der Qualität nur geringen Schwankungen unterworfen, da bei ihrer Herstellung ständig Kontrollen durchgeführt werden. Die Maschinenputzgipse bringen nicht nur bei der Verarbeitung durch eine markante Leistungssteigerung Vorteile, sondern sie ermöglichen bei der Lagerung bzw. beim Transport eine vollständige Mechanisierung der Produktförderung, woraus eine zusätzliche Kostensenkung folgt.

Gipsputze weisen unter anderem folgende Eigenschaften auf: Sie sind dauerhaft, hart und haften sehr gut, sie sind feuerwiderstandsfähig, bieten ein gesundes und behagliches Raumklima, sind frei formbar und chemisch neutral. Bei der Verwendung von Gipsputzen darf man sich nicht über die feststehenden Eigenschaften des Materials Gips hinwegsetzen und mehr verlangen, als technisch möglich ist. So wäre es beispielsweise unklug, in Nassräumen mit Gipsputzen zu arbeiten.

*Vollgipsplatten*: Diese Bauelemente werden aus Baugips halbautomatisch hergestellt. Einziger Zusatz sind Glasfasern, die die Bruchfestigkeit wesentlich steigern und den Feuerwiderstand erhöhen. Die technischen Merkmale der Vollgipsplatten sind in [Tabelle 8.3](#) aufgelistet.

Die Anlage zur Herstellung von Vollgipsplatten ([Abbildung 8.6](#)) besteht aus einer kippbaren Mischmulde, in der ein sehr dünnflüssiger Gipsbrei hergestellt und in den darunterliegenden Formkasten gegossen wird. Die Formkästen sind so ausgelegt, dass die Platten bereits mit Nut und Kamm versehen werden. Damit ist ein einwandfreier Verbund der Platten beim Wand- und Deckenaufbau gewährleistet. Nach kurzer Zeit sind die Gipsplatten bereits so gut verfestigt, dass sie sich ausstossen lassen. Auf Spezialwagen verladen, durchfahren sie einen Tunnelofen und werden getrocknet, das überschüssige Anmachwasser wird dadurch ausgetrieben.

**Tabelle 8.3: Technische Merkmale der Vollgipsplatten.**

Plattenstärke [cm]	Dimensionen [cm]	Druckfestigkeit [kg/m²]	Bauhöhe [cm]	Feuerwiderstand F [min]	Schall-dämmung [dB]
2.5	50/100	25	–	30	–
4	50/100	40	–	90	–
6	50/66.6	60	300	90	34
8	50/66.6	80	400	120	38
10	50/66.6	100	500	120	40
14	37/54	140	700	240	45

Die Vollgipsplatten besitzen in der Schweiz im Innenausbau einen hohen Beliebtheitsgrad. Der Anwendungsbereich von Vollgipsplatten liegt im Hochbau (auch im Sektor Renovation) in Büro-, Gewerbe-, Industrie- und Wohnbauten. Verwendung finden sie dort als nichttragende Trennwände, schalldämmende Trennwände, Deckenverkleidungen, schall- oder wärmedämmende Vorsatzschalen sowie Feuerwiderstandsverkleidungen. Hydrophobierte (durchgehend imprägnierte) Platten eignen sich auch für Nassräume des Wohnbereichs. Vollgipsplatten unterstützen eine umweltgerechte, atmungsaktive, temperatur- und feuchteregulierende Bauweise. Zudem sind sie einfach verarbeitbar, in verschiedenen Standardformaten erhältlich und lassen unterschiedliche Oberflächenbehandlungen zu.

*Gipskartonplatten* bestehen aus einem Gipskern unterschiedlicher Dicke, der fest mit einem Spezialkarton ummantelt ist. Das Hauptanwendungsgebiet der Gipskartonplatte ist der Leichtbau. Dieses Produkt wird in der Schweiz nicht hergestellt, es wird aus den Nachbarländern importiert.

### 8.1.5.2 Spezialgipse

Mit Spezialgipsen – vor allem Modell-, Keramik-, Ziegelei- und Giessereigips – werden Modelle und Arbeitsformen angefertigt, mit deren Hilfe die mannigfaltigsten Gegenstände aus verschiedenen Grundstoffen hergestellt werden. So unterscheiden die Materialien und deren Eigenschaften sind, so differenziert sind auch die Anforderungen an diese Spezialgipse. Wichtigste Merkmale sind: Porosität, Härte, Ausdehnungskoeffizient und Volumenbeständigkeit. Die keramische Industrie benötigt zum Beispiel einen saugenden, also porösen Gips, damit dieser den flüssigen Schlicker ansaugt. Für die Ziegelfabrikation werden Matrizen und Gegenmatrizen aus Gips gegossen und auf die Walzen der Ziegelpresse montiert. Der Gips muss einerseits eine möglichst grosse Härte aufweisen, andererseits aber auch porös genug sein, um dem Lehm das Wasser sofort entziehen zu können, ohne dabei jedoch sein Volumen zu verändern. Wichtig ist auch, dass die gepressten Lehmziegel sich sofort von den Gipsformen lösen.

Kalziumsulfat-Dihydrat, sehr fein gemahlen, eignet sich gut als Füllstoff und wird vorwiegend von der Papierindustrie und den Farbenfabriken verwendet. Die chemische Industrie benutzt entwässertes Kalziumsulfat als Trocknungsmittel, und in der Landwirtschaft – hauptsächlich in Champignonkulturen – wird Kalziumsulfat als Dünger gebraucht.

Der aus der Chirurgie und Orthopädie noch nicht wegzudenkende Gipsverband blickt bereits auf ein ansehnliches Alter zurück, ist es doch über 100 Jahre her, seit der holländische Militärarzt Antonius Mathijssen den Gipsverband 1852 erstmals beschrieben hat. Seither hat der mit Gipsbinden ausgeführte Verband als Hilfsmittel für die völlige Ruhestellung von Gliedmassen in Chirurgie und Orthopädie Eingang gefunden. Seine Bedeutung geht aus der Eigenschaft des Gipses hervor, nach Wasseraufnahme abzubinden und an der Luft selbständig zu trocknen, wobei es auf der Hand liegt, dass für diese Zwecke das rasche Abbindevermögen des Gipses eine grosse Rolle spielt. Hohe Anforderungen an den Gips stellt auch die Zahntechnik, indem ein Modellgips für Abdruckzwecke rasch abbinden muss und sich nach der Erhärtung durch leichten Druck wieder lösen lassen soll – unter Beibehaltung der Masshaltigkeit auf Zehntelsmillimeter genau.

### 8.1.5.3 Gips in der Zementindustrie

Portlandzementklinker wird üblicherweise aus Kalkstein und Mergel oder Ton hergestellt, indem diese Gesteine zerkleinert, gemischt, gemahlen und bei Temperaturen von rund 1400°C gebrannt werden (vergleiche auch [Kapitel 7.1.1.2](#)). Der dabei entstehende körnige Klinker wird unter Zusatz von natürlichem Gips zu Portlandzement vermahlen. Die hauptsächlichste Wirkung des Gipses ist sein regulierender Einfluss auf das Erstarrungsverhalten des Zementes. Ohne Gips binden die meisten Zemente zu schnell ab, der mit ihnen hergestellte Mörtel erstarrt noch, bevor er eingebracht und verarbeitet ist. Wahrscheinlich zufällig wurde schon im vergangenen Jahrhundert entdeckt, dass mit einem gewissen Gipsanteil dieses unerwünscht rasche Erstarren verhindert werden kann. Bei Anwesenheit von Gips im Zement bildet sich das Mineral Ettringit ( $\text{Ca}_6\text{Al}_2[(\text{OH})_4/\text{SO}_4]_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ), welches das rasche Erstarren so lange verzögert, bis alles  $\text{SO}_4$  aufgebraucht ist oder bis das nach wenigen Stunden einsetzende Erhärten diesen Vorgang überdeckt. Neben seiner wichtigsten Funktion als Abbinderegulator hat der Gips aber auch gewisse Einflüsse auf andere Qualitätsmerkmale des Zementes, indem er – richtig dosiert – die Festigkeit und die Raumbeständigkeit verbessern kann. Für jeden Zement kann ein optimaler Gipszusatz gefunden werden. Schliesslich wirkt sich der Gips auch günstig auf die Mahlbarkeit des Klinkers aus. Bis zu einem gewissen Grad, je nach Klinkerzusammensetzung und Fabrikationsprozess, kann Naturanhydrit den Rohgips als Sulfatträger bei der Zementmahlung ersetzen.



#### 8.1.5.4 Produktionszahlen

Die Förderung von Gipssteinen für die Fabrikation von Baugips, Gipsputzen, Modellgips und Dünggips sowie für die Zementfabrikation betrug 1993 knapp 300'000 Tonnen. Seit den fünfziger Jahren stieg die Rohsteinproduktion mit Schwankungen von rund 200'000 Tonnen auf über 440'000 Tonnen im Jahr 1972. Mit dem Konjunkturrückgang (Ölkrise) stagnierte auch die Gipsproduktion. Seit 1976 (225'000 Tonnen) stiegen die Fördermengen erneut bis 1989 auf knapp 420'000 Tonnen Jahresproduktion. Rezessionsbedingt sinken seither die Produktionszahlen. Die Rohgips-Fördermengen ab 1954 sind in der [Abbildung 8.7](#) dargestellt.

#### 8.1.6 ANFORDERUNGEN AN DAS ROHMATERIAL

##### 8.1.6.1 Naturgips

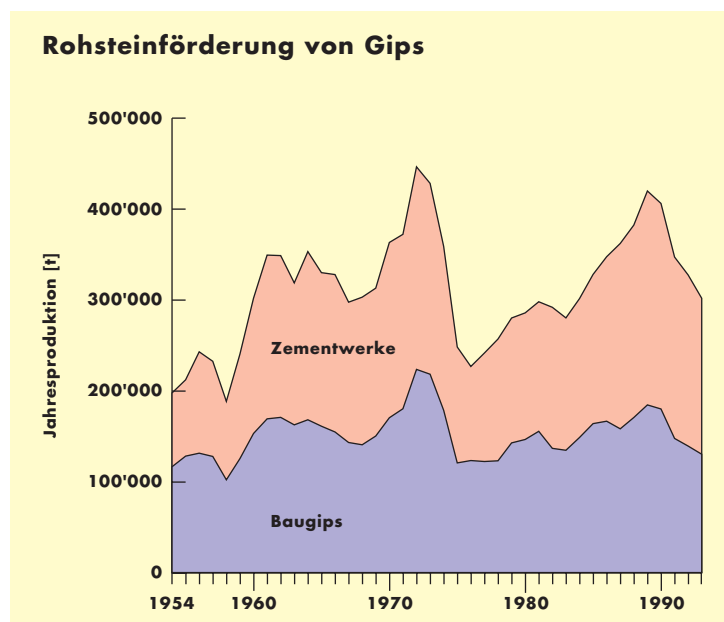
Naturgips, als Rohmaterial der Gips- und Zementindustrie, ist im Prinzip ein monomineralischer Rohstoff, ebenso Anhydrit. Als sedimentäre Ablagerungen sind sie naturgemäss von anderen Mineralen begleitet, die je nach Metamorphosegrad variieren können. Die im Gipsstein vorhandenen Begleitminerale und andere physikalisch oder chemisch wirkende Verunreinigungen können zu einer erheblichen Veränderung der Qualität der Gipse führen. Es handelt sich um organische und anorganische, mikro- und makroskopische Verunreini-

gungen wie Durchwachsungen der Rohgipse, besonders durch Anhydrit, Kalkspat, Dolomit, Steinsalz, Eisenoxide und -hydroxide, Pyrit, Ton und Quarz. Feinverteilter Ton setzt beispielsweise die Dissoziationstemperatur des  $\text{CaSO}_4$  erheblich herab, was zu früherer Bildung von CaO führt.

Verschiedenartige Kristallisations- und Gesteinsgefüge (sandig, erdig, glasig, dicht, schwammig, spatig, faserig, grob-/feinkristallin) haben zur unterschiedlichen Namensgebung von Gipssteinen geführt, wie beispielsweise Gipssand, Gips-erde, Selenit (Marienglas, Frauenglas), Alabastergips, Gekröse-gips, Fasergips, Gipsspat. Sie haben bei der Dehydratation ebenfalls einen deutlichen Einfluss. Ein sichtbarer Nebeneffekt bei der Herstellung von Hochbrandgips aus leicht eisenhydroxidhaltigem Gipsstein ist die schwache Rotfärbung des Endprodukts, resultierend aus der gleichzeitigen Dehydratation des Eisenhydroxids zu Hämatit. Eine Übersicht über die mineralogische und chemische Zusammensetzung des Rohmaterials geben die [Tabellen 8.4](#) und [8.5](#).

Im gebrannten Gips ist der Anteil an aktiven Bestandteilen wichtig. Diese bestimmen weitgehend die Eigenschaften der Gipse, wie Einstreumenge (Gips/Wasser-Verhältnis), Giess-, Streich- und Abbindezeit, Druck- und Biegefestigkeiten. Der Anteil an inerten Bestandteilen im Rohmaterial ist beschränkt; eine gewisse, relativ hohe Reinheit entsprechend einem bestimmten Dihydratgehalt muss garantiert sein.

Gipsstein von sehr grosser Reinheit, wie er zur Herstellung von Spezialgipsen für die keramische Industrie und für chirurgische Zwecke Verwendung findet, ist in den schweizerischen

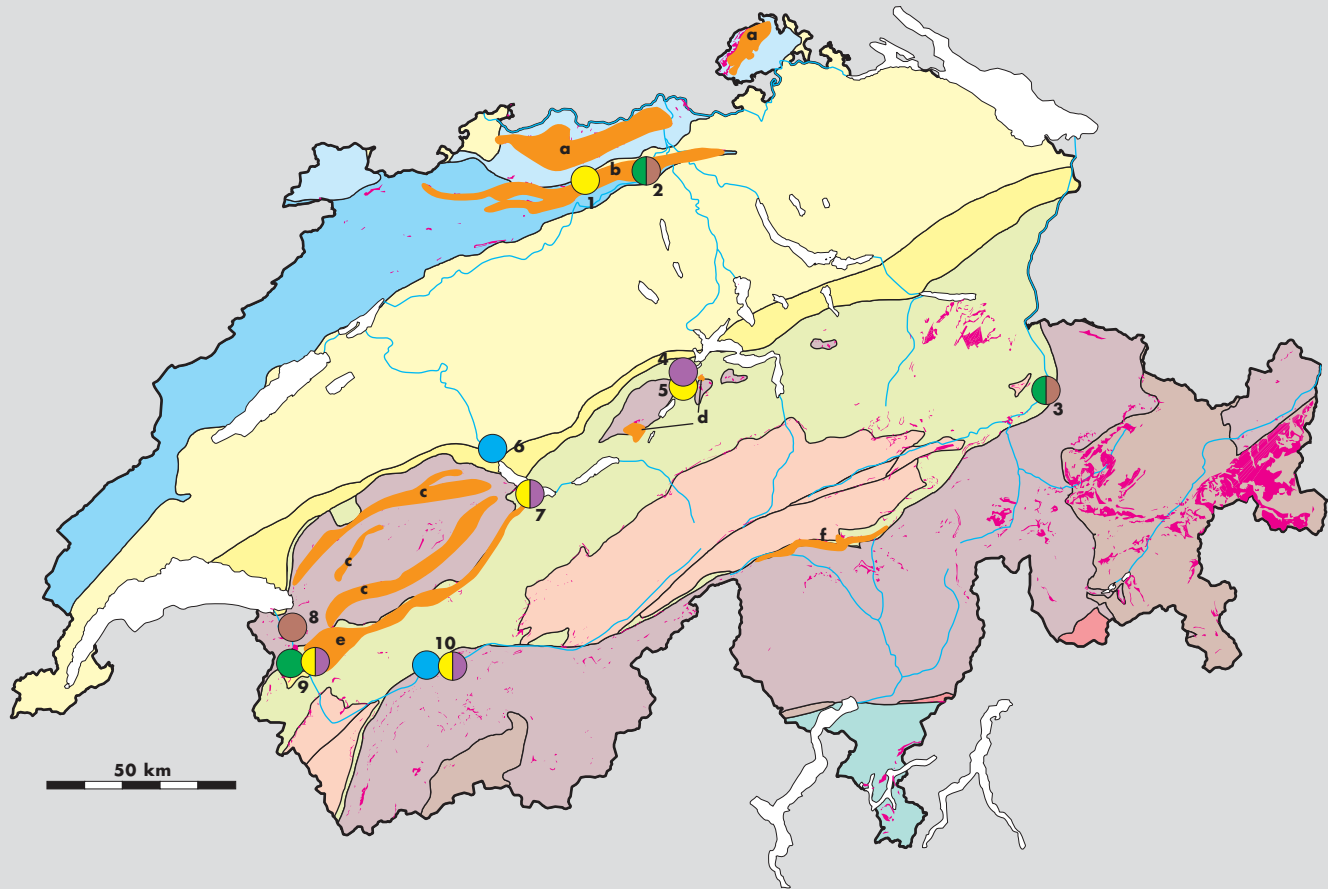


8.7

**Abbildung 8.7:** Fördermengen von Rohgips für die Fabrikation von Baugips, Gipsputzen, Modellgips, Estrichgips und Dünggips sowie für die Zementherstellung in den Jahren 1954 bis 1993.

Tabelle 8.4: Mineralbestand von Naturgips.			
GEMENGTEIL	MINERAL	ZONE 1	ZONE 2
Hauptgemengteil 75–95%	Gips	x	x
	Anhydrit	(x)	(x)
Nebengemengteil 5–25%	Tonminerale	x	
	Glimmer		x
	Dolomit	x	x
	Kalzit	x	x
Übergemengteil ≤ 2%	Quarz	x	x
	Magnesit	x	x
	Feldspäte	x	x
	Steinsalz	x	x
	Na-Sulfate	x	(x)
	Fe-Hydroxide	x	x
	elementarer Schwefel	x	x
	Baryt	(x)	(x)
	Coelestin	(x)	(x)
	Pyrit	(x)	(x)
	organische Bestandteile	x	
Zone 1: Jura, Voralpen, Kalkalpen, Ostalpen, Südalpen			
Zone 2: innere und südliche Alpen			

# Standorte gipsverarbeitender Fabriken (1994) und Gipsvorkommen in der Schweiz



- Tafeljura
- Faltenjura
- Mittelländische Molasse
- Subalpine Molasse
- Helvetikum
- Penninikum
- Zentralmassive
- Ostalpin
- Südalpin
- Tertiäre granitische Gesteine

## Triaszüge mit zum Teil bedeutenden Gipslagerstätten

- a Nördlicher Tafeljura
- b Jura-Nord-Überschiebung
- c Präalpen
- d Giswiler Klippen & Stanserhorn
- e Bex-Laubhorn-Decke bzw. Zone des Cols
- f Südrand des Gotthardmassivs

Gipsvorkommen in triassischen Sedimenten verschiedener tektonischer Einheiten

## Produktionsanlagen

- Gips-Anhydritabbau
- Gipswerk
- Gipsputzwerk
- Zementputz- und Mörtelwerk
- Vollgipsplattenwerk

## Produktionsstandorte

- |                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| 1 Zeglingen     | 6 Heimberg            |
| 2 Holderbank    | 7 Leissigen-Krattigen |
| 3 Untervaz      | 8 Roche               |
| 4 Ennetmoos     | 9 Bex                 |
| 5 Kerns-Melbach | 10 Granges            |

Abbildung 8.8: Karte der aktuellen Abbaustellen von Gipsvorkommen (Stand 1994). Ebenfalls eingezeichnet ist die tektonische Gliederung der Schweiz unter Angabe von Zonen mit potentiellen Vorkommen von Gipsgesteinen.



Gipsvorkommen nur lokal und in so geringen Mengen vorhanden, dass ein separater Abbau bereits vor Jahren aufgegeben wurde. Spezialgipse werden importiert. Nach wie vor gefragt ist, wenn auch in marginalen Mengen, fein gemahlener Gips für Düngemittelzwecke oder -zusätze.

Wegen seiner geringen Druckfestigkeit (200–600 kg/cm<sup>2</sup>) und seiner grossen Wasserlöslichkeit (2.1 g/l bei 20 °C) ist Gips als Werkstein im Aussenbereich völlig ungeeignet. Anwendungen von Gips als Werkstein im Innenbereich sind selten (Kathedrale Sitten). Analoges gilt für Naturanhydrit, der zusätzlich die schlechte Eigenschaft hat, bei der Hydratation zu Gips zu quellen und sein Volumen um etwa 61 % zu vergrössern.

*Alabaster* ist eine dichte, grauweisslich-beige-rötliche, meist geaderte Varietät des Gipssteins, welche vor allem im Keuper des östlichen Faltenjuras anzutreffen ist. In früheren Zeiten war Alabaster für Bildhauerarbeiten sehr geschätzt [de Quervain, 1979]. Der Mangel an grösseren Alabasterschichten sowie die Schliessung der Keupergipsgruben hat zur Aufgabe schweizerischer Alabasterarbeiten geführt.

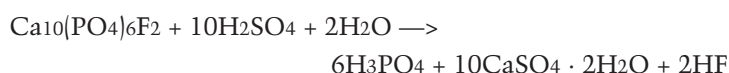
#### 8.1.6.2 Industriegips

Industriegipse fallen als Abfallprodukte in grossen Mengen an, insbesondere bei der Entschwefelung von Rauchgasen (REA-Gips) und bei der Herstellung von Phosphorsäuren (Chemiegips).

*Rauchgasentschwefelungs-Gips (REA-Gips):* Die Entschwefelung der Rauchgase wird in den meisten Fällen nach dem Nasswaschverfahren mit Branntkalk (CaO) oder mit natürlichem Kalkstein (CaCO<sub>3</sub>) durchgeführt. Das Produkt der Entschwefelung ist zunächst ein Gemisch von Kalziumsulfid und

Kalziumsulfat und nach Oxidation mit Luftsauerstoff reines Kalziumsulfat-Dihydrat (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O). Dieses wird als REA-Gips bezeichnet. REA-Gips ist ein feuchtes, feinteiliges Pulver mit bis zu 10% freier Restfeuchtigkeit. Störende Verunreinigungen wurden durch eine Wäsche entfernt. Die Struktur der Gipskristalle ist je nach Entschwefelungsverfahren unterschiedlich. REA-Gipskristalle sind mit höchstens 0.2 mm wesentlich kleiner als diejenigen von Naturgips. Die chemische Zusammensetzung von Natur- und REA-Gips ist in [Tabelle 8.5](#) dargestellt. Qualitativ werden REA-Gipse den Naturgipsen gleichgestellt.

*Chemiegips:* Chemierohgips (synthetischer Rohgips, Phosphatrohgips, Industrierohgips) entsteht hauptsächlich beim Nassprozess der Phosphorsäureherstellung nach der Gleichung:



Ein nach diesem Prozess entstehender Rohgips fällt in Form von sehr feinen, langgestreckten Kristallen an. Trotz seines im Vergleich zu üblichem Gipsstein sehr hohen Reinheitsgrades ist Chemierohgips nicht ohne weiteres als Abbindezeitregler für die Zementherstellung und als Rohstoff für die Gipsherstellung zu verwenden. Die Schwierigkeiten sind physikalischer und chemischer Natur. Die langgestreckte Kristallform bleibt bei einer trockenen Dehydratation erhalten und beeinträchtigt die Verarbeitbarkeit der entstehenden Gipse selbst nach dem Vermahlen stark. Anorganische und organische Verunreinigungen sind zusätzlich ein Hindernis bei der Weiterverwendung. Die organischen Verunreinigungen beeinträchtigen besonders die Farbe und die Festigkeit von Gipsen. Die in der Schweiz anfallenden Mengen an Industriegipsen sind relativ klein.

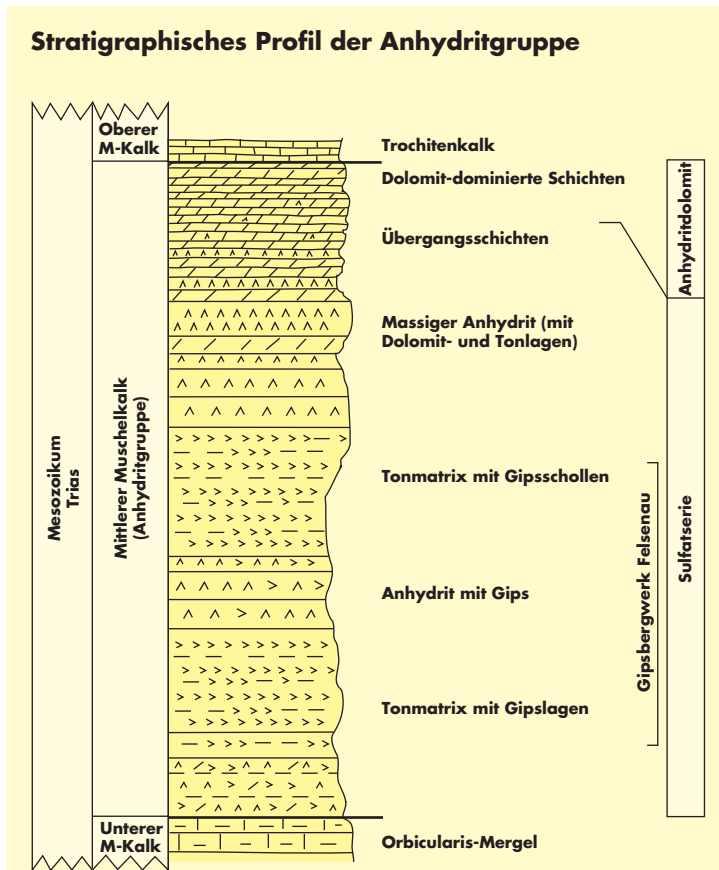
**Tabelle 8.5: Chemische Zusammensetzung von Natur- und REA-Gips.**

Bestandteil	Naturgips Gew. %	REA-Gips* Gew. %
CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	75–95	98–99
Na <sup>+</sup> (wasserlöslich)	< 0.1	< 0.1
K <sup>+</sup> (wasserlöslich)	< 0.1	< 0.5
Fe <sup>3+</sup> (wasserlöslich)	< 0.1	< 0.1
Mg <sup>2+</sup> (wasserlöslich)	< 0.1	< 0.1
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (wasserlöslich)	< 0.1	< 0.5
Cl <sup>-</sup> (wasserlöslich)	< 0.001	< 0.05
F <sup>-</sup> (wasserlöslich)	–	< 0.05
CaSO <sub>3</sub> · 1/2H <sub>2</sub> O	0	0.1–1.0
CaCO <sub>3</sub> + Ton	5–20	–
Feuchtigkeit	0.1–1.0	7–10
pH-Wert	6–7	5–8

\*REA-Gips = Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen

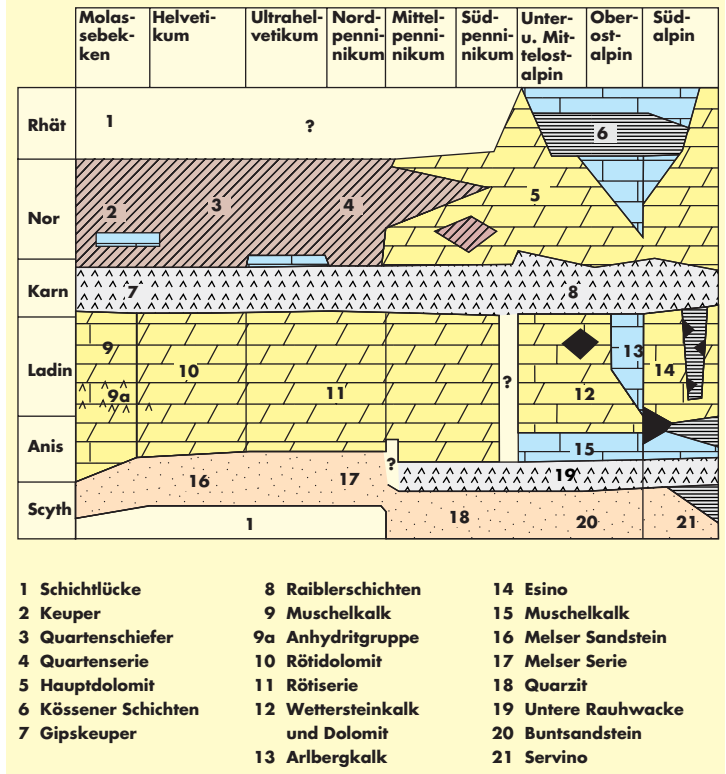
#### 8.1.7 NATÜRLICHE ROHMATERIALRESSOURCEN UND IHRE NUTZUNG

In den vier Kartenblättern der Geotechnischen Karte der Schweiz 1:200'000 [1963–1967] wurden die wichtigsten Gips-Anhydritvorkommen vermerkt (geographische Lage, geologisch/lithologische Stellung sowie frühere Abbaustellen). Die heute in Ausbeutung stehenden Vorkommen sind auf der vereinfachten Karte in [Abbildung 8.8](#) eingezeichnet. Sie werden später im [Kapitel 8.1.7.3](#) im Detail beschrieben. Auf eine Aufzählung früherer Abbaustellen wurde verzichtet.



8.9

## Zeit-Fazies-Schema der alpinen Trias



8.10

Die zunächst folgenden Abschnitte geben eine geologische Übersicht der Gips-Anhydritvorkommen im Jura und in den Alpen.

### 8.1.7.1 Gipsvorkommen im Jura

Im Juragebirge sind Gipsvorkommen zum weitaus grössten Teil an die Triasformation gebunden. Die wichtigsten, wohl im ganzen Gebiet gipsführenden Horizonte sind der mittlere Muschelkalk und der mittlere Keuper. Gipsfunde im Perm und in den obersten Lagen des Malm (Purbeckien) haben keine praktische Bedeutung.

Die Aufschlüsse der Triasformation und damit die nutzbaren Gipslager sind auf den nördlichen und östlichen Teil des Juragebirges beschränkt (nordöstlich der Linie Pruntrut-Solothurn; vergleiche [Abbildung 8.8](#)). Im Faltenjura findet man sie nur im Kern einiger stark erodierter Antiklinalen. Recht ausgedehnt sind die Vorkommen in der Zone der Überschiebung des Faltenjuras auf den Tafeljura. Im Tafeljura trifft man die gipsführenden Schichten besonders im nördlichen Abschnitt.

Häufig ist das Auftreten unterirdischer Gipsmassen durch trichterförmige Vertiefungen auf der Erdoberfläche angezeigt. Diese Trichter entstanden durch unterirdische Auslaugung des leicht löslichen Gipses und dem darauffolgenden Nachsinken der Decke (sogenannte Erdfälle, Dolinen).

Heute sind besonders die Gips-Anhydritvorkommen des Muschelkalkes von Wichtigkeit. Anhydrit ist dort erhalten geblieben, wo die Schichten geschützt vor Wasserzutritt sind, was erst ab einer gewissen Tiefe unter der Oberfläche zutrifft. Bei Steinbrüchen für den Gipsabbau muss daher mit zunehmender Tiefe mit dem Auftreten von Anhydrit gerechnet werden, wenn nicht aussergewöhnliche geologische Bedingungen vorliegen. Begleitgesteine der Gips-Anhydritvorkommen sind überall graue dolomitische Mergel und (nur an vollständig vor Auslaugung geschützten Stellen im Tafeljura) Steinsalz. Die Gesamtmächtigkeit der Anhydritgruppe beträgt normalerweise 40–50 m (vergleiche [Abbildung 8.9](#)). In den Gewölben im Faltenjura und in der Überschiebungszone kann die Anhydritgruppe durch sekundäre Auffaltung und Stauungen viel mächtiger erscheinen.

**Abbildung 8.9:** Schematisches Profil zur Stratigraphie der Anhydritgruppe im Gebiet des ehemaligen Gipsbergwerkes Felsenau, Reuenthal AG [nach Baumann und Stucky 1984].

**Abbildung 8.10:** Schematisches Profil durch die alpine Trias [modifiziert nach Gwinner, 1978].



Die Gipsschichten des Keupers sind als Ganzes weniger mächtig, zudem wechsellagern sie stark mit roten oder grünen dolomitischen Mergeln und bisweilen mit Dolomitlagen.

### 8.1.7.2 Gipsvorkommen in den Alpen

Die Gipslager der Alpen gehören ebenfalls der Triasformation an. Die Trias der meisten geologischen Einheiten führt Gipsablagerungen als lokale Einlagerung von teilweise beträchtlicher, aber rasch wechselnder Mächtigkeit, selten als durchgehende Horizonte von grosser Ausdehnung ([Abbildung 8.8](#)). Die Gipsgesteine sind, da sehr weich und gleitfähig, ähnlich den Flyschschiefern häufig bei der Faltung an gewissen Stellen abgeschert und an andern stark gehäuft worden. Die Gipsvorkommen sind fast immer mit Mergeln und Rauhwacken verknüpft; im Berginnern wird Gips von Anhydrit abgelöst. Rauhwacken sind durch spezielle Umsetzungen aus gipshaltigen Gesteinen entstandene, vorwiegend kalkige Bildungen.

#### Nördliche Kalkalpenzone

Im Helvetikum sind Gipslager weniger verbreitet und von geringer Ausdehnung. Bedeutender sind sie im Gebiet der ostalpinen Decken, am zahlreichsten und zum Teil von sehr grosser Mächtigkeit in einer tektonisch sehr komplizierten Zone des Ultrahelvetikums, die sich von Bex im Rhonetal über Col de la Croix, Col du Pillon, Lauenen, Lenk, Hahnenmoos, Adelboden gegen den Thunersee erstreckt ([Abbildung 8.8](#)).

Die Klippendecke enthält im Rhonetal sowie im Saane- und Simmengenbiet mehrere kleinere Gipsvorkommen, meist mit Rauhwacke und Dolomit verknüpft. Östlich des Thunersees sind Gipsvorkommen spärlicher. Das bedeutendste liegt westlich Giswil im Gebiet der Giswiler Klippen. Ausgedehnte mächtige Ablagerungen bestehen vorwiegend aus Gips. Dieser ist meist weiss, seltener rötlich oder durch Verunreinigungen mit Mergel grau gefärbt. Ein praktisch bedeutsames Gipsvorkommen befindet sich am Stanserhorn, ebenfalls zur Trias der Klippendecke gehörig. Weiter im Osten sind nur vereinzelt kleine, praktisch unwichtige Gipsfunde bekannt, meist ohne ersichtlichen Zusammenhang als Schürflinge im Flysch.

#### Innere und südliche Alpengebiete

In den Zentralmassiven tritt Gips in den Triasschichten kaum auf, mit Ausnahme des Südrandes des Gotthardmassivs,

wo sich mächtige Lager einstellen, die mit den gleichartigen des penninischen Gebietes behandelt werden. Im Penninikum ist Gips stellenweise sehr verbreitet, meist vergesellschaftet mit Rauhwacke. Wie alle mesozoischen Sedimente dieser Zone ist er in der Stirnregion der Decken angehäuft. Vom Unterwallis bis nach Graubünden zählt man rund 30 Gipsvorkommen. Diese Vorkommen sind in der Lagerung kompliziert und öfters schon deutlich metamorph. An Stelle der ursprünglichen Mergelanteile tritt dann weisser oder bräunlicher Glimmer. Der Gips erscheint dadurch von viel reinerer Beschaffenheit. In tieferen Zonen tritt allgemein Anhydrit an Stelle des Gipses; so wurde im Simplontunnel nur dichter Anhydrit angetroffen. Bei Granges VS findet sich auch ein sehr reiner, bläulichweisser Anhydrit. Im penninischen Teil von Graubünden wurde früher Gips im Tal der Albula gewonnen, wo isolierte Fetzen an zahlreichen Stellen in den Bündnerschiefern auftreten. Auch die Bündnerschiefer des Unterengadins enthalten an mehreren Stellen Gipslager, die aber nie genutzt wurden.

Im ostalpinen Gebiet treten in den meisten Decken lokal Gipslager auf, meist in den Raiblerschichten (Carnien). Die Vorkommen haben keine wirtschaftliche Bedeutung.

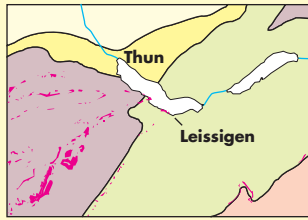
In den Südalpen treten lokale Gipslager in den Raiblerschichten auf, vergesellschaftet mit Mergeln und Rauhwacken.

#### Aufschlussverhältnisse

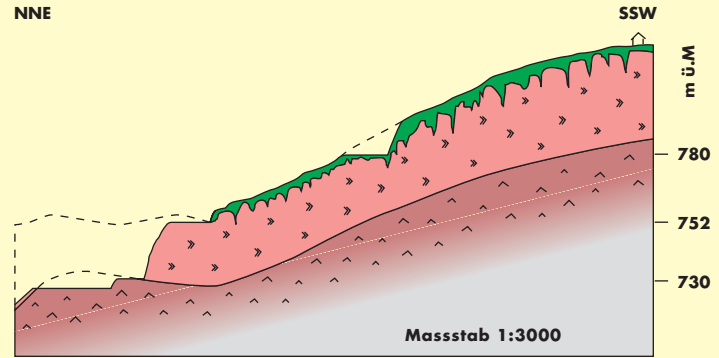
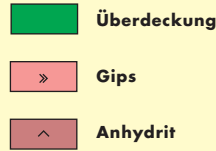
Die primär sedimentären Gips- und Anhydritablagerungen sind später durch Diagenese und tektonische Vorgänge, wie Alpen- und Juraufaltung, in ihrer Mineralzusammensetzung und Struktur mehr oder weniger stark beeinflusst und überprägt worden. Durch Druck- und Temperatureinwirkung ist Gips zu Anhydrit entwässert worden. Eine spätere Rehydratisierung erfolgte, nachdem durch die Erosion die Anhydritlager für den Zutritt des Oberflächenwassers freigelegt waren. Diese Rehydratisierung ergibt, je nach Lage, Struktur und Art des Überdeckungsmaterials, eine Gipsmächtigkeit von 25–40 m.

Verfaltungen mit Nebengestein sowie Effekte der Gipstektonik bedingen die heute von Ort zu Ort wechselnden, stark inhomogenen Lagerstätten. Mit technischen Hilfsmitteln (Homogenisierungshalle, Materialmischung vor Brechanlage) wird versucht, eine weitgehende Homogenisierung des Rohmaterials zu erreichen. Die relativ geringe Eindringtiefe der Vergipsung in Anhydritlagerstätten von durchschnittlich 30 m hat zur Folge, dass die Nutzung oder die Abbautiefe des Gipses beschränkt ist. Dies im Gegensatz zum Abbau von Kalk- oder

# Gipssteinbruch Leissigen-Krattigen Geologisches Profil

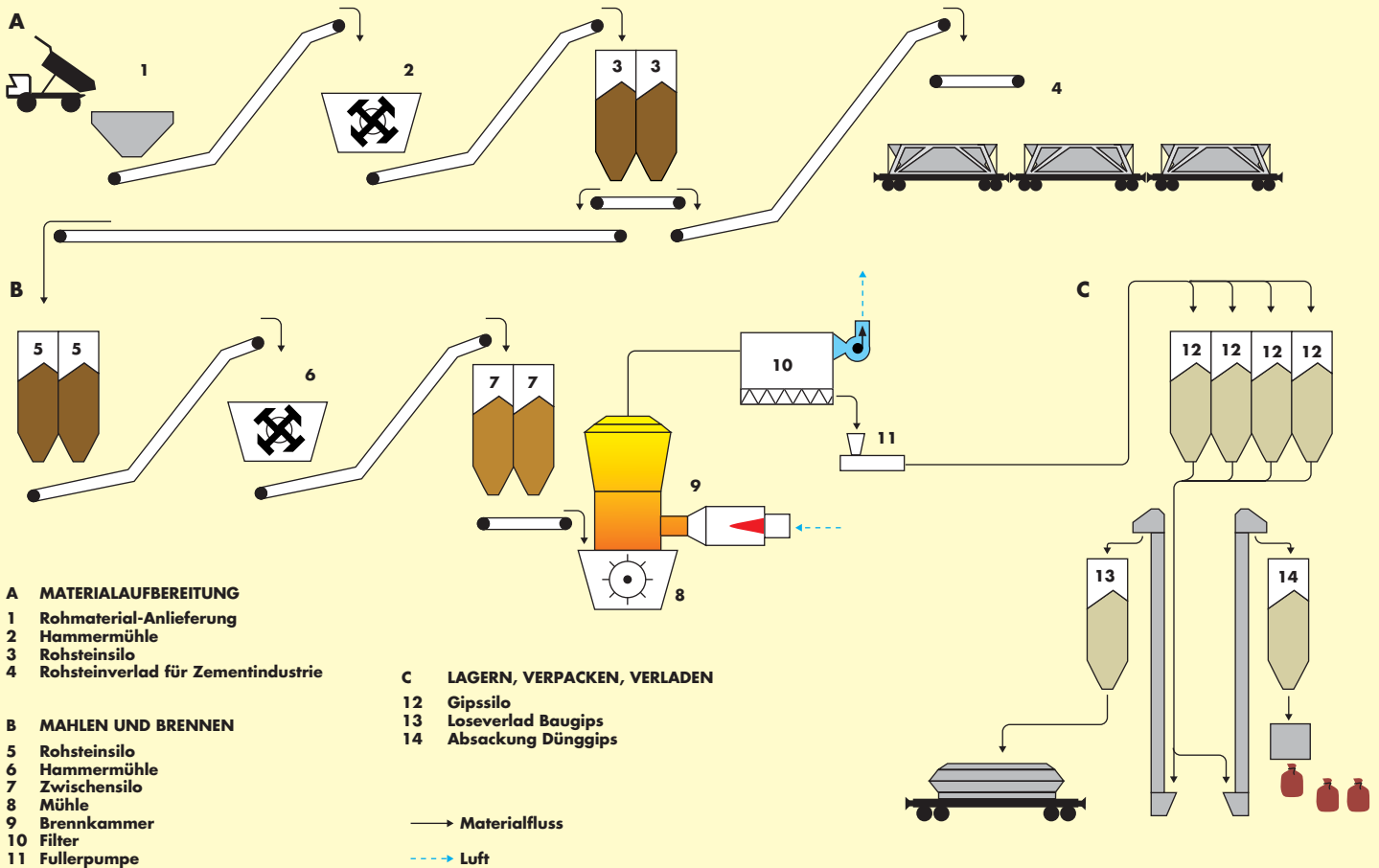


Auszug aus Abbildung 8.8



8.11

## Schema der Gipsfabrikation im Einbrandverfahren



8.12

Abbildung 8.11: Geologisches Profil durch das Gips-Anhydritvorkommen von Leissigen-Krattigen.

Abbildung 8.12: Schema der Gipsproduktionsanlage von Leissigen-Krattigen.



Tonvorkommen, die meistens einen bedeutend tieferen Abbau erlauben. Deshalb ist der Gipsabbau sehr flächenintensiv, die Rohmaterialreserven pro Flächeneinheit sind wesentlich kleiner als für andere Gesteinsarten. Dazu kommt, dass das weiche Gipsgestein stark erosionsanfällig ist und die Vorkommen meist von mächtigen Überdeckungsschichten aus Moräne oder Gehängeschutt überlagert sind. Entsprechend muss für Deponieraum für das Abraummateriale sowie für den nichtverwertbaren Gips vorgesorgt werden. Rekultivierung ist nur in erschöpften Abbaubereichen möglich!

Die Gewinnung von Gips und – soweit erforderlich – von Anhydrit erfolgt in der Schweiz durchwegs im offenen Terrassenabbau mit Wandhöhen von 10–15 m (siehe [Abbildung 8.14](#)). Die Abbaumethode ist konventionell, das Rohmaterial wird durch Bohren und Sprengen gewonnen. Das gebrochene Rohmaterial gelangt in einer Körnung von 0–50 mm entweder in die Gipswerke oder an die Zementindustrie. Das nicht verwertbare Material aus der Schuttdeckung oder aus dem Abbau wird so weit als möglich für die Rekultivierung der abgebauten Steinbruchgebiete verwendet.

Gips ist – im Gegensatz zum Anhydrit – ein relativ gut wasserdurchlässiges und leicht in Lösung gehendes Gestein. Wenn keine primären oder tektonisch bedingten Stauhorizonte im Lager vorhanden sind, entwässern Gipslager am Kontakt Gips-Anhydrit. Dies erklärt einerseits die «trockenen» Gipsvorkommen, andererseits eine entsprechende Sulfatbelastung im Grundwasser der Umgebung.

### 8.1.7.3 Beschreibung der einzelnen Vorkommen

Bei der Gründung der Gipsunion AG im Jahre 1903 schlossen sich 18 Hersteller von Gips und Gipsprodukten zusammen. Im Laufe der Jahre kamen weitere dazu, andere schlossen ihre Tore entweder aus Wirtschaftlichkeitsgründen oder weil ihre Rohstofflager erschöpft waren.

1996 stehen in der Schweiz noch fünf Gips-Anhydrit-Vorkommen in Abbau (vergleiche [Abbildung 8.8](#)). Sie befinden sich bei Leissigen–Krattigen oberhalb des Thunersees, im waadtländischen Bex, bei Kerns/Melbach an der Westflanke des Stanserhorns, in Zeglingen im Baselbiet sowie in Granges zwischen Sitten und Siders. Sie dienen als Rohmaterialquellen für die Gips- und Gipsputzwerke in Leissigen, Bex, Ennetmoos und Granges. Vollgipsplatten werden hergestellt in Heimberg bei Thun sowie in Granges.

Die Gipsbrüche und Produktionsstätten von Leissigen, Bex, Ennetmoos, Zeglingen sowie von Holderbank, Roche und

Heimberg sind im Besitz der Gipsunion AG und werden auch von ihr betrieben. Besitzerin des Gipsplattenwerkes in Granges ist die Firma La Plâtrière SA in Sion.

### Leissigen–Krattigen

Das Gips-Anhydritvorkommen von Leissigen–Krattigen (siehe Kapitel-Titelbild) gehört zur bekannten Zone, welche von Bex über die Pässe La Croix–Pillon – mit ebenfalls mächtigen Gipslagern – und Lenk–Adelboden zum Thunersee zieht ([Kapitel 8.1.7.2](#)). Geologisch-tektonisch wird diese Zone dem Ultrahelvetikum zugerechnet. Die Basis des Vorkommens bilden Gesteine des Flysch sowie aus der sogenannten Schattwaldzone (Kreide?).

Gips und Anhydrit sind relativ gleichmässig geschichtet und zeigen eine recht ruhige Lagerung ([Abbildung 8.11](#)). Am tektonischen Kontakt zum Flysch und den Schattwaldschichten sind jedoch intensive Verfaltungen häufig, was die Abbaubedingungen entsprechend erschwert. Der triassische Rotenbühldolomit trennt keilartig das Vorkommen in zwei lokale Schuppen. Begleitgesteine sind dunkelgraue und seltener grünliche Mergel (Keuper?) sowie nesterartig auftretender, dunkler Dolomit. Vereinzelt tritt elementarer Schwefel auf.

Gipsabbau und -fabrikation am Thunersee haben eine lange Vorgeschichte. Der heutige Standort beim ehemaligen Leissigbad geht auf die Initiative des Rechtsprofessors an der Bernischen Akademie, Carl Ludwig Tschärner, im Jahre 1797 zurück. Der Gips-Anhydritbruch oberhalb der Strasse Leissigen–Krattigen besteht seit 1930, nachdem die früheren Abbaustellen am Krattiggraben und der Krattighalde aufgelassen werden mussten. Der ehemals aus Gründen des Umweltschutzes praktizierte Stollen- und Tagbau wurde später aufgegeben, vor allem auch der zahlreichen unschönen Stollen-Portallöcher wegen. Heute wird ausschliesslich im terrassenweisen Tagbau gearbeitet mit einer höchsten Terrasse auf 830 m ü.M. und der Bruchsohle mit der Brechanlage auf 640 m ü.M. (vergleiche auch [Kapitel-Titelbild](#)). Das gebrochene Rohmaterial gelangt von da über Zwischensilos entweder direkt ins Gipswerk am See oder zum Bahnverlad mit Destination an verschiedene Zementfabriken. Für die Gipsherstellung wird ein Rohmaterial mit einem Gipsgehalt von mindestens 70% benötigt, an die Zementwerke wird ein Gemisch Gips-Anhydrit geliefert mit einem durchschnittlichen SO<sub>3</sub>-Gehalt von 38%.

Im Gipswerk Leissigbad wird mit einer Claudius-Peters-Mahl-trocknungsanlage, Baujahr 1971 (vergleiche [Abbildung 8.12](#)), ein Einbrand-Gips hergestellt, welcher als Rohstoff zur





8.13



8.14



8.15



8.16

Fabrikation der Vollgipsplatten in Heimberg dient (vergleiche [Abbildung 8.6](#)). Marginale Gipsmengen werden als Dünggips oder Kalziumsulfat abgesetzt.

Die nicht unbeträchtlichen Moränen-Schuttmassen aus der Abdeckung werden sukzessive für die Rekultivierungsarbeiten in die definitiv abgebauten Steinbruchpartien geschüttet. Im 1987 bewilligten Überbauungsplan sind die einzelnen Abbau- und Rekultivierungsetappen zwingend vorgeschrieben. Eine jährliche Begehung mit den zuständigen Gemeinde- und Kantonsvertretern dient der Kontrolle und der Bereinigung anstehender Fragen.

## Bex

Das Gips-Anhydritvorkommen von Bex (vergleiche [Abbildung 8.13](#)) ist Teil der ultrahelvetischen Bex-Laubhorn-Decke beziehungsweise der Zone des Cols. Stratigraphisch gehört es zur oberen Trias (Keuper). Die Tektonik in dieser Region ist sehr komplex, Details dazu finden sich in den Arbeiten von Badoux [1963]. Die Gips- und Anhydritgesteine sind stark tektonisiert und mit schiefrigsandigen Flyschgesteinen verschuppt. Der Dolomitanteil in den Sulfatgesteinen ist beträchtlich. Als Folge der Tektonisierung und der späteren

**Abbildung 8.13:** Das Gips-Anhydritvorkommen von Bex.

**Abbildung 8.14:** Das Gips-Anhydritvorkommen von Kerns/Melbach (Blick Richtung SSE).

**Abbildung 8.15:** Fabrikgelände und Transportrune von Granges.

**Abbildung 8.16:** Flugaufnahme des Gips-Anhydritvorkommens von Granges.



Rehydratisierung des Anhydrits zu Gips sind die ehemaligen Lagerungsverhältnisse verwischt, die Rohmaterialzusammensetzung und -qualität ist gleichmässig inhomogen. Das erste Gipswerk am heutigen Standort beim Bahnhof Bex ist der Initiative des damaligen Betreibungsbeamten Felix Dubuis 1896 zu verdanken. Frühere Anlagen im Dorf Bex waren entweder aus Gründen der Wirtschaftlichkeit eingegangen oder durch Überschwemmungen des Baches L'Avançon zerstört worden.

Anfänglich wurde das Rohmaterial am Westfuss des Montet gewonnen. 1907 wurde der Abbau an den heutigen Standort auf dem Montet verlegt, dies problemlos, weil der ganze Montet praktisch aus Gips und vor allem Anhydrit besteht, wie neuere Untersuchungen gezeigt haben. Die Seilbahnverbindung zum Werk besteht seit 1911. Der Terrassenabbau wird bis auf den Anhydritkern abgeteuft, Anhydrit selber wird – momentan – nicht abgebaut. Der Feinanteil, soweit aus Qualitätsgründen nicht verwertbar, wird nach dem Brechen abgeseigt und für Rekultivierungszwecke verwendet. Die einzelnen Abbau- und die entsprechenden Rekultivierungsetappen sind in den Abbaubewilligungen von 1981 und 1996 geregelt.

Das gebrochene Gipsgestein wird mit einer modernen Pendelseilbahn (Baujahr 1988; Kapazität 66 t/h.) in eine Homogenisierungshalle beim Werk transportiert. Diese Homogenisierung ersetzt die Sortierung, bei welcher in früheren Zeiten 8 bis 10 Mann das Rohmaterial von Hand für die einzelnen Verwendungszwecke ausschieden.

Das homogenisierte Rohmaterial gelangt über ein Transportband entweder zum Verlad für die westschweizerischen Zementfabriken in Roche und Eclépens oder zum modernen Gipswerk, Baujahr 1984. Neben dem normalen Halbhydrat als Basismaterial wird in Bex auch Hochbrand produziert. Aus diesen zwei Rohstoffen wird, mit Zusätzen von Sand, Filler und Additiven, die ganze Palette von Gipsputzen hergestellt.

### Kerns/Melbach

Das Gips-Anhydritvorkommen von Kerns/Melbach ([Abbildung 8.14](#)) an der Westflanke des Stanserhorns ist die Obwaldner Rohmaterialbasis für das Gipswerk im nidwaldnerischen Ennetmoos. Das auf 900–1100 m ü.M. gelegene Gipsvorkommen wurde 1931 erschlossen als Ersatz für die frühere Abbaustelle «in der Rübenen». Die triassischen Gips- und Anhydritgesteine gehören tektonisch zur penninischen Klippendecke. Die Verschuppung mit den Flyschgesteinen an der Basis ist sehr intensiv. Im Abbauggebiet Melbach kann eine untere Gipszone mit weissen, zum Teil sehr kompakten und

reinen Gipsbänken (Ladinien) von einer oberen Gipszone und bunten Mergeln mit wenig Dolomit und neben weissem auch hellrosa-rötlichem Gips unterschieden werden (Carnien). Die stellenweise überdurchschnittlich grosse Mächtigkeit von gegen 60 m über dem kompakten Anhydritkern dürfte auf geologisch junge Sackungen und Rutschungen auf die darunterliegenden Gipsmassen zu erklären sein. Die nachgerutschten Gipsschichten sind wenig kompakt und mit viel Mergel und Ton vermischt.

Das im Terrassenabbau gewonnene Gipsgestein – Anhydrit wird nicht abgebaut – muss grösstenteils über eine Sieb- und Aufbereitungsanlage vom tonig-mergeligen Feinanteil getrennt werden. Dies vor allem deshalb, weil der im Gipswerk Ennetmoos installierte Schachtofen nur mit stückigem Gipsstein beschickt werden kann. Der Anteil an Schuttmaterial aus Moräne und Gehängeschutt sowie Feinaussiebung ist so beträchtlich, dass bisher die Umlagerung dieses Materials für Rekultivierungszwecke nur beschränkt möglich war. Dies erklärt die grosse Schuttdeponie unterhalb des Abbaugbietes ([Abbildung 8.14](#)). Eine Seilbahn von 2.5 km Länge bringt das Rohmaterial in die Silos im Tal bei St. Jakob, von wo es entweder zum Werk bei Ennetmoos oder direkt zu zwei Zementwerken mit Lastwagen abtransportiert wird. Die Gipsherstellung in Ennetmoos, am Südende der Rotzlochschlucht, hat eine lange Tradition. Erwähnt sei die Bewilligung des Rates von Unterwalden anno 1619 an den Abt von Einsiedeln, in diesem Gebiet nach Gips zu graben. Abbau und Rekultivierung sind in den Abbaubewilligungen von 1977 und 1996 geregelt.

Heute wird im Werk Ennetmoos Gips als Dihydrat nach alter, klassischer Methode im Zweibrand-Verfahren hergestellt. Im Schachtofen wird der stückige Gipsstein getrocknet und vorgebrannt. Nach dem anschliessenden Mahlprozess wird aus diesem Material in Gipskochern oder -pfannen ein Halbhydrat produziert. Abgesehen von kleinen Mengen, die als Baugips abgesetzt werden, dient dieses Halbhydrat als Rohstoff für die Gipsputzproduktion im aargauischen Putzwerk Holderbank. Aus sehr reinem Gipsstein wird überdies Kalziumsulfat hergestellt, welches als Füllstoff, Filtriergips für Brauereien oder als spezieller Dünggips Anwendung findet.

### Granges

Gipsgewinnung und Gipsfabrikation im Wallis, speziell in Granges, haben eine lange und grosse Tradition. Gipsgestein, reinweiss, dicht, marmor- und alabasterähnlich, von Granges wird in der Literatur öfters erwähnt. Am Ende des 19. Jahrhunderts betrug der Preis für einen Block von einem Kubikmeter





8.17

dieses Gesteins bereits 130 Franken! Es ist zu vermuten, dass Pfeiler und Gewölberippen der Kathedrale von Sitten, erbaut 1470–1511, aus einem marmorähnlichen Gipsstein von Granges stammen.

Geologisch-tektonisch gehört das Gipsvorkommen von Granges ins Penninikum («écaillés subbriançonnais internes» nach M. Burri). Die Gips- und Anhydritgesteine sind intensiv verschuppt mit ihren ebenfalls triassischen Begleitgesteinen sowie mit Gesteinen des Karbons und der liasischen «Schistes lustrés», welche unregelmässig in den Gips-Anhydritmassen eingelagert sind. Rohmaterialgewinnung und Qualitätssicherung werden dadurch erschwert.

Im Gegensatz zu den vier bereits besprochenen Gips- und Anhydritabbaustellen wird das Vorkommen von Granges nicht durch die Gipsunion AG, sondern durch die unabhängige Unternehmung La Plâtrière SA in Sitten genutzt. Das heutige

Abbaugelände an der nördlichen Talflanke, von weither sichtbar ([Abbildung 8.16](#)), liegt teilweise auf Eigentumsgebiet der Bürgergemeinde Siders-Granges. Der weisse Gipsstein dient als Rohstoff für die Herstellung von Halbhydrat.

Die weisse Farbe des Gipssteins täuscht oft einen höheren Gipsgehalt vor, dies wegen der ebenfalls hellgrau-weißen Farbe der darin enthaltenen Karbonate (Dolomit, Magnesit). Für den stellenweise auftretenden reinen, alabasterähnlichen Anhydrit mit leichter Violett- bis Rosatönung wird eine Verwendung noch gesucht.

Das gesprengte Rohmaterial wird per Lastwagen zu einer Transportrunse beim Gipswerk transportiert, wo es die Höhendifferenz von ungefähr 100 m im freien Fall zum Brechervorplatz «hinunterdonnert» ([Abbildung 8.15](#)). Im 1962 erstellten Gipswerk wird im Einbrand-Verfahren ein Halbhydrat hergestellt als Rohstoff für die Produktion von Vollgipsplatten

**Abbildung 8.17:** Das Gips-Anhydritvorkommen von Zeglingen.



mit Hauptabsatzgebiet Westschweiz. Als weitere Produkte werden Deckenplatten und Spezialelemente sowie Gipsmörtel und -kleber fabriziert. Gipsabbau und Rekultivierung sind durch eine Bewilligung von 1990 geregelt.

### Zeglingen

Gipsabbau und Gipsfabrikation in Zeglingen, zuhinterst im Baselbieter Eital, sind bereits aus der Mitte des letzten Jahrhunderts bekannt. Das breitaufgeschlossene Gips-Anhydritvorkommen im Weissbrunn ([Abbildung 8.17](#)) diente früher als Rohmaterialbasis für das Gips- und Gipsplattenwerk in Läfelfingen. Seit dessen Schliessung 1983 wird in Zeglingen Gips und ein Gemisch von Gips und Anhydrit für verschiedene Zementwerke in der nördlichen Schweiz und im benachbarten Elsass abgebaut.

Die Gips- und Anhydritschichten der Anhydritgruppe des Mittleren Muschelkalks (Trias) bilden den Kern der Leutschenbergantiklinale, welche fast West–Ost von Läfelfingen her gegen den Leutschenberg zieht. Die Verschuppung der einzelnen Schichten ist – als Folge der Jurafaltung – sehr intensiv. Dazu sind stellenweise Mergel und Tone der oberen Sulfatzone in die Gipsschichten eingefaltet, was den Rohmaterialabbau erschwert. Das vor allem von Gehängeschutt bedeckte Gipsvorkommen geht in einer gewissen Tiefe ebenfalls in Anhydrit über, das Resultat der seinerzeitigen Jurafaltung. Überdurchschnittlich mächtige Schuttmassen im westlichen Teil sowie das Abtauchen der Faltenachse gegen Osten lassen keine wesentliche Erweiterung des Abbaus zu.

Der östliche, bereits fertig abgebaute Teil des Bruchs wird sukzessive verfüllt, er dient als regionale Aushub-Deponie. Das gebrochene Rohmaterial wird direkt mit Lastwagen zu den Zementwerken geführt. Abbau und Deponiebetrieb mit sukzessiver Begrünung sind durch Bewilligungen von 1971 und 1991 geregelt.

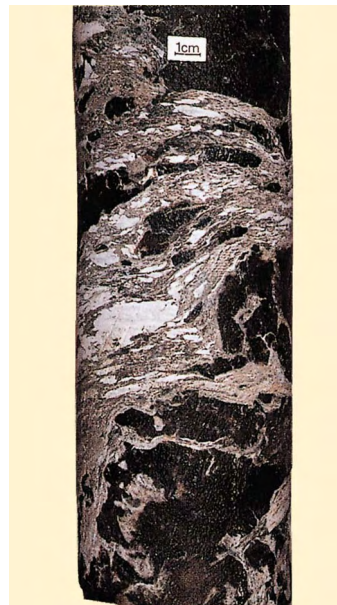
## Salz und Salzproduktion in der Schweiz



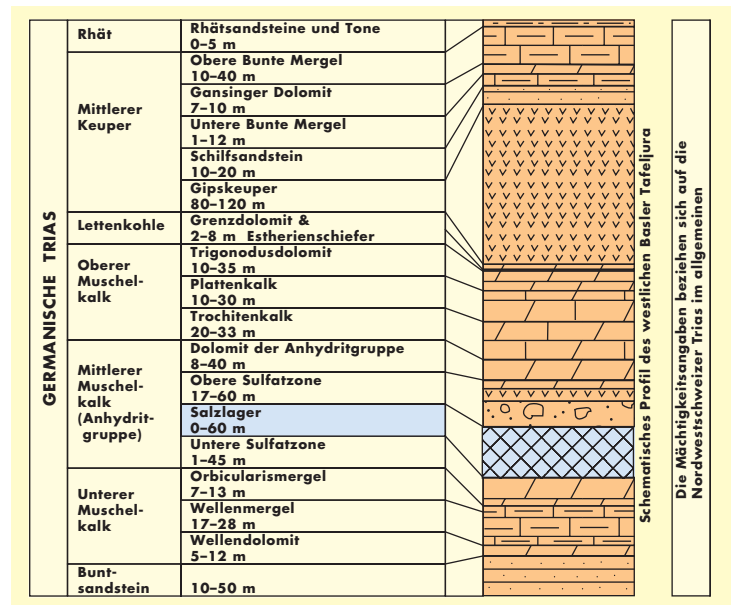
8.18



8.19a



8.19b



8.20

Abbildung 8.18: Karte der Verbreitung der Salzvorkommen in der Schweiz. Dargestellt sind der mutmassliche Nordrand des Salzlagers im mittleren Muschelkalk und im Keuper. Die Daten stammen teilweise aus Untersuchungen der Nagra [NTB 88-25].

\* Bei den Salzbohrungen bezeichnet die erste Zahl in der Klammer die Oberkante der Salzschicht (m ü.M.), die zweite Zahl die Salzmächtigkeit (in m). Bei Salz im Keuper ist ein K beigefügt.

Abbildung 8.19a,b: Bohrkern aus dem Salzlager der Saline Riburg.

Abbildung 8.20: Stratigraphische Gliederung der Trias und Darstellung der salzföhrnden Schichten im Bereich der Nordschweiz.



## 8.2 SALZLAGERSTÄTTEN

### 8.2.1 EINFÜHRUNG

Als «Salzlagerstätten» im engeren Sinn werden die Vorkommen von Kali- und Stein- oder Kochsalz bezeichnet. In der Schweiz sind bis heute keine Kalisalze bekannt geworden, hingegen weist das Steinsalz eine relativ grosse Verbreitung auf. Das Steinsalz (chemisch Natriumchlorid = NaCl) ist ein kubisch auskristallisierendes, glasklares Mineral (= Halit) mit dem spezifischen Gewicht von 2.16 g/cm<sup>3</sup>. Es gehört somit zu den ausgesprochen leichten Mineralen. In der für die menschliche und tierische Ernährung oder für industrielle Zwecke geeigneten Form wird es als Kochsalz bezeichnet. Da das Salz in der menschlichen Ernährung eine wichtige Rolle spielt – der physiologisch notwendige Kochsalzbedarf des Menschen liegt bei 6 Gramm pro Tag –, bedeutete der Besitz von Salzvorkommen bis hin in die Neuzeit Reichtum und Macht.

Die Gewinnung von Kochsalz ist grundsätzlich auf drei Arten möglich: mittels Salzgärten entlang warmer und windreicher Meeresküsten (= Meersalz); durch bergmännischen Abbau natürlicher Lagerstätten (= Steinsalz); durch künstliche Laugungsverfahren und anschliessende Eindampfung in Salinen (= Siedesalz; siehe [Kapitel 8.2.4](#)).

In der Schweiz selbst wird das Salz lediglich mittels Laugung gewonnen, auch wenn dem Salz teilweise bergmännisch nachgegraben worden ist (Bex). Es kommt nirgends in genügender Reinheit vor, als dass es direkt der Verwendung hätte zugeführt werden können.

### 8.2.2 GEOLOGIE DER SALZVORKOMMEN

Die Salzvorkommen der Schweiz gehören drei geologisch unterschiedlichen Bereichen an, dem Mittleren Muschelkalk (westlich der Linie Kaiserstuhl AG – Bern – Lausanne), dem Keuper (Westschweiz) und der Trias des Ultrahelvetikums in der Umgebung von Aigle – Bex (siehe auch [Abbildung 8.18](#)).

#### 8.2.2.1 Steinsalz des Mittleren Muschelkalks – Geologie der Rheinsalinen

Nach der Entstehung der Grundgebirge von Schwarzwald und Vogesen und deren einsetzendem Abtrag erreichte erst-

mals im Mittleren Muschelkalk wieder ein Meeresvorstoss das Gebiet der nördlichen und westlichen Schweiz. Von Norden her entstand allmählich eine marine Verbindung bis ins Gebiet der Tethys, dem heutigen mediterranen Raum. Dabei kam es zu Verhältnissen, welche die Ausfällung von Gips und Natriumchlorid ermöglichten.

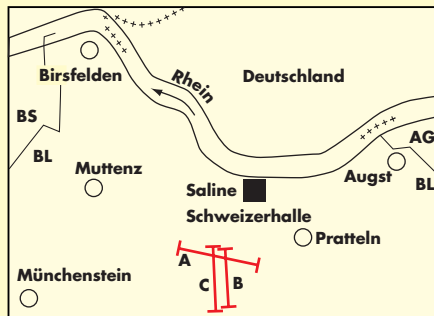
Die stratigraphische Gliederung der Trias ist in [Abbildung 8.20](#) dargestellt. Über dem rund 40 m mächtigen Unteren Muschelkalk (= Wellengebirge) folgt die Anhydritgruppe, welche nach nur rund 5 m sulfathaltigen Mergeln ein Salzlager enthält, dessen ungestörte Mächtigkeit bis 100 m reicht. Es ist wahrscheinlich in mehreren Zyklen entstanden, die immer wieder durch rezessive Phasen unterbrochen waren, welche zur gänzlichen oder teilweisen Auflösung des Salzes geführt haben [Widmer, 1991]. Da das Salzlager stets mehr oder weniger stark durch Sulfate (Anhydrit), aber auch durch Beimengungen von Ton und Dolomit verunreinigt ist, muss der Konzentrationsbereich des Meerwassers nahe bei einem Faktor von 11 gelegen haben (vergleiche [Abbildung 8.19](#)).

Die Ausdehnung des Salzlagers ist lediglich aus dem Hochrheingebiet einigermaßen bekannt. Hier streicht die Trias gegen den Schwarzwald zu aus, so dass sie der Beobachtung und leichten Erschliessung zugänglich ist. Der Nordrand des Salzlagers (vergleiche [Abbildung 8.18](#)) entspricht somit nicht dem primären Ablagerungsrand, sondern stellt den durch die in geologisch junger Zeit eingetretene und heute noch andauernde Erosion verursachten Rand dar [Hauber, 1980; 1993]. Der östliche Rand lässt sich lediglich aus einigen wenigen Bohrerergebnissen ableiten. Er verläuft aus dem Gebiet östlich Zurzach am Hochrhein (Kaiserstuhl) südwärts durch das Mittelland bis in die Gegend des Genfersees, wobei die Tiefenlage der Mittleren Trias rasch zunimmt. Gegen Westen ist das Muschelkalk-Salz aus der Bohrung Buix (Ajoie) bekannt, ebenso aus dem südlichen Rheingraben und seiner südlichen Fortsetzung [Bitterli, 1972].

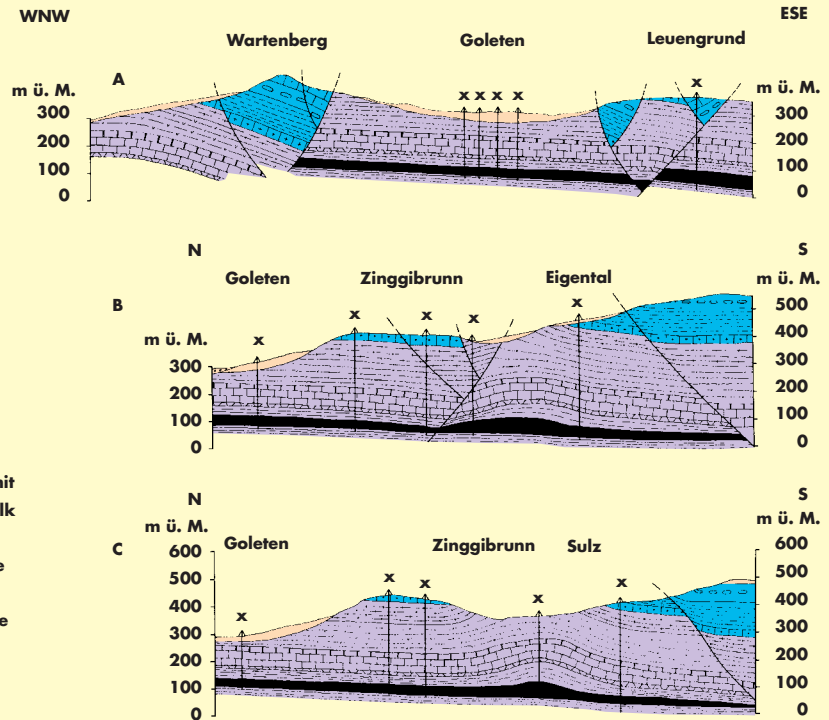
Das Muschelkalk-Salzlager stellt in seiner ursprünglichen Form eine mehr oder weniger zusammenhängende Schicht innerhalb der Mittleren Trias dar. Die Lagerungsverhältnisse sind aber durch jüngere geologische Vorgänge gestört worden. Die Schicht ist von zahlreichen Verwerfungen durchsetzt, die infolge des Einsinkens des Rheingrabens (vor allem im Eozän und Oligozän) entstanden sind und weit in den Jura hineinreichen. Bei der Juraufaltung hat die Salzschicht als Abscherfläche gedient [Laubscher, 1961]. Dadurch ist es zu Ansammlungen ([Anschoppungen\\*](#)) im Kern der Falten sowohl im Juragebirge als auch im Mittelland gekommen (Salzkissen).

\*Anschoppung: Durch tektonische Vorgänge (Zusammenschub) gebildete Salzkissen.

## Salzlager südlich von Schweizerhalle Geologische Profile

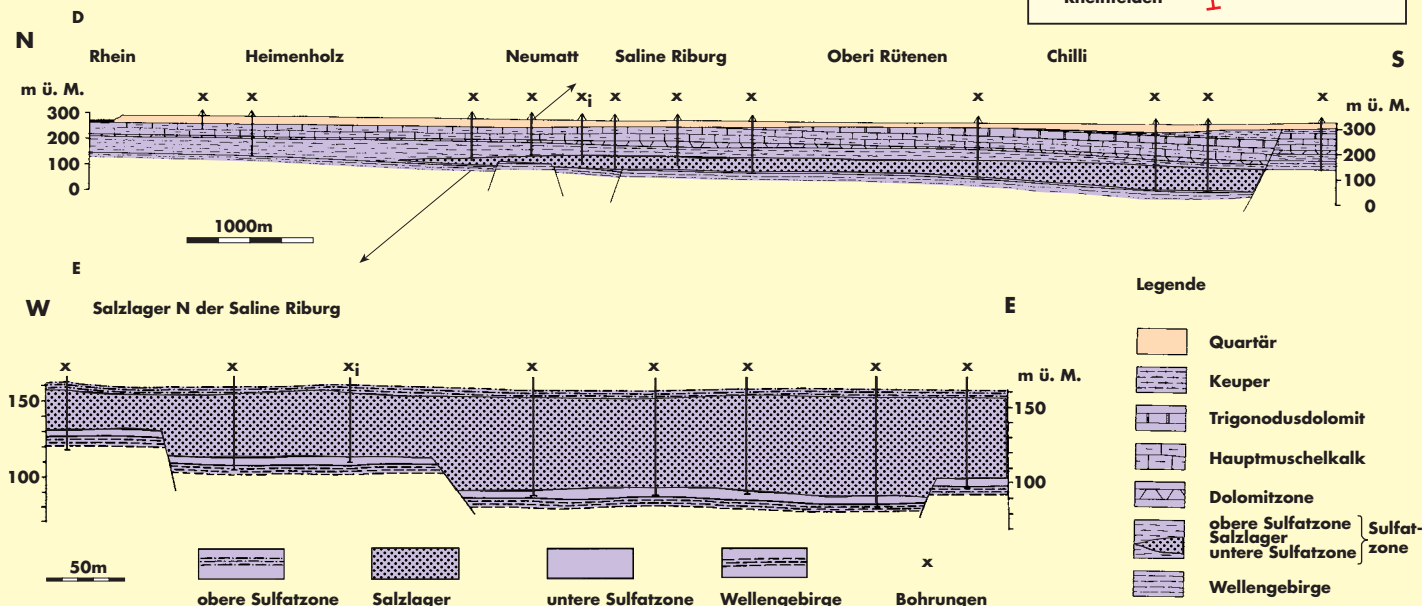
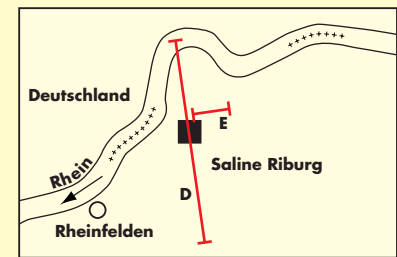


- |                  |           |                   |
|------------------|-----------|-------------------|
| Schotter         | } Quartär | Trigonodusdolomit |
| Gehängeschutt    |           | Hauptmuschelkalk  |
| Haupttrogenstein |           | Dolomitzone       |
| Unterer Dogger   |           | Obere Sulfatzone  |
| Opalinuston      |           | Salzlager         |
| Lias             |           | Untere Sulfatzone |
| Oberer Keuper    |           | Wellengebirge     |
| Gipskeuper       |           |                   |



8.21

## Salzlager von Rheinfelden-Riburg – Geologische Profile



8.22

Abbildung 8.21: Geologische Profile durch das Salzager südlich von Schweizerhalle. Deutlich sichtbar ist die Salz-Anschoppung im Bereich des Adlerhof-Gewölbes [nach Birkhäuser et al. 1987].

Abbildung 8.22: Geologisches Nord-Süd-Profil durch das Salzager von Rheinfelden-Riburg mit einem quer dazu verlaufenden Detailprofil aus dem Salzager nördlich der Saline Riburg, welches die Verstellung

der Salzbasis, nicht aber des Salz-daches zeigt [nach Hauber, 1993].



Ein relativ schwaches Beispiel einer solchen Akkumulation ist südlich von Schweizerhalle durch Bohrdaten belegt und auf [Abbildung 8.21](#) dargestellt [Hauber, 1971; Birkhäuser et al., 1987].

Während der Entstehung des Salzlagers des Mittleren Muschelkalkes ist es wahrscheinlich verschiedentlich zu lokalen Subsidenzen gekommen. Dies kann vor allem durch das gut erforschte Salzlager von Rheinfelden-Riburg belegt werden ([Abbildung 8.22](#) und Hauber, 1993). Im südlichen Teil dieses Salzlagers ist eine bis zu 8 m mächtige Anhydritlage vorhanden, die von Bohrung zu Bohrung korreliert werden kann. Nun zeigt sich, dass die Basis des Salzlagers stärker südwärts einfällt als diese Anhydritbank, die Mächtigkeit des unteren Teiles des Salzlagers nimmt also zu, was auf eine Kippung der mittleren Dinkelbergscholle, zu der dieses Salzlager gehört, während des Mittleren Muschelkalkes hindeutet. Auf [Abbildung 8.22](#) ist zusätzlich ein Detailschnitt aus dem Salzlager direkt nördlich der Saline Riburg enthalten, welcher die durch Brüche verstellte Salzbasis zeigt, darüber aber ein unbeeinflusstes Salzdach.

Daraus kann abgeleitet werden, dass die Salzlager des Mittleren Muschelkalkes Süddeutschlands und der Schweiz zwar einem einheitlichen Salinarbecken angehören, dass es aber lokal infolge von kleinräumigen Bewegungen zu Differenzierungen gekommen ist, die einerseits in Hochlagen zur teilweisen oder gänzlichen Absenz des Salzlagers geführt haben, während es andererseits in Muldenbereichen grössere Mächtigkeiten aufweist.

### 8.2.2.2 Salzlager des Keupers

Die Salzvorkommen des Keupers gehören dem unteren Teil des Mittleren Keupers (= Gipskeuper) an. Sie sind vor allem aus dem französischen Jura bekannt, wo sie mehrfach erbohrt worden sind. In der Schweiz ist das Keupersalz nur in wenigen Erdölbohrungen erreicht worden, wo es allerdings teilweise grössere Mächtigkeiten aufweist (z.B. in Essertines mehr als 360 m). Da bisher aber Bohrkerne fehlen, können keine präzisen Angaben über Ausbildung und Lagerungsverhältnisse gemacht werden. Aus geophysikalischen Untersuchungen kann vermutet werden, dass der Gipskeuper im westlichen Jura die Rolle des Abscherniveaus für die Jurafaltung übernommen hat [Bitterli, 1972].

Nach heutigem Kenntnisstand ist anzunehmen, dass das Keupersalz nordwärts bis etwa zur Linie Besançon – Biel – Emmental vorausgesetzt werden kann.

### 8.2.2.3 Salzvorkommen im Ultrahelvetikum – Geologie der Minen von Bex

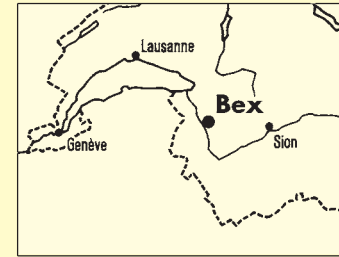
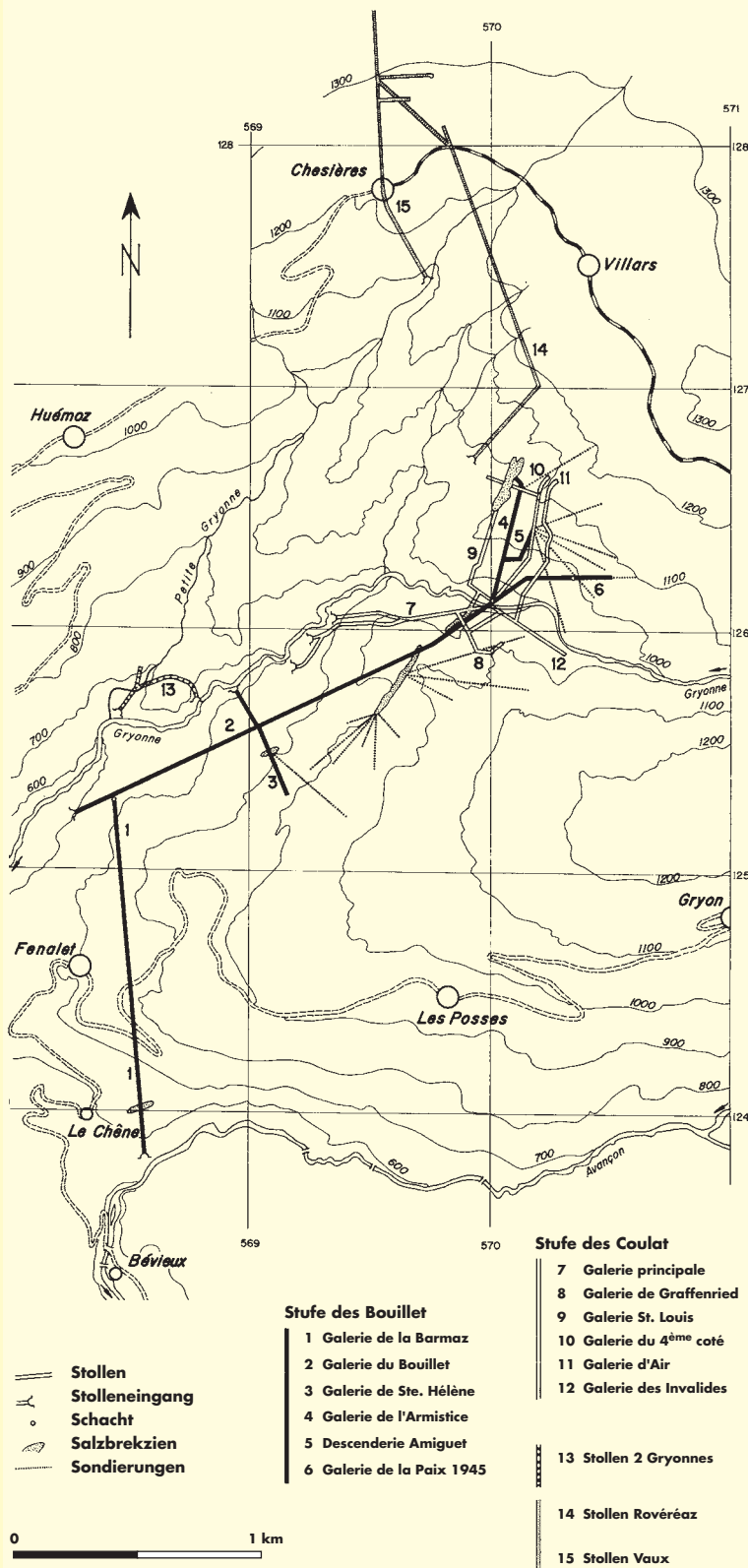
Der «Salzberg» (so haben die Alten die Gegend der Minen bezeichnet) gehört aus geologischer Sicht zur «Zone des Cols» (Decke von Bex; vergleiche auch [8.1.7.2](#)), Gesteine des oberen Ultrahelvetikums zwischen den Préalpes im Nordwesten und der Front der Helvetischen Decken im Südosten. Das obere Ultrahelvetikum entspricht hier einem Komplex aus tektonischen Einheiten, die sich als Linsen oder Schuppen im Hundertmeter- bis Kilometer-Bereich verfolgen lassen und als «Diverticules» bezeichnet werden. Sie bestehen aus weichen, flyschartigen Gesteinen und kalkigen Gesteinspaketen, zusammen mit Evaporiten der Trias. Bedingt durch die leichte Verwitterbarkeit dieser Gesteine sind Aufschlüsse in der ganzen Region selten. Oft verhindert auch eine mächtige Moränenüberdeckung die direkte Beobachtung von der Oberfläche her. Die im folgenden erwähnten Befunde beruhen zur Hauptsache auf Sondierbohrungen (total über 35 km) und Daten aus Untertagebauten (über 40 km). In den Arbeiten von Badoux [1966, 1981, 1982] und Badoux et al. [1991] sind diese Grundlagen im Detail dokumentiert. [Abbildung 8.23](#) zeigt die Ausdehnung der Minen von Bex in den Tälern der beiden Gryonnes und des Avançon, einige Kilometer nördlich von Bex. Gegenwärtig beschränkt sich der Abbau von Salz auf die Stufe des Bouillet (etwa 590–630 m ü. M.). Detailverhältnisse sind auf der geologischen Karte, Blatt Diablerets, auf den zugehörigen Profilen und in den Erläuterungen von Badoux et al. [1990–91] dargestellt (vergleiche auch [Abbildung 8.8](#)).

### Lithologische Charakterisierung (Bex)

Basierend auf Untertage-Befunden sind die Gesteine in ihrer ursprünglichen Abfolge vom stratigraphisch jüngsten zum ältesten Gestein aufgeführt (siehe auch [Abbildung 8.24](#)):

- *Tertiär bis Jura*: Es handelt sich um schiefrig-sandige Gesteine, stets stark deformiert, die mittels Foraminiferen als Eozän datiert wurden (*Flysch*). Sie gehören wahrscheinlich zu drei verschiedenen geologischen Einheiten und zeigen sehr unterschiedliche Mächtigkeiten. Daneben kommen schwarze, tonige Schiefer mit Glimmer und Pyrit vor, hin und wieder leicht sandig (*Aalénien*). Das Alter ist durch Ammoniten belegt. Die Mächtigkeit beträgt 50 bis 100 m. Kalke und Mergel, reich an Ammoniten, werden als «*Lias des Mines*» (*Rhétien – Toarcien*) bezeichnet. Die Lagerung

## Salzminen von Bex – Übersicht



## Bohrprofile durch die salzführende Zone

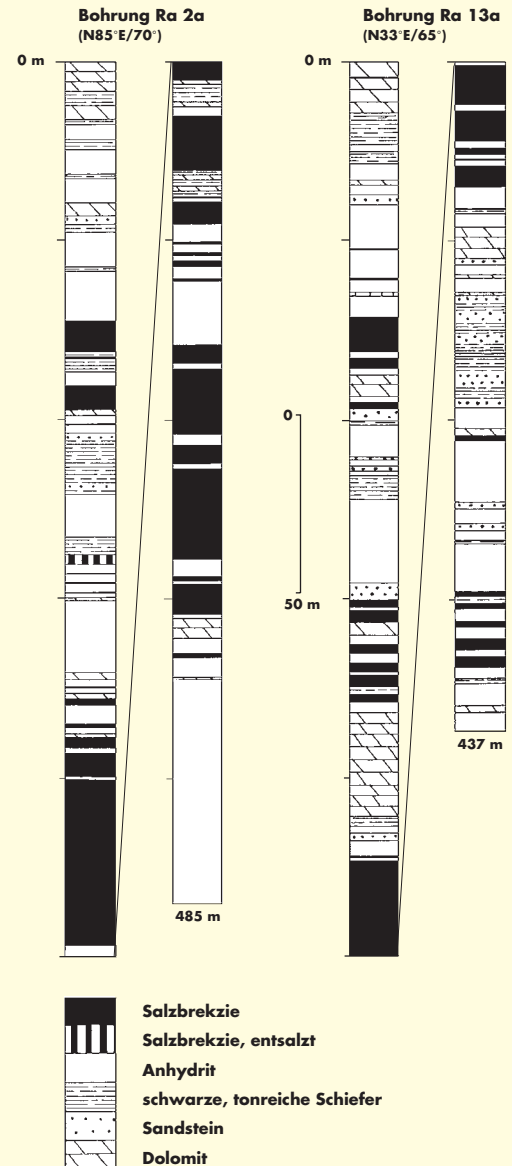


Abbildung 8.23: Die Übersichtskarte zeigt die Haupt-Abbaustollen des Salzbergwerkes Bex im Sektor der Gryonnes und des Avançon, im Norden von Bex. Die Darstellung stammt aus dem Übersichtswerk von H. Badoux [1966]; die Stollen

sind teilweise heute noch in Betrieb. Anhand von zwei Bohrprofilen wird der typische Aufbau des Salzlagers in den «unteren Evaporiten» gezeigt. Die beiden Bohrungen wurden in der sogenannten «Salle du Radium» abgeteuft. Das Azimuth

von der Bohrung Ra13a ist ungefähr parallel zu den Schichten in diesem Abschnitt. Das Einfallen der Schichten in bezug auf die Vertikale ist sehr variabel, im Mittel 40–70°.



ist stets überkippt oder steilstehend. Ihre Mächtigkeit kann 200 bis 250 m betragen.

Diese drei dunklen Gesteine sind reich an organischen Beimengungen und liefern grosse Mengen an Methan (CH<sub>4</sub>), welche bei ungenügender Belüftung stets das Risiko von Grubengas-Explosionen hervorrufen.

- *Trias*: Es handelt sich um Evaporite, welche vor allem in vier verschiedenen Ausbildungen anzutreffen sind. 1. *Gebänderter Anhydrit*, eine Wechsellagerung von cm-mächtigen Lagen von hellem Anhydrit mit dunklem Anhydrit mit tonigen, siltigen oder dolomitischen Beimengungen. 2. *Brekziöser Anhydrit*, kantige Fragmente (cm bis dm) von Anhydrit, Dolomit und von mehr oder weniger sandigen Tonen in einem Zement von hellem Anhydrit. 3. «*Brèche salifère*» (Salzbrekzie) oder «*roc salé*» (Salzfels = ältere Bezeichnung der Mineure), eine ähnliche Brekzie wie 2., aber Anhydrit ist als Zement ersetzt durch klares Steinsalz (NaCl), das 21 bis 25% des Gesteinsvolumens ausmacht. Diese Gesteine wurden durch die Untertagebauten erschlossen. Eine Lage oder eine Anschoppung von reinem Steinsalz findet man in Bex nicht. 4. «*Grobkörniger Gips*», welcher nach der Auslaugung des Salzes entstanden ist, natürlich oder auch durch den Abbau verursacht. Die dadurch entstandenen Hohlräume schliessen sich wieder durch grobe Gipskristalle, womit das Gestein seine Festigkeit behält.

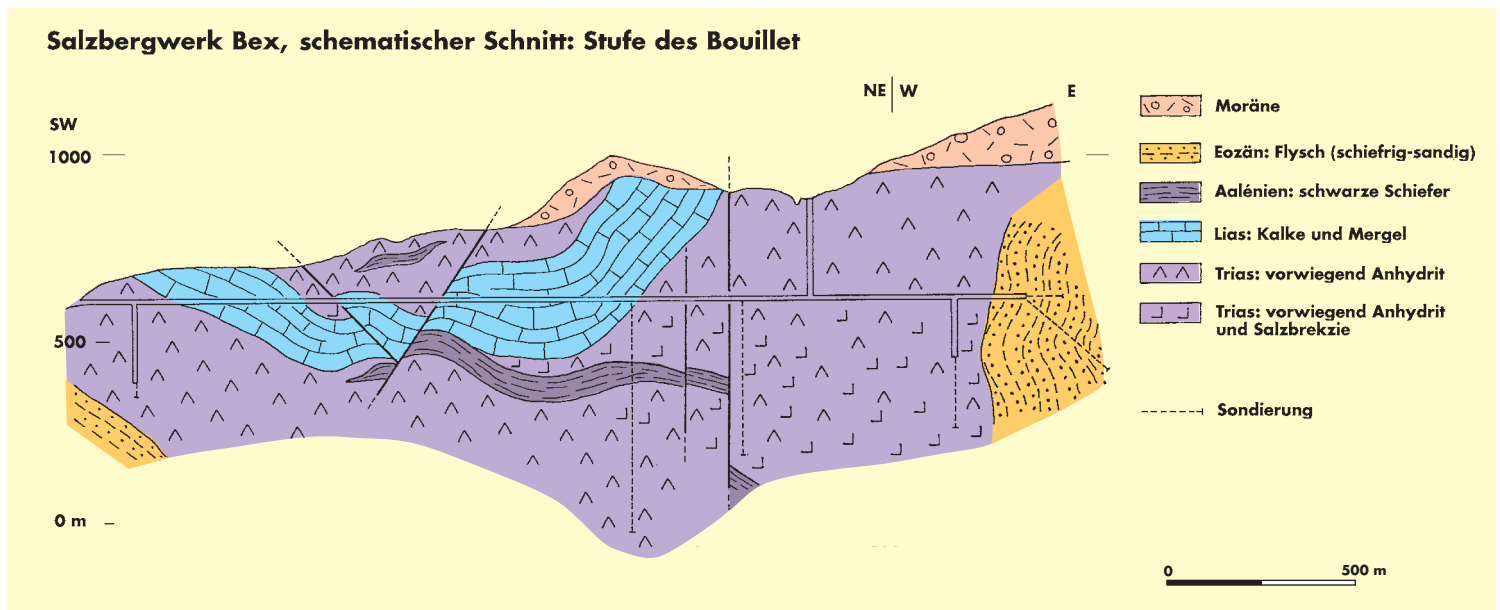
In den Evaporiten sind zahlreiche Dolomitlinsen eingeschlossen sowie grüne Pelite oder schwarze Schiefer, die mit feinen grünen oder grauen Sanden des Typs «Schilfsandstein» vergesellschaftet sind. Diese Linsen weisen Durchmesser im Meter- bis 10-Meter-Bereich auf. Schiefer und Sande haben Makro- und Mikrofossilien geliefert, die eine Alterszuordnung zum Keuper erlauben. Die Wahrscheinlichkeit ist deshalb gross, dass dies auch das Alter der Evaporite und damit des Salzes ist.

Wie die anderen Formationen hat auch die Trias eine intensive Deformation durch enge Faltungen, Zerschierung und Zerklüftung erlebt. Mehrere Generationen von Anhydritkristallen bezeugen eine komplizierte Geschichte mit abwechselnden Folgen von Auflösung und Rekristallisation. Es existieren zwei Hypothesen, um die Genese der «Brèche salifère» zu erklären [Badoux, 1981]. Die erste Hypothese geht von einer sedimentären Ablagerung mit unregelmässiger Wechsellagerung von feinem Gips (oder Anhydrit), Salz, Dolomit, Pelit und feinem Sand aus. Wegen der hohen Plastizität war diese Gesteinsserie leicht zu verformen und wurde bei der

Platznahme der prealpinen Decken remobilisiert. Kataklyse und Transport sind in trockenem Zustand erfolgt. Bei der zweiten Hypothese wird das zur Entstehung einer gesättigten Sole nötige Wasser aus der Entwässerung des Gipses generiert. Unter dem Druck einer grossen tektonischen Überlagerung wirkte diese Sole als Flüssigkeit bei einem hydraulischen Aufbrechen («fracturing», [Masson, 1972]), brekzierte das Gestein und erleichterte die Mobilisation und den Transport. Das Salz kristallisierte in der Folge wieder aus und bildete den Zement der Brekzie, aber auch die feinen Adern von reinem Salz, das man oft in den Fremdgesteinen beobachtet, die in den Evaporiten eingelagert sind (in älteren Arbeiten oft als «Transportsalz» bezeichnet).

### Tektonische Verhältnisse (Bex)

Die dominierende Struktur im Bereich der Minen ist eine Synform des verkehrt liegenden «Lias des Mines», deren Faltenachse steil nach Nordosten abtaucht [siehe die Karte von Badoux et al., 1990–91]. Ein Evaporitkomplex, vermischt mit Flysch und schwarzen Schiefern des Aalénien, füllt diese Synform. Er bildet die «oberen Evaporite» [Badoux, 1982], die mittels verschiedenen alten Anlagen abgebaut worden sind (Vaux-Stollen, Rovéréaz-Stollen, Entre-deux-Gryonnes-Mine). Die Ergebnisse waren bescheiden, so dass dieser Sektor seit langem verlassen ist. Die sogenannten «unteren Evaporite», die ebenfalls Fremdeinlagerungen enthalten, nehmen den Raum unterhalb der Lias-Synform ein und auch Gebiete weiter im Osten und Nordosten, östlich von Arveyes. Ausgehend von verschiedenen Kammern mit Bohrungen in die Abschnitte oberhalb der Stufe des Bouillet (Koten 600 bis 630 m ü.M.), haben verschieden orientierte und geneigte Bohrungen die «unteren Evaporite» bis zum Niveau 300 bis 600 m ü.M. erkundet und dort sehr umfangreiche salzhaltige Brekzien nachgewiesen, die unmittelbar durch Laugung in den Abbau einbezogen worden sind (Abbildung 8.23). In der westlichen, ungefähr 400 bis 500 m breiten Verlängerung dieses Sektors liegen die zukünftigen, noch unerforschten Reserven der Mine. Das dichte Netz von Bohrungen zeigt eine linsenförmige Gestalt der Hauptmasse der salzhaltigen Brekzien mit Dimensionen von zehn bis selten über hundert Metern. Im allgemeinen besteht zwischen diesen Linsen keine hydraulische Verbindung, da sie von undurchlässigem Anhydrit eingehüllt sind. Durch die Laugung vor Ort könnten aber bei unsachgemässer Arbeit solche Verbindungen geschaffen werden, was deren Fortgang schwer stören würde.



8.24

### 8.2.3 NUTZUNG DER SCHWEIZERISCHEN SALZVORKOMMEN

#### 8.2.3.1 Geschichte der Mines et Salines de Bex

Seit über 400 Jahren stehen die Minen und Salinen von Bex in Betrieb. Die geschichtliche Entwicklung der Ausbeutung der Salinen und Minen von Bex wurde bereits mehrfach beschrieben. Hingewiesen sei insbesondere auf die Arbeit von H. Badoux [1966]. Grob lassen sich sechs Abbau- und Betriebsperioden unterteilen, die nachfolgend kurz erwähnt sind (die genannten Lokalitäten sind in der [Abbildung 8.23](#) verzeichnet):

– *Periode vor 1685*: Vermutlich waren die schwach salzhaltigen Quellen mit 30 bis 50 g/l von Panex ob Ollon und des Fondement unterhalb von Villars schon seit langem bekannt. Die Tiere, insbesondere die Ziegen, suchten sie als Tränke auf. Sicher kannten die Berner, die 1475 das Waadtland eroberten, die Salzquellen und bemächtigten sich ihrer. Anfänglich begnügten sich die «Herren von Bern» damit, das Recht zu erteilen, die Quellen zu fassen und das Salz daraus zu gewinnen. 1486 führten sie das Salzregal, die Salzsteuer ein. Die Fassungsstollen der Quellen, 1.60 m hoch und 0.60 m breit, wurden mit Meissel und Hammer in den Berg

getrieben. Dabei wurden Vortriebsleistungen von 3 bis 5 m pro Monat erzielt. Durch Rohrleitungen aus Lärchenholz floss das salzhaltige Wasser zu den Salinen von Panex (errichtet 1554), von Roches (errichtet 1580), von Aigle (errichtet 1680) und von Bévieux bei Bex (errichtet 1680). Grosse Heizpfannen erlaubten, die Verdunstung zu beschleunigen. Die Auskristallisation des Salzes setzte ein, sobald die Konzentration 300 g/l betrug. Der Verbrauch an Holz war beachtlich und die Salzproduktion ungenügend, so dass die «Herren von Bern» die Konzessionen und Anlagen 1685 zurückkauften. Damit beginnt der zweite Abschnitt der Ausbeutung, diesmal direkt durch den bernischen Staat.

– *Periode 1685–1798*: Diese Periode ist auch bekannt als Periode der «Absenkungen». Weil der Salzgehalt und die Schüttung der Quelle des Fondement stetig abnahmen, wurde beschlossen, die Quelle tiefer zu fassen. Damit begann die Periode der «Absenkungen». In der Annahme, dass die salzhaltigen Wässer aus Sandsteinen, Schiefen und Dolomit zufließen, die zylinderartig vertikal in undurchlässigen Anhydrit eingeschlossen waren und deshalb «Zylinder» genannt wurden, versuchte man, durch tiefere Fassungen das jeweils zwischen der älteren und neuen Fassung liegende Wasser zu nutzen. 1686 wurde die erste richtig grosse Absenkung durch einen 105 Meter unter dem bisherigen Niveau liegenden Stollen begonnen. Am 4. März 1690 forderte eine

**Abbildung 8.24: Schematischer Schnitt durch die Stufe des Bouillet**  
[nach Badoux 1982, modifiziert].



Grubengas-Explosion zum ersten Mal zwei Todesopfer. Bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts folgten weitere Absenkungen durch verschiedene Stollen und Schächte. Unter der Leitung von F.S. Wild (1786–1802) wurden erste Explorationsstollen vorgetrieben in Richtung Chamossaire (2.5 km nördlich von Villars), wo Wild das Salzlager vermutete, das die Salzquellen nährt. Um Brennholz zu sparen, wurden ab Mitte des 18. Jahrhunderts Gradierwerke errichtet, grosse Gestelle (4 bis 6 m hoch, 2 bis 3 m breit und bis über 400 m lang), an denen Strohballen oder Tannenreis befestigt war. Das schwach salzhaltige Wasser wurde über diese Gestelle geleitet und unten in grossen Becken gesammelt. Durch die grosse Verdunstungsfläche konnte die Salzkonzentration mit geringem Energieaufwand erhöht werden. Auch die Heizkessel wurden durch genietete Pfannen aus Stahlblech mit 4 auf 10 m Fläche und 0.4 m Höhe ersetzt. Ein Beispiel hierfür befindet sich im Museum der Saline von Salins in der Freigrafschaft (Frankreich). 1797 sind die Salinen von Panex, Aigle und Roche als zu weit entfernt stillgelegt und 1798 durch die Saline von Devens mit zugehörigem Gradierwerk ersetzt worden.

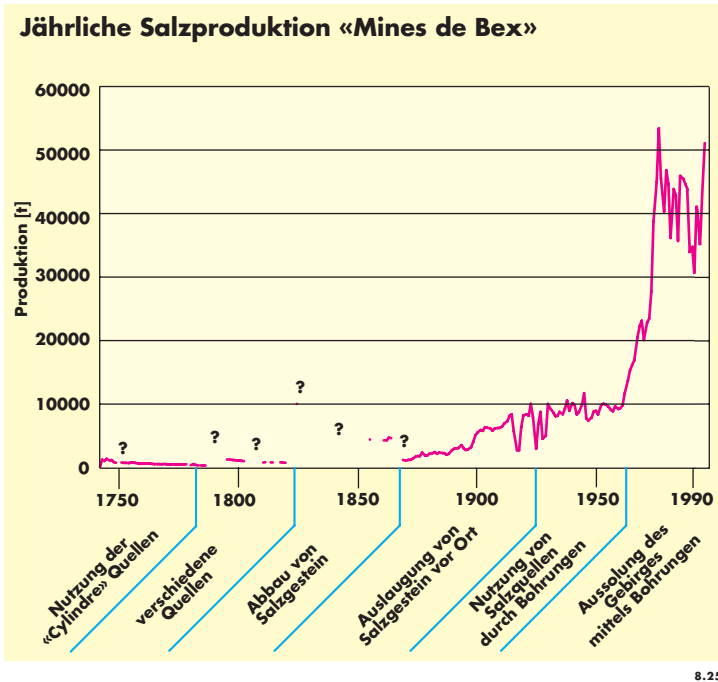
- *Periode 1803–1867:* In diese Zeitspanne fällt der Beginn und das Ende der Exploration durch den Kanton Waadt sowie die Nutzung von Salzgestein. Die wichtigste der von F.S. Wild ([siehe oben](#)) begonnenen Explorationsarbeiten war die «Galerie des Vaux», wo 1814 leicht salzhaltiges Gestein angefahren wurde. Hier wurden auch erste Versuche mit der Salzlauung vor Ort unternommen. 1813 hatte J. de Charpentier die Direktion der Salinen übernommen und die Explorationsarbeiten weitergeführt. 1820/21 wurden die grossen Massive salzhaltigen Gesteins von «Bouillet» und «Coulat» entdeckt (mittlerer Salzgehalt 30%). Zur Nutzung des salzhaltigen Gesteins wurden im benachbarten Anhydrit Laugungshallen gebaut. Diese wurden mit Blöcken des Salzgesteins gefüllt und anschliessend unter Wasser gesetzt. Am Grund der Becken konnte dann solange Sole abgezogen werden, bis das Gestein vollständig ausgelaugt war. Anschliessend wurde das Becken ausgeräumt und neues Gestein eingefüllt. Diese neue Methode der Salzgewinnung brachte zwar eine höhere Salzproduktion, war aber mit einem grossen Arbeitsaufwand verbunden. Da die Konkurrenz durch importiertes Salz zu gross war, beschloss der waadtländische Grosse Rat 1865, die Minen zu schliessen.
- *Periode 1867–1917:* Wegen der grossen Not unter der Bevölkerung nach der Schliessung der Minen versuchten einige Bürger von Bex, eine Gesellschaft «Mines et Salines de Bex»

zu gründen. Erst nach langen Verhandlungen erhielt die Gesellschaft Ende 1866 eine Konzession über 50 Jahre. Laugungsversuche vor Ort, welche darin bestanden, alte Anlagen in den Schächten der «Galerie des Vaux», in den Stufensälen des «Coulat» und des «Bouillet» unter Wasser zu setzen, verliefen erfolgreich. In der Folge wurden diverse Stollen und Schächte angelegt, um die Berührungsfläche des Wassers mit dem salzhaltigen Gestein möglichst gross zu machen. Die Saline von 1867 arbeitete mit drei offenen Pfannen zur Produktion von grobem Salz und zwei geschlossenen Kesseln Typ «Piccard» mit Austragvorrichtung von feinem Salz. 1917 legte die Gesellschaft zwei offene Pfannen still und bestellte einen weiteren Piccard-Kessel. Auf Ersuchen der Vereinigten Schweizerischen Rheinsalinen von Basel wurde Sole an die chemische Fabrik der Ciba-Geigy AG in Monthey VS geliefert. Im Gegenzug belieferten die Rheinsalinen den Norden des Kantons Waadt mit Kochsalz, weil befürchtet wurde, dass sich die Reserven von Bex zu rasch erschöpfen könnten. Die finanziellen Verhältnisse verbesserten sich, und der Kanton Waadt gelangte allmählich in den Besitz von 51 % des Aktienkapitals.

- *Periode 1917–1967:* Prospektion und Laugung mittels Bohrungen. Nach Ablauf der alten Konzession wurde im Jahre 1917 die «Société Vaudoise des Mines et Salines de Bex» gegründet. Um die Prospektion zu beschleunigen, wurden ab 1924 Sondierbohrungen eingesetzt. In der Folge wurde die aus den Bohrlöchern fliessende Sole gewonnen. Erst ab 1960 erfolgt die Laugung des Salzgesteins durch Injektion von Frischwasser. Das Wasser wird durch im Bereich des Salzlagers perforierte Stahlrohre in das Gestein gepresst und am Ende der Bohrung als gesättigte Sole gefasst.
- *Periode seit 1970:* Weiterführung der Ausbeutung mittels Bohrungen. Eine neue Übereinkunft mit dem Kanton Waadt dauert bis Ende 1999 und jene mit den Vereinigten Schweizerischen Rheinsalinen regelt die Versorgung des Kantons Waadt sowie die Belieferung der Ciba in Monthey mit Sole.

### Produktion (Bex)

Die Auslaugung des salzhaltigen Gesteins erfordert präzise geologische Informationen, der Vortrieb von Stollen und die Einrichtung von Bohrkammern benötigen viel Zeit. Deshalb werden die bergbaulichen Arbeiten ohne Unterlass weitergeführt. Mit dem Einsatz von Seilkern-Bohrgeräten konnte die Vortriebsleistung von 3 m pro Tag auf 8 bis 12 m in 8 Stunden erhöht werden. 1987 erreichte man mit dem Escher-Wyss-



Verdampfer aus dem Jahre 1958, nach zahlreichen Modifikationen und Optimierungen, eine Jahresproduktion von 23'000 Tonnen. Nach 30 Betriebsjahren wurde er durch einen neuen Escher-Wyss-Verdampfer mit einer Leistung von 25'000 Tonnen pro Jahr ersetzt. Der Erfolg dieser Modernisierungen lässt sich aus den Produktionszahlen in [Abbildung 8.25](#) ablesen. In den Jahren 1972–1975 betrug die maximale Produktion bis über 50'000 Tonnen pro Jahr, zu Beginn der neunziger Jahre schwankte die Jahresproduktion zwischen 30'000 und 40'000 Tonnen.

Die Salzversorgung in der Schweiz und insbesondere die bergmännische Ausbeutung des Salzes von Bex hat immer schon das Interesse der Öffentlichkeit auf sich gezogen. Auf der Abbaustufe des «Bouillet» wurde deshalb in Bex ein Besucherbergwerk eingerichtet, das bereits 1980 etwa 10'000 Besucher anzog. Um das steigende Interesse befriedigen zu können, sind seither einige Vergrößerungen und Verbesserungen eingerichtet worden, unter anderem eine audiovisuelle Präsentation, eine Ausstellung von Minenegegenständen und ein Restaurant in der «Salle des Fêtes». Heute fahren die Personenzüge der ehemaligen Grubenbahn nach festem Fahrplan, was seit 1986 bis zu 50'000 Besuchern pro Jahr den Besuch der Minen ermöglicht ([Kontaktadresse siehe Anhang](#)).

### 8.2.3.2 Geschichte der Nutzung der Salzvorkommen am Hochrhein

Die Erschliessung der Salzvorkommen am Hochrhein darf als einer der ersten grossen Erfolge der angewandten Geologie nach modernen Gesichtspunkten in der Schweiz angesehen werden. Damit dieser Erfolg möglich wurde, bedurfte es der Entwicklung der Bohrtechnik, welche in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts erfolgte. Bis dahin war die Erschliessung von Salz- oder Solevorkommen allein mittels Schächten oder Stollen möglich, wie dies ja auch in Bex geschehen war. Am Hochrhein fehlten aber Hinweise auf grössere Solevorkommen, welche die mühsame Arbeit des Schachtbaues gerechtfertigt hätten.

Carl Christian Friedrich Glenck (1779–1845), Sohn eines württembergischen Salinisten, setzte als erster die Bohrtechnik zur Suche nach Salz in der Schweiz ein. Er kannte die Probleme der Salzgewinnung und des Betriebes von Salinen von Jugend an. Er hatte 1818 erstmals bei Bad Wimpfen am Neckar ein Salzlager durch eine Bohrung erschlossen. Am 30. Mai 1836 gelang ihm nach zahlreichen Fehlschlägen beim Roten Haus am Rhein in der Gemeinde MuttENZ der erste Salzfund [Carlé, 1969; Heim, 1919]. Auf diesen Standort hat ihn P. Merian (1795–1883), der damalige Professor für Geologie an der Universität Basel, aufmerksam gemacht. Dieser hatte auf seinen Reisen zwischen Basel und Göttingen auch die Erfolge der Salzsuche in Württemberg miterlebt und dabei beobachtet, dass derselbe «rauchgraue Kalk», wie er den Hauptmuschelkalk nannte, sowohl am Neckar als auch am Hochrhein östlich von Basel vorhanden war und dass er über den Salzvorkommen liegt.

Die Glenck'sche Fundbohrung erreichte das Salz in 150 m Tiefe [Verloop, 1909]. Sie benötigte hierfür die Zeit vom 14. August 1835 bis 30. Mai 1836. Schon ein Jahr später, am 7. Juni 1837, wurde das Feuer unter den ersten beiden Pfannen der neuen Saline angezündet, die fortan *Schweizerhalle* heissen sollte und auf Gemeindegebiet Pratteln liegt. Die Saline ist seither ununterbrochen in Betrieb, doch wurde sie mehrfach nach modernsten technischen Kriterien umgebaut. Die Umstellung vom kohlebefeuernden Pfannenbetrieb und vom Vakuum-Verdampfer auf das elektrische Thermokompressions-Verfahren (vergleiche [Kapitel 8.2.4.2](#)) erfolgte wie in Riburg (bei Möhlin AG) während des zweiten Weltkrieges, um von eingeführter Kohle unabhängig zu werden. Die Saline selbst wurde unmittelbar um die ersten beiden Produktionsbohrungen gebaut, denen mit der Zeit noch weitere folgten. Im Laufe

**Abbildung 8.25: Produktionszahlen der Mines de Bex.**



der Zeit siedelte sich in der Umgebung die chemische Industrie an, für die das Salz einen wesentlichen Rohstoff darstellt. Aus diesem Grund wurden die Solungsfelder allmählich aus dem eigentlichen Industrieareal ostwärts in das freie Land der Rheinebene verlegt. Doch auch dort waren die Nutzungsansprüche an das Land in der Zwischenzeit gestiegen, so dass die Saline Schweizerhalle 1966 damit begann, ihre Solungsfelder aus der Rheinebene in das ausschliesslich landwirtschaftlich genutzte Gebiet des nahen Tafeljuras der Gemeinde Muttenz zu verlegen. Allerdings stiegen damit die Bohrtiefen von etwa 160 bis 200 m in der Rheinebene auf 350 bis 400 m im Hügelland an.

Als Folge des Salzfundes von Schweizerhalle setzte die Suche nach weiteren Salzvorkommen ein. Forstinspektor Johann Urban Kym (1805–1889) stellte dem Regierungsrat des Kantons Aargau das Gesuch, bei *Kaiseraugst*, also möglichst nahe an Schweizerhalle, Salz ausbeuten zu dürfen. Er begann am 18. Mai 1841 mit der ersten Bohrung und erreichte am 18. September 1841 in 138 m Tiefe das Salz. Im November 1843 nahm die Saline Kaiseraugst ihren Betrieb auf, doch war es nicht möglich, konzentrierte Sole zu fördern, weil stets auch oberflächennahes Grundwasser zusickerte. So wurde der Betrieb 1847 bereits wieder eingestellt, was um so leichter zu verschmerzen war, als J.U. Kym bei Riburg ein viel ergiebigeres Salzlager erschlossen hatte.

Der steigende Kochsalzbedarf, den die Saline Schweizerhalle und die aargauischen Salinen Rheinfelden und Riburg nicht mehr zu decken vermochten, führte aber dazu, dass die Saline Kaiseraugst im Mai 1865 erneut in Betrieb genommen wurde, nach einem Unterbruch von knapp 18 Jahren. In den Jahren 1867–1872 sind zu den schon bestehenden zwei Bohrlöchern drei weitere abgeteuft worden [Verloop, 1909]. Das endgültige Ende der Saline kam am 18. Februar 1909, weil die Salinengebäude in den Staubereich des neuen Kraftwerkes Augst-Wyhlen gerieten. Die drei aargauischen Salinen hatten sich auf den 1. Januar 1874 zur «Schweizerischen Rheinsalinen AG» zusammengeschlossen, und da Kaiseraugst stets das kleinste Werk geblieben war, konnten die Salinen Rheinfelden und Riburg dessen Produktion übernehmen.

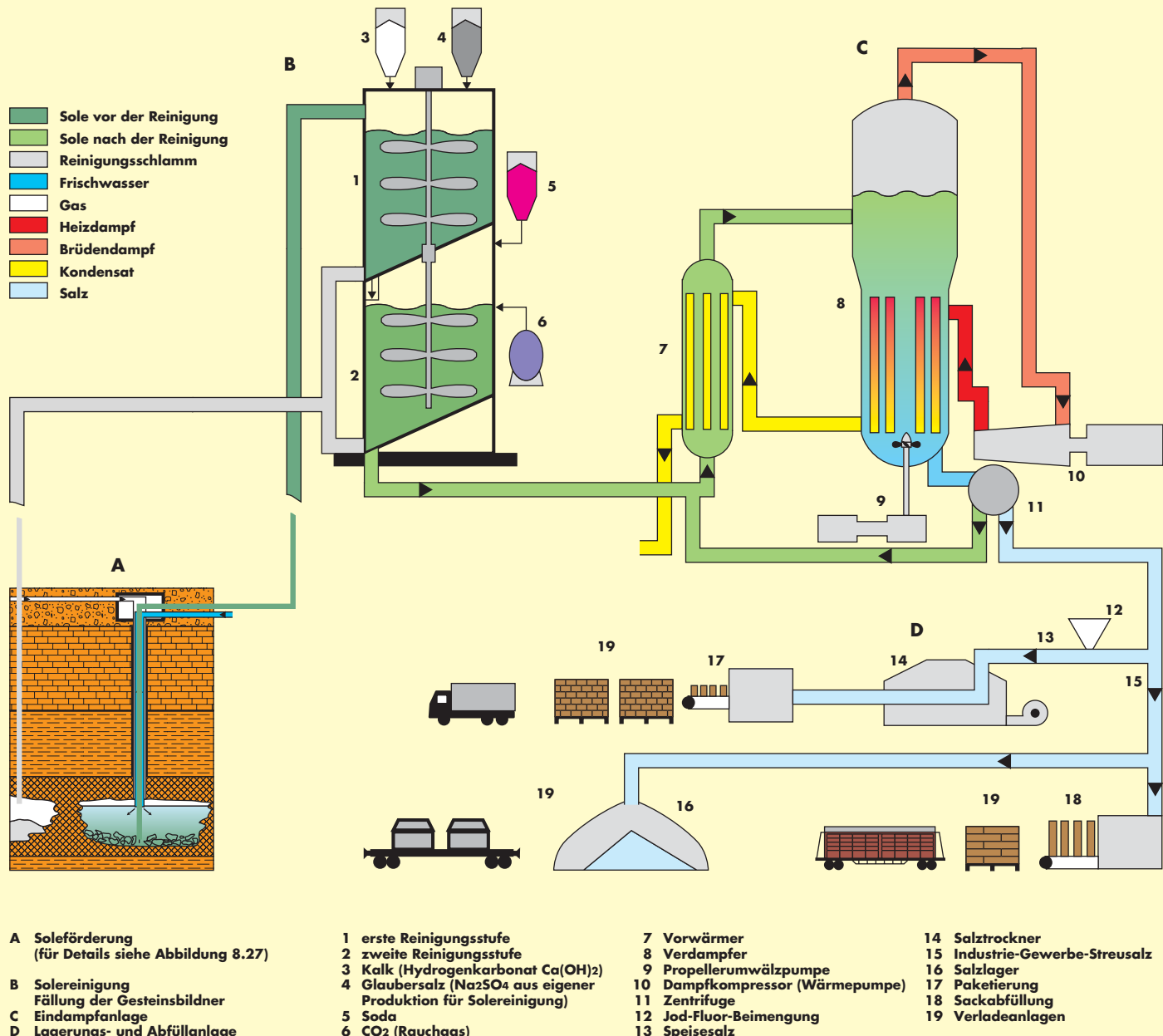
Als dritte Saline am Hochrhein entstand die Saline *Rheinfelden*. Hier wurde am linken Rheinufer, etwa 1.5 km oberhalb der Stadt, am 22. Mai 1844 das Salz erbohrt [Verloop, 1909]. Im Januar 1845 nahm die Saline Rheinfelden ihren Betrieb auf. Zur selben Zeit wurden in Rheinfelden auch Solbäder zu

Heilzwecken eingerichtet und ein Kurbetrieb eröffnet. Noch heute ist Rheinfelden, gestützt auf diesen Salzfund, Badeort, doch wird die Sole heute über eine Leitung aus der Saline Riburg zugeführt. Mit den damals erstellten Produktionsbohrungen konnte der Betrieb bis ins Jahr 1942 aufrecht erhalten werden. Obwohl die Saline Rheinfelden in den Jahren 1935/36 einer gründlichen Erneuerung und Modernisierung unterzogen worden war, musste sie im März 1942 stillgelegt werden, weil sich in diesen Jahren des zweiten Weltkrieges der Umbau der Salinen vom kohlebefeuernden Pfannen- oder Vakuumbetrieb auf eine mit Elektrizität betriebene Anlage aufdrängte. Dies erfolgte aber in der nahen Saline Riburg, wo mehr Raum und ein grösseres Salzvorkommen für die weitere Entwicklung des Salinenbetriebes vorhanden waren.

Als letzte der drei aargauischen Salinen entstand die Saline *Riburg*, nahe Möhlin, aber auf Gemeindegebiet von Rheinfelden gelegen. Sie verdankt ihre Existenz dem Umstand, dass in Kaiseraugst keine gesättigte Sole gewonnen werden konnte. Johann Urban Kym teufte deshalb nach dem Erfolg der Saline Rheinfelden im Kleingrütt, 300 m nordwestlich der heutigen Saline Riburg, eine Sondierbohrung ab, die am 24. Februar 1845 erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Doch die Saline Rheinfelden erhob Einspruch gegen den Bau einer weiteren Saline an der vorgesehenen Stelle. Am 31. August wurde aber der Saline Riburg die Konzession erteilt, wobei eine Trennung der Solungsgebiete zwischen den Salinen Rheinfelden und Riburg vorgenommen wurde. Zu Beginn des Jahres 1848 nahm die Saline Riburg ihren Betrieb auf und löste die Saline Kaiseraugst ab. Seither ist sie ununterbrochen in Betrieb. Sie schloss sich im Jahre 1874 der «Schweizerischen Rheinsalinen AG» an. Am 9. März 1942 erfolgte die Umstellung des Betriebes auf das Thermokompressions-Verfahren, das heute noch angewendet wird.

Nach langen Diskussionen um Verstaatlichung der in den Schweizerischen Rheinsalinen zusammengeschlossenen aargauischen Salinen und aus der Konkurrenzsituation zur Saline Schweizerhalle heraus kam es am 14. Juli 1909 im Rathaus zu Basel zur Gründung der «Vereinigten Schweizerischen Rheinsalinen AG», die gänzlich im Besitz der Kantone der Schweizerischen Eidgenossenschaft und seit 1990 auch des Fürstentums Liechtenstein steht, ausgenommen der Kanton Waadt, der sich in Bex selbst mit Salz versorgt. Seither ist ausschliesslich diese Gesellschaft für die Versorgung der Schweiz und des Fürstentums Liechtenstein mit Salz verantwortlich, wiederum ausgenommen der Kanton Waadt. Die Produktion stützt

# Schema der Salzproduktion in der Rheinsaline Schweizerhalle



8.26

sich heute auf die Salinen Schweizerhalle und Riburg; Kaiser-  
augst wurde 1909 geschlossen, Rheinfelden 1942.

Der Kanton Aargau erteilte 1856 Kornelius Vögeli, Ge-  
meindeammann in Leuggern, die Konzession, nach Salz und  
Kohle bohren zu dürfen. Nach mehreren vergeblichen Versu-  
chen fand er in der Nähe der Station Koblenz in 132 m Tiefe  
Steinsalz. Er erhielt aber keine Konzession zur Ausbeutung,

weil der Kanton Aargau inzwischen mit den Schweizerischen  
Rheinsalinen AG einen Vertrag abgeschlossen hatte, gemäss  
welchem der Kanton Aargau auf Abgaben aus dem Salz über  
den «Zehnten» hinaus hätte verzichten müssen, wenn er eine  
weitere Konzession erteilt hätte. Nach längeren Wirren um  
diese Konzession wurde sie schliesslich 1914 der «Vereinigten  
Schweizerischen Rheinsalinen AG» zugesprochen mit der

**Abbildung 8.26: Produktionsschema**  
«Salzgewinnung». Darstellung einer  
Thermokompressions-Anlage am  
Beispiel der Saline Schweizerhalle  
[aus Birkhäuser et al. 1987] (siehe  
auch [Abbildung 8.27](#)).



Pflicht, innerhalb von zwei Jahren im Bezirk Zurzach eine Sodafabrik zu erstellen. Hierfür wurde die «Schweizerische Sodafabrik AG» gegründet, und im August 1916 konnte die Sodafabrikation aufgenommen werden. 1922 wurde die Firma an den belgischen Solvay-Konzern verkauft. 1996 ist die Soleförderung im Bezirk Zurzach eingestellt worden.

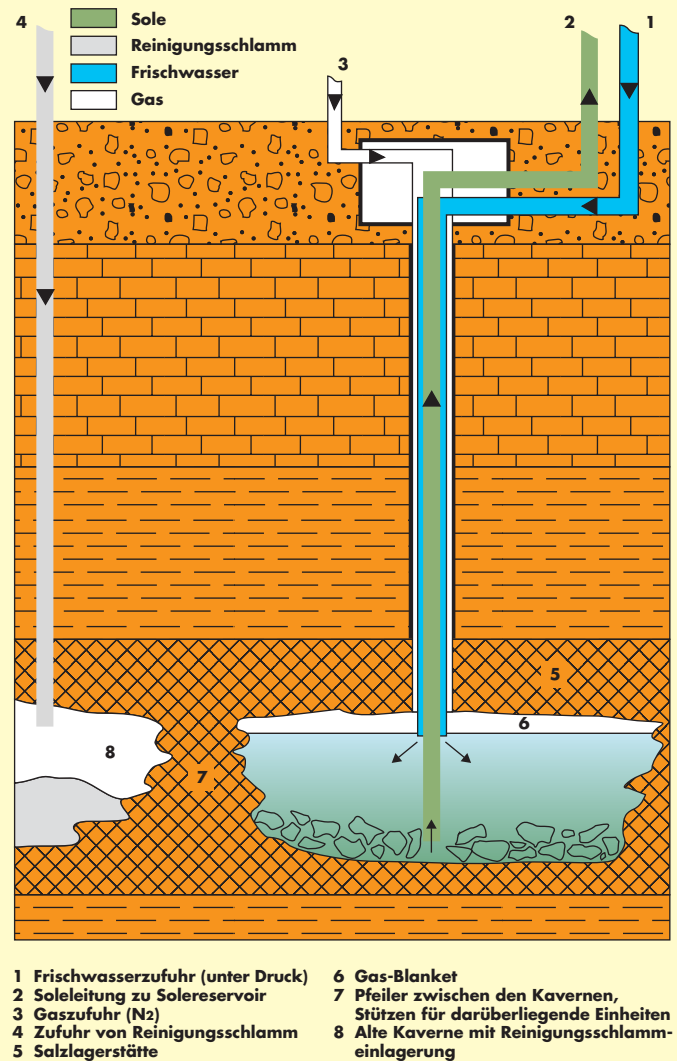
Abschliessend sei darauf hingewiesen, dass die Salzfundte auf der schweizerischen Seite des Rheines dazu anspornten, auch auf der rechten Rheinseite nach Salz zu suchen: 1864 stiess man in Wyhlen, direkt gegenüber Schweizerhalle, auf Steinsalz. Erst 1875 wurde hier eine Sodafabrik in Betrieb genommen, die schon im Februar 1878 in den Besitz der belgischen Firma Solvay überging und 1958 stillgelegt wurde.

Auch gegenüber dem schweizerischen Rheinfeldten ist nach Salz gebohrt worden. In der Zeit vom 9. Dezember 1896 bis 30. April 1897 teufte man eine Bohrung ab und wurde mit 18.9 m Salzlager fündig. Im Jahr darauf wurde die Konzession zur Nutzung des Salzlagers für chemische und elektrochemische Verfahren erteilt. Daraus entstand die neuzeitliche Industriegemeinde von Badisch Rheinfeldten. Mit der Zeit traten erhebliche Geländesenkungen als Folge der Salzauslaugung auf, so dass man im Gebiet von Rheinheim, gegenüber Zurzach, die Suche nach Salz aufnahm und auch fündig wurde. Seit 1955 wird die Industrie von Rheinfeldten von dort aus über eine 50 km lange Pipeline mit Sole versorgt, so dass in Badisch Rheinfeldten die Soleproduktion eingestellt werden konnte. Dieses Bohrfeld wurde Ende 1991 stillgelegt, nachdem in Badisch Rheinfeldten kein Sohlebedarf mehr vorhanden ist.

#### 8.2.4 TECHNIK DER SALZGEWINNUNG

Seit dem ersten Salzfund in Bohrungen am Hochrhein wie auch in der Saline Bex wird zur Produktion von Salz das sogenannte Laugungsverfahren angewandt. Es besteht aus zwei grossen Schritten, der Solegewinnung mittels Laugung und der Salzproduktion durch einen Eindampfprozess. Der Ablauf ist in den [Abbildungen 8.26](#) und [8.27](#) schematisch dargestellt, eine ausführliche Darstellung der Salzproduktion findet sich in Birkhäuser et al. [1987]. Die folgende Beschreibung bezieht sich im Detail auf die Verhältnisse am Hochrhein, das Prinzip des Prozesses ist aber auch für die Saline in Bex anwendbar.

#### Schema der Solegewinnung



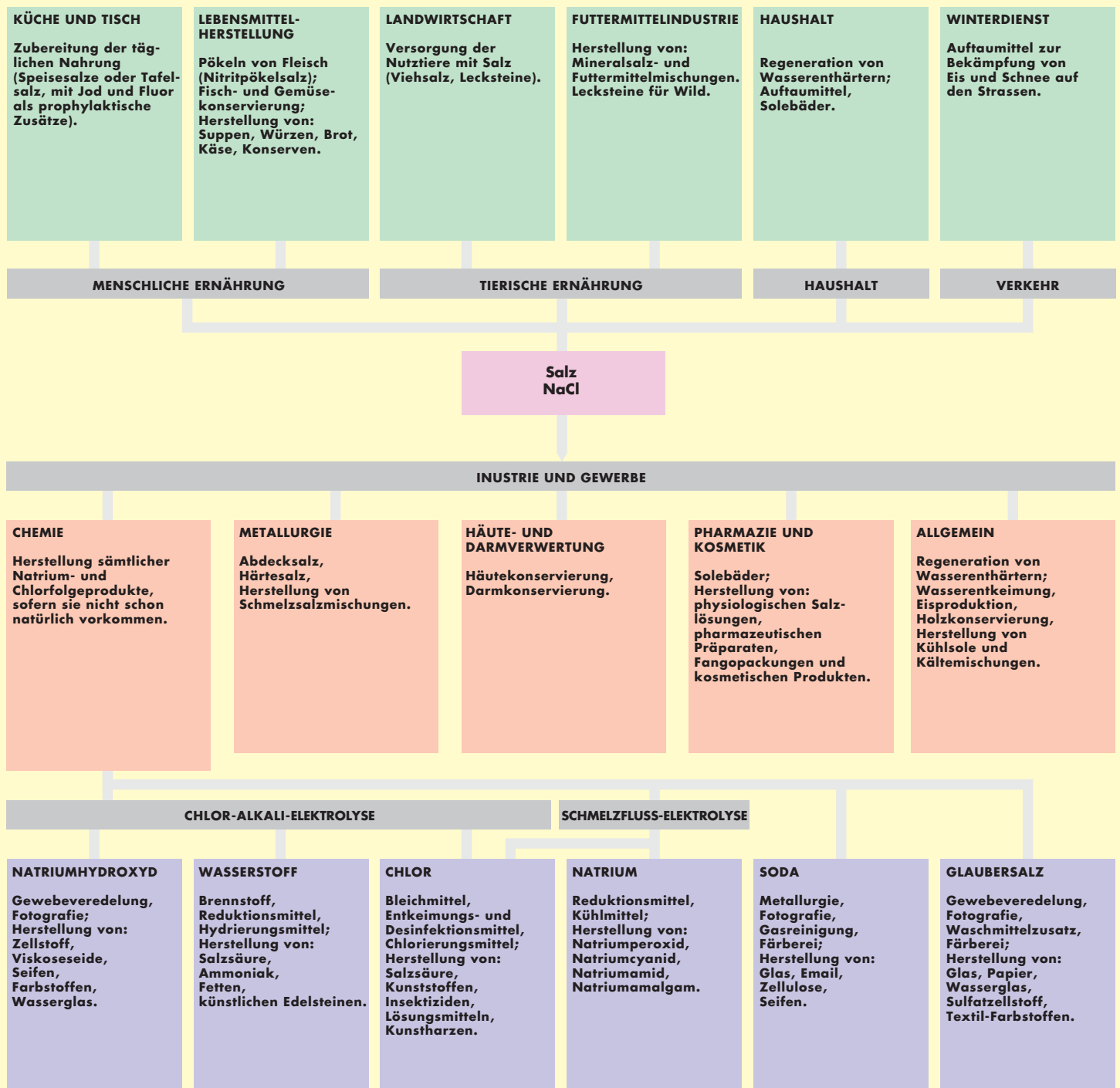
8.27

##### 8.2.4.1 Solegewinnung

Das in sehr unterschiedlichen Tiefen vorkommende Salzlager wird mittels Bohrungen erschlossen. Durch diese Bohrungen wird Frischwasser in das Salzlager gebracht, das sich dort mit Salz sättigt und durch eine innere Rohrtour als Sole wieder gefördert werden kann. Heute werden hierfür in der Regel Verrohrungen mit 8<sup>5</sup>/<sub>8</sub> oder 9<sup>5</sup>/<sub>8</sub> Zoll Durchmesser bis in den obersten Bereich des Salzlagers einzementiert. Hernach wird das Salzlager völlig durchbohrt und in diese Bohrung eine innere Verrohrung (beispielsweise 4 Zoll Durchmesser) als Förderstrang bis nahe an die Salzbasis gestellt. Da die gesättigte Sole

**Abbildung 8.27:** Schematisch dargestellter Prozess der Salzlaugung in einer Laugungskaverne, mit einem Gas-Blanket als Schutz gegen Dachlaugung (siehe auch [Abbildung 8.26](#)).

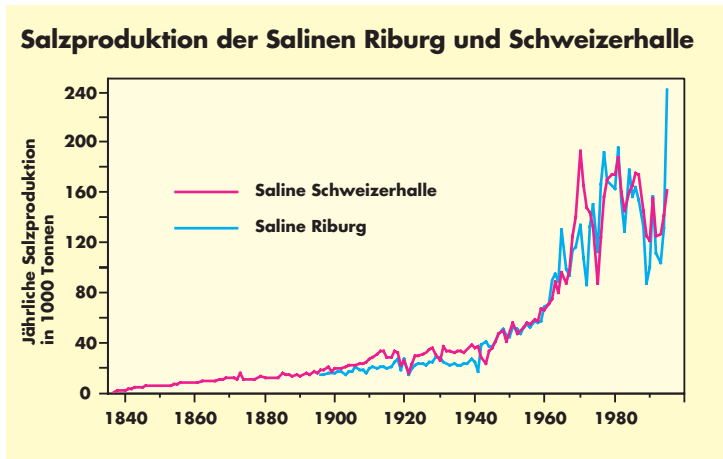
## Der Rohstoff Salz und seine Verwendung



8.28

Abbildung 8.28: Die verschiedenen Anwendungsgebiete von Salz [nach Birkhäuser et al. 1987].





8.29

schwerer als Frischwasser ist ( $Dichte = 1.2 \text{ g/cm}^3$ ), reichert sie sich unten in einer Laugungskaverne an und kann von dort aus gefördert werden. Sobald die Kaverne eine gewisse Grösse erreicht hat, ist eine kontinuierliche Laugung möglich. Die einzelnen Produktionsbohrungen fördern in ein Reservoir, von wo aus eine Pipeline die Versorgung der Saline mit Sole sicherstellt.

Die Entwicklung der Laugungstechnik erfolgte in zahlreichen Einzelschritten: Zunächst wurde in der Rheinebene, sowohl in Schweizerhalle wie in Kaiseraugst, Rheinfelden und Riburg, das lokale Grundwasser zur Laugung verwendet, indem die Bohrungen im Bereich des Schottergrundwassers perforiert wurden. Damit wurde dem Wasser ein direkter Zugang zum Salzlager ermöglicht, der allein durch die Förderung gesteuert wurde. Diese erfolgte zunächst mittels Kolbenpumpen, später kam auch das Lufthebeverfahren (Mammutpumpe) zum Einsatz, gefolgt von elektrischen Unterwasserpumpen. Schliesslich wurde das sogenannte *Drucklaugungsverfahren* (Abbildung 8.27) eingeführt, bei welchem sich in der Bohrung keine beweglichen Teile mehr befinden. Das Frischwasser wird direkt unter einem Druck in die Bohrung injiziert, der auch die kontinuierliche Förderung ermöglicht. Dies setzt voraus, dass Bohrung und Kaverne dicht sind und ermöglicht gleichzeitig eine Dichtheitskontrolle der Bohrung.

Die Form der durch die Laugung erzeugten Kavernen entspricht einem auf der Spitze stehenden Kegel, weil das Frischwasser gegenüber der schwereren Sole stets die Tendenz hat, nach oben aufzusteigen. Dies führt dazu, dass die Laugung relativ rasch das Salzdach erreicht und sich von dort aus seitlich ausbreitet. Bei grossen Salzmächtigkeiten kann dies im obersten Teil zu relativ grossen Durchmessern führen. Um diesem Umstand zu begegnen, ist bei den Salinen von Schwei-

zerhalle und Riburg vor einigen Jahren das in der Untertage-speicherung von Erdöl und Erdgas entwickelte *Blanket-Verfahren* eingeführt worden. Die Dachlaugung wird durch ein Blanket (Schutzdecke) unterbunden, wodurch sich eine Kaverne seitlich erweitert, bis sie einen maximalen Durchmesser, der felsmechanisch bestimmt ist, erreicht hat. Dann wird das Blanket entfernt und auf einem höheren Niveau wieder aufgebaut. Auf diese Art und Weise lassen sich zylindrische Kavernenformen erzielen, die als felsmechanisch sicher angesehen werden können. Die Kontrolle der Kavernendurchmesser geschieht mittels echometrischen Messungen aus der Bohrung heraus. Als Blanket-Medium lassen sich Flüssigkeiten, die leichter als Wasser sind und in welchen Salz unlöslich ist (z. B. Mineralöl, Erdöl) oder Gase (Erdgas, Luft, Stickstoff) verwenden. In Schweizerhalle und in Riburg gelangt nur Stickstoff zum Einsatz, da er inert und umweltverträglich ist und keine Korrosionsprobleme schafft. Der Stickstoff wird durch eine dritte, feine Verrohrung im Ringraum zwischen einzementiertem äusserem Bohrrohr und innerer Verrohrung beigegeben (Abbildung 8.27). Die aus der Kaverne geförderte Sole gelangt in ein Solereservoir, das auf dem Produktionsfeld steht (ober- oder unterirdisch). Von hier aus führt eine Pipeline zur Saline.

#### 8.2.4.2 Salzproduktion

Die Sole wird in der Saline gereinigt und eingedampft. Das so entstandene Salz wird je nach Verwendungszweck nachbehandelt.

Die *Sole-Enthärtung* hat zum Ziel, die Rohsole, wie sie mit normalem Grundwasser gewonnen worden ist, von allen Härtebildnern zu reinigen. Dies erfolgt durch das in Schweizerhalle um die Jahrhundertwende entwickelte zweistufige Verfahren: In der ersten Stufe wird der Rohsole Kalziumhydroxid oder -oxid und Glaubersalz (Natriumsulfat) zugesetzt. Dabei wird Gips ausgefällt, und es entsteht Natronlauge. Diese wird nach der Trennung der Sole vom Gipsschlamm in einer zweiten Stufe mit Rauchgas (Kohlendioxid) zu Soda umgesetzt. Damit werden rund 40% der in der Sole enthaltenen Kalziumionen gebunden. Das restliche Kalzium wird in der zweiten Stufe mit kalzinierter Soda gefällt.

Die Reinsole gelangt nun in die *Eindampfanlage*. Diese wird heute sowohl in Schweizerhalle wie in Riburg mit dem modernen *Thermokompressions-Verfahren* betrieben (Abbildung 8.26). Die vorgewärmte Sole wird in grosse Eindampf-Apparate geführt, bei denen es sich um eigentliche Wärmetauscher handelt. Die Sole durchströmt Bündel von Rohren, die

Abbildung 8.29: Jährliche Salzproduktion der Salinen Schweizerhalle und Riburg.

von Heissdampf mit 140°C umgeben sind. Sie erreicht eine Temperatur von 110°C und siedet. Der dabei entstehende Dampf wird mittels Kompressoren von 0.5 auf 2.5 bar und 140°C verdichtet und dient wieder zum Aufheizen der Sole. Bei diesem kontinuierlichen Vorgang muss also nur eine Temperaturdifferenz von 30°C aufgebracht werden. Bei der Abkühlung des Dampfes entsteht ein Kondensat, welches zum Vorwärmen der Sole verwendet wird. Schliesslich gelangt das bis auf etwa 25°C abgekühlte Kondensat, das völlig frei von Salz ist, in den Rhein.

Durch den Eindampfprozess der gesättigten Sole wird Salz ausgefällt. Es sammelt sich unten im Verdampfer an und wird chargenweise aus dem Verdampfer abgezogen. Dabei handelt es sich um einen Salz-Sole-Brei, der mittels Zentrifugen getrennt wird. Auf diese Weise wird ein Salz mit etwa 2 bis 2.5% Restfeuchtigkeit gewonnen. Dieses kann dem direkten Verbrauch oder der weiteren Verwendung zugeführt werden. Andere Salze werden mittels Heisslufttrockner bei 140°C bis auf eine Restfeuchtigkeit von 0.1% getrocknet.

Die Produktionskapazität der beiden Salinen von Schweizerhalle und Riburg beträgt je 250'000 Tonnen pro Jahr ([Abbildung 8.29](#)).

Die weitere *Behandlung des Salzes* richtet sich nach dem Verwendungszweck. Die hauptsächlichsten Verarbeitungen bestehen in der Zugabe eines Antiklumpmittels (= Stabilisieren). Hierfür wird Kaliumferrocyanid (Blutlaugensalz,  $K_4[Fe(CN)_6]$ ) verwendet (für Industrie-, Gewerbe- und Streusalz 7 bis 10 mg/kg, für Speisesalz 3 mg/kg), für Tafelsalz Kalziumphosphat (1%). Das Kochsalz für die menschliche Ernährung gelangt feucht oder getrocknet in den Handel, zur Hauptsache mit den Zusätzen von KJ (Kaliumjodid, 30 mg/kg) zur Kropfprophylaxe und  $Na_2F$  (Natriumfluorid, 250 mg/kg) zur Bekämpfung der Karies. Pökelsalz schliesslich weist einen Natriumnitrit-Zusatz von 0.6% auf. Alle diese Additive werden im Sprühverfahren aufgebracht; die Dosierung erfolgt automatisch über eine Bandwaage.

Das Salz kann als Losesalz über Lagerhallen und Silos oder direkt im Grosscontainer (Bahn und Strasse) bezogen werden. Ferner verfügen die Salinen über Absack- und Abpack-Anlagen, wozu auch Palettier-Automaten gehören.

## 8.2.5 VERWENDUNG DES SALZES

Die verschiedenen Anwendungen von Salz sind in [Abbildung 8.28](#) dargestellt. Es wird hauptsächlich in folgenden Bereichen gebraucht:

- Menschliche Ernährung: Speisesalz mit oder ohne Zusätze (Jod, Fluor, Antiklumpmittel) für die tägliche Ernährung, zur Lebensmittelherstellung und Konservierung (Pökelsalze)
- Landwirtschaft: Viehsalz, Salz für die Futtermittelindustrie, Lecksteine für Vieh und Wild
- Regeneriersalz für Wasserenthärtungsanlagen in Haushalt, Gewerbe und Industrie
- Tausalz im Winterdienst
- Industrie- und Gewerbesalz: In der breiten Palette des Salzbedarfs von Gewerbe und Industrie finden sich folgende Bereiche: Herstellung von natrium- und chlorhaltigen Fertigprodukten, Metallurgie (Abdecksalz, Härtesalz, Schmelzsatz), Häute- und Darmverwertung, Pharmazie und Kosmetik, Chlor-Alkali-Elektrolyse, Schmelzfluss-Elektrolyse, Sodaherstellung, Glaubersalz (für Gewebeveredelung, Photographie, Waschmittel, Färberei und zur Herstellung von Glas, Papier, Wasserglas und Sulfatzellstoff).
- Sole: Badesole

Die Anteile der einzelnen Salzsorlen an der Produktion (rund 250'000–350'000 t pro Jahr) betragen 15% Speisesalz, 6% Salz für die Landwirtschaft, 33% für Industrie und Gewerbe, 9% zur Wasserenthärtung, 1% Spezialsalze, 24% Auftausalze, 4% Sole- und 8% Fremdprodukte. Von der Sodafabrik Zurzach sind keine Salz-Produktionszahlen bekannt. Sie hat 1995 den Laugungsbetrieb eingestellt und wird von der Saline Riburg aus mit Salz versorgt.



## 9 SEKUNDÄRROHSTOFFE AUS ABFÄLLEN

### Übersicht

#### 9.1 Definitionen, Anforderungen, Bedeutung

##### 9.1.1 Definition von Abfall

##### 9.1.2 Qualitätsanforderungen an die Sekundärbaustoffe

##### 9.1.3 Wichtigste zu Sekundärbaustoffen aufbereitbare Abfälle

##### 9.1.4 Anfallende Mengen

#### 9.2 Stoffgruppe A: Gesteine

##### 9.2.1 Tunnelausbruchmaterial

###### 9.2.1.1 Einleitung

###### 9.2.1.2 Eigenschaften des Ausbruchmaterials

###### 9.2.1.3 Verwertung von Tunnelausbruchmaterial

###### 9.2.1.4 Zusammenfassung

##### 9.2.2 Kieswaschschlamm (Kiesschlamm)

###### 9.2.2.1 Zusammensetzung schweizerischer Kiesschlämme

###### 9.2.2.2 Verwertungsmöglichkeiten

#### 9.3 Stoffgruppe B: Bauabfälle

##### 9.3.1 Verwertung von Bauschutt

##### 9.3.2 Ausbauasphalt [SN 640 741]

##### 9.3.3 Strassenaufbruch [SN 640 742]

##### 9.3.4 Betonabbruch [SN 640 743]

##### 9.3.5 Mischabbruch [SN 640 744]

##### 9.3.6 Recyclingbeton

###### 9.3.6.1 Klassifizierter Recyclingbeton

###### 9.3.6.2 Nichtklassifizierter Recyclingbeton

##### 9.3.7 Schadstoffbelastung von Bauabfällen

#### 9.4 Stoffgruppe C: Altschotter von Bahngleisen

##### 9.4.1 Der Begriff Altschotter

##### 9.4.2 Zusammensetzung der Altschotter

##### 9.4.3 Wiederverwertung von Altschottern

#### 9.5 Stoffgruppe D: Industrieabfälle

##### 9.5.1 Elektroofenschlacke

##### 9.5.2 Kehrrichtschlacke

##### 9.5.3 Altglas

##### 9.5.4 Giessereisande

#### 9.6 Verwertung von wenig belasteten mineralischen Abfällen in Baustoffen



# 9 SEKUNDÄRROHSTOFFE AUS ABFÄLLEN



**Kapitelinhalt**



Autoren: Dr. Hans Rudolf Keusen, Geotest AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen (Koordinator; [Kapitel 9.1, 9.3, 9.4, 9.5](#))  
Dr. Cédric Thalmann, Geotest AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen ([Kapitel 9.2.1, 9.3.6](#))  
Dr. Thomas Mumenthaler, ZZ Ziegeleien, 8045 Zürich ([Kapitel 9.2.2, 9.6](#))  
Matthias Blumer, Schlossweg 10, 3626 Hünibach ([Kapitel 9.3](#))  
Dr. Jürg Abrecht, Geotest AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen ([Kapitel 9.3.7](#))

mit Beitrag von: Felix Worni, Loowiesestrasse 11, 8106 Adlikon ([Kapitel 9.3.6](#))

Fotos: Jürg Abrecht, Geotest AG, Zollikofen (9.3–9.6), ASE-Technik, Robert Weber, Emmen (9.2), Eberhard Kies AG (9.19), EMPA, Abteilung Beton und Bindemittel, Dübendorf (9.1), Robbins Atlas Copco (Titelbild).

---

**Abbildung auf Vorderseite: Voll-**  
**schnitt Tunnelbohrmaschine (TBM)**  
Typ Robbins Jarva MK-27, Ø 6,5 m.  
Kernstück einer TBM bildet die  
Kopfplatte am Bohrkopf, die je  
nach Durchmesser mit einer unter-  
schiedlichen Anzahl an diskusähnli-

chen Schneidwerkzeugen (Meissel)  
ausgestattet ist. Diese werden unter  
grosser Last – bis zu 35 Tonnen pro  
Werkzeug – auf konzentrischen  
Kreisen um die Drehachse der Kopf-  
platte gerollt und dringen in den  
Fels ein. Bei diesem Vorgang wird

der Fels im Kontaktbereich mit dem  
Werkzeug regelrecht pulverisiert,  
und es kommt zur Bildung von  
radialverlaufenden Rissen an der  
Felsoberfläche. Sobald sich Risse  
von zwei benachbarten Schneid-  
spuren verbinden, kommt es zum

Wegsplintern von grösseren  
Gesteinsbruchstücken, den  
sogenannten Chips (siehe  
[Kapitel 9.2.1.2](#)).

## ÜBERSICHT

---

Die ökologische und die ökonomische Bedeutung der Rückgewinnung von Bauabfällen hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Immer häufiger werden «Abfälle» mittels moderner Aufbereitungsverfahren in neue Baustoffe oder Zwischenprodukte, zu sogenannten Sekundärrohstoffen «veredelt». Abfälle belasten die Umwelt; sie müssen beispielsweise transportiert werden und beanspruchen kostbaren Deponieraum. Dieser Deponieraum wird zunehmend eingeschränkt durch umweltbedingte Faktoren (Natur- und Landschaftsschutz, Gewässerschutz, Überbauung). Gleichzeitig vermindern sich die gewinnbaren Rohstoffreserven einerseits durch die Erschöpfung der Vorräte und andererseits wiederum durch die umweltbedingten Einschränkungen eines Abbaus. Für den verfügbaren Deponieraum wie auch für die noch nutzbaren Rohstoffreserven ergibt sich dadurch ein ähnlicher, auf eine vollständige Erschöpfung hin laufender Trend. Dabei werden sich zwangsweise die Kosten für die Gewinnung von Rohstoffen wie auch für das Deponieren erhöhen. Die Aufbereitung von geeignetem Material zu Sekundärbaustoffen bringt sowohl Einsparungen an Deponieraum als auch an Primärrohstoffen: sie ist ökologisch zweckmässig und wird zunehmend auch ökonomisch interessant.

Ziel des vorliegenden Kapitels ist es, anhand einiger ausgewählter Beispiele Verwertungsmöglichkeiten von Sekundärrohstoffen aufzuzeigen, aber auch auf die vielfältigen Problemkreise hinzuweisen, welche durch mehrmaliges Verwerten von Rohstoffen und Sekundärrohstoffen entstehen können. Naheliegend und im Zuge der grossen Strassen- und Bahnbauten (Bahn 2000, AlpTransit, Nationalstrassen) auch behördlich gefordert ist die Verwertung von Ausbruchmaterial bei Tunnelbauten und bei grösseren Baugruben.

Im [Kapitel 9.2](#) wird auf die Entwicklung des Untertagebaus in der Schweiz eingegangen, und es werden die Eigenschaften des hauptsächlich im maschinellen Vortrieb gewonnenen Ausbruchmaterials im Detail beschrieben. Je nach Verwertung als Schüttgut oder als Betonzuschläge spielen Kornform, morphometrische Zusammensetzung aber auch natürliche und anthropogene Verunreinigungen des Ausbruchmaterials unterschiedliche Rollen. Die einschlägigen Normen, Vorschriften und Empfehlungen werden erläutert.

Kieswaschschlämme sind ein Nebenprodukt bei der Aufbereitung von Kiesvorkommen zu hochwertigem Kies. Sie

fallen volumenmässig in der Schweiz mit bis zu zwei Millionen Tonnen pro Jahr an. Das [Kapitel 9.3](#) zeigt neben der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung dieses Sekundärrohstoffs auch einige Verwertungsmöglichkeiten und verweist auf weiterführende Fachliteratur. Einige Aspekte der Kiesschlammverwertung werden auch im [Kapitel 5.3.3](#), [5.4 \(Kies und Sand\)](#) und [4.6 \(Dichtungstone\)](#) erwähnt.

Bauabfälle, respektive die Rückgewinnung mineralischer Baustoffe aus diesen und deren Wiederverwertung werden im [Kapitel 9.4](#) behandelt, wo auch die Aufbereitung in speziellen Anlagen erläutert wird. Bei dieser äusserst heterogen zusammengesetzten Stoffgruppe sind die zahlreichen Gesetze, Vorschriften und Empfehlungen, welche beispielsweise die Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS) und der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein (SIA) herausgegeben haben, von grosser Wichtigkeit. Auch eidgenössische und kantonale Gesetze und Vorschriften, insbesondere im Bereich des Grundwasser- und Gewässerschutzes werden tangiert und sind hier exemplarisch und detaillierter als etwa im [Kapitel 12 \(Gesetzgebung\)](#) besprochen.

Einige Angaben zur Rückgewinnung- und Aufbereitung von Altschottern von Bahngleisen und von Industrieabfällen wie Elektroofenschlacke, Kehrrichtschlacke und Altglas runden dieses Kapitel ab.

Ergänzend zu dieser Problematik sind die [Kapitel](#) und [Teilkapitel 12 \(Rechtliche Grundlagen für die Rohstoffnutzung\)](#) und [13 \(Abbau- und Rekultivierungsplanung\)](#), [3.5 \(Rohstoffe für die Ziegelindustrie\)](#), [4.2.5](#) und [4.6 \(Glasindustrie, Dichtungstone\)](#) sowie [5.4.2 \(Kieswaschschlamm\)](#).





9.1



9.2



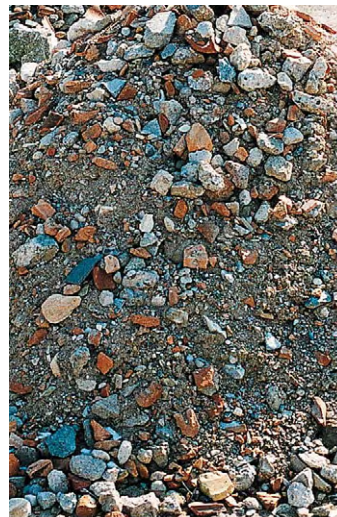
9.3



9.4



9.5a



9.5b



9.6

**Abbildung 9.1:** Tunnelausbruchmaterial (mechanischer Vortrieb mit TBM) aus dem Polmengostollen (TI).

**Abbildung 9.2:** Ausbruchmaterial aus Sprengvortrieb (Biotit-Chlorit-Gneis, Sondierstollen Sedrun GR).

**Abbildung 9.3:** Altschotter von Gleisumbau der SBB vor der Aufbereitung durch Waschen.

**Abbildung 9.4:** Glassand, gebrochenes Glasgranulat aus Altglas.

**Abbildung 9.5a:** Vorsortierter Mischabbruch aus mineralischen Bauteilen.  
**Abbildung 9.5b:** Mischabbruchgranulat. Gebrochenes Produkt aus 9.5a.

**Abbildung 9.6:** Elektroofenschlacke (mineralisches Abfallprodukt aus der Stahlerzeugung) der Von Roll AG, Gerlafingen.



## 9.1 DEFINITIONEN, ANFORDERUNGEN, BEDEUTUNG

### 9.1.1 DEFINITION VON ABFALL

Im Umweltschutzgesetz vom 7. Oktober 1983 sind Abfälle wie folgt definiert: *Abfälle sind bewegliche Sachen, deren sich der Besitzer entledigen will oder deren Verwertung, Unschädlichmachung oder Beseitigung im öffentlichen Interesse geboten ist.* Der Begriff Abfall wird dabei sehr weit gefasst; auch Aushübe und Ausbrüche von natürlichen Gesteinen in Baugruben und Untertagebauten müssen demzufolge als Abfall bezeichnet werden. Bemerkenswerterweise wird im Gesetz nicht nur an die Entsorgung gedacht, sondern auch an die Wiederverwertung.

### 9.1.2 QUALITÄTSANFORDERUNGEN AN DIE SEKUNDÄRBAUSTOFFE

Sekundärrohstoffe müssen umweltverträglich sein, das heisst, es dürfen weder bei ihrer Zwischenlagerung, ihrer Aufbereitung noch aus dem hergestellten Alternativbaustoff selbst Schadstoffe in unzulässigen Mengen beziehungsweise Konzentrationen in die Umwelt gelangen. Sie müssen die für den jeweiligen Verwendungszweck verlangten technischen Qualitätsanforderungen erfüllen.

### 9.1.3 WICHTIGSTE ZU SEKUNDÄRBAUSTOFFEN AUFBEREITBARE ABFÄLLE

Aufgrund der qualitativen Eigenschaften und der anfallenden Mengen sind folgende drei Stoffgruppen von Abfällen für eine Aufbereitung zu Sekundärrohstoffen von Bedeutung (Abbildungen 9.1 bis 9.6):

- **Gesteine (Stoffgruppe A):** Ausbrüche und Aushübe im natürlichen Untergrund bei Tunnelbauten und Baugruben. Es können sowohl Locker- wie Felsgesteine betroffen sein. Gegenüber der gezielten Gewinnung von Kies und Fels bestehen wichtige Unterschiede, die sich vor allem in der Materialqualität und der anfallenden Menge in einer bestimmten Zeit bemerkbar machen. Bei durch Bauten bedingten Aushüben sind Gesteinsqualität und Menge vorgegeben; sie können nicht wie bei Gewinnungsstellen ausgelesen und technisch optimiert werden. Die Wiederverwertung von

Aushubmaterial von Baustellen muss sich deshalb mit mehr oder weniger starken Einschränkungen bezüglich Qualität und anfallenden Mengen auseinandersetzen.

*Kieswaschschlämme*, welche bei der Aufbereitung von Schottern anfallen. Die mengenmässige Bedeutung dieser Stoffgruppe wird zunehmend grösser, weil wegen der Verknappung der hochwertigen Schottervorkommen mehr und mehr auch minderwertige, stark siltige Moränenkiese veredelt werden.

- **Bauschutt (Stoffgruppen B und C):** Bauschutt entsteht aus dem Abbruch von Bauten, dem Aufbruch von Strassen und Bahngleisen. Wichtigste Produkte sind *Beton- und Mauerabbruch*, *Strassenaufbruch*, *Ausbauasphalt* und *Bahn-schotter* (Altschotter von Gleisanlagen).
- **Abfallprodukte der Industrie und Kehrlichtverbrennung (Stoffgruppe D):** Für Sekundärbaustoffe von Bedeutung sind vor allem *Altglas*, *Elektroofenschlacke* und *Kehrlichtschlacke*.

### 9.1.4 ANFALLENDE MENGEN

Abbildung 9.7 zeigt die für 1994 erhobenen oder geschätzten Mengen der einzelnen Abfallgruppen. Gesamthaft fallen demzufolge pro Jahr rund 14 Millionen Tonnen zu Sekundärbaustoffen recycelbare Abfälle an. Im Falle einer Entsorgung würden diese Abfälle einen Deponieraum von etwa 10 Millionen Kubikmeter pro Jahr beanspruchen. Da in Zukunft wahrscheinlich weniger neu gebaut, sondern vermehrt saniert wird, wird die Bauabfallmenge nach dem Jahr 2000 vermutlich stark zunehmen. Bei einer Realisierung der Alpentransversale wird zudem der Anfall an Tunnelausbruchmaterial vorübergehend auf etwa das Dreifache anwachsen. 1990 betrug der jährliche Verbrauch an Baumaterial etwa 75 Millionen Tonnen. Davon könnten 10–20% durch Sekundärrohstoffe substituiert werden.

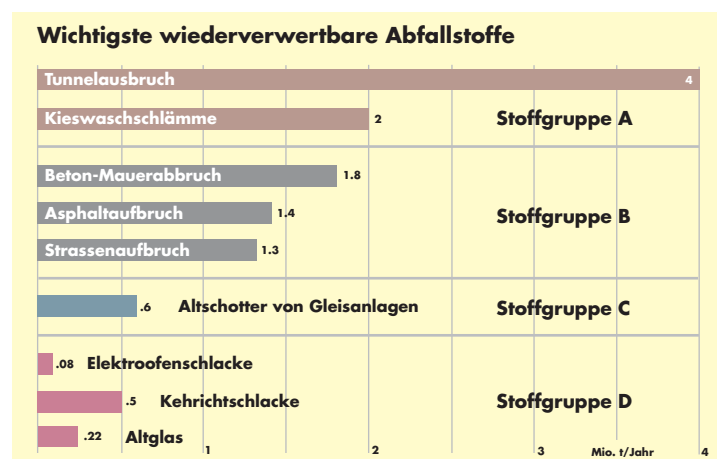


Abbildung 9.7: Pro Jahr anfallende Mengen an verwertbaren Bauabfällen und anderen wichtigen Stoffen. Stand 1994, Angaben in Millionen Tonnen pro Jahr (Trockensubstanz).



## 9.2 STOFFGRUPPE A: GESTEINE

### 9.2.1 TUNNELAUSBRUCHMATERIAL

#### 9.2.1.1 Einleitung

*Die Entwicklung des Untertagebaus in der Schweiz:* Untertagebau wurde ursprünglich vor allem für den Abbau von Erzen und Kohle (Bergbau), die Wassergewinnung und den Begräbniskult betrieben. Erste Tunnelbauten für Verkehrswege gehen auf die Römer zurück (Pierre Pertuis, Chraiegg). Der Felsabtrag erfolgte damals mit einfachen Techniken wie Felsabschlag, Sprengen mit gefrierendem Wasser oder mittels in den Fels eingelassener und nachträglich mit Wasser gesättigter Holzpfähle. Grössere Durchstiche in den Alpen wurden zu Beginn des 18. Jahrhunderts realisiert. Als frühes Beispiel ist der im Jahre 1708 erbaute 64 Meter lange Strassentunnel in der Schöllenen-schlucht zu nennen, das sogenannte Urnerloch. Der erste Eisenbahntunnel der Schweiz, der Schlossbergtunnel bei Baden, wurde in den Jahren 1846–47 verwirklicht und weist eine Länge von 90 Metern auf. Grosse Tunnelbauten hingegen erfolgten erst in den Jahren 1870–1920 mit dem stark aufkommen den Eisenbahn- und Strassenbau (Tabelle 9.1a). Tunnelbau wurde noch weit ins 19. Jahrhundert hinein fast ausschliesslich mit vorindustriellen Arbeitstechniken bewerkstelligt. Das Schiesspulver kannte man seit dem Beginn der Neuzeit, das Vorbereiten der Sprenglöcher, das Schaufeln, Pickeln und Wegkarren des Ausbruchmaterials geschah je-

doch von Hand. Der technische Fortschritt unter der Verwendung von Bohrmaschinen, Dynamit und von Zugfahrzeugen, die mit Pressluft und später elektrisch betrieben wurden, setzte nur langsam ein. Die heutigen, stark weiterentwickelten Vortriebsmethoden sind neben dem konventionellen Sprengausbruch der maschinelle Vortrieb mit Tunnelbohr-(TBM) und Teilschnittmaschinen (TSM). Unterdessen sind zahlreiche Autobahn- und Eisenbahntunnels entstanden, befinden sich im Bau oder in der Projektierung (Tabelle 9.1b).

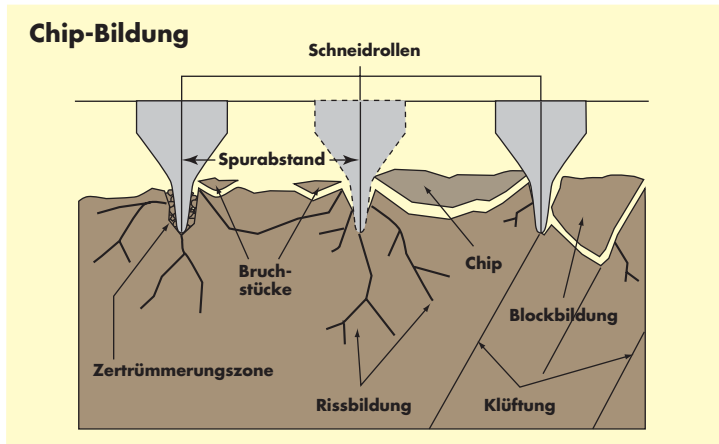
Neben dem Tunnelbau für den Verkehr wurden in der Schweiz unzählige Untertagebauten und Stollensysteme für Wasserkraftwerke, Gasleitungen, für die Durchleitung von Telefon- und Hochspannungskabeln, für Trink- respektive Schmutzwasserleitungen und militärische Bauten erstellt.

*Das Ausbruchmaterial – ein wertvoller Rohstoff:* Noch bis vor kurzem stellte das Ausbruchmaterial von Untertagebauten ein eher lästiges Abfallprodukt dar. Es wurde wie Siedlungsabfall oder Bauschutt behandelt und auf möglichst einfache Art entsorgt oder als Massenschüttgut für Auffüllungen verwendet. Eine Aufbereitung zu einem Kiesersatz war wegen der im Überfluss vorhandenen Alluvialkiese wirtschaftlich uninteressant. Materialbewirtschaftungskonzepte der heutigen und zukünftigen Tunnelbauten sehen vermehrt eine möglichst breite Wiederverwertung des anfallenden Ausbruchmaterials vor [Thalmann, 1996]. Durch eine Aufbereitung des Ausbruchs vor Ort zu Zuschlagstoffen können die Transportkosten sowohl für die Entsorgung des Ausbruchmaterials als auch für die Zulieferung von Kiessand eingespart werden. Der so gewonnene Baustoff kann zudem an Dritte weiterverkauft oder vorübergehend auf Halde gelegt werden. Solche Materialdepots bieten in manchen Regionen eine willkommene, künstlich geschaffene Rohstoffquelle.

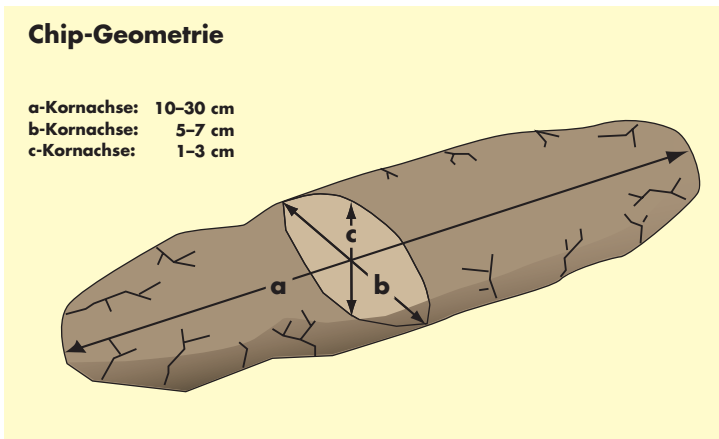
Die Bewirtschaftung von Ausbruchmaterial gilt als raumwirksame Tätigkeit, die laut Bundesgesetz über die Raumplanung [RPG, 1979] planungspflichtig ist. Projektbetroffene Kantone und Gemeinden müssen die Richt- und Nutzungspläne entsprechend anpassen. Vielfältige Bereiche des Raumplanungsrechtes wie Umweltschutzgesetz, Natur- und Heimatschutzgesetz und Gewässerschutzgesetz müssen somit beachtet werden. Im Rahmen der Projektierung der grossen alpenquerenden Tunnels wurden daher detaillierte Materialbewirtschaftungskonzepte ausgearbeitet [Ernst Basler & Partner, 1995; Ingenieurgesellschaft Gotthard-Basistunnel, 1993]. Beim AlpTransit-Bau geht man davon aus, dass je etwa ein Drittel des anfallenden Ausbruchmaterials (gesamthaft ca. 40 Mio. t) als

Tabelle 9.1: Wichtige Tunnelbauten in der Schweiz

Tunnel	Eröffnung	Länge (km)
<b>a) Grössere Tunnelbauten vor 1920</b>		
Gotthard	1882	15.0
Albula	1903	5.9
Simplon I und II	1906 und 1921	19.8
Ricken	1910	8.6
Jungfrauoch	1912	7.1
Lötschberg	1913	14.6
Grenchenberg	1915	8.6
Hauenstein II	1916	8.1
<b>b) Grössere Tunnelbauten der Gegenwart und Zukunft</b>		
Furka-Basis	1982	15.4
Seelisberg	1980	9.3
Gotthard (Strasse)	1985	16.3
Bözberg	1996	3.7
Locarno	1996	5.5
Vereina	ca. 2000	19.1
Alpentransversale NEAT	2015(?)	ca. 100
Swissmetro	2020(?)	ca. 680



9.8



9.9

Baurohstoff für das Projekt selbst beziehungsweise an Dritte abgegeben werden könnte. Während der Bauzeit des Tunnels könnten damit etwa 5–10% des jährlichen Kiesbedarfs (1995 ca. 50 Mio. t) der Schweiz durch solches Material substituiert werden.

### 9.2.1.2 Eigenschaften des Ausbruchmaterials

**Ausbruchmethode:** Untertagebauten werden heute konventionell durch Sprengen oder maschinell mit Vollschnitt- oder Teilschnittfräsen erstellt.

**Konventioneller Vortrieb:** Die Ausbildung der beim konventionellen Sprengvortrieb erzeugten Gesteinsfragmente hängt einerseits von der Sprengstoffmenge und andererseits von den im Gebirge vorhandenen Trennflächen und Spannungen ab. Im Gegensatz zum offenen Felsabtrag für die Gewinnung von Brechkies werden im Untertagebau wesentlich höhere Sprengstoffmengen eingesetzt, nicht zuletzt um eine die Abförderung begünstigende, kleine Stückigkeit zu erreichen. Die so gewon-

nenen Gesteinsbruchstücke weisen je nach Gesteinseigenschaften und Sprengtechnik Mikrorisse auf, welche die Gesteinsfestigkeit entsprechend vermindern.

**Maschineller Vortrieb:** Das Kernstück einer Vollschnitt-TBM (Tunnelbohrmaschine) bildet die Kopfplatte am Bohrkopf, die je nach Durchmesser mit einer unterschiedlichen Anzahl an diskusähnlichen Schneidwerkzeugen (Meissel) in einem Abstand von 80–95 mm ausgestattet ist. Diese werden unter grosser Last – bis zu 35 Tonnen pro Werkzeug – auf konzentrischen Kreisen um die Drehachse der Kopfplatte gerollt und dringen zwischen 2–5 mm pro Bohrkopf-Umdrehung in den Fels ein. Bei diesem Vorgang wird der Fels im Kontaktbereich mit dem Werkzeug regelrecht pulverisiert, und es entstehen radialverlaufende Risse an der Felsoberfläche (Abbildung 9.8). Sobald sich Risse von zwei benachbarten Schneidspuren verbinden, kommt es zum Wegsplintern von grösseren Gesteinsbruchstücken, den sogenannten Chips. An den Chiprändern bilden sich ebenfalls Mikrorisse, die jedoch keine grosse Eindringtiefe haben. Neben den eigentlichen Chips – welche zwischen zwei Schneidrollen herausgelöst werden – und dem Feinanteil aus der Zertrümmerungszone bilden sich vor allem kleinere Gesteinsbruchstücke, die vor der eigentlichen Chipbildung aus der Felsoberfläche abplatzen. Zusätzlich fallen in einem anisotropen Fels, der mit Klüften, Störungszonen oder Schieferungsflächen durchsetzt ist, auch wesentlich grössere Gesteinsbrocken an. Teilschnittmaschinen (TSM), deren Einsatz nur in weichen Gesteinen mit Druckfestigkeiten unter 100 N/mm<sup>2</sup> wirtschaftlich sind, **schrämen** den Fels. Die Kornform sieht derjenigen des mit TBM gewonnenen Ausbruchmaterials ähnlich.

**Wechselhafte Felsqualität im Untertagebau:** Im Gegensatz zum offenen Kies- beziehungsweise Felsabbau, der auf Grund der zielgerichtet ausgesuchten geologischen Verhältnisse eine gewisse Regelmässigkeit der Gesteinsqualität garantiert, kann beim Untertagebau innerhalb kurzer Zeitintervalle unterschiedliches Felsmaterial anfallen. Qualitätsänderungen des Ausbruchmaterials werden durch Wechsel der Petrographie, durch das Auffahren von Störungszonen, durch rasche Wechsel zwischen harten und weichen Gesteinen hervorgerufen. Es kann vorkommen, dass innerhalb der Tunnelbrust hochwertiges mit ungeeignetem Material vermischt wird. Die Klassifizierung von Ausbruchmaterial nach vorgegebenen Qualitätskriterien stellt deshalb vor allem ein logistisches und prüfungstechnisches Problem dar. So muss ein effizienter Kontroll-

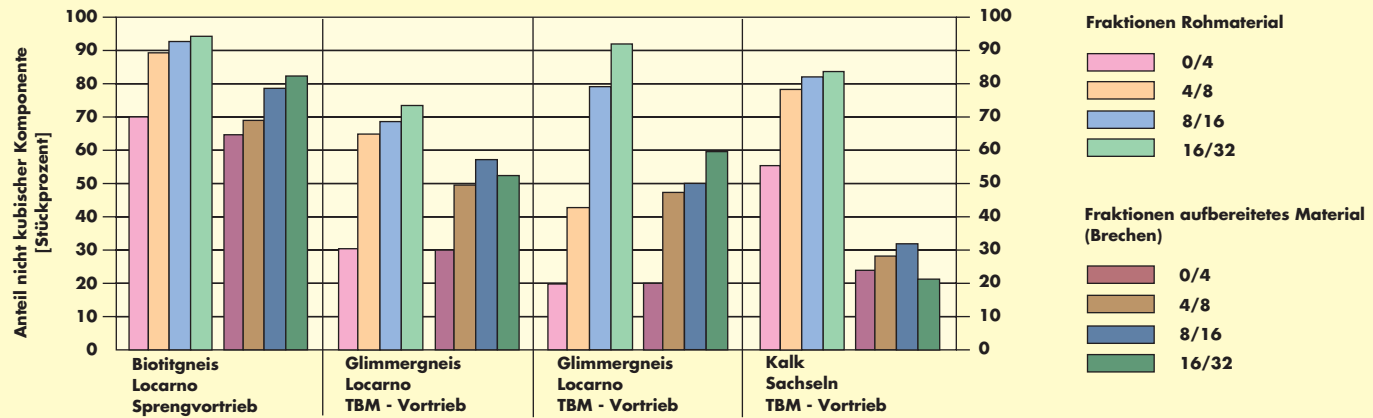
Abbildung 9.8: Schematische Darstellung der Chipbildung beim maschinellen Tunnelvortrieb (TBM).

Abbildung 9.9: Schematische Darstellung eines Chips aus dem maschinellen Tunnelvortrieb.

\* **schrämen:** Bergmannssprache für die Herstellung eines Einschnittes (Schram) in das Flöz.

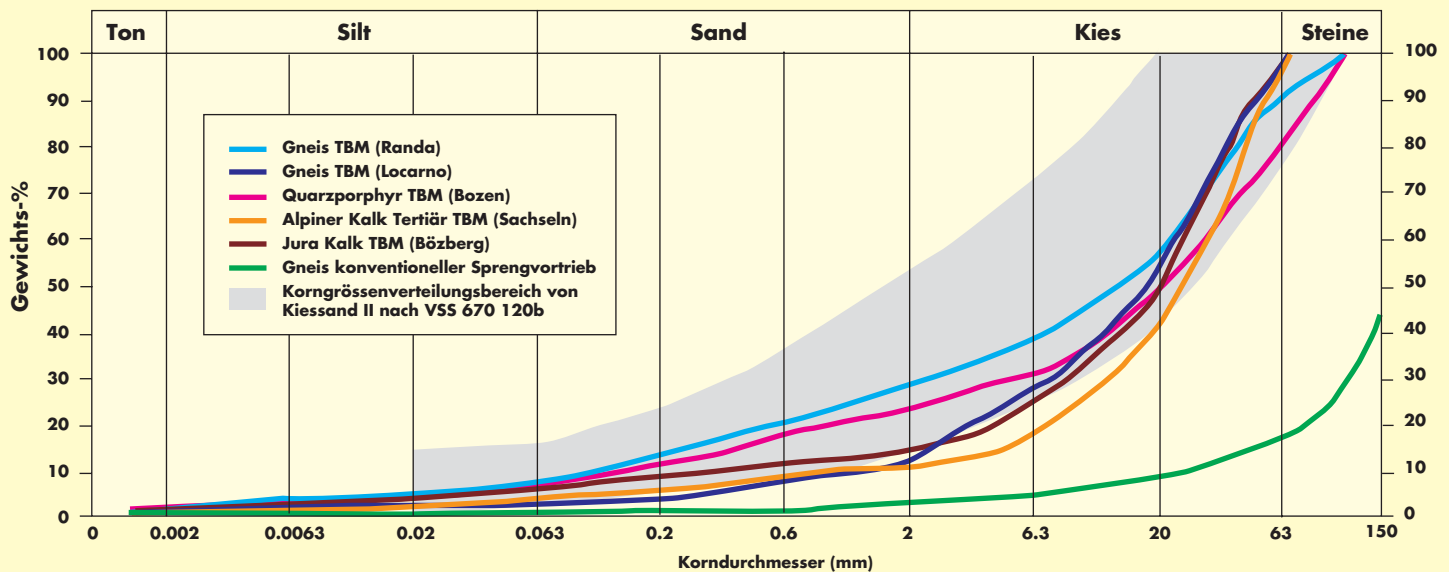


### Kornform des Ausbruchmaterials



9.10

### Siebanalysen von Tunnelausbruchmaterialien aus TBM- und konventionellem Vortrieb



9.11

mechanismus – der nicht negativ auf die Vortriebsleistung einwirkt – gewährleisten, dass Abweichungen von der geforderten Qualität sofort erfasst werden. Damit kann die vor Ort notwendige Triage in brauchbares und unbrauchbares Material realisiert werden.

**Morphometrische Merkmale des Ausbruchmaterials (Kornform):** Maschinell gewonnenes Ausbruchmaterial ist durch seine eher plattig-ellipsoide, «tellerartige» Kornform charakterisiert (Abbildung 9.9). Typisch ist auch die raue Gesteinsoberfläche und die nicht selten vorhandenen eckigen Kanten. Massgebend für die Grösse der ausgebrochenen Komponenten ist der Schneidspurabstand, dessen Ausweitung zu grösseren

Chips und Gesteinsbruchstücken führt (Abbildung 9.9). So wird die maximale Breite der Chips durch den Meisselabstand abzüglich der Meisseldicke beeinflusst. Mit den heutigen TBM weisen die Chips eine Breite (b-Kornachse) von etwa 55–70 mm auf. Die Dicke (c-Kornachse) der Chips beträgt in der Regel 15–25 mm und ist ebenfalls vom Meisselabstand abhängig.

Die Länge der Chips (a-Kornachse) variiert am stärksten und liegt im Bereich zwischen 100 und 300 mm. Die Annahme, dass zunehmender Anpressdruck zu dickeren Bruchstücken führt, konnte mit den bisherigen Erfahrungen nicht bestätigt werden. Gewisse Trends bezüglich der Kornform lassen sich sowohl am unbehandelten wie auch am aufbereiteten (gebrochenen) Korn erkennen: Ausbruchmaterial mit einem Korn-

Abbildung 9.10: Anteil an nicht kubischen Komponenten von nicht aufbereitetem Material aus dem konventionellen Spreng- und TBM-Vortrieb.

Abbildung 9.11: Siebanalysen von unveränderten Tunnelausbruchmaterial aus dem TBM- und konventionellen Vortrieb.

durchmesser über 8 mm weist generell ein c/b-Kornachsenverhältnis kleiner als 0.5 auf und ist somit als eher plattig zu bezeichnen. Die Fraktionen kleiner als 8 mm haben ein zunehmendes c/b-Kornachsenverhältnis und kommen vermehrt in die Kornformbereiche für stengelige und kubische Körner gemäss Definition in [Abbildung 9.14](#) zu liegen. Generell ist bei abnehmender Grösse der Korngruppen eine Zunahme des c/b- und des c/a-Achsenverhältnisses und eine Abnahme des b/a-Achsenverhältnisses zu beobachten. Je kleiner die Korngrösse, desto gedrungener und kubischer ist die Kornform ([Abbildung 9.10](#)).

**Kornverteilung:** Im Unterschied zum TBM-Vortrieb sind beim konventionellen Sprengvortrieb die Fraktionen des Ton- bis mittleren Kiesbereiches (bis 20 mm) untervertreten. 85 bis 95 Gew.% der Komponenten sind grösser als 30 mm und lassen sich somit gut weiterverarbeiten. Der Anfall an grossen Gesteinsbruchstücken (grösser als 500 mm) ist stark abhängig von der Sprengstoffmenge. Siebanalysen zeigen ([Abbildung 9.11](#)), dass Ausbruchmaterial aus dem maschinellen TBM-Vortrieb dagegen eine relativ gute Abstufung aufweisen. Siebkurven aus dem maschinellen Vortrieb (TBM und TSM) liegen oft im Korngrössenverteilungsbereich für Kiessand II (nach VSS 670 120b). Der Anteil der Fraktion kleiner oder gleich 0.02 mm beträgt rund 1 bis 5 Gew.%. Infolge der Wasserzugabe auf den TBM-Förderbändern zur Staubunterdrückung haften die Feinstfraktionen zum Teil an den grösseren Komponenten. Dadurch wird je nach Petrographie, Wassergehalt und Lagerungszeit ein unterschiedlich stark zementierter Saum gebildet. Der Anteil an groben Fraktionen mit einem mittleren b-Durchmesser grösser als 30 mm beträgt für TBM-Material 5–55 Gew.% und für TSM-Material 5–40%. Der Anteil der Komponenten mit dem Kleinstdurchmesser (c-Durchmesser) grösser als 30 mm

beträgt für TBM-Material hingegen weniger als 10 Gew.% und für TSM-Material weniger als 5%. Die Menge an groben Komponenten (grösser als 30 mm) wird in geologisch anisotropen Gebirgen mit Kluft- und ausgeprägten Schieferungszonen erhöht, da sich – je nach angefahrenem Winkel zwischen Tunnelachse und Felsklüftung oder Trennflächen – grössere Felsblöcke lösen. Versuche mit Vollschnittmaschinen in Schweden haben gezeigt, dass der Schneidrollenabstand (spacing) der Maschine sowohl die Kornverteilung ([Abbildung 9.12](#)) wie auch die Korngrösse ([Abbildung 9.13](#)) beeinflusst [Büchi & Thalmann, 1995].

**Auflockerungsgrad von Ausbruchmaterial:** Beim Lösen von Fels resultiert eine markante Volumenzunahme des ausgebrochenen Materials gegenüber dem anstehenden Fels. Der Auflockerungsgrad ist abhängig von der Gesteinsart, Kornverteilung, Kornform, Wassergehalt und Ablagerungsart (lose geschüttet oder verdichtet). Die Auflockerungsfaktoren für TBM-Material sind aber im Gegensatz zu den konventionell gewonnenen höher. Erfahrungswerte sind in [Tabelle 9.2](#) aufgeführt.

### 9.2.1.3 Verwertung von Tunnelausbruchmaterial

Inwieweit Tunnelausbruchmaterial als Kiesersatzmaterial dienen kann, hängt weitgehend von der Erfüllung der Qualitätsvorschriften der jeweils zutreffenden Norm ab. Die wichtigen Normen sind in der [Tabelle 9.3](#) aufgeführt. Im Gegensatz zu den Begriffen (Rund-)Sand (0/3 oder 4 mm) und Kies für alluviale Lockergesteine verwendet man für gebrochene Fels- oder Lockergesteine die Bezeichnungen Brechsand, Splitt (3 oder 4/22 mm) beziehungsweise Schotter (22/63 mm). Werden Rund- und Brechmaterial gemischt, spricht man von Mischsand beziehungsweise -kies (VSS 670 710d).

Die Deutsche Norm (DIN 4226) bezeichnet gebrochene Mineralstoffe aus Naturstein als Schotter (über 32 mm), Splitt oder Edelsplitt (4/32 mm), Brechsand oder Edelbrechsand (0/4 mm). Edelsplitt respektive Edelsand erfüllt gegenüber Splitt beziehungsweise Brechsand hinsichtlich Korngrösse, Unter- und Überkorn sowie Frostbeständigkeit erhöhte Güteanforderungen.

**Anforderungen an Zuschlagstoffe für die Betonherstellung:** Bei Tunnelprojekten werden grosse Mengen an Zuschlagstoffen für die Herstellung von Ortsbeton, Pumpbeton und Spritzbeton benötigt. Die Schweiz besitzt keine Normen, die speziell auf Splittbeton ausgerichtet sind. Die bestehende SIA-Betonnorm 162 hat sich für Rundkiesmaterial gut bewährt,

**Tabelle 9.2: Auflockerungsfaktoren für Ausbruchmaterialien (Erfahrungswerte)**

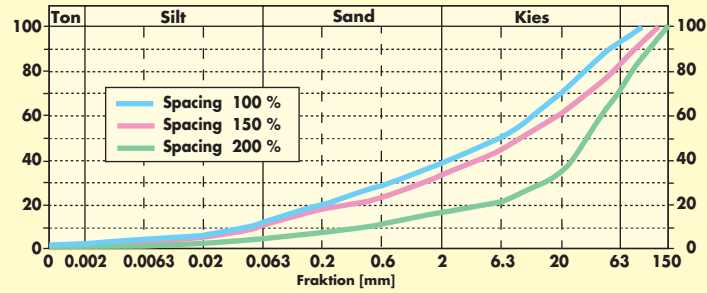
Ausbruchart	Verhältnis (Auflockerungsfaktoren)	
	Fels/Loser Ausbruch	Fels/Eingebrachter Ausbruch (normal verdichtet)
Maschinell	1.6 – 2.0	1.4 – 1.6
Konventionell	1.5 – 1.8	1.2 – 1.4

**Tabelle 9.3: Normen für Kies- und Kiesersatzmaterialien**

Verwendungszwecke	Norm	
Betonzuschlagstoffe	SIA 162 SIA 162/1	Betonbauten Materialprüfungen
Ungebundene Kiessande im Strassen- und Trasseebau	VSS 670 120b	Kiessande für Fundamentalschichten
Zuschlagstoffe für bituminöse Beläge und Betonbeläge	VSS 670 710d	Sand, Kies, Splitt und Schotter für Beläge

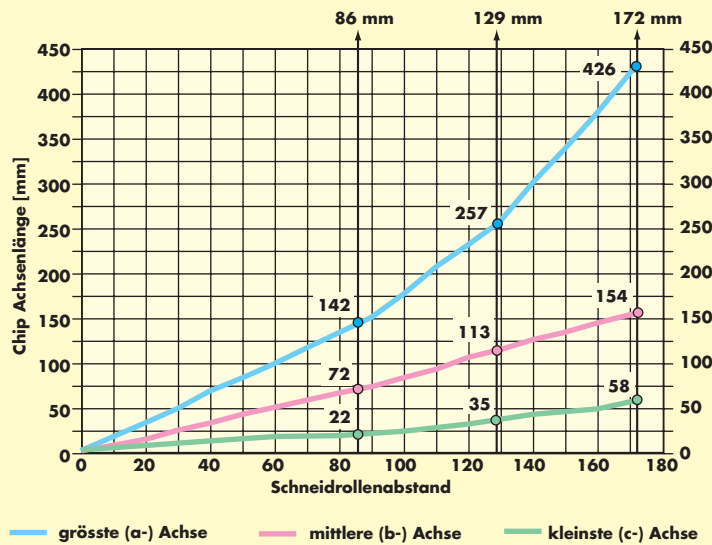


### Siebkurven in Funktion des Schneidrollenabstandes



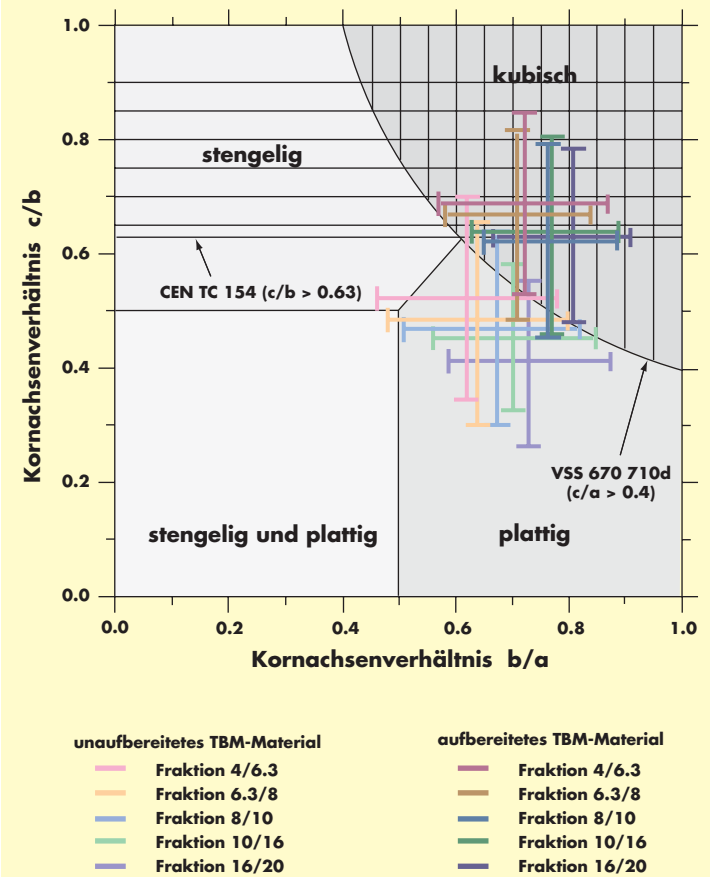
9.12

### Schneidrollen und Kornachsen-Beziehung



9.13

### Kornformanalyse für verschiedene Fraktionen



9.14

hingegen kann sie für gebrochenes Material nicht ohne weiteres übernommen werden. Die Norm lässt somit dem Anwender über den Weg von Vorversuchen die Möglichkeit, eigene Rezepturen zu erstellen, um die gewünschten Qualitätsanforderungen zu erreichen.

Die Euro-Normen bezüglich Betonzuschlagstoffe (CEN TC 154), welche die Schweiz ebenfalls übernehmen wird, scheinen – im Gegensatz zu unserer im Grunde genommen «liberalen» Betonnorm SIA-162 – mit dem Umgang von nicht normkonformen Zuschlägen restriktiver zu sein. So dürfen – gemäss heutigem Stand der Euro-Normen – Betonzuschläge, die durch Labor- und Feldversuche den Betonanforderungen nachweislich genügen, trotzdem nicht eingesetzt werden, wenn diese ausserhalb der Norm sind.

**Gesteinschärte:** Eines der ersten Kriterien, das erfüllt werden muss, damit Ausbruchmaterial zu Betonzuschlägen veredelt

werden kann, ist eine genügend hohe Gesteinsfestigkeit. Alluvialkies und die daraus gebrochenen Splittprodukte weisen in der Regel hohe Gesteinsfestigkeiten auf, mit Druckfestigkeiten, die zwischen 50 und 300 N/mm<sup>2</sup>, meist aber zwischen 150 und 200 N/mm<sup>2</sup> liegen [Cementbulletin, 1996]. In Betonnormen sind nur selten Angaben über minimale Druckfestigkeitsanforderungen der Splittprodukte aufgeführt, wie sie zum Beispiel für Hartschotter ( $\geq 120$  N/mm<sup>2</sup>) verlangt werden (VSS 670 710d). Eine minimale Gesteinsfestigkeit von 100 N/mm<sup>2</sup> verlangt die DIN 4226 (1983, Teil 1) für Betonzuschlag aus gebrochenem Naturstein. Die Gesteinschärte von Ausbruchmaterial ist oft deutlich geringer als diejenige von natürlichem Rundkies. Gestützt auf zahlreiche Materialuntersuchungen und auf über 150 Labor- und Baustellen-Betonversuche, die im Rahmen der AlpTransit-Voruntersuchungen durchgeführt wurden, kann als Richtgrösse für einen Beton der Festigkeitsklasse B 40/30 eine minimale Gesteinsfestigkeit von 75 N/mm<sup>2</sup>

Abbildung 9.12: Siebkurven bei unterschiedlichem Schneidrollenabstand.

Abbildung 9.13: Einfluss des Schneidrollenabstandes auf die Kornachsen der Chips.

Abbildung 9.14: Beispiel einer Kornformanalyse angegeben durch Mittelwerte und Standardabweichungen für verschiedene Fraktionen von unauflerem respektive aufbereitetem TBM-

Material (alpiner Kalk aus Sachseln). Pro Fraktion wurden 200 Komponenten ausgezählt.

empfohlen werden. Der von der CEN-Norm eingeführte Los Angeles-Index beurteilt die Festigkeit der Zuschläge indirekt, auf Grund ihres Abriebverhaltens gegenüber Schlag und Zerkümmung.

*Petrographie:* Den Anteilen petrographisch ungünstiger Komponenten muss beim Tunnelausbruch besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, da Untertagebauten häufig lithologisch ungünstige Einschaltungen auffahren.

Die SIA-Norm 162/1 toleriert für Beton ab B 30/20 einen maximalen Anteil an petrographisch ungeeigneten Komponenten von 5 Gew.%. Steigt der Anteil auf 5 bis 10%, ist die Wirkung auf die Eigenschaft des Festbetons zu prüfen. Für Beton B 20/10 und B 25/15 ist ein Gehalt von 10 Gew.% petrographisch ungeeigneter Komponenten zulässig. Beträgt der Anteil 10 bis 15%, ist auch hier die Wirkung auf die Eigenschaft des Festbetons zu prüfen. In der Praxis wird oftmals für die Bestimmung der ungeeigneten Anteile die Norm VSS/SN 670 710d für Belagsbeton angewandt. Petrographisch ungeeignete Einschaltungen in Sedimentgesteinen sind vor allem weiche, leicht mergelige Gesteinsbruchstücke und gröbere Kalzitkristalle mit ausgeprägter Spaltbarkeit.

Bei Tunnelbauten im zentralen Alpenraum besteht ein grosser Teil der zu durchfahrenden geologischen Schichtreihen aus Kristallingesteinen mit einem hohen Anteil an Schichtsilikaten, deren häufigste Vertreter Biotit (Dunkelglimmer) und Muskowit (Hellglimmer) sind. Weitere Schichtsilikate sind beispielsweise Talk, Serpentin, Chlorit und Tonminerale. Bei der Bestimmung des Schichtsilikatgehaltes muss grundsätzlich unterschieden werden zwischen freien Schichtsilikaten in der Sandfraktion und jenen in den Aggregaten selber. Letztere haben keinen merklich negativen Einfluss, ausser der durch die Anisotropie hervorgerufenen Abnahme der Gesteinsdruckfestigkeit. Freie Schichtsilikate, die mit dem Mischwasser und dem Zement in Kontakt kommen, vermindern die Qualität von Frisch- und Festbeton. Mit steigendem Gehalt an Schichtsilikaten nimmt die für eine gleichbleibende Verarbeitbarkeit erforderliche Wassermenge zu. Untersuchungen haben gezeigt, dass schon weniger als 1 Gew.% freier Glimmerblättchen im Gesamtgemisch die 28-Tage Druckfestigkeit um 10 bis 20 Prozent vermindern kann [Fookes & Revie, 1982]. Aufbereitungsversuche an kristallinen Gesteinen dokumentieren, dass sich die ungünstigen Schichtsilikate zum weitaus grössten Teil im Feinsandbereich (0/1 mm) ansammeln. Nach einer optimalen Nassaufbereitung und -behandlung des Sandes liegt der Glimmergehalt – im

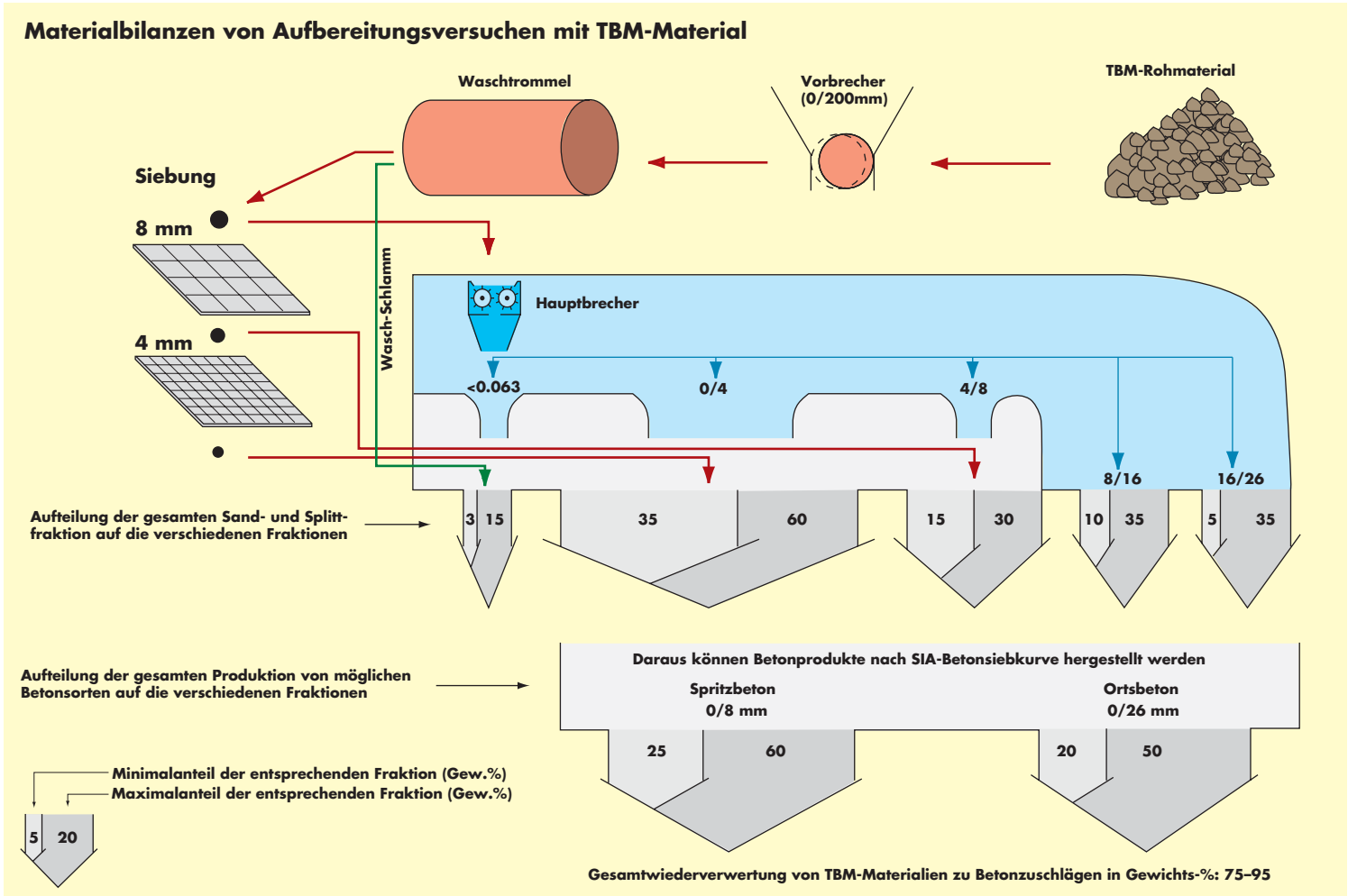
Gegensatz zum anfallenden Rohsand des Fräs- oder Sprengvortriebes – deutlich tiefer. Eine weitere Optimierung der stark glimmerhaltigen Sande kann durch Substitution der abschlämmbaren Fraktion (unter 0.063 mm) mit glimmerlosen Produkten erreicht werden. Ähnliche Ergebnisse zeigen Aufbereitungsversuche an Kalken mit petrographisch ungünstigen Komponenten.

*Kornform:* Im Gegensatz zu den Richtlinien der alten Norm SIA 162 (1968) stellen die neueren Ausgaben keine Anforderung an die Kornform. Die Praxis verlangt aber oftmals, dass für Pumpbeton und gut verarbeitbaren Beton weniger als 50 Stück-% – gemäss VSS 670 710d – an nicht kubischen Komponenten vorhanden sind. In der Romandie wird der Kornformkoeffizient nicht selten nach der französischen Norm AFNOR (P 18-541) bestimmt. Mit der Euro-Norm soll die Kornform mittels Spaltsieben bestimmt und als Plattigkeitsindex ( $c/b \geq 0.63$ ) angegeben werden (Abbildung 9.14). Dabei müssen für gebrochene Splitte 35 Gewichts-% der Zuschläge im gesamten Betongemisch dem Plattigkeitsindex entsprechen.

*Verwertung von nicht aufbereitetem Ausbruchmaterial:* Konventionell gewonnenes Ausbruchmaterial kann im Rohzustand nicht eingesetzt werden, da der Anteil an grossen Gesteinsbruchstücken zu hoch ist.

- *Schüttgut:* Nicht aufbereitetes Ausbruchmaterial von minderwertiger Qualität aus TBM oder TSM kann generell als Massenschüttgut verwendet werden (Dammschüttungen, Auffüllungen, Hinterfüllungen, Lärmschutzwälle, usw.). Die Anforderungen an solche Materialien sind: geringe Zusammendrückbarkeit, Verdichtbarkeit, gute Scherfestigkeit, keine wasserlöslichen Gesteine (Steinsalz, Gips, Anhydrit), keine organisch durchsetzten Feinanteile, wenig Schiefer. Die Verwendung solcher Materialien im Forststrassenbau hat sich als positiv erwiesen. Vor allem mergelig-kalkige Gesteine zeigen ein stark bindiges Verhalten auf, das die Staubentwicklung eindämmt (Juragrien). In günstigen Fällen kann unverändertes Ausbruchmaterial im Strassenbau als Kiessand II verwendet werden.
- *Betonzuschläge:* Als Spritzbetonzuschläge (Trockenspritzverfahren) lässt sich nicht weiter aufbereitetes und lediglich bei 8 mm ausgesiebt TBM-Rohmaterial verarbeiten und über Distanzen von mehr als 100 Meter pumpen. Aufgrund der kantigen Zuschläge fällt der Rückprall im Gegensatz





9.15

zum Standard-Rundmaterial deutlich geringer aus. Die oft vertretene Meinung, dass solche nicht kubischen, stark kantigen Zuschläge sich für Pumpbeton nicht eignen, konnte an Grossversuchen widerlegt werden.

Der Einsatz von unterschiedlichem, nicht aufbereitetem (ungebrochen, nicht gewaschen) TBM-Rohmaterial als Ortsbeton ergibt ebenfalls erstaunlich gute Laborresultate [Kruse & Weber, 1995; SBB, Projektleitung AlpTransit Gotthard, 1995]. Diese Laborversuche zeigen, dass auch mit nicht aufbereitetem, geeignetem TBM-Rohmaterial zumindest ein Normalbeton B30/20 erzeugt werden kann, der sich gut verarbeiten lässt [Olbrecht & Studer 1995a und 1995b]. Der Hohlraumgehalt des anfallenden TBM-Materiales beträgt gegen 40 Vol-% und ist im Gegensatz zum Rundkies mit nur 25 Vol-% um einiges höher. Somit muss die Zementleimenge für solches Rohmaterial – wie auch für aufbereitete Splittprodukte – um 5 bis 20% erhöht werden.

Frost- und Frost-Tausalzbeständigkeit sind als eher gering bis normal einzustufen. Der Elastizitäts-Modul (E-Modul) liegt bis 50% unter der bekannten Grössenordnung des Betons mit Alluvialkies. Der E-Modul ist abhängig von der Art der eingesetzten Zuschläge. So weist Beton mit kristallinen Komponenten einen tieferen E-Modul auf, als solcher mit kalkigen Zuschlagstoffen. Tiefere E-Moduln sind im Tunnelbau nicht negativ zu bewerten, da dadurch druckhaftes Gebirge besser aufgefangen werden kann. Mit dem Einsatz von Verflüssigern kann der Wasser-Zement-Faktor (w/z) in vertretbaren Grössenordnungen gehalten werden. Aufgrund der höheren Zementmenge ist das Schwindverhalten im Vergleich zum «Rundkiesbeton» grösser.

*Aufbereitung von Tunnelausbruchmaterial:* Folgende Punkte müssen bei der Behandlung und Aufbereitung von maschinell gewonnenem Tunnelausbruchmaterial beachtet werden:

**Abbildung 9.15: Materialbilanzen von Aufbereitungsversuchen auf verschiedenen Aufbereitungsanlagen und mit verschiedenem Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb. Als Hauptbrecher standen Vertikalbrechsysteme im Einsatz.**

- Zur Staubunterdrückung wird auf den TBM-Förderbändern Wasser eingesprüht. Dadurch weist das Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Vortrieb auch im trockenen Fels einen Wassergehalt von ca. 2 bis 6 % auf. Der relativ hohe Feinanteil zusammen mit dem Wassergehalt führen beim Einbringen des Materials in Schutterwagen, auf Zwischen-deponien oder in Silos zu einer starken Verkittung. Dies hat zur Folge, dass TBM-Material schon kurze Zeit nach dem Ablagern nur noch mit schweren Maschinen gelöst werden kann. Die Lagerung von gefrästen Gesteinen in gängigen Silos muss vermieden werden, da dies zu Verstopfungen führt.
- Da auch in gefrästem Tunnelausbruchmaterial gröbere Komponenten mit einer Kantenlänge von über 200 mm vorhanden sein können, müssen diese Gesteinsbruchstücke mit einem Vordrehwerk zerkleinert werden.
- Wegen des stark bindigen Verhaltens des Ausgangsmaterials muss dieses mittels einer leistungsfähigen Waschtrommel gereinigt werden, da sonst die Siebe verstopft werden. Unge-waschenes TBM-Material liesse sich eventuell mittels soge-nanntem «Sternsieben» auftrennen.
- Die Auswahl und Einstellung des Hauptbrechers ist abhän-gig von den Felseigenschaften des Ausgangsmaterials und von den gestellten Anforderungen der Endkomponenten. Der Brechvorgang für Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Vortrieb muss im Gegensatz zu konventionell gewonne-nem Material schonungsvoller erfolgen, da die a priori zu geringen Kleinstdurchmesser der Grobfractionen nicht all-zu stark zerkleinert werden dürfen. Das Brechen der Gesteine im Prallbecher erfolgt schonender und erzeugt eine besse-re Kubizität der Bruchstücke als ein Zerkleinern mit dem Backen- oder Kegelbrecher. Geeignete Verfahren für die Splittproduktion sind beispielsweise, Vertikalbrecher, die vermehrt kubischen Splitt mit abgerundeten Kanten liefern. Gebrochenes Material kann weiter mittels einer Friktions-trommel einem künstlichen Rundungsprozess unterworfen werden, um so die natürliche Kornform der Alluvialkiese zu erreichen. Die Wirtschaftlichkeit solcher Friktionstrom-meln und der Rundungsprozess wird allgemein in der Fach-welt kontrovers beurteilt, da zudem 5 bis 10% Ausschuss anfällt.
- Grosse Sorgfalt muss der Sandaufbereitung geschenkt wer-den, damit eine optimale Siebkurve erreicht wird. Der ab-schlämbbare Feinanteil (Filterkuchen: < 0.063 mm) des Ausgangsmaterials und aus dem Brechprozess kann zusam-men gegen 15% der Gesamtmenge betragen. Die Schlamm-aufbereitungsanlage muss somit leistungsfähig sein und

**Tabelle 9.4: Vergleich der Betoneigenschaften bei Verwendung von gebrochenem Splitt anstelle von Rundkies**

Betoneigenschaft	Splitt im Vergleich zum Rundkies
Zementmenge	5–20% höher
Zusatzmittel	etwa gleich
Verarbeitung	heikler
Festigkeiten	besser
E-Modul	tiefer
Wasserdurchlässigkeit	etwa gleich
Frost- und Tausalzverhalten	etwa gleich
Schwindverhalten	höher
Langzeitverhalten	?

sollte die Möglichkeit bieten, den Feinanteil je nach petro-graphischer Eignung als Filler dem Sand wieder begeben zu können, da sonst zuviel Überschuss übrigbleibt. Ist der Feinanteil petrographisch ungeeignet – zum Beispiel stark glimmerhaltig – kann dieser gegen ein geeignetes Ersatzpro-dukt ausgetauscht werden.

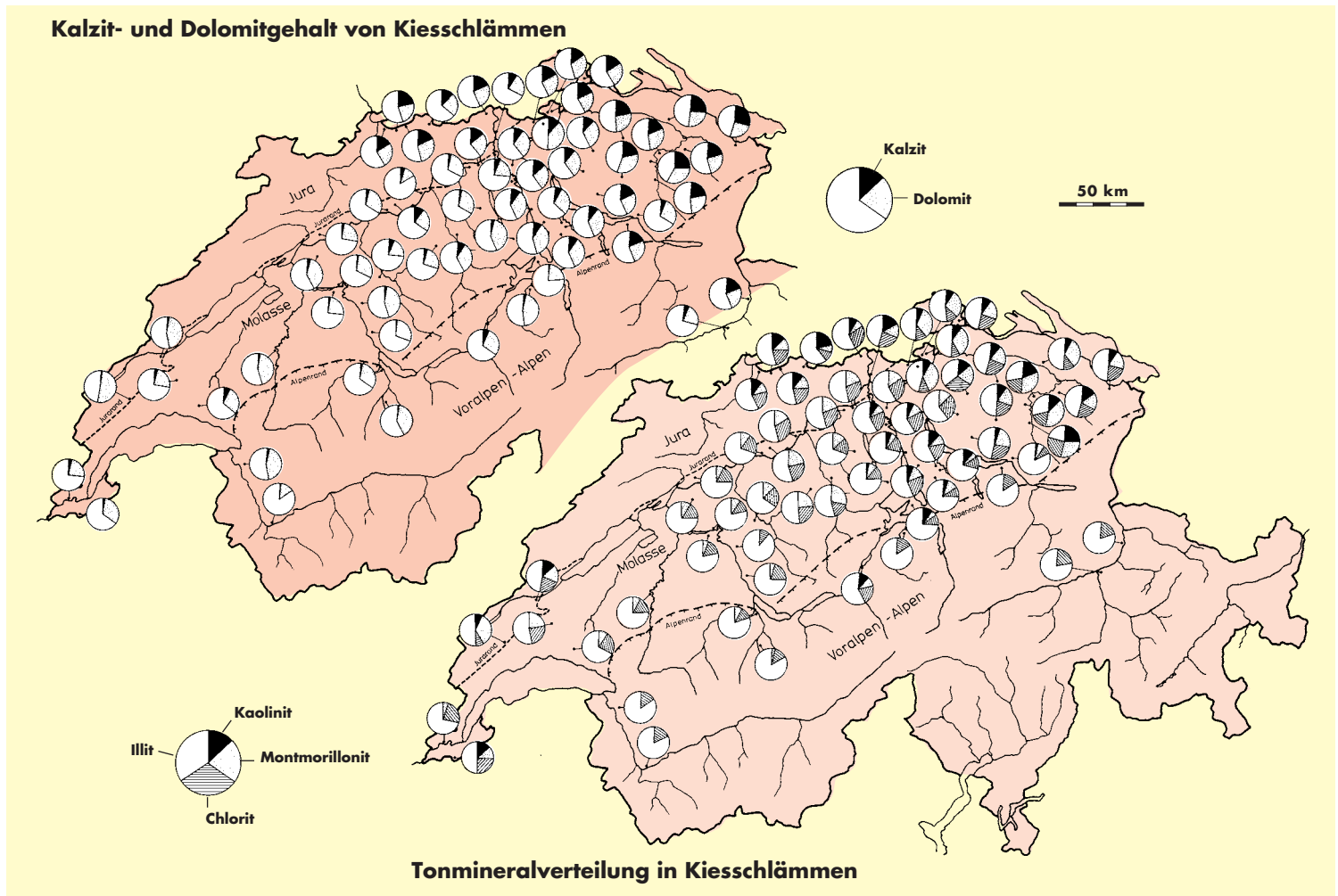
- Wie eingangs erwähnt, weisen die Fraktionen bis 8 mm eine relativ gute Kubizität auf und müssen somit nicht mehr gebrochen werden. Weiter kommt dazu, dass die extrem länglichen Körner auf den Sieben liegen bleiben und in den Brechprozess gelangen. Die vor dem Brechprozess ausgesieb-te Sandfraktion 0/4 mm und Fraktion 4/8 mm können somit mit denselben anfallenden Fraktionen aus dem Brechprozess gemischt werden.

In [Abbildung 9.15](#) sind die Materialbilanzen der auf Stan-dardanlagen in der Schweiz durchgeführten Aufbereitungsver-suche aufgelistet. Die verschiedenen Brechversuche haben alle positive Resultate erbracht und beweisen, dass auch mit TBM-Material genügend Splitt der Fraktion 16–32 mm produziert werden kann. Ein Grösstkorn zwischen 25 und 28 mm – wie es nicht selten in der Praxis für gebrochene Betonzuschläge ver-wendet wird – erlaubt es, die Produktion an größeren Splitt-produkten zu erhöhen und die Verarbeitbarkeit des Frischbe-tons zu verbessern.

Die grössten Mengen fallen – zusammen mit der Voraussie-bung des Rohmaterials – in den Fraktionen 0–8 mm an. Dies ist nicht unbedingt ein Nachteil, da im Tunnelbau grosse Mengen an Spritzbeton verwendet werden. Weiter kann mit TBM-Material – im Gegensatz zum konventionell gewonnenen Ausbruchmaterial – eine ausreichende Sandproduktion ge-währleistet werden.

Bei der Betonherstellung mit gebrochenen Zuschlägen müssen gewisse Nachteile bezüglich der Verarbeitung und der Betoneigenschaften in Kauf genommen werden ([Tabelle 9.4](#)).





9.16

#### 9.2.1.4 Zusammenfassung

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass Tunnelausbruchmaterial generell und mit gewissen Einschränkungen bei TBM-Material wie gebrochene Festgesteine verarbeitet und verwendet werden können [Thalmann, 1996]. Tunnelausbruch muss denn auch, obwohl primär ein zu beseitigender Abfall, als wertvoller Rohstoff betrachtet werden. In einer Zeit schwindender Vorräte an Alluvialkies wird dieser Rohstoff aus Überlegungen einer gesamtheitlichen Ökobilanz und auch aus wirtschaftlichen Gründen zunehmend interessanter.

#### 9.2.2 KIESWASCHSCHLAMM (KIESSCHLAMM)

Kiesschlamm ist ein Nebenprodukt der Kiesindustrie und stellt in der Schweiz mit 1.5 bis 2.0 Millionen Tonnen pro Jahr (Trockensubstanz) ein beträchtliches Abfallvolumen mit entsprechenden Entsorgungsproblemen dar. Er entsteht während des industriellen Wasch- und Aufbereitungsprozesses von Kies und entspricht im wesentlichen dem Feinstanteil der dabei verwerteten geologischen Kiesformationen. Je nach Verlehmungsgrad des Kiesvorkommens kann die anfallende Kiesschlammmenge stark variieren, von 2 bis 5 Gew. % (bezogen auf das Trockengewicht) für sauberen Kies (Niederterrassenschotter) bis zu 30 bis 40 Gew. % für stark verlehmt Schotter oder kieshaltige Moränen. Da in der Schweiz abbaubare Vorkommen von hochwertigem, sauberem Alluvialkies immer seltener werden, nimmt der Abbau von verlehmt Kiesvorkommen an Bedeutung zu, so dass in Zukunft sogar mit einer

**Abbildung 9.16:** Kalzit- und Dolomitgehalt sowie Tonmineralverteilung in untersuchten Kiesschlämmen der Schweiz (aus Mumenthaler, 1979).

**Tabelle 9.5: Zusammensetzung verschiedener Kiesschlammtypen [aus Peters et al., 1982]**

Kiesschlamm-Typ Herkunft	A Region Genfersee	B Region Fribourg	C Region Aarau/Luzern	D Region Zürich	E Region Zug	F Region Chur	G Region Bodensee
<b>GRANULOMETRIE (Gew.%)</b>							
Fraktion < 0.002 mm	32.3	45.1	28.9	10.2	35.6	10.6	20.0
0.002 – 0.020 mm	48.0	41.8	50.3	50.3	40.1	51.4	33.3
0.020 – 0.063 mm	10.6	12.6	17.3	23.7	17.2	29.3	28.7
0.063 – 0.200 mm	9.1	0.5	3.5	14.2	6.9	8.5	18.0
> 0.200 mm	0.0	0.0	0.0	1.6	0.2	0.2	0.0
<b>MINERALOGIE (Gew.%)</b>							
Kalzit	56.8	47.0	27.7	37.9	38.4	20.0	28.6
Dolomit	2.4	4.4	3.9	8.3	6.4	6.1	21.9
Quarz	11.5	16.3	21.1	33.9	18.4	26.3	21.1
Albit	3	3	8	9	5	14	6
K-Feldspat	2	2	3	4	2	3	6
<b>Tonminerale:</b>							
Illit	13	17	20	4	18	10	10
Chlorit	4	4	4	2	4	2	2
Montmorillonit	1	1	4	<1	1	–	3
Kaolinit	2	–	–	–	2	–	1
<b>CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG (Gew.%)</b>							
Glühverlust	29.92	24.79	17.37	21.81	22.08	13.29	25.46
SiO <sub>2</sub>	23.17	32.08	42.24	43.61	36.36	49.54	33.91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.87	7.98	11.24	4.13	9.12	12.08	6.86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.65	2.85	4.49	1.47	3.43	5.07	2.84
TiO <sub>2</sub>	0.33	0.33	0.50	0.26	0.42	0.50	0.31
CaO	33.37	27.78	18.73	24.02	23.32	12.85	21.95
MgO	1.59	2.11	1.93	2.91	2.99	2.97	6.93
MnO	0.06	0.07	0.12	0.06	0.08	0.15	0.09
K <sub>2</sub> O	1.06	1.52	2.10	0.70	1.74	2.28	1.30
Na <sub>2</sub> O	0.47	0.48	0.76	0.89	0.59	1.65	0.70
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.10	0.13	0.09	0.11	0.13	0.09
<b>Total</b>	<b>99.61</b>	<b>100.09</b>	<b>99.61</b>	<b>99.95</b>	<b>100.24</b>	<b>100.51</b>	<b>100.44</b>

Zunahme des Kiesschlammanfalls zu rechnen ist. Aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen wird in modernen Kieswerken Kiesschlamm in zunehmendem Masse entwässert. Damit kann das Kiesschlammvolumen erheblich reduziert und das geklärte Waschwasser für den Aufbereitungsprozess rezykliert werden. Für die Entwässerung werden Sedimentationsanlagen mit Flockulierung eingesetzt. Nach dieser Behandlung beträgt der Feststoffgehalt des sedimentierten Schlammes etwa 500 Gramm pro Liter, was einer Reduktion des Kiesschlammvolumens und somit einer Wasserrückgewinnung von rund 90% entspricht. Immer häufiger eingesetzt wird eine zweite Entwässerungsstufe mittels Filterpresse, die den Restwassergehalt bis auf ca. 23 bis 28 Gew.% reduziert. Dadurch wird der Kiesschlamm stichfest und seine Entsorgung (Deponie oder Verwertung) vereinfacht.

### 9.2.2.1 Zusammensetzung schweizerischer Kiesschlämme

Kiesschlämme sind sehr feinkörnige und homogene Mineralgemische (Körnung zum grössten Teil kleiner als 0.06 Millimeter). Sie bestehen aus feinverteilten Silikaten (Quarz, Feldspäte), Karbonaten (Kalzit, Dolomit) und Tonmineralen (Illit, Chlorit, Montmorillonit/Smektit, Kaolinit) und wurden in der Schweiz systematisch untersucht [Mumenthaler, 1979; Mumenthaler et al., 1987]. Die Granulometrie ist sehr stark von der Kornverteilung der Feinstfraktion im Rohmaterial beeinflusst und hängt auch davon ab, bei welcher Korngrösse die nutzbaren Sandkomponenten von den Schlammstoffen abgetrennt werden (Sandrückgewinnungsanlage). Aufgrund ihrer Tonmineral- und Karbonatverteilung können die Kiesschlämme regional gruppiert werden ([Abbildung 9.16](#)). Im westlichen Teil des Mittellandes (Westschweiz, Kanton Bern)



**Tabelle 9.6: Verwertungsmöglichkeiten von Kiesschlamm (aus Mumenthaler et al, 1987, modifiziert)**

KIESSCHLAMMZUSTAND	VERWERTUNGSMÖGLICHKEIT	LITERATUR	BEMERKUNGEN
dünnflüssig (Kiesschlamm unbehandelt)	– Mineralisierung von Böden, insbesondere Waldböden		Hohe Transportkosten
dickflüssig (Kiesschlamm flockuliert)	– Mineralischer Zusatz zu stark organischen Böden oder zu organischen Abfällen (Klärschlämme) – Dichtungsmaterial für Mülldeponien (mit und ohne Bentonit) – Geotechnische Barriere (Grundwasserregulierung, Geothermie, Deponien, Altlasten)	Tillmanns (1982,1984)  SIA-Zeitung (1983) de los Cobos (1994)	Dosierung begrenzt, Mischschwierigkeiten Adsorption von Schwermetallen durch Tonminerale Enthält noch viel Wasser, wenig standfest
stichfest (Kiesschlamm flockuliert und zweite Entwässerungsstufe)	– Dichtungsmittel für Mülldeponien – Rohstoffkomponente bei der Herstellung von grobkeramischen Produkten – Material für den Strassenunterbau nach Stabilisierung mit CaO oder Zement – Rohmaterial für den Lehmbau	Mumenthaler (1979), Peters et al. (1982), Mumenthaler et al. (1987) Fetz (1974)  Laquerbe (1982), Fedi et al. (1982) Hugi (1983)	Einsatzmöglichkeiten in der Schweiz fraglich
granuliert, getrocknet	– Substrat oder Füllstoff für chemische Produkte – Adsorptions- und Neutralisierungsmittel für Filteranlagen		
aktiviert (Schnellbrand bis ca. 900°C)	– Stabilisierungsmittel im Strassenbau (ähnlich CaO oder Zement), gemahlen – Adsorptions- und Neutralisierungsmittel für Filteranlagen, granuliert oder gemahlen – hydrothermal härtendes Bindemittel, gemahlen – hydraulisch härtendes Bindemittel, gemahlen	Mumenthaler (1979) Iberg et al. (1983), Mumenthaler et al. (1987)	
getrocknet, gemahlen	– Rohstoffkomponente für die Zementherstellung – Rohstoffkomponente für Sinterkeramik (Feinkeramik) – Rohstoffkomponente für geschäumte Leichtbaustoffe	Bayer et al. (1983)  Bayer et al. (1983)	
getrocknet, stückig	– Rohstoffkomponente für Mineralglasfasern	Bayer et al. (1983)	

sind die Tonminerale vorwiegend durch Illit und Chlorit vertreten, mit Ausnahmen am Jura- und, wo auch noch Kaolinit anzutreffen ist. Kalzit ist gegenüber Dolomit stark vorherrschend. In der Nord- und Nordostschweiz, ab einer Linie Luzern – Aarau, nehmen die Anteile Montmorillonit und Dolomit deutlich zu und Kaolinit tritt grossflächig neu auf. Die Zusammensetzung von sieben Kiesschlämmen, die für die verschiedenen Regionen der Schweiz charakteristisch sind, ist in der [Tabelle 9.5](#) dargestellt. Diese regionalen Unterschiede widerspiegeln die örtlichen quartärgeologischen Gegebenheiten und die Entstehungsgeschichte der genutzten Kiesformationen. Von Bedeutung dabei sind sowohl die Materialzufuhr aus relativ weit entfernten voralpinen und alpinen Einheiten, den grossen Vergletscherungsgebieten entsprechend (Rhône, Aare, Reuss, Linth, Rhein), als auch die starken Einflüsse aus dem Ablagerungsgebiet selbst (Aufarbeitung von Molassesedimenten durch Gletscher). Bezeichnend ist in diesem Zusam-

menhang, dass die Zunahme von Dolomit, Kaolinit und Montmorillonit von der West- nach der Ostschweiz bei den Molassesedimenten ebenfalls deutlich zu erkennen ist.

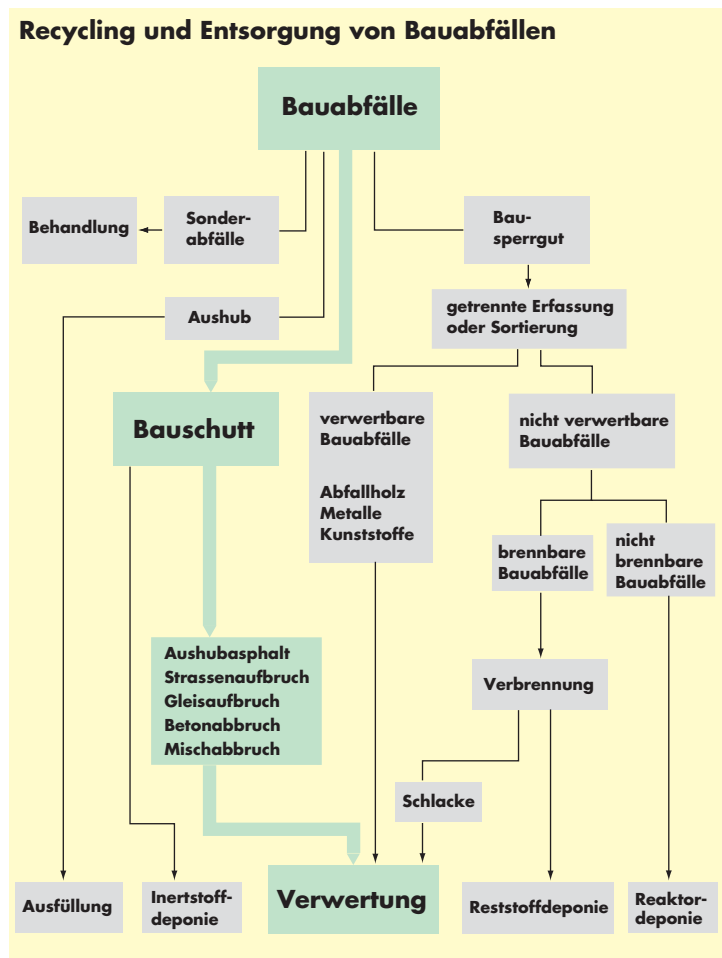
#### 9.2.2.2 Verwertungsmöglichkeiten

Die Verwertungsmöglichkeiten von Kiesschlamm sind in der [Tabelle 9.6](#) zusammengefasst. Viele sind noch im Versuchsstadium. Es kann aber mit gutem Grund angenommen werden, dass einige davon in den nächsten Jahren realisiert werden. Ein Beispiel für eine erfolgreiche Verwertung bildet der Einsatz von Kiesschlamm als Rohstoff für die schweizerische Ziegelindustrie (siehe auch [Kapitel 3.4.2](#)). Vielversprechend erscheinen ausserdem diverse geotechnische Anwendungen im Gebiet der Altlastensanierung, des Grundwasserschutzes, der Grundwasserregulierung und der Geothermie [de los Cobos 1994] (siehe auch [Kapitel 4.6.1.2, Dichtungstone](#)).

### 9.3 STOFFGRUPPE B: BAUABFÄLLE

Nach den im Leitbild für die schweizerische Abfallwirtschaft gegebenen Zielvorstellungen produzieren Entsorgungssysteme aus Abfällen nur zwei Arten von Stoffklassen, nämlich wiederverwertbare Stoffe und endlagerfähige Reststoffe (siehe [Abbildung 9.17](#)). Für die Bewirtschaftung der Bauabfälle heisst das: Baustellenentsorgung und Materialgewinnung sind so zu konzipieren, dass umweltverträgliche Stoffe in möglichst *reiner* Form und umweltgefährdende Stoffe in möglichst *konzentrierter* Form anfallen. Die Bauschuttfraktionen müssen deshalb sortenrein gewonnen, aufbereitet und gelagert werden, und sie sind so einzusetzen, dass auch eine mehrfache Wiederverwertung gewährleistet ist.

Im Strassen- und Tiefbau ist eine Wiederverwendung der anfallenden Aushub- und Ausbruchmaterialien an Ort und Stelle anzustreben. Kiesige und sandige Aushubmaterialien



9.17

Abbildung 9.17: Heutige Strategien bei der Entsorgung und Wiederverwertung von Bauabfällen

können in der Regel direkt für Schüttungen verwendet werden, bindige Böden sind nötigenfalls zur Verbesserung der Frosteigenschaften und zur Erhöhung der Tragfähigkeit mit hydraulischen Bindemitteln zu stabilisieren. Aus normkonformen Kiessand-Foundationsschichten gewonnene Kiessande können direkt für die Herstellung von nicht gebundenen Foundationsschichten wiederverwendet werden, sofern die Gewinnung so erfolgt, dass das Material nicht mit anderen Stoffen vermischt wird. Wenn diese Voraussetzungen nicht zutreffen, können die Strassenaufbruchmaterialien allenfalls durch eine Stabilisierung mit hydraulischen und/oder bituminösen Bindemitteln im Ortsmischverfahren (Bodenfräse) verbessert werden.

Nicht an Ort und Stelle verwertbare Aushub- und Ausbruchmaterialien sind einer Brech- und Sortieranlage zuzuführen und dort zu einem Sekundärbaustoff aufzubereiten.

#### 9.3.1 VERWERTUNG VON BAUSCHUTT

Als Bauschutt werden Abbruchmaterialien von Baustellen bezeichnet, die nach der Technischen Verordnung über Abfälle (TVA) ohne weitere Behandlung auf Inertstoffdeponien abgelagert werden dürfen oder zu Sekundärrohstoffen aufbereitet und recycelt werden können ([Abbildung 9.15](#)).

Nach Art und Herkunft des Bauschuttes werden die folgenden Materialgruppen unterschieden: *Ausbauasphalt* (Belagsaufbruch und Fräsasphalt); *Strassenaufbruch* (Kiessand oder hydraulisch stabilisierte Schichten mit geringen Mengen an anorganischem Erdmaterial, Pflasterungen, Abschlüsse, Beton); *Betonabbruch* sowie *Mischabbruch* (Gemisch mineralischer Fraktionen von Massivbauteilen wie Beton, Backstein-, Kalksandstein- und Natursteinmauerwerk).

Von einer gemeinsamen Arbeitsgruppe der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)\* und des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins (SIA)\* sind [Richtlinien](#) für die Aufbereitung von Bauschutt zu Sekundärbaustoffen und deren Verwendung im Strassenoberbau erarbeitet worden. Mit der Anwendung dieser Normen wird ein möglichst hochwertiger Einsatz der Sekundärbaustoffe angestrebt, bei dem die materialspezifischen Eigenschaften optimal genutzt werden. Wo möglich, sollen die rückgewonnenen Baustoffe im gleichen Anwendungsbereich wiederverwendet werden.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die aus Bauschuttfraktionen rückgewonnenen Sekundärbaustoffe im Vergleich zum Primärmaterial erhöhte Schadstoffanteile enthalten können, die

\* Die zitierten Normen und Richtlinien (SIA, SN, VSS) können bei den entsprechenden Geschäftsstellen bezogen werden:

SIA: Schweiz. Ingenieur und Architekten-Verein, Postfach, 8039 Zürich

VSS: Vereinigung Schweiz. Strassenfachleute, Seefeldstr. 9, 8008 Zürich



**Tabelle 9.7: Stoffliche Zusammensetzung der Sekundärbaustoffe und gewässerschutzbedingte Einschränkungen in Funktion des vorgesehenen Einsatzes (SN 640 740)\***

	SEKUNDÄRBAUSTOFF						
	Asphaltgranulat	Recycling-Kiessand P	Recycling-Kiessand A	Recycling-Kiessand B	Stabi-Granulat	Betongranulat	Mischabbruchgranulat
<b>STOFFLICHE ZUSAMMENSETZUNG (Angaben in Gewichts-%)</b>							
	Vorwiegend Asphaltgranulat  Anteil Kiessand maximal 20%	Kiessand mindestens 95%  Summe Asphalt-, Stabi- und Betongranulat maximal 5%	Vorwiegend Kiessand  Anteil Asphaltgranulat maximal 30%  Summe Stabi- und Betongranulat maximal 7%	Vorwiegend Kiessand  Anteil Asphaltgranulat maximal 7%  Summe Stabi- und Betongranulat maximal 20%	Vorwiegend Stabi-Granulat  Anteil Asphaltgranulat maximal 7%	Vorwiegend Betongranulat  Anteil Asphaltgranulat maximal 7%	Vorwiegend mineralische Fraktionen. Anteil Asphaltgranulat maximal 7%
<b>EINSATZ IN ...</b>							
AB-Beläge und HMF	keine gewässerschutzbedingten Einschränkungen		bautechnisch ungeeignet	aus umweltrelevanten Gründen nicht erwünscht			
Betonbeläge	bautechnisch ungeeignet	keine gewässerschutzbedingten Einschränkungen	bautechnisch ungeeignet			keine gewässerschutzbedingten Einschränkungen	bautechnisch ungeeignet
Bituminös stabilisierte Schichten	Gewässerschutzbereiche A, B, C. Oberflächenbehandlung oder Deckschicht	keine gewässerschutzbedingten Einschränkungen		Umweltverträglichkeit im Einzelfall nachweisen	aus umweltrelevanten Gründen nicht erwünscht		
Hydraulisch stabilisierte Schichten	aus umweltrelevanten Gründen nicht erwünscht	keine gewässerschutzbedingten Einschränkungen	aus umweltrelevanten Gründen nicht erwünscht	keine gewässerschutzbedingten Einschränkungen			Gewässerschutzbereiche A, B, C. Oberflächenbehandlung oder Deckschicht
Nicht gebundene Fundamentsschichten	Gewässerschutzbereiche B, C. Oberflächenbehandlung oder Deckschicht	keine gewässerschutzbedingten Einschränkungen	Gewässerschutzbereiche A, B, C. Oberflächenbehandlung oder Deckschicht		Gewässerschutzbereiche B, C. Oberflächenbehandlung oder Deckschicht	Gewässerschutzbereich C. Oberflächenbehandlung oder Deckschicht	

\*Bemerkung: Nach der Richtlinie zur Verwertung mineralischer Bauabfälle des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) unterliegt Recycling-Kiessand P keinen gewässerschutzbedingten Einschränkungen; die übrigen Sekundärbaustoffe dürfen in nicht gebundenen Fundamentsschichten nur unter bindemittelgebundenen Deckschichten eingesetzt werden.

unter gewissen Bedingungen die Umwelt gefährden (siehe [Kapitel 9.3.6](#)). In der Praxis kann ein Schadstoffaustrag im allgemeinen mit geeigneten Massnahmen soweit eingeschränkt werden, dass dieser für die Umwelt keine Gefährdung darstellt. Die Einsatzbereiche der Sekundärbaustoffe wurden deshalb so festgelegt, dass aufgrund des heutigen Wissensstandes angenommen werden darf, dass allfällig ausgewaschene Schadstoffe Boden und Gewässer nicht in unzulässigem Mass belasten. Daraus ergeben sich die in [Tabelle 9.8](#) angegebenen Einsatzbereiche und die gewässerschutzbedingten Einschränkungen.

Grundsätzlich gelten für Beläge, Tragschichten und Fundamentsschichten, die unter Mitverwendung von Sekundärbaustoffen hergestellt werden, die Anforderungen der einschlägigen SN-Normen uneingeschränkt. Die Eignung der Sekundärbaustoffe für den vorgesehenen Verwendungszweck ist nachzuweisen.

### 9.3.2 AUSBAUASPHALT [SN 640 741]

Unter Ausbauasphalt verstehen wir bituminöses Belagsmaterial, das bei Reparatur-, Unterhalts- und Erneuerungsmassnahmen in Form von Belagsaufbruch oder Kaltfräsgut anfällt. Die Verlagerung der strassenbaulichen Aktivitäten vom Neubau zum Ausbau und zur Instandsetzung bestehen der Strassen bringt mit sich, dass sehr grosse Mengen an Ausbauasphalt anfallen, deren umweltverträgliche Entsorgung in geordneten Deponien – oder besser deren Wiederverwendung – zu einer wichtigen Aufgabe geworden ist. Man schätzt, die Menge des anfallenden Ausbauasphaltes werde bis zum Jahr 2000 auf etwa 2 Millionen Tonnen pro Jahr ansteigen.

Für die Verwertung von Ausbauasphalt steht die Wiederverwendung als Zuschlagstoff für die Herstellung von As-

phaltnischgut im Vordergrund. Nur bei einer Heissaufbereitung wird das Bindemittel reaktiviert, bei allen anderen Anwendungen werden die Asphaltgranulate zu blossen Mineralstoffen abgestuft. In der Regel wird man den bei Belagserneuerungen anfallenden Fräsasphalt für die Herstellung von Mischgut für hochwertige Asphaltbetondeckschichten (AB) und -tragschichten (HMT) verwenden und aus Belagsaufbruch aufbereitetes Mischgut für Tragschichten HMT und Asphaltfundationsschichten (HMF) einsetzen. Dies setzt voraus, dass man bei grösseren Instandsetzungsmassnahmen die Belägschichtenweise abfräst und selbst bei kleineren Arbeiten eine Aufteilung der Abbruchmaterialien in möglichst sortenreine Fraktionen anstrebt.

Forschungsarbeiten zum Thema Wiederaufbereitung von Ausbauasphalt haben erkennen lassen, dass Recyclingmischgut in asphalttechnologischer Hinsicht dem analogen Normalmischgut entspricht und in der Lage ist, die Anforderungen der einschlägigen Normen in allen Teilen zu erfüllen. Die Norm SN 640 431a «Asphaltbetonbelag» gilt denn auch für Beläge, die aus Recyclingmischgut hergestellt sind und macht hinsichtlich der Empfehlungen, Vorschriften und Anforderungen keinen Unterschied zwischen Mischgut aus neuen Mineralstoffen und Mischgut, dem Asphaltgranulat beigemischt worden ist.

Die Verfahrenstechnik des *Recycling-in-plant* hat einen beachtlichen Stand erreicht. Bei einer Kaltzugabe der Asphaltgranulate (Abbildung 9.18, Anlage 1) wird eine Erhitzung des Altmaterials dadurch erzielt, dass das Neumaterial in der Trockentrommel auf eine höhere Temperatur gebracht wird und eine Wärmeübertragung vom Mineralstoffgemisch auf den Altasphalt stattfindet. Bei diesem Verfahren ist der Anteil der Asphaltgranulate am Recyclingmischgut auf 20 bis 30 Prozent beschränkt. Grössere Altasphaltemengen lassen sich bei einer Warmzugabe der Asphaltgranulate (Abbildung 9.18, Anlage 2) im Recyclingmischgut unterbringen. Das auf 130 bis 140°C erhitzte Asphaltgranulat wird dem Wiegegefäss zugeführt und dort als zusätzliche Komponente verwogen. Wieviel Altmaterial dem Recyclingmischgut zugegeben werden kann, hängt u.a. von den Eigenschaften und der Homogenität der Asphaltgranulate ab; Richtwerte finden sich in der Tabelle 9.8.

**Tabelle 9.8: Anteile von Asphaltgranulat für verschiedene Mischgutsorten**

Mischgutsorten	Anteil Asphaltgranulat (Gew.%) bei	
	Kaltzugabe	Warmzugabe
Asphaltbetondeckschichten (AB)	10–15	20–30
Asphaltbetontragschichten (HMT)	15–25	40–60
Asphaltfundationsschichten (HMF)	20–30	50–80

Dank der bemerkenswerten Entwicklung des *Recycling-in-plant*, die weit rascher erfolgt ist als man erwartet hat, wäre es grundsätzlich möglich, 60 bis 70 Prozent des anfallenden Ausbauasphaltes durch Wiederaufbereitung zu entsorgen. Vorläufig fehlt allerdings der Markt, auf dem die entsprechenden Mengen Recyclingmischgut abgesetzt werden können. Ein erfolgreicher Weg, um mehr Ausbauasphalt zu verwerten und gleichzeitig erhebliche Mengen an Mineralstoffen einzusparen, besteht in der Anwendung von Asphaltfundationsschichten (HMF) anstelle von Kiessandfundationsschichten. Für HMF-Mischgut können bei Warmzugabe problemlos bis 80 Gew.% Asphaltgranulate zugesetzt werden, und eine Asphaltfundationsschicht entspricht hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit einer 2.5 bis 3 mal so dicken Kiessandfundationsschicht.

Ein weiterer Anwendungsbereich für Asphaltgranulate ist die bituminöse Stabilisierung im Zentralmischverfahren (stationäre Mischanlage oder fahrbarer Mischfertiger) oder im Ortsmischverfahren (Bodenfräse). In der Regel werden Bitumenemulsionen verwendet; um das Brechverhalten zu steuern und eine höhere Standfestigkeit zu erzielen, wird vielfach eine geringe Menge Zement zugesetzt.

Asphaltgranulat ist ohne zusätzliche Baustoffe nur schwer zu verdichten; für den Einsatz in nicht gebundenen Fundationsschichten ist ein Mineralstoffgemisch aus Kiessanden und höchstens 30 Gew.% Granulat zu verwenden. Hingegen eignet sich Asphaltgranulat gut für die Herstellung von Planien und von Tragschichten für Güterstrassen. Beim Walzen wird eine feste Verspannung der einzelnen Granulate erzielt, die sich in einer erhöhten Standfestigkeit auswirkt. Mit der Zeit werden die Granulate verklebt, und es resultiert eine geschlossene Oberfläche mit relativ guter Verschleissfestigkeit.

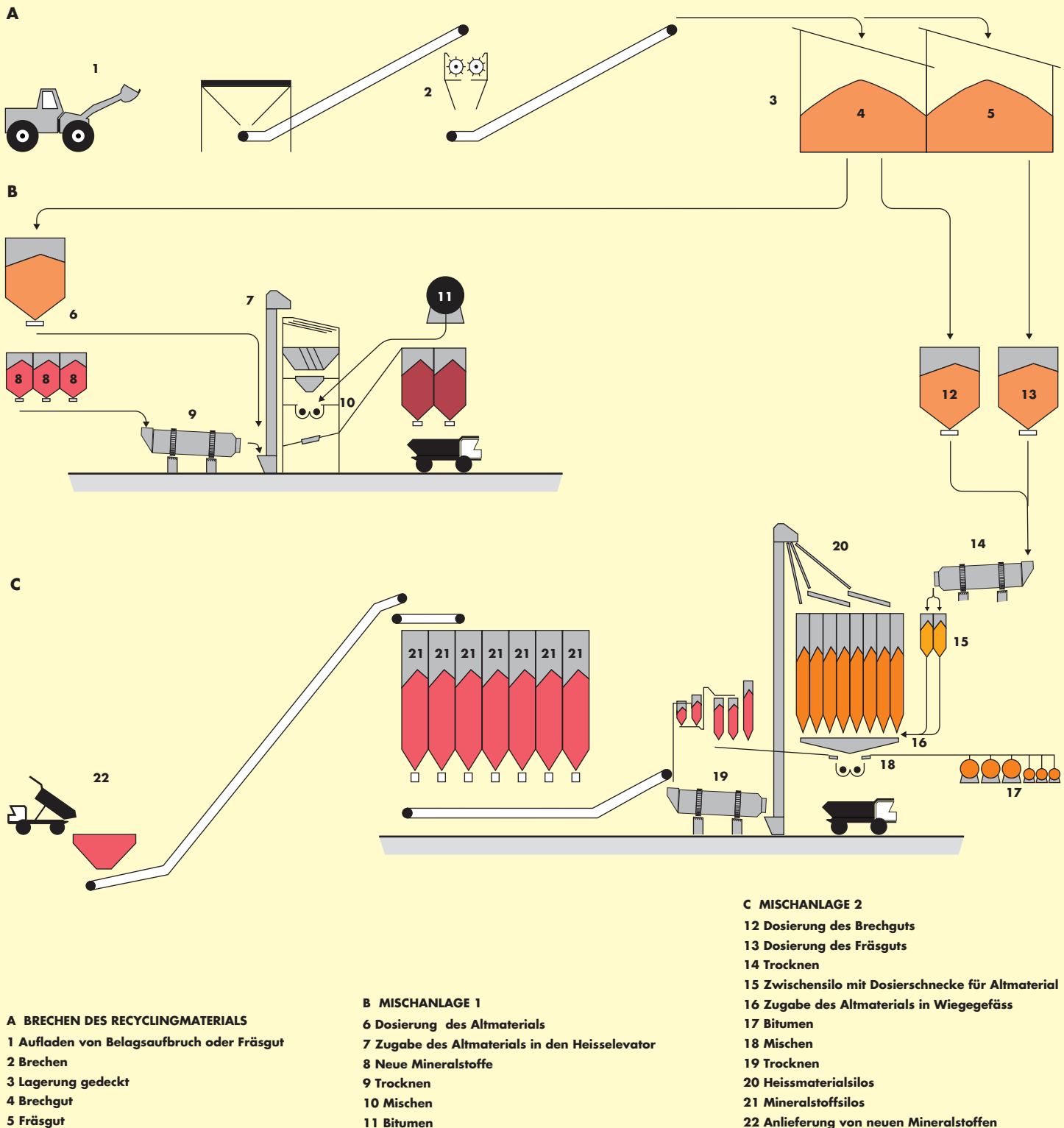
### 9.3.3 STRASSEN-AUFBRUCH [SN 640 742]

Als Recycling-Kiessand wird der durch Sortieren und/oder Brechen von Strassenaufbruch aus nicht gebundenen Fundationsschichten (beispielsweise Kiessand-Fundationsschichten, Schottertragschichten, Steinbett) hergestellte Sekundärbaustoff bezeichnet. Im Hinblick auf die Verwertung des Sekundärbaustoffes sind die folgenden Recycling-Kiessande zu unterscheiden:

- *Recycling-Kiessand P* entspricht dem primär verwendeten Kiessand. Der Anteil an Asphalt-, Stabi- und Betongranulat darf gesamthaft höchstens 5 Gew.% betragen.
- *Recycling-Kiessand A* kann bis zu 30 Gew.% Asphaltgranu-



### Belagslieferwerk mit zwei Mischanlagen



9.18

Abbildung 9.18: Materialfluss-Schema eines Belagslieferwerkes mit zwei Mischanlagen.  
 Anlage 1 (B): Kaltzugabe der Asphaltgranulate in den Heisselevator.  
 Anlage 2 (C): Warmzugabe der Asphaltgranulate in das Wiegegefäß.

lat enthalten. Der Anteil an Stabi- und Betongranulaten darf höchstens 7 Gew. % betragen.

- *Recycling-Kiessand B* kann bis zu 20 Gew. % Stabi- und Betongranulat enthalten. Der Anteil an Asphaltgranulat darf höchstens 7 Gew. % betragen.

Als Stabi-Granulat wird der durch Brechen von Strassenaufbruch aus hydraulisch stabilisierten Fundations- und Tragschichten hergestellte Sekundärbaustoff bezeichnet. Stabi-Granulat besteht vorwiegend aus hydraulisch gebundenen Mineralstoffen. Der Anteil an Asphaltgranulat darf höchstens 7 Gew. % betragen.

Bei teilweiser oder vollständiger Oberbaurerneuerung werden in der Regel vorerst die Asphaltbeläge und Fundations-schichten ausgebaut und zum nächsten Asphaltmischwerk geführt; in einem zweiten Schritt erfolgt dann das Aufbrechen des verbleibenden Strassenkörpers. Der Strassenaufbruch besteht im Fall eines Aufbaus mit Kiessandfundationsschicht vorwiegend aus nicht gebundenen Mineralstoffen, allenfalls vermischt mit Betonbrocken und Belagsabschlüssen (sofern diese nicht vorgängig entfernt und zur Wiederverwendung deponiert worden sind). Wenn Strassenaufbruch nicht direkt auf der Baustelle wiederverwendet werden kann, wird er meist in stationären oder mobilen Brechanlagen zu einem Recyclingkies aufbereitet, dessen Grösstkorn je nach Verwendungszweck zwischen 32 und 63 mm, in einzelnen Fällen bis 100 mm beträgt. Je nach Art des angelieferten Materials erfolgt die Aufbereitung durch Sortieren und Ausscheiden des Überkorns oder durch Zerkleinern des Materials auf die anwendungsspezifische maximale Korngrösse.

Recycling-Kiessand P unterliegt keinen gewässerschutzbedingten Einschränkungen und kann, gleich wie das entsprechende Primärmaterial, als Zuschlagstoff für die Herstellung von Mischgut für Asphalttragschichten HMT und -fundationsschichten HMF, für bituminös und hydraulisch stabilisierte Schichten sowie für nicht gebundene Schichten eingesetzt werden. Hinsichtlich seiner Verdichtbarkeit entspricht Recycling-Kiessand P einem natürlichen Kiessand gleicher Korngrößenverteilung. Recycling-Kiessand A (mit Anteil Asphaltgranulat bis zu 30 Gew. %) eignet sich für Stabilisierungen mit bituminösen Bindemitteln, hingegen ist eine Verwendung für hydraulisch stabilisierte Schichten aus umweltrelevanten Gründen nicht erwünscht. Recycling-Kiessand B (Anteil Stabi- und Betongranulate bis zu 20 Gew. %) und Stabi-Granulat kann uneingeschränkt in hydraulisch stabilisierten Fundations- und Tragschichten eingesetzt werden.

Recycling-Kiessande A und B dürfen für nicht gebundene Fundationsschichten verwendet werden; um unzulässige Auswaschungen zu verhindern, muss eine geeignete Versiegelung (Oberflächenbehandlung oder Deckschicht) aufgebracht werden. Recycling-Kiessande mit grösseren Anteilen an Asphaltbeziehungsweise Betongranulaten sind schwer verdichtbar und sollen in Schichten von höchstens 20 bis 30 cm eingebaut und mit leistungsfähigen Geräten bei optimalem Wassergehalt verdichtet werden.

Für hydraulisch stabilisierte Fundationsschichten sind vielfach feinkörnige Bodenmaterialien verwendet worden, die in nicht gebundenem Zustand frostgefährlich und für Kiessandfundationsschichten ungeeignet sind. Stabi-Granulate sollen deshalb vor allem in hydraulisch stabilisierten Fundations- und Tragschichten eingesetzt werden.

#### 9.3.4 BETONABBRUCH [SN 640 743]

Betonabbruch wird durch Abbrechen oder Fräsen von bewehrten oder unbewehrten Betonkonstruktionen und -belägen gewonnen. Die Aufbereitung von Betonabbruch zu Betongranulat erfolgt durch Brech- und Sortieranlagen mit integrierter Ausscheidung der Bewehrung. Die VSS-Norm SN 640 743 enthält Richtlinien für die Aufbereitung des Betonabbruches zu Betongranulat sowie für die Verwertung des Granulates zur Herstellung von Belägen, Tragschichten und Fundationsschichten im Strassenbau. Die Verwendung von Betongranulaten zur Herstellung von Recyclingbeton ist Gegenstand der Empfehlung SIA 162/4.

Über die Verwendung von Betongranulaten 0/63 mm beziehungsweise 0/100 mm als Kiessandersatz für nicht gebundene Fundationsschichten liegen mehrjährige Erfahrungen vor. Die technischen Anforderungen an das Granulat (beispielsweise normkonforme Korngrößenverteilung) und an die eingebauten Schichten lassen sich in der Regel ohne weiteres erfüllen. Zu beachten ist, dass Betongranulate, wie gebrochene Kiessande, schwerer verdichtbar sind als runde Kiessande. Das Verdichten hat deshalb in dünnen Schichten mit leistungsfähigen Geräten bei optimalem Wassergehalt zu erfolgen. Um eine Gefährdung der Gewässer zu vermeiden, dürfen Betongranulate in nicht gebundener Form nur unter einer Oberflächenbehandlung oder Deckschicht eingesetzt werden, und es ist eine geeignete Oberflächenbehandlung oder Deckschicht aufzubringen. Aus Korrosionsschutzgründen dürfen metallische Werkleitungen keinen direkten Kontakt zu Betongranulaten





9.19

haben. Es wird empfohlen, einen Sicherheitsabstand von 3 Meter einzuhalten oder geeignete Schutzmassnahmen zu treffen. Betongranulate eignen sich gut zur Herstellung von hydraulisch stabilisierten Schichten (meist im Zentralmischverfahren), und es bestehen keine gewässerschutzbedingten Einschränkungen.

Die Ergebnisse von Forschungsarbeiten auf der Nationalstrasse A3 im Kanton St. Gallen über die Herstellung von Betondecken aus Betonrecyclingmaterial haben gezeigt, dass für den Einsatz des Betonabbruchs zur Herstellung von hochwertigen Betonbelägen eine ausreichende Gleichmässigkeit der Betongranulate vorausgesetzt werden muss. In der Regel genügen nur jene Betongranulate den Anforderungen der einschlägigen Normen, welche aus abgebrochenen Betonbelägen rückgewonnen worden sind. Zur Erzielung eines qualitativ hochwertigen Betons sind die Granulate in die Fraktionen 0/4, 4/8, 8/16 und 16/32 mm aufzuteilen. Bei zu hohem Mehrkornanteil der Fraktion 0/4 mm muss diese durch Rund- und/oder Brechsand ersetzt werden. Vor der Verwendung sind die Granulate während mindestens 48 Stunden mit Wasser zu benetzen oder zu berieseln, und für die Berechnung des wirksamen Wasserzementwertes ist die im Vergleich zu den natürlichen Mineralstoffen grössere Saugfähigkeit der Betongranulate zu berücksichtigen. Bei Verwendung der Granulate für bewehrte Betonbeläge muss die Chloridionen-Konzentration im Altbeton überprüft werden.

Die Eignung von Betongranulat zur Herstellung von Heissmischgut für Asphaltbetontragschichten und Fundationsschichten zu untersuchen, war Gegenstand von weiteren

Forschungsarbeiten auf der Nationalstrasse N3 im Kanton St. Gallen. Petrographische Untersuchungen haben erkennen lassen, dass bezüglich der Festigkeit derartiger Sekundärbaustoffe keine Bedenken anzubringen sind. Zu beachten ist allerdings, dass Betongranulate im Vergleich zu den meisten natürlichen Mineralstoffen eine höhere Porosität und kapillare Saugfähigkeit aufweisen, was eine um etwa 0.5 Gew.% höhere Bindemitteldosierung bedingt. Aus bautechnischer Sicht können Betongranulate, meist in Verbindung mit Primärstoffen zur Verbesserung der Korngrössenverteilung und/oder mit Asphaltgranulat, ohne weiteres für Asphaltbetontragschichten und -fundationsschichten eingesetzt werden. Allerdings sprechen umweltrelevante Gründe dagegen, weil die Kombination von hydraulisch und bituminös gebundenen Materialien eine Wiederverwertung bei einem späteren Aufbruch erschwert. Dies trifft auch für eine Stabilisierung der Betongranulate mit bituminösen Bindemitteln zu.

#### 9.3.5 MISCHABBRUCH [SN 640 744]

Als Mischabbruch wird ein Gemisch mineralischer Fraktionen von Massivbauteilen wie Beton, Backstein-, Kalksandstein- und Natursteinmauerwerk bezeichnet. Durch geeignete Rückbauverfahren und -techniken muss dafür gesorgt werden, dass dieser Mischabbruch tatsächlich nur mineralische Fraktionen enthält und frei von Fremdstoffen ist. Da im angelieferten Abbruchmaterial trotz sorgfältiger Sortierung auf der Baustelle noch bautechnisch unerwünschte Stoffe vorhanden sein können, kommt der Eingangskontrolle mit visueller Prüfung

**Abbildung 9.19: Brech- und Sortieranlage.** Auf dem Bild wird die Anlage mit Betonabbruch (im Vordergrund) beschickt. Rechts ein Depot von Betongranulat.

und dem Ausscheiden unzulässiger Fremdstoffe besondere Bedeutung zu. Optimal ist der Einsatz einer Brech- und Sortieranlage, bei der allfällige Fremdstoffe (z.B. Holz, Isolationen, Papier, Kunststoffe) abgesaugt werden können ([Abbildung 9.19](#)). Durch Brechen und Sieben werden entweder Korngemische 0/32, 0/45 oder 0/63 mm hergestellt, oder man trennt die Mischabbruchgranulate in Einzelfractionen. Die Fraktionierung ist insofern vorteilhaft, als sich aus den getrennt gelagerten Komponenten gezielt Gemische mit relativ homogener Korngrößenverteilung herstellen lassen. Die Norm SN 640 744 enthält Richtlinien für die Aufbereitung des Mischabbruchs zu Mischabbruchgranulat sowie für die Verwertung des Granulates zur Herstellung von Fundations- und Tragschichten im Strassenbau. Mischabbruchgranulat im Sinne dieser Norm darf höchstens 7 Gew.% Asphaltgranulat enthalten, und Verunreinigungen durch Fremdstoffe (z.B. Holz, Papier, Kunststoffe) dürfen höchstens 1 Gew.% ausmachen. Die Verwendung von Mischabbruchgranulaten zur Herstellung von Recyclingbeton ist Gegenstand der Empfehlung SIA 162/4.

Mischabbruchgranulat ist kaum je von homogener und bekannter Zusammensetzung, und die Verwertung ist problematischer als die der anderen aus Bauschutt rückgewonnenen Sekundärbaustoffe. Aus umweltrelevanten und bautechnischen Gründen beschränkt sich der Einsatz zur Hauptsache auf hydraulisch stabilisierte und nicht gebundene Fundationschichten. Ohne Zugabe von natürlichen Mineralstoffen sind die in den einschlägigen Normen enthaltenen Anforderungen meist nur schwer zu erfüllen. Als optimaler Anwendungsbereich für Mischabbruchgranulat hat sich die Stabilisierung mit hydraulischen Bindemitteln im Zentralmischverfahren erwiesen. Die technischen Anforderungen an die zu stabilisierenden Bodenmaterialien (z.B. Korngrößenverteilung) sind relativ tief, so dass es in den meisten Fällen möglich sein wird, durch die Verfestigung mit einem hydraulischen Bindemittel eine normkonforme Stabilisierung herzustellen. Hydraulisch stabilisierte Mischabbruchgranulate erfordern das Aufbringen einer geeigneten Oberflächenbehandlung oder Deckschicht.

Untersuchungen haben gezeigt, dass sich aus Mischabbruchgranulat auch normkonforme Asphaltfundationsschichten (HMF) herstellen lassen. Wie früher erwähnt, ist diese Kombination von Mischabbruchgranulat mit bituminösen Bindemitteln aus umweltrelevanten Gründen ebenso unerwünscht wie eine bituminöse Stabilisierung der Granulate. Nicht gebundene Fundationsschichten mit Verwendung von Mischabbruchgranulaten müssen mit einer geeigneten Oberflächenbehandlung oder Deckschicht versiegelt werden.

### 9.3.6 RECYCLINGBETON

Bei Recyclingbeton wird zwischen klassifiziertem und nichtklassifiziertem Recyclingbeton unterschieden. *Klassifizierter Recyclingbeton* gemäss SIA Norm 162/4 wird aus Betongranulat mit oder ohne Zugabe von natürlichen Zuschlägen hergestellt. *Nichtklassifizierter Recyclingbeton* ohne besondere Qualitätseigenschaften wird aus Betongranulat, Mischabbruchgranulat, Recyclingkiessand oder Mischungen daraus, mit oder ohne Zusatz von natürlichen Zuschlägen, hergestellt.

#### 9.3.6.1 Klassifizierter Recyclingbeton

Die Eigenschaften von aus Betongranulat hergestelltem Beton wurden in zahlreichen Labor- und Feldversuchen geprüft. Qualitätseinbussen gegenüber Normalbeton sind durch den relativ hohen Anteil an altem Feinstmörtel der Fraktion 0–4 mm bedingt. Dieser weist gegenüber natürlichen Zuschlagstoffen eine höhere Porosität, ein geringeres spezifisches Gewicht und eine kleinere Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischen Einwirkungen wie Druck, Bruch und Abrieb auf. Diese Nachteile können aber durch einen Ersatz der Kornfraktion 0–4 mm durch Natursand stark vermindert werden. Aus [Abbildung 9.20](#) geht hervor, dass die qualitativen Betoneigenschaften des Recyclingbetons in der Regel tiefer liegen als bei entsprechendem Normalbeton mit natürlichen Zuschlagstoffen. Dabei erzielt Recyclingbeton mit Natursand bessere Eigenschaften als Beton mit ausschliesslich Betongranulat.

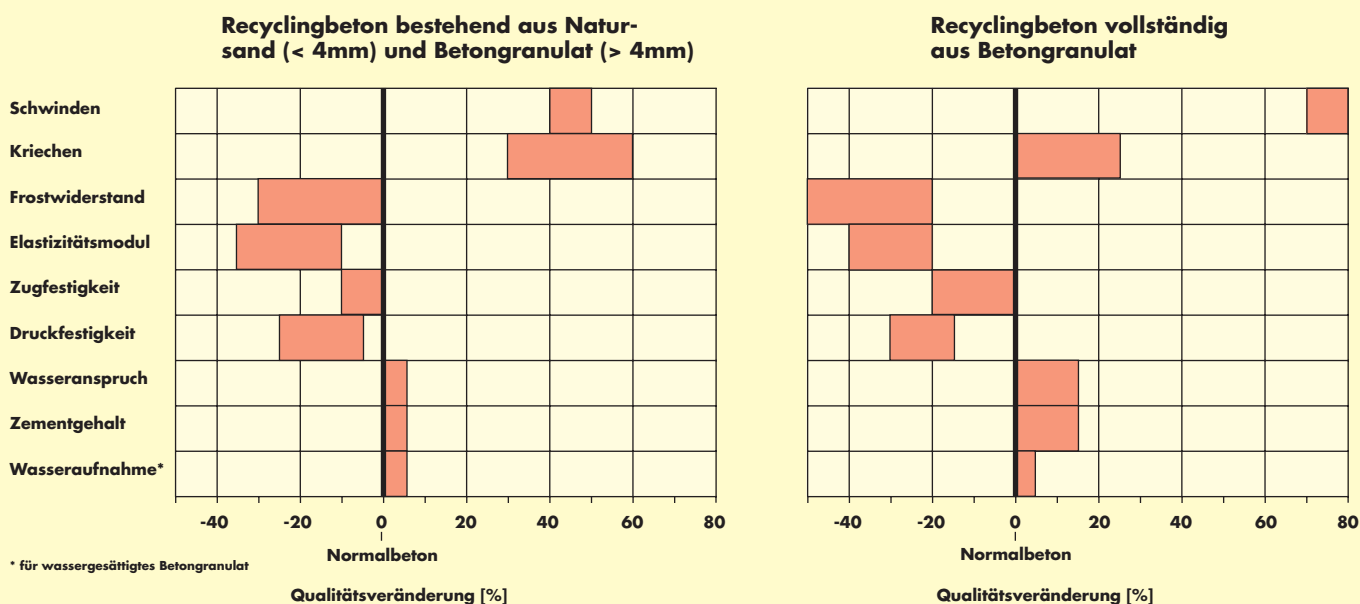
*Anwendung von klassifiziertem Recyclingbeton:* Die Anforderungen an Beton mit hohen Festigkeiten und/oder besonderen Eigenschaften sind ohne Zugabe von natürlichen Zuschlägen und spezifischen Rezepturen nur schwer zu erfüllen. Für solche Betonsorten sind schlüssige Vorversuche erforderlich. Recyclingbeton ist vor allem für solche Bauteile vorzusehen, bei denen das Verformungsverhalten keine wesentliche Rolle spielt und keine besonders hohen Festigkeiten verlangt werden. Die praktische Erfahrung hat gezeigt, dass klassifizierter Recyclingbeton wie Normalbeton gemischt, transportiert, eingebaut, verdichtet und nachbehandelt werden kann.

*Druckfestigkeit:* Die Druckfestigkeit des Recyclingbetons ist infolge des Mörtelbestandteils des Betongranulats geringer als beim vergleichbaren Beton mit Normalzuschlag ([Abbildung 9.20](#)).

*Formänderungsverhalten:* Infolge der erhöhten Feinstmörtelmenge im Recyclinggranulat und der im Vergleich zu Normal-



## Qualitätseinbusse von Recyclingbeton gegenüber Normalbeton



9.20

beton leicht höheren Zementleimmenge nehmen sowohl das Kriech- als auch das Schwindverhalten deutlich zu. Das Spannungs-Dehnungsverhalten von Recyclingbeton ist im Verlauf ähnlich wie dasjenige von Vergleichsbeton mit natürlichem Sand-/Kiesgemisch.

**Elastizitätsmodul:** Aus [Abbildung 9.20](#) geht hervor, dass auch der E-Modul von Recyclingbeton tiefer ist. Dieser ist abhängig vom E-Modul des Feinstmörtels und vom E-Modul des Betongranulats der Körnung 4–32 mm.

### 9.3.6.2 Nichtklassifizierter Recyclingbeton

Hier werden keine besonderen Qualitätseigenschaften verlangt. Das anfallende Betongranulat kann ohne Aufbereitung und Ersatz des Feinanteils eingesetzt werden. Anwendungsbeispiele sind beispielsweise Unterlagsbeton, Sauberkeitsschichten, Füll- und Hüllbeton, Rühlwandausfachungen, Überbeton oder Böschungssicherungen.

### 9.3.7 SCHADSTOFFBELASTUNG VON BAUABFÄLLEN

Bei den Ausgangsmaterialien von Sekundärbaustoffen handelt es sich um Materialien, die durch ihren Primäreinsatz (z.B. Strassenbelag) oder durch Zugaben von organischen oder anor-

ganischen Verbindungen (Farbanstriche, Betonzusätze) eine gewisse Belastung an potentiellen Schadstoffen aufweisen. Die heute bekannten Daten über die Schadstoffbelastung beziehen sich vorwiegend auf die löslichen beziehungsweise mobilisierbaren Stoffe, welche durch Auslaugungsversuche in sogenannten Eluatn erfasst werden. Gesamtgehaltsbestimmungen sind nur vereinzelt vorhanden und können nicht als repräsentativ gelten. Es werden deshalb vor allem Daten aus

**Tabelle 9.9: Minimale Gesamtgehalte einiger relevanter Schadstoffe in verschiedenen Abfallstoffen\***

(mg/kg)	ABFALLSTOFF					
	RKA	RKB	BG	AG	RKP	MG
Nitrat	1.5	–	40	50	1	150
Chlorid	3	2	50	10	1	100
Sulfat	40	100	500	300	30	2000
TOC	2	2	50	40	0.5	30
Phenole	0.02	0.2	0.05	0.01	–	0.4
AOX	0.1	0.02	0.04	0.6	<0.01	0.3

\* aus Elutionsdaten berechnete minimale Gesamtgehalte in [mg/kg] einiger relevanter Schadstoffe in verschiedenen Materialien (Abkürzungen siehe Text). Die Angaben sind als Grössenordnungsangaben zu verstehen. Daten aus Säulenversuchen. Quelle: Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (AGW) Zürich, 1993.

AOX = adsorbierbare organische Halogenverbindungen  
 TOC = totaler organischer Kohlenstoffgehalt  
 RKA = Recycling-Kiessand A    RKB = Recycling-Kiessand B  
 RKP = Recycling-Kiessand P    BG = Betongranulat  
 AG = Asphaltgranulat    MG = Mischabbruchgranulat

**Abbildung 9.20: Qualitätseinbussen von Recyclingbeton aus Natursand und Betongranulat-Zuschlägen sowie von Recyclingbeton mit ausschliesslich Betongranulat im Vergleich zu Beton mit natürlichen Zuschlagstoffen.**

**Tabelle 9.10: Mittlere Konzentrationen einiger Schadstoffe sowie pH und Leitfähigkeit im Eluat von Abfallstoffen \***

PARAMETER	EINHEIT	RKA	RKA+B	RKB	RKB+A	BG	AG	RKP	Wandkies	MG
pH		11	10.8	12.1	12.3	11.9	8	10.5	7.7	9.5
		10.7	10.7	12.0	12.2	11.8	8.1	10.2	7.7	9.7
Leitfähigkeit	µS/cm	415	468	2885	4175	3013	618	234	590	2336
		304	334	2200	3106	2402	403	200	630	1436
Ammonium	mg/l	0.22	0.32	0.025	0.21	n.a.	n.a.	0	0.01	n.a.
		0.12	0.16	0.01	0.10	n.a.	n.a.	0	0.01	n.a.
Nitrat	mg/l	8.7	9.3	9.05	27.6	11.8	1.42	6.72	31.4	60
		6.76	7.25	6.96	29.6	8.15	3.02	5.88	31.73	35
Chlorid	mg/l	10.12	16.0	8.32	16.8	27.6	24.3	6.73	19	60
		7.3	10.5	6.58	18.3	16.7	14.0	5.77	19.27	32
Sulfat	mg/l	49.8	81.3	9.8	4.8	8	122.3	44.9	25.6	1400
		38	58	15.2	10.95	6.3	66.5	34.73	25.27	950
TOC	mg/l	4.79	15.1	3.1	9.0	6.8	17.3	1.42	0.76	32
		2.82	9.1	1.95	5.3	4.5	9.2	1.25	0.65	17
Phenole	mg/l	0.031	0.48	0	0.312	0.024	0	0	0	0.29
		0.013	0.263	0	0.155	0.024	0	0	0	0.16
AOX	mg/l	0.102	0.105	0.009	0.011	0.027	0.088	0.012	0.007	0.08
		0.056	0.066	0.011	0.008	0.034	0.055	0.011	0.006	0.055

\* Gemessene mittlere Konzentrationen einiger Schadstoffe sowie pH und Leitfähigkeit im Eluat bei W/F 0.2–0.4 (oberer Wert) und W/F = 1–1.1 (unterer Wert) in Wandkies, Recycling-Kiessand A (RKA), Recycling-Kiessand A mit Beton (RKA+B), Recycling-Kiessand B (RKB), Recycling-Kiessand B mit Asphalt (RKB+A), Recycling-Kiessand P (RKP), Asphaltgranulat (AG), Betongranulat (BG) und Mischabbruchgranulat (MG). n.a. = nicht analysiert. Daten aus Säulenversuchen. Quelle: Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (AGW), Zürich, 1993.

Eluatversuchen vorgestellt, welche für die Beurteilung der Umweltgefährdung in erster Linie massgeblich sind. Die meisten Daten stammen aus Laborversuchen, meist aus sogenannten Säulenversuchen, bei denen im Gegensatz zu den herkömmlichen Versuchen das Probenmaterial vom Elutionsmittel (meist Wasser) durchflossen wird (Tabelle 9.9). Bei Feldversuchen werden eingebaute Sekundärbaustoffe von Meteorwasser durchsickert, welches aufgefangen, gemessen und analysiert wird. All diesen Versuchen ist eigen, dass nur wasserlösliche Komponenten erfasst werden, welche zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit denn auch in erster Linie relevant sind. Die bei diesen Versuchen ermittelten Belastungen durch potentielle Schadstoffe variieren je nach Herkunft beziehungsweise primärem Einsatz und petrographischer Zusammensetzung der Sekundärbaustoffe.

Es hat sich herausgestellt, dass neben den Schadstoffanteilen auch der pH des Eluats von Bedeutung ist, da er die Löslichkeit gewisser Schadstoffe stark beeinflusst. Dies gilt insbesondere für die Phenole und Schwermetalle, welche erst bei basischen respektive sauren Bedingungen in Lösung gehen. Der pH von betonhaltigen Sekundärbaustoffen liegt meistens deutlich über 7.

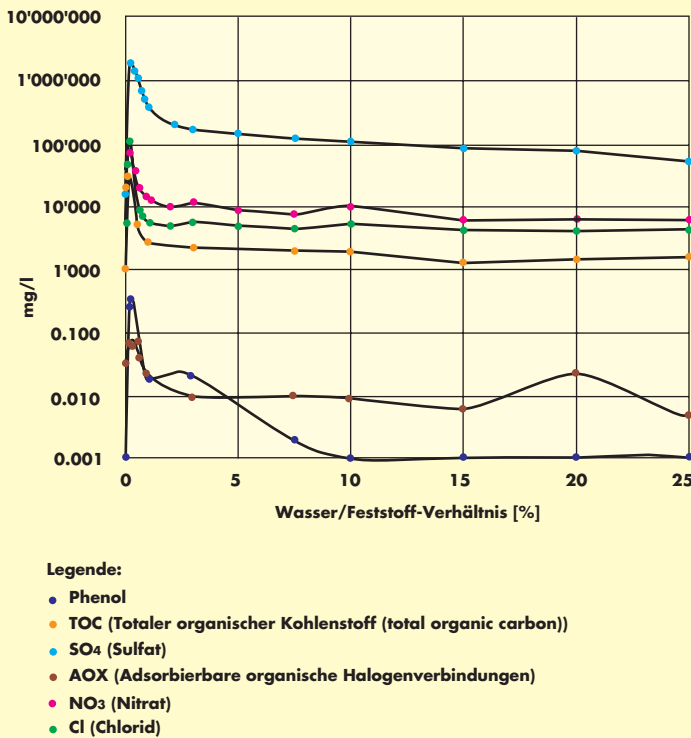
Die Schadstoffgehalte werden gemeinhin in bezug auf bestehende Grenz- oder Richtwerte beurteilt. Problematisch erwiesen sich bei zahlreichen Sekundärbaustoffen die Anteile

an organischen Substanzen (Tabelle 9.10). Diese werden gemeinhin nicht einzeln, sondern in Form von sogenannten Summenparametern erfasst: DOC oder TOC (gelöster oder gesamter organischer Kohlenstoff), AOX (absorbierbare halogenierte Kohlenwasserstoffe) und Phenole. Anorganische Komponenten, welche bei gewissen Materialien in grenz- oder richtwertüberschreitenden Mengen gelöst werden, sind Stickstoffverbindungen (Nitrat, Nitrit, Ammonium) und Sulfat. Letzteres ist ausschliesslich bei Mischabbruchgranulat ein Problem, in welchem es in Form von Gips vorhanden ist und entsprechend leicht ausgewaschen wird. Die Sickerwasserbelastungen variieren stark; gewisse organische Verbindungen können bestehende Grenzwerte um ein Hundertfaches überschreiten. Sowohl die Labor- wie auch die Felduntersuchungen haben ein konsistentes Bild des Auswaschverhaltens von Sekundärbaustoffen ergeben. Wichtig für die Beurteilung der Umweltverträglichkeit hat sich vor allem die Beobachtung herausgestellt, dass die Schadstoffkonzentration in Sickerwässern (Eluaten) zu Beginn des Auswaschprozesses stark erhöht ist, um dann relativ schnell abzufallen (Abbildung 9.21).

Neben eigentlichen Schadstoffen sind gewisse chemische oder physikalische Eigenschaften vorhanden, welche einerseits Hinweise auf erhöhte Schadstoffgehalte darstellen (Leitfähigkeit) oder aber deren Lösungsverhalten ungünstig beeinflussen beziehungsweise selbst umweltschädigend sein kön-

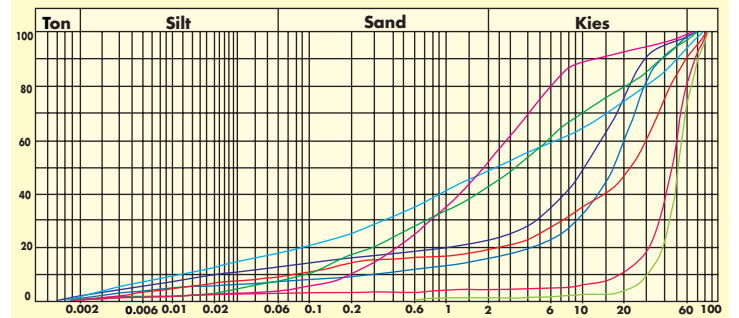


### Schadstoffgehalte in Eluat von Mischabbruchgranulat



9.21

### Kornverteilung in Altschottern



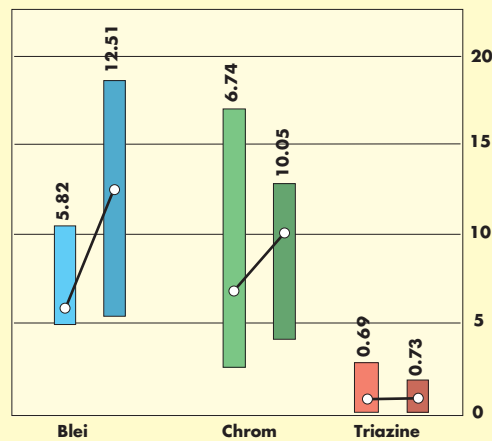
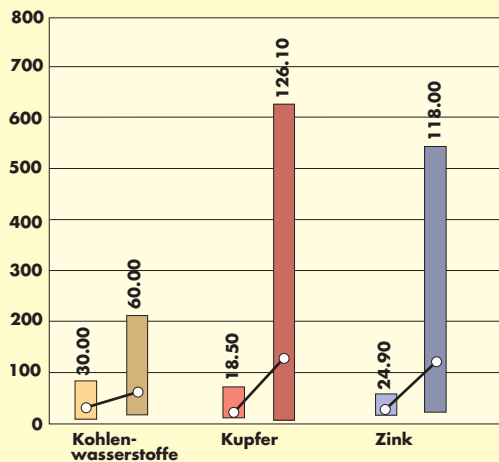
9.22

Tabelle 9.11: Chemische Zusammensetzung von Altschottern

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	C*
Rosé	63.5	9.0	5.3	6.7	1.2	0.0	1.8	1.1	8.3	0.64
Winterthur	55.0	1.8	3.8	17.9	2.7	0.5	0.9	0.3	16.8	2.7
Bollingen	49.3	2.9	6.3	19.2	2.0	0.4	1.0	5.3	18.2	2.4
Sins	50.3	3.1	1.9	22.5	1.0	0.0	0.6	0.6	19.4	0.68
Lyssach	47.1	2.6	3.8	23.5	0.7	0.3	0.6	5.1	20.7	4.8
Brugg	39.1	2.3	4.2	27.2	1.2	0.7	0.5	0.6	23.7	3.8
Zürich	27.2	1.2	1.7	36.8	1.7	0.1	0.3	1.8	30.2	1.2
Brugg	17.0	1.5	5.6	40.1	0.9	0.3	0.5	0.6	33.2	3.3
Steinbruch Balmholz	16.2	1.6	0.8	43.5	1.1	0.5	0.3	0.3	35.3	0.9

\* C = organischer Kohlenwasserstoff (Analysen: Zementwerke Vigier)

### Schadstoffgehalte in Altschottern der SBB



hell:  
Konzentrationsbereich  
für offene Strecken

Mittelwert

dunkel:  
Konzentrationsbereich  
für Weichenanlagen

Stoffkonzentrationen:  
für Kohlenwasserstoffe  
und Metalle (mg/kg),  
für Triazine (g/l)

9.23

Abbildung 9.21: Im Durchflusseluatversuch (Säulentest) gemessene Konzentrationen einiger relevanter Schadstoffe. Man beachte das Maximum bei geringen Wasser/Feststoff-Verhältnissen (W/F-Verhältnis,

siehe Seite 297) und den deutlichen Abfall mit Übergang in annähernd konstanten Wert bei höheren W/F-Verhältnissen. Quelle: Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (AGW) Zürich, 1993.

Abbildung 9.22: Fraktionsanteile in Altschottern (Laboruntersuchungen Geotest, 8 untersuchte Proben).

Abb. 9.23: Schadstoffgehalte in Altschottern der Schweizerischen Bundesbahnen. Quelle: Geotest 1994.

nen (pH). Obwohl Schwermetalle sicher in gewissen Sekundärbaustoffen in wesentlichen Anteilen (z.B. in Farben) vorhanden sind, haben sich ihre Gehalte in den Eluaten durchwegs als sehr tief herausgestellt. Dies ist auf die allgemein alkalische Zusammensetzung der Sickerwässer zurückzuführen, welche die Metalllöslichkeit stark herabsetzt.

Über den Zusammenhang zwischen Gesamtschadstoffbelastung von Sekundärbaustoffen und den Belastungen ihrer Sickerwässer bestehen kaum Daten. Es wurde deshalb versucht, aus den Eluaten, welche im Durchflussversuch aus verschiedenen Materialien gewonnen wurden, die Gesamtgehalte der Feststoffe zu berechnen (Tabelle 9.9). Diese Werte geben die Grössenordnungen wieder und sind als Minimalgehalte zu betrachten, da einerseits beim Eluatversuch nur lösliche Anteile erfasst werden, andererseits die vorhandenen Daten für einige Stoffe keine Berechnung der maximalen Eluierbarkeit erlauben. Die Tatsache, dass die Schadstoffbelastung mit steigendem [Wasser/Feststoff-Verhältnis](#)\* stark abnimmt, lässt deutlich werden, dass durch geeignete Massnahmen der Schadstoffaustrag reduziert oder gar verhindert werden kann (Aufbereitungsmethoden, Abdeckung oder Anwendung in gebundener Form). Die Massnahmen haben dabei vor allem zum Ziel, den langfristigen Schadstoffeintrag in die Hydrosphäre zu verhindern, was bedeutet, dass es primär um die Reduktion von Schadstofffrachten geht. Die anfänglich hohen Konzentrationen an bestimmten Schadstoffen werden in Kauf genommen. Hierbei gilt es auch zu berücksichtigen, dass die Zusammensetzung der Sickerwässer vor dem Eindringen in das Grundwasser mehr oder weniger starke Veränderungen erfährt, welche auf die Filtereffekte des ungesättigten Teils des durchsickerten Bodens zurückzuführen sind. Wenn diese Effekte auch kaum quantifizierbar sind, dürften sie im allgemeinen eine Reduktion der Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser zur Folge haben.

## 9.4 STOFFGRUPPE C: ALTSCHOTTER VON BAHNGLEISEN

### 9.4.1 DER BEGRIFF ALTSCHOTTER

Altschotter sind Gleisschotter, die wegen zuviel Feinanteilen mechanisch den an die Gleiskofferungen gestellten Anforderungen nicht mehr genügen. Die Gleisschotter müssen deshalb periodisch (alle 10–30 Jahre) ersetzt oder von ihren Feinanteilen befreit werden. Das Schienennetz der Schweiz umfasst etwa 10'000 Kilometer, wovon ein Teil pro Jahr vollständig umgebaut oder einer Schotterreinigung unterworfen wird. Von diesen Gleissanierungen fallen pro Jahr rund 600'000 Tonnen Altschotter verschiedener Zusammensetzungen an.

### 9.4.2 ZUSAMMENSETZUNG DER ALTSCHOTTER

*Kornverteilung:* Altschotter bestehen aus den primär eingebrachten Schottern (Fraktion 32 bis 45 mm), aus Feinanteilen, die vor allem durch die mechanische Beanspruchung entstehen oder von aussen eingetragen werden und aus mehr oder weniger Unterbaumaterial. Die [Abbildung 9.22](#) zeigt die Fraktionsanteile von Altschottern verschiedener Gleisbaustellen der SBB und dokumentiert die ausgeprägten Unterschiede der Korngrössenanteile.

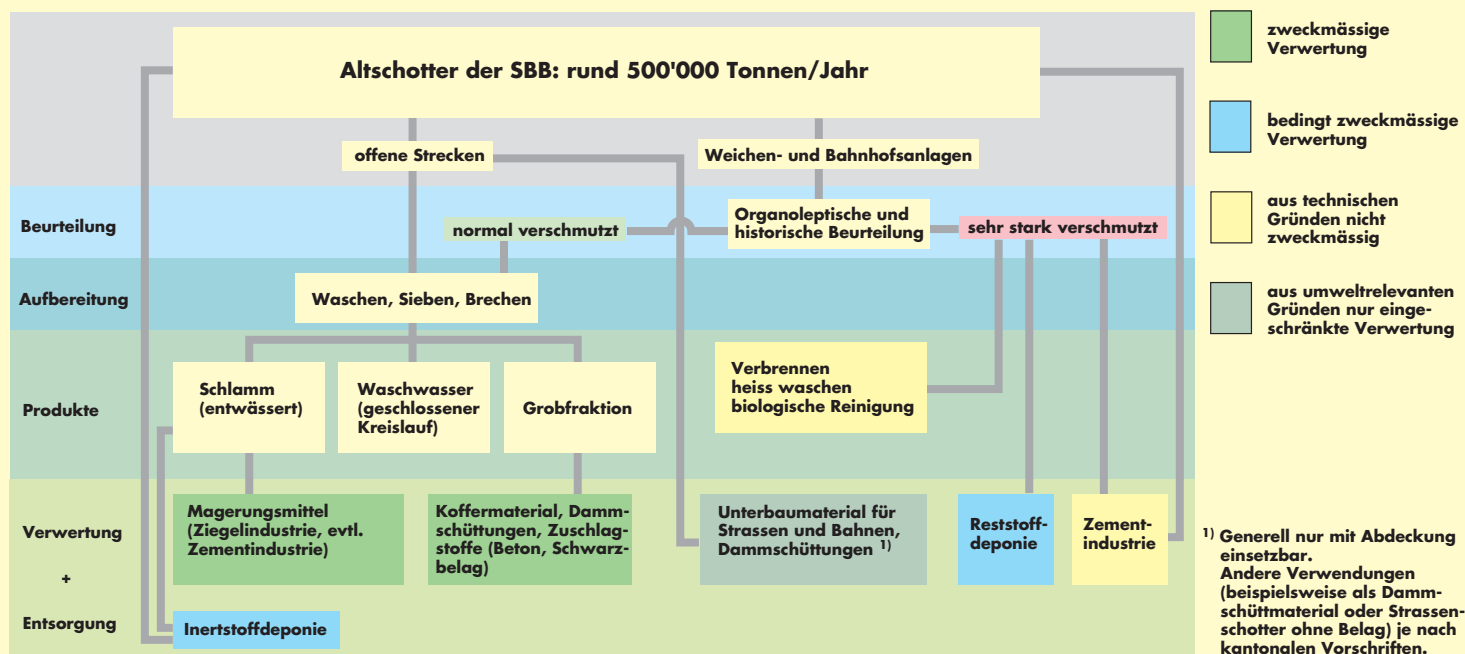
*Petrographie und Geochemie:* Die Gleisschotter werden meist aus harten Kieselkalken und feinkörnigen Sandsteinen hergestellt. Seltener werden granitische Gesteine verwendet. Die Schotter in den Gleisen sind als Folge der Unterhalts- und Erneuerungsarbeiten oft Mischungen verschiedener Gesteine von mehreren Produzenten (siehe [Kapitel 6.4.3](#)). In der [Tabelle 9.11](#) sind die Ergebnisse der geochemischen Analysen verschiedener Altschotter aufgeführt. Auffallend ist die stark variierende chemische Zusammensetzung.

*Umweltproblematik der Altschotter:* Die Gleisschotter unterliegen bedingt durch den Bahnbetrieb einem gewissen Schadstoffeintrag. Von Bedeutung sind dabei die Herbizide von der Unkrautbekämpfung, Kohlenwasserstoffe (KW) von Schmiermitteln und Schwermetalle von Brems-, Schienen- und Fahrleitungsabrieb.

\* das Wasser/Feststoff-Verhältnis gibt an, welche Wassermengen eine bestimmte Feststoffmasse durchströmt haben (z.B. Sickerwasser aus Niederschlägen).



# Wiederverwertung von Altschottern der SBB



Hinweis: Zurzeit (1996) wird durch das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) eine entsprechende eidgenössische Empfehlung ausgearbeitet.

9.24

- Herbizide: Bis 1992 behandelten die SBB ihre Bahngleise zur Verhinderung des Aufkommens von Unkraut systematisch mit Primatol (Atrazin und Prometryn) und Herbex (Bromacil und Diuron). Der Einsatz des atrazinhaltigen Primatols wurde bereits 1989 eingestellt. Die Bahnen evaluieren zurzeit neue geeignete Techniken zur Unkrautbekämpfung. Sie gehen in Richtung eines gezielten lokalen Einsatzes von umweltverträglichen, rasch abbaubaren Blattherbiziden einerseits und einer Gestaltung des Unterbaus von Gleisanlagen in Form einer dichten bituminösen Planie, welche das Aufkommen von Unkräutern hemmt. Dank dieser Anstrengungen wird die Bedeutung von Herbizidrückständen in den Altschottern sukzessive abnehmen. Bei Gleissanierungen in den nächsten rund 10 Jahren werden aber noch mehr oder weniger Herbizide der früheren Applikationen (vor allem Atrazin und Diuron) auftreten. Die [Abbildung 9.23](#) zeigt die Ergebnisse von Herbizidanalysen in Altschottern.
- Kohlenwasserstoffe: Kohlenwasserstoffe sind in Altschottern in relativ grossen Mengen vorhanden ([Abbildung 9.23](#)). Dabei zeigt sich, dass Altschotterraushub von Bahnhöfen mit vielen geschmierten Weichen und stehenden Zügen sich durch deutlich höhere Gehalte auszeichnet.
- Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK): Erfahrungen in Deutschland [Gerke et al., 1994] zeigen, dass häufig eine Belastung mit PAK hinzukommt, welche in Extremfällen bis einige g/kg betragen kann. Die wenigen aus der Schweiz bekannten Daten aus Bahnschottern zeigen Konzentrationen im Bereich 20 bis 40 mg/kg (Geotest AG; mündliche Mitteilung Eberhard Recycling AG), wobei der Schotterkörper höhere Konzentrationen aufweist als das Unterbaumaterial. Eine wahrscheinliche Quelle dieser Kontaminationen stellen die behandelten Bahnschwellen dar, aus welchen die PAK sukzessive ausgewaschen werden.
- Schwermetalle: Die in leicht löslicher Form vorhandenen, anthropogen eingetragenen Schwermetalle finden sich in Altschottern in relativ geringen Konzentrationen. Teilweise werden die Werte für «unverschmutzten Aushub» des kantonalen Amtes für Gewässerschutz und Wasserbau (AGW) Zürich leicht überschritten, insbesondere bei Kupfer, Blei und Zink ([Abbildung 9.23](#)). Die Quellen dieser leicht erhöhten Schwermetallgehalte sind bei folgenden bahnbetrieblichen Installationen zu suchen:
  - Abrieb von Bremsbelägen, Schienen: Fe, Sb, Zn, Sn, Pb
  - Abrieb von Fahrleitungen, Stromabnehmer: Cu, Cd

Abb. 9.24: Aufbereitung und Wiederverwertung von Altschottern.  
Quelle: Geotest 1994.

- Korrosion von Stahlkonstruktionen: Zn, Pb, Fe
- Rückstände von Schmiermitteln: Al (Cu, Zn, Pb)

*Die Bindung der Schadstoffe an die Feinfraktion:* Die Untersuchungen zeigen erwartungsgemäss, dass die Schadstoffe in der Feinfraktion (Ton/Silt) mit ihrer hohen spezifischen Oberfläche angereichert sind. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt bei den Kohlenwasserstoffen.

#### 9.4.3 WIEDERVERWERTUNG VON ALTSCHOTTERN

Die Wiederverwertung und Beseitigung der Altschotter unterliegen wegen der vorhandenen, wenn auch relativ geringen Schadstoffgehalte, gewissen Einschränkungen, die aus der Technischen Verordnung für Abfälle (TVA) abgeleitet werden können. Die Altschotter stellen aber zugleich einen wertvollen Rohstoff dar, der zu über 80% aus sehr harten, für die Bauindustrie wertvollen Komponenten besteht. Aus diesem Grunde drängt sich ein Recycling der Altschotter auf. Die Untersuchungen zeigen, dass eine Aufbereitung durch Waschen und die Wiederverwertung als Zuschlagstoffe das zweckmässigste Verfahren ist. Durch die beim Waschen resultierende Fraktionierung kann ein grosser Teil der Schadstoffe über die Schlammfraktion entfernt werden. Die wiederverwendbaren Grobfraktionen weisen nur geringe Schadstoffkonzentrationen auf. Das Diagramm in der [Abbildung 9.24](#) stellt die technisch und ökologisch zweckmässige Aufbereitung und Wiederverwertung der Altschotter dar. Das Verfahren ist vom Bundesamt für Verkehr und vom Bundesamt für Umwelt und Wald gutgeheissen.

*Entsorgung oder Verwertung des anfallenden Schlammes:* Beim Waschprozess fällt etwa 15% Schlamm an (pro Jahr etwa 100'000 Tonnen). Dieser Schlamm kann auf einer Inertstoffdeponie abgelagert werden. Anzustreben ist jedoch eine Wiederverwertung, beispielsweise in der Ziegelei- oder Zementindustrie. Eine diesbezügliche Verwertung der Schlämme von Altschottern ist unbedenklich, da die organischen Schadstoffe bei den hohen Brenntemperaturen oxydiert werden. Die Wiederverwertung des gesamten Altschotters in der Zementindustrie ist technisch nicht gangbar. Bei der Zementherstellung bestehen für den Rohstoff sehr enge geochemische Randbedingungen (siehe [Kapitel 7](#)), welche bei der chemischen Zusammensetzung der Altschotter nicht erfüllt werden.

## 9.5 STOFFGRUPPE D: INDUSTRIEABFÄLLE

### 9.5.1 ELEKTROOFENSCHLACKE

Elektroofenschlacke entsteht als industrielles Abfallprodukt bei der Stahlerzeugung aus Altmetall. Sie hat mengenmässig mit 80'000 Tonnen pro Jahr eine untergeordnete Bedeutung. Die Materialeigenschaften gebrochener Elektroofenschlacke sind jenen von Kiessand ähnlich ([Tabelle 9.12](#) und [Abbildung 9.25](#)). Bei der chemischen Zusammensetzung dominieren die Verbindungen  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und  $\text{CaO}$ . Zusätzlich sind Schwermetalle in unterschiedlichen Mengen vorhanden ([Tabelle 9.13](#)).

Durchströmungstests im Labor (Säulentests) und im Grossversuch im Gelände in Form von Strassenversuchen zeigen, dass die Grenzwerte in den Sickerwässern im wesentlichen eingehalten werden. Bemerkenswert ist der bei der Auswaschung anfänglich sehr hohe pH, welcher aber im Laufe der Zeit auf Werte um 8 absinkt. Wegen des hohen pH werden Schwermetalle nur in sehr kleinen Mengen ausgewaschen und die sehr hohe Pufferkapazität der Elektroofenschlacke, dank der vorhandenen Kalziumverbindungen, vermindert ein Absinken des pH unter den kritischen Bereich von 6. Elektroofenschlacke kann deshalb als Kiessandersatz im Strassen- und

**Tabelle 9.12: Chemische Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften von Elektroofenschlacke**

CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG (Gew.%)	
$\text{SiO}_2$	19.3
$\text{Al}_2\text{O}_3$	10.7
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	17.2
$\text{TiO}_2$	0.5
$\text{MnO}$	8.7
$\text{CaO}$	31.0
$\text{MgO}$	6.1
$\text{Na}_2\text{O}$	0.2
$\text{K}_2\text{O}$	0.1
$\text{SO}_3$	0.1
KORNVERTEILUNG (Gew.%)	
Kies, Steine	84
Sand	12.7
Silt	2.2
Ton	0.1
PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN	
Spezifisches Gewicht ( $\text{g/cm}^3$ )	3.78
Raumgewicht feucht ( $\text{g/cm}^3$ )	2.36
Raumgewicht trocken ( $\text{g/cm}^3$ )	2.27
Wassergehalt (%)	4.1
Porosität (%)	30.6
Wasseraufnahme (%)	9.2



	<b>ELEKTROOFENSCHLACKE</b>	<b>KEHRRIECHTSCHLACKE</b>
<b>Blei (Pb)</b>	<b>7.6</b>	<b>2334</b>
<b>Cadmium (Cd)</b>	<b>0.27</b>	<b>6</b>
<b>Kupfer (Cu)</b>	<b>10</b>	<b>1285</b>
<b>Nickel (Ni)</b>	<b>27</b>	<b>131</b>
<b>Quecksilber (Hg)</b>	<b>0.025</b>	<b>0.1</b>
<b>Zink (Zn)</b>	<b>180</b>	<b>3025</b>

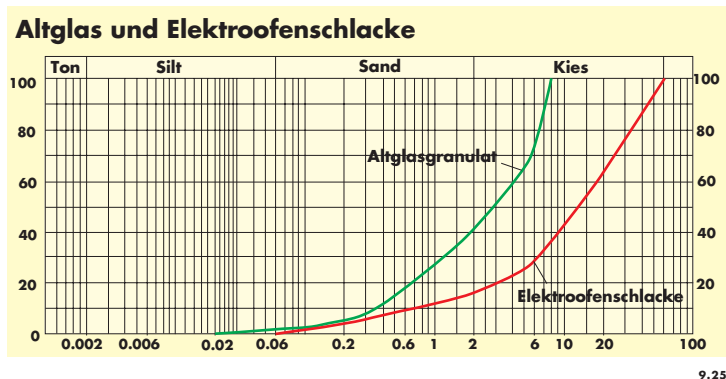
Gleisbau mit geringen gewässerschutztechnischen Einschränkungen eingesetzt werden.

#### 9.5.2 KEHRRIECHTSCHLACKE

Der grösste Teil der Kehrriechtschlacke (Anfall pro Jahr etwa 0.5 Millionen Tonnen) wird deponiert und eine Wiederverwendung findet nur untergeordnet statt. 1994 wurden lediglich 70'000 Tonnen Kehrriechtschlacke als Kiessandersatz im Strassenbau eingesetzt. Der Grund für die verhaltene Wiederverwertung von Kehrriechtschlacke als Sekundärbaustoff liegt in ihrer problematischen Umweltverträglichkeit. Sie weist keine Inertstoffqualität auf. In der Technischen Verordnung über Abfälle (TVA) werden deshalb gewässerschutztechnische Einschränkungen betreffend des Einsatzes von Kehrriechtschlacke formuliert. Fachleute empfehlen, dieses Material nur noch bedingt als Baustoff einzusetzen.

#### 9.5.3 ALTGLAS

Die Recyclingquote von Altglas ist in der Schweiz mit über 80% sehr hoch. Pro Person und Jahr werden etwa 33 Kilo Altglas gesammelt. Es ergeben sich zunehmend Überschüsse bei der Wiederverwertung von Altglas innerhalb des Glaskreislaufes. Überlegungen im Hinblick auf andere Verwertungen drängen sich deshalb auf. Glas ist der älteste künstlich erzeugte Werkstoff. Er wird aus einer Schmelze von Sand, Kalk und Soda hergestellt. Dadurch entsteht ein amorpher, nicht kristalliner, anorganischer Stoff von hoher Härte und Sprödigkeit (siehe auch [Kapitel 4.2.5](#)). Durch Brechen kann Altglas zu einem Glasgranulat als Kiessandersatz aufbereitet werden. Die sich dabei ergebende Kornabstufung entspricht einem



natürlichen Feinkies ([Abbildung 9.25](#)). Die Glaskörner haben Inertstoffqualität und sind beständig gegen Säure und basische Wässer. Die Grenzwerte für Eluate werden weit unterschritten. Aufgrund dieser Eigenschaften ist eine gute Umweltverträglichkeit gegeben. Glasgranulat eignet sich als Zuschlagstoff für Asphaltmischgut (HMT und HMF) sowie als Bettungs- und Filtermaterial und für Rohrumhüllungen. Richtlinien für die Aufbereitung von Altglas zu Glasgranulat sowie für die Verwertung des Glasgranulates im Strassenbau enthält die VSS-Norm SN 640 746 ([Tabelle 9.14](#)). In der Schweiz wurden 1994 nur rund 20'000 Tonnen gebrochenes Altglas als Kiessandersatz eingesetzt.

#### 9.5.4 GIESSEREISANDE

Die Schweizerische Giessereiindustrie (siehe [Kapitel 4.1](#)) produziert jährlich etwa 30–50'000 Tonnen Abfallprodukte in Form von Form- und Kernsanden, Putzereistäube und Feuerfestmaterialien. In bezug auf eine mögliche Umweltbelastung müssen zwei Problemkreise berücksichtigt werden. Zum einen werden verschiedene organische und anorganische Bindersysteme verwendet. Zum andern werden den Giessereisanden oft Chromitsande beigelegt, um eine bessere Wärmeverteilung der Gusskörper während des Abkühlprozesses zu erreichen.

**Abb. 9.25: Kornverteilungskurven von gebrochenem Altglas und Elektroofenschlacke.**

## 9.6 VERWERTUNG VON WENIG BELASTETEN MINERALISCHEN ABFÄLLEN IN BAUSTOFFEN

In schweizerischen Industriebetrieben fallen jährlich mehrere 10'000 Tonnen Altglas und Giessereisande an. Aufbereitete Ausbruchmaterialien in der Fraktion kleiner als 0.2 mm werden beim Bau der neuen Eisenbahn-Alpentransversalen (NEAT), insbesondere bei maschinellem Vortrieb, ebenfalls in sehr grossen Mengen anfallen (mehrere 100'000 Tonnen).

In einem laufenden Forschungsprojekt zwischen Hochschule und Industrie (Universitäten Bern und Freiburg; ZZ Ziegelei Zürich, Keller AG Ziegeleien, Tonwerke Laufen AG) wird in verschiedenen Baustoffen ein möglicher Ersatz von primären Rohstoffen durch sekundäre Rohstoffe, welche aus industriellen Prozessen anfallen, untersucht. Die Untersuchungen werden von der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) und der Industrie getragen. Die in Frage kommenden Abfallstoffe werden chemisch, mineralogisch und physikalisch in Labor- und Werkversuchen auf eine mögliche Verwendung hin geprüft. Auf jeder Versuchsstufe werden die Herstellungsbedingungen, die chemisch/physikalischen Eigenschaften der Endprodukte sowie die umweltrelevanten Parameter gemäss LVR und TVA ermittelt. Eine Kosten-Nutzenanalyse soll auch die wirtschaftlichen Aspekte der Wiederverwendung berücksichtigen.

In der Grobkeramik (Backsteine und Dachziegel) konnte bisher die Komponente «Magerungsmittel» durch Altglas, Giessereisande und Filterpressrückstände aus der Gesteinsaufbereitung von Tunnelausbruchmaterialien der AlpTransit erfolgreich substituiert werden. Altglas und die untersuchten Tunnelausbruchmaterialien sind umwelttechnisch problemlos einsetzbar und verbessern zudem die physikalischen Eigen-

schaften von bestimmten grobkeramischen Produkten. Bei der Verwendung von Giessereisand wurden umfangreiche Untersuchungen bezüglich des Einflusses von Chrom durchgeführt (Chrom in Chromitsanden wird den Giessereisanden aus fertigungstechnischen Gründen beigegeben). In einem Werkversuch konnte die Machbarkeit nachgewiesen werden.

Bei der Herstellung von Kalksandstein wurden im Labor-massstab Sand beziehungsweise Kalk durch Flugaschen aus der Papierindustrie, durch verschiedene Abfallprodukte aus der Giessereiindustrie sowie durch Altglas substituiert. Die Resultate waren aber nicht durchwegs zufriedenstellend. Die anfallenden Mengen und die Homogenität der Abfallstoffe waren zu gering respektive ungenügend. Die Anforderungen an die Endprodukte konnten nicht erreicht werden.

Es hat sich gezeigt, dass die Variabilität der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung der sekundären Rohstoffe die Hauptschwierigkeit bei der Umsetzung vom Labor in den Produktionsmassstab ist. Damit die Qualitätsansprüche der Baustoffindustrie erfüllt werden können, müssen bei der Verwendung von Ersatzstoffen konkrete Anforderungsprofile an diese ausgearbeitet werden und es muss deren Qualität kontinuierlich überprüft werden.

**Tabelle 9.14: Verwertung von Altglas; Anforderungen und Einschränkungen**

Verwendung als (*)	Zuschlagstoffe für Asphaltmischgut	Bettungsmaterial	Rohr-umhüllungs-material	Filter material
Stoffliche Zusammensetzung	Glas mindestens 95 Gew. % Andere mineralische Baustoffe maximal 5 Gew. %			
Gewässerschutzbedingte Einschränkungen	Keine Einschränkungen	In Gewässerschutzbereichen A, B und C		
Angaben aus Schweizer Norm [SN 640 746; Verwertung von industriellen Nebenprodukten und Glas, 1994].				
* Bezüglich der Verwendung sind die in der Norm geforderten Qualitätsanforderungen einzuhalten.				



## 10 ERZE, INDUSTRIEMINERALE UND ENERGIE-ROHSTOFFE

### Übersicht

- 10.1 Geschichtliche Entwicklung, Abbauperioden
  - 10.2 Erze und Erzlagerstätten
    - 10.2.1 *Eisen und Mangan*
    - 10.2.2 *Blei-Zink (z.T. mit Silber)*
    - 10.2.3 *Kupfer (z.T. mit Wismut und Arsen)*
    - 10.2.4 *Nickel-Chrom, Kobalt*
    - 10.2.5 *Antimon*
    - 10.2.6 *Molybdän und Wolfram*
    - 10.2.7 *Gold*
    - 10.2.8 *Übrige Minerale/Industrieminerale*
  - 10.3 Energierohstoffe
    - 10.3.1 *Uran*
    - 10.3.2 *Bitumen (Asphalt)*
    - 10.3.3 *Gas und Öl (Kohlenwasserstoffe)*
    - 10.3.4 *Kohlen und Torf*
  - 10.4 Wirtschaftlichkeit, Import/Export
    - 10.4.1 *Bergbau, Wirtschaftlichkeit*
    - 10.4.2 *Versorgung mit eigenen Erzen?*
-



# 10 ERZE, INDUSTRIEMINERALE UND ENERGIEROHSTOFFE



**Kapitelinhalt**



Autoren: Dr. Rainer Kündig, Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH-Zentrum, 8092 Zürich  
Dr. Rudolf Vogler, Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

mit Beiträgen von: Dr. Werner Leu & Dr. Emil Greber, Geoform, Anton-Graff-Strasse 6, 8401 Winterthur  
Prof. Dr. Ernst Niggli, Kirchstrasse 12, 3097 Liebefeld

Fotos: Eisenbergwerk Gonzen AG, Sargans (10.1), Andreas Burkhard, Basel (10.2), A. Werthemann, Univ. Bern (10.5), Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich (10.6), Dr. U. P. Büchi (+), Zürich (Titelbild).

---

**Abbildung auf Vorderseite: Gasfackel in Finsterwald (Bohrung Entlebuch-1) während Testarbeiten. Mit der Bohrung Entlebuch-1 (Finsterwald, LU) wurde 1980 das bis heute einzige kommerziell genutzte Gasvorkommen der Schweiz**

**angebohrt. Aus dem verkarsteten Malm wurden vom April 1985 bis Juli 1994 insgesamt rund 75 Millionen Kubikmeter Gas und kleinere Mengen Kondensat gefördert.**

## ÜBERSICHT

Erze sind mineralische Rohstoffe, aus denen Metalle gewonnen werden können. Sie gehören in der Schweiz zu einer Rohstoffgruppe, deren Bedeutung heute sehr gering ist. Zur Zeit wird kein Erzbergbau mehr betrieben. Seit der Bronzezeit und bis vor wenigen Jahren sind aber immer wieder Versuche unternommen worden, die schweizerischen Erzvorkommen abzubauen und zu verhütten.

Erze und Energierohstoffe in der Schweiz? Die Faktoren, welche sowohl örtlich wie auch zeitlich der Frage hinsichtlich der wirtschaftlich machbaren Gewinnung immer wieder eine andere Gewichtung geben können, sind vielfältig. Einerseits spielt die Geologie eine wichtige Rolle, indem sie primär die Lagerung und Ausdehnung der Rohstoffvorkommen prägt und gerade in den Alpen vielfach zu komplex aufgebauten Lagerstätten geführt hat. Andererseits können politische Veränderungen (z.B. Kriege, Ölkrisen) sehr rasch den Stellenwert der Bodenschätze ändern und damit auch Rohstoffvorkommen, die unter normalen Umständen nicht abgebaut würden, wieder attraktiv machen. Neue technische Verfahren in der rohstoffverarbeitenden Industrie stellen stets wechselnde Anforderungen an die Qualität der Erze und Energierohstoffe, auf die marktgerecht eingegangen werden muss. Und nicht zuletzt erschwert oder verhindert oft die Gesetzgebung (z.B. Umweltschutzgesetze, Landschaftsschutz; siehe [Kapitel 12](#) und [13](#)) einen Abbau oder eine Verarbeitung einheimischer Erze und Energierohstoffe.

In den letzten Jahrzehnten wurde eine grosse Menge neuer Daten über Erze und Energierohstoffe in der Schweiz zusammengetragen und in verschiedenen Werken der Öffentlichkeit zugänglich gemacht (vgl. [Literaturliste Kapitel 10](#)). Von den Hochschulen wurden mehrere Vorkommen wissenschaftlich neu bearbeitet oder im Rahmen von Nationalfondsprogrammen auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht.

Tatsache ist, dass die Schweiz in bezug auf Erze und Energierohstoffe in den Verbraucherstatistiken einen hohen Pro-Kopf-Verbrauch aufweist, in den Produktionsstatistiken jedoch wenig bis gar keine Erwähnung findet. Dies liegt einerseits in der wirtschaftlichen Entwicklung der letzten fünfzig Jahre, andererseits spielt auch die besondere geologische Situation, insbesondere die kleinräumige Tektonik, die einen heute rentablen Abbau erschwert, eine wesentliche Rolle. Eine wirtschaftliche Bewertung der Vorkommen ist schwierig, da Daten

über Ausdehnung und Gehalt der Vorkommen ungenügend oder uneinheitlich vorliegen und Geldmittel für flächendeckende Vorabklärungen fehlen. Bis auf wenige Ausnahmen kann gesagt werden, dass die Vorkommen, soweit bekannt, meist als «Prospekte» (engl.: prospect; Hinweise, Indikationen) zu betrachten sind, in Zukunft aber als Ausgangsmaterial für umfassendere und gezieltere Untersuchungen oder Prospektionskampagnen dienen könnten. Auf jeden Fall sind sie von wissenschaftlichem Interesse.

Industrieminerale nehmen einen Platz zwischen den sogenannten «nutzbaren Gesteinen» und den Vererzungen ein. Wo nicht in speziellen Kapiteln auf die entsprechenden Mineral- oder Gesteinsarten eingegangen wird, sind in diesem Kapitel zusammenfassende Darstellungen gegeben. Man beachte insbesondere die [Kapitel 3 \(Tone\)](#), [4 \(Tone, Sande, Gesteine für spezielle Anwendungen\)](#), [7 \(Kalke und Mergel, Bindemittellindustrie\)](#) und [8 \(Gips und Salz\)](#).

Ergänzende Angaben, etwa zu den Manganvererzungen im Oberhalbstein oder zu den Arsensulfidvererzungen im Binnental, finden sich auch im [Kapitel 11 \(Mineralien\)](#). Auf die bergrechtlichen Aspekte wird hier nicht eingegangen, einige wichtige Angaben dazu finden sich jedoch im [Kapitel 12 \(Gesetzgebung bei der Rohstoffnutzung\)](#).



zurück zur Startseite

nächstes Kapitel

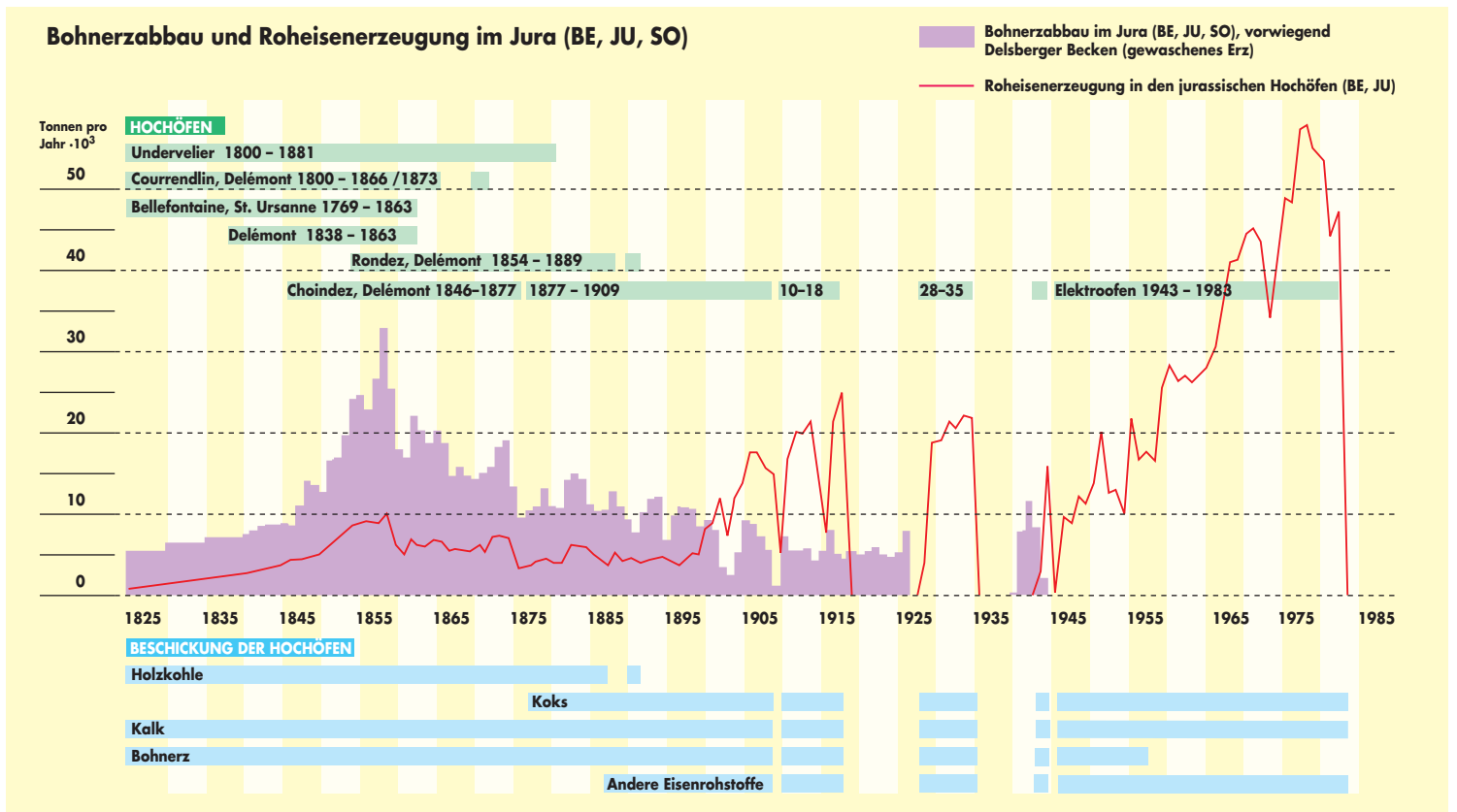
vorangehendes Kapitel



10.1



10.2



10.3

Abbildung 10.1: Eisenerzabbau am Genz bei Sargans SG. 2.8 Millionen Tonnen Eisen- und Manganerze wurden 1921–1966 bergmännisch abgebaut. Die Stollenanlagen sind heute als Besucherbergwerk teilweise wieder zugänglich. Das Bild stammt aus der Nausgrube 1943.

Abbildung 10.2: Die ehemalige Aufbereitungsanlage «Dionisotti» des Blei-Zinkbergwerkes Goppenstein (Wallis). In der Aufnahme von 1975 sind die vom Zerfall bedrohten Bauten oberhalb der Bahnstation Goppenstein ersichtlich.

Abbildung 10.3: Graphische Darstellung des Bohnerzabbaus und der Roheisenerzeugung im Jura (BE, JU, SO). Der Bohnerzabbau kam in den späten 20er Jahren zum Erliegen (mit einer Reaktivierung während des zweiten Weltkrieges). Die

Verhüttung von auswärtigem Erz fand 1983 ihr Ende. Die Darstellung wurde leicht modifiziert übernommen aus «Eisenerz und Eisenindustrie im Jura» von M. Kürsteiner et al. [1990].

## 10.1 GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG, ABBAUPERIODEN

Die Erzsuche war auch in der Schweiz von der technischen Entwicklung in den verschiedenen Zeitepochen (Bronzezeit, Eisenzeit) geprägt und richtete sich vorerst auf die Kupfer- und Eisenerze. Oberflächliche Verwitterungsanzeichen wie Eisenhydroxide (Limonit, «Rost») im Falle von Eisen oder markante sekundäre Mineralbildungen (Malachit, Azurit) beim Kupfer führten unsere Vorfahren auf die Spuren dieser Metalle. Verschiedene Schlackenfunde und Bronzeobjekte bezeugen den frühesten Bergbau mit Verhüttung und lassen die Nutzung dieser Bodenschätze immerhin rund 3500 Jahre zurückdatieren. Im Oberhalbstein konnte dies anhand von Schlackefunden belegt werden. Aus dem Waadtländer Jura sind Verhüttungsstellen aus der Eisenzeit bekannt, welche sicher im Zusammenhang mit nahegelegenen Bohnerzvorkommen stehen. Dass auch im Mittelalter Bergbau betrieben wurde, bezeugen zahlreiche Stollen und Schürfstellen, welche aufgrund von Abbauspuren und/oder anhand von Altersdatierungen an Holzeinbauten verschiedenen Bergbaupochen (Blütezeiten) zugeordnet werden können. Bereits ab 1241 werden auch die Fricktaler Eisenerzgruben erwähnt.

Aus dem 14. und 15. Jahrhundert sind zahlreiche Abbaustellen in Graubünden und im Wallis bekannt, wobei die Aufbereitung und die Verhüttung meist in unmittelbarer Nähe stattfanden (Oberhalbstein, S-charl, Parpaner Rothorn, Silberberg bei Davos, Calanda, Val de Bagnes). Auch im 16. und 17. Jahrhundert fanden Bergbau und Bergbauversuche statt, was unter anderem durch die akribisch genau geführten Tagebücher des letzten Bündner Bergrichters, Christian Gadmer, überliefert wurde. So waren von 1589 bis 1603 in Graubünden 93 Gruben bekannt, ein Höhepunkt in der damaligen Bergbauentwicklung. Später wurden allgemein weniger, dafür erreichere Vorkommen abgebaut, beispielsweise Blei in Goppenstein. Das Salz in Bex wurde ebenfalls in dieser Zeitepoche gefunden und ab 1630 abgebaut (erst ab 1837, nach Inbetriebnahme der Saline Schweizerhalle, war aber in der Schweiz eine Selbstversorgung mit Salz möglich; siehe [Kapitel 8.2.3](#)).

Eine Epoche mit intensivem Bergbau stellte die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts dar. Damals wurden viele Erze in Graubünden (Eisen- und Manganerze im Val Ferrera) und im Tessin (Eisensulfiderze im Val Morobbia) intensiv genutzt. Gold, gleichgesetzt mit Reichtum und Macht, war immer wieder

Anlass zu Prospektion und Ausbeutung. Obwohl in der Schweiz nie eine Goldförderung in grösserem Umfang erfolgte, erreichte dieses Metall, das schon zur Zeit der Helvetier aus verschiedenen Schweizer Flüssen gewaschen und vom Mittelalter an auch bergmännisch gewonnen wurde, an verschiedenen Orten eine grosse, meist sagenumwobene Bedeutung, so beispielsweise in Salanfe und Gondo (Wallis), in Astano (Tessin) sowie am bündnerischen Calanda. Der Bleibergbau in Goppenstein (siehe [Abbildung 10.2](#)) brachte während einiger Jahre im späten 17. Jahrhundert sogar Gewinn, ebenso der alte Goldbergbau in Gondo. Dies waren aber Ausnahmen.

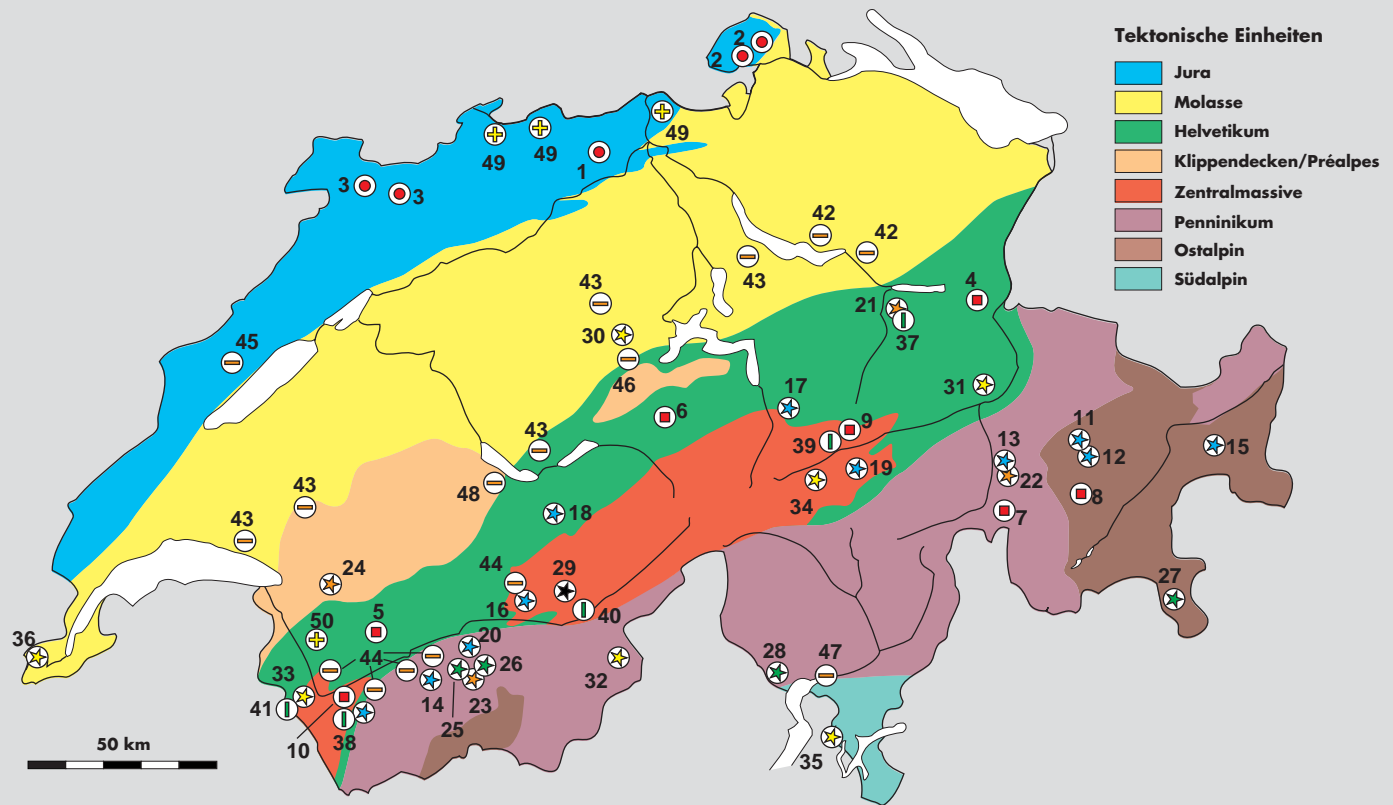
Anlässlich der Landesausstellungen 1883 in Zürich, 1896 in Genf und 1914 in Bern wurden, wie es damals auf besondere Anlässe hin üblich war, Versuche gemacht, zusammenfassend die Rohstoffe in der Schweiz zu dokumentieren. Die dabei entstandenen Karten und Textwerke bildeten einen Meilenstein in der Geschichte der schweizerischen Bodenschätze und insbesondere der Erze und Energierohstoffe. Die einheimischen mineralischen Rohstoffe gewannen an Bekanntheit.

In der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts, vor allem aber während der beiden Weltkriege und in den Krisenzeiten der dreissiger Jahre, wurde sowohl von privater Seite (z.B. Stahlindustrie) wie auch durch den Bund (Büro für Bergbau des Eidg. Kriegs-, Industrie- und Arbeitsamtes) und durch Arbeits- und Studiengesellschaften (z.B. Studiengesellschaft für die Nutzbarmachung schweizerischer Lagerstätten mineralischer Rohstoffe) intensiv auf Rohstoffvorkommen prospektiert. Auch bereits bekannte Vorkommen wurden dabei neu untersucht und einige davon auch abgebaut. Alle wichtigen Akten der Tätigkeit des Büros für Bergbau sind heute bei der Schweizerischen Geologischen Dokumentationsstelle (Bern) archiviert, eine Referenzsammlung von Erzproben ist bei der Schweizerischen Geotechnischen Kommission (ETH Zürich) aufbewahrt. Während des Zweiten Weltkrieges produzierte die Schweiz immerhin 1.1 Millionen Tonnen Eisenerz, 540 Tonnen Blei-Zinkerze, 800 Tonnen Kupfererz und 1700 Tonnen Flussspat.

Nachdem sich die Rohstoffverknappung nach dem zweiten Weltkrieg entschärfte, hielten nur noch wenige einheimische Produzenten mineralischer Rohstoffe ihren Betrieb aufrecht. Die letzten beiden grossen Eisenerzbergwerke wurden in den 60er Jahren geschlossen; Gonzen (1966) und Herznach (1967). Die Erzverhüttung kam 1983 mit der Schliessung des Niederschachtelektroofens von Choindenz zum Erliegen ([Abbildung 10.3](#)). Infolge zunehmender wirtschaftlicher Schwierigkeiten in der einheimischen Eisen- und Stahlerzeugung (Monteforno, Von Roll) wurde die Produktion immer mehr ins Ausland verlagert.



## Bedeutendere Rohstoffvorkommen der Schweiz



### ● EISEN IM JURA (Fe)

- 1 Herznach-Fricktal (Fe, Oolith)
- 2 Randen (Fe, Bohnerz)
- 3 Delémont (Fe, Bohnerz)

### ■ EISEN UND MANGAN DER ALPEN (Fe, Mn)

- 4 Gonzen (Mn und Fe)
- 5 Chamoson (Fe, Chamosit)
- 6 Erzegg-Planplatte (Fe)
- 7 Val Ferrera (Fe)
- 8 Oberhalbstein (Mn)
- 9 Puntaiglas (Fe, Magnetit, auch Cu)
- 10 Mont Chemin (Fe)

### ★ BLEI-ZINKVERERZUNGEN (PB-ZN)

- 11 Silberberg
- 12 Bleiberg, Bärenbühl
- 13 Alp Taspin
- 14 Praz-Jean
- 15 S-charl
- 16 Goppenstein
- 17 Bristenstock
- 18 Trachsellaunen
- 19 Alp Nadels
- 20 St. Luc/Bellatola

### ⊗ KUPFERVERERZUNGEN (CU)

- 21 Mürtschenalp (auch Pechblende)
- 22 Ursera
- 23 Grimentz
- 24 Leysin (Préalpes)

### ⊗ NICKEL (-KOBALT)VERERZUNGEN (NI-CO)

- 25 Val d'Anniviers, Turtmantal
- 26 Kaltenberg
- 27 Poschiavo
- 28 Palagnedra

### ⊗ MOLYBDÄNVERERZUNGEN (MO)

- 29 Alpjhorn/Baltschiederatal

### ⊗ GOLDVERERZUNGEN UND SEIFENGOLD (AU)

- 30 Napf (Seifengold, Molasse)
- 31 Calanda (Freigold; auch Wolfram)
- 32 Gondo
- 33 Salanfe
- 34 Disentis (Berggold, Seifengold)
- 35 Astano
- 36 Allondon

### ⓘ URANVERERZUNGEN (U)

- 37 Mürtschenalp (Pechblende)
- 38 Isérables
- 39 Vorderrheintal (Trun, Affeier)
- 40 Naters
- 41 Salvan-Finhaut/Marécottes

### ⊖ KOHLEN

- 42 Schieferkohlen
- 43 Molassekohlen
- 44 Steinkohlen (Anthrazit)

### ⊖ BITUMINA UND GAS

- 45 Val de Travers (Asphalt)
- 46 Finsterwald (Gas)
- 47 Magadino (Gas)
- 48 Spiez/Teufthal

### ⊕ SALZ

- 49 Rheinsalinen
- 50 Bex

Abbildung 10.4: In der Grafik sind rund 50 bedeutendere Rohstoffvorkommen (Vererzungen, Energierohstoffe, z.T. Industriemineralien) aufgeführt. Als «bedeutend» gelten Vorkommen, welche während längerer Zeit ausgebeutet wurden, ei-

nen grösseren Vorrat an Erzen aufweisen oder welche historisch grössere Bedeutung erlangten. Es fällt auf, dass die meisten polymetallischen Vererzungen auf den alpinen Bereich, vorwiegend auf die Regionen Wallis, Tessin und Graubünden,

beschränkt sind, Eisenerze kommen zusätzlich auch im Jura vor. Ausserhalb der Alpen finden sich vorwiegend eozäne und diluviale Kohlen sowie einige Erdöl- und Erdgasvorkommen. Die Energierohstoffe Gas und Erdöl sind in einer separaten

Figur (Abbildung 10.7) in diesem Kapitel dargestellt (Quelle: Schweizerische Geotechnische Kommission, 1995).

Wirtschaftlich nutzbare Erzvorkommen wurden in den letzten Jahrzehnten keine entdeckt. Angeregt durch neue Erkenntnisse und Modelle in der Lagerstättenkunde sowie dank neuen Methoden in der Erz-/Mineralanalytik wurden jedoch viele Erzvorkommen wissenschaftlich neu untersucht. Damit verbunden war zeitweilig auch eine intensive Suche nach nutzbaren Vorkommen von Atombrennstoffen und Elementen für die Stahlveredlung (z.B. U, Th, W, Mo). Verschiedene Publikationen sind in dieser Zeitspanne entstanden, zum Teil innerhalb nationaler Forschungsprogramme. Daneben existieren viele Publikationen, die einzelne Vorkommen oder ganze Regionen sowohl aus lagerstättenkundlicher als auch aus historischer Sicht beschreiben. In jüngster Zeit ist ein elektronisches Inventar der mineralischen Rohstoffe im Aufbau begriffen, dessen Kernstück eine in verschiedenen Richtungen offene Datenbankstruktur bildet (siehe [Textkasten am Schluss dieses Kapitels](#)). Verschiedene Zweige der rohstoffverarbeitenden Industrie haben sich in Fachgruppen, Gesellschaften und Dachverbänden vereinigt. Es existieren zahlreiche nationale, kantonale und kommunale Institutionen, Archive, Bibliotheken, Museen, Gesellschaften und Vereine, welche sich in verschiedenster Form den wissenschaftlichen, historischen und dokumentarischen Aspekten dieser Rohstoffgruppe widmen (siehe [Schluss des Kapitels](#) sowie [Anhang](#)). Auch grosse Zeitungsarchive oder Sozialarchive führen zu überraschenden Entdeckungen in bezug auf Entwicklungen im schweizerischen Bergbau.

Die folgende Zusammenstellung der wichtigeren Vererzungen und Erzlagerstätten in der Schweiz ist aus verschiedenen Standardwerken kompiliert. Für detailliertere Beschreibungen sei auf Publikationen verwiesen, wie z.B. «Texte explicatif de la Carte des gisements des matières premières minérales de la Suisse» [Schmidt, 1920] und «Fundstellen mineralischer Rohstoffe in der Schweiz» [Kündig & de Quervain, 1953], beide herausgegeben von der Schweizerischen Geotechnischen Kommission. Die bergwirtschaftlichen Aspekte der Arbeiten während der beiden Weltkriege sind in den unpublizierten Berichten «Der schweizerische Bergbau während des Weltkrieges» [Fehlmann, 1919] und «Der schweizerische Bergbau während des zweiten Weltkrieges» [Fehlmann, 1947] ausführlich beschrieben. Die beiden letztgenannten Werke sind nur in wenigen Exemplaren publiziert worden, sie sind heute bei der Schweizerischen Geologischen Dokumentationsstelle (SGD) oder bei der Schweizerischen Geotechnischen Kommission (GTK) einsehbar, wo auch das elektronische «Inventar der mineralischen Rohstoffe der Schweiz» benutzt werden kann.

## 10.2 ERZE UND ERZLAGERSTÄTTEN

In der Schweiz sind weit über 1000 Erzvorkommen bekannt. Generell gilt hier, dass die Buntmetallagerstätten vor der alpinen Gebirgsbildung entstanden. Die jungen gebirgsbildenden Vorgänge während der Alpenfaltung haben sich so ausgewirkt, dass viele Erzvorkommen heute tektonisch ausgedünnt, verstellt und über weite Distanzen verteilt auftreten. Zusätzlich hat die alpine Metamorphose durch Umkristallisation stellenweise zu feinkörnigen und schwer aufbereitbaren Erzen geführt. Diese Umstände, verbunden mit der oft schwierigen Zugänglichkeit, machen darum die Ausbeutung von alpinen und voralpinen Rohstoffvorkommen nicht einfach. Auch wenn einzelne Erzvorkommen durchaus genügend hohe Metallgehalte zeigen, muss meistens aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, aber auch aus Rücksicht auf die Umwelt, auf einen Abbau verzichtet werden. Ein Tagebau kommt heute kaum mehr in Frage, Untertageabbau ist extrem teuer. Zudem ist die Erzaufbereitung sehr platzintensiv und kann umweltschädigende Prozesse beinhalten. Die bedeutenderen Rohstoffvorkommen sind in der [Abbildung 10.4](#) zusammengefasst. Als «bedeutendere Vorkommen» gelten hier Vererzungen und Lagerstätten, welche entweder während längerer Zeit ausgebeutet wurden, einen grösseren Vorrat an Erzen aufweisen, historisch eine grössere Bedeutung erlangten oder welche notfalls relativ rasch reaktiviert werden könnten.

### 10.2.1 EISEN UND MANGAN

Theoretisch sind über 25 Millionen Tonnen Eisenerzvorräte nachgewiesen. Der Abbau scheitert an den bereits erwähnten wirtschaftlichen und umweltbedingten Problemen. Entstehungsgeschichtlich sind vier Haupttypen von Eisenlagerstätten zu unterscheiden: drei sind sedimentärer Natur, nämlich die hochwertigen Hämatiterze des Gonzen bei Sargans, die meist limonitischen Eisenooolithe des Doggers (z.B. im Tafeljura bei Herznach) und in der Helvetischen Zone (z.B. bei Chamoson) sowie die Bohnerze (pisolithischen Erze) des Siderolithikums. Wahrscheinlich magmatogener Entstehung sind dagegen die Magnetitvorkommen im Mont-Blanc-Massiv (z.B. Mont Chemin). An vielen anderen Stellen wurden kleinere Eisenerzvorkommen festgestellt und früher sporadisch auch abgebaut. Am Gonzen sind neben dem hämatitischen und magnetitischen Eisenerz auch manganreiche Lagen bekannt.





10.5

Seit dem 14. Jahrhundert wurde immer wieder Bergbau betrieben, und allein zwischen 1921 bis zur Stilllegung 1966 wurden etwa 2.8 Millionen Tonnen Eisen- und Manganerz abgebaut. Das Eisenerz enthielt bis 55% Eisen, bei sehr geringem Phosphorgehalt, das Manganerz enthielt bis 50% Mangan. Die Vorräte werden auf rund 5.5 Millionen Tonnen Hämatiterz geschätzt, wobei die tektonisch kompliziert angeordneten Erzzone grösstenteils bereits durch Stollen erschlossen sind. Die kilometerlangen Grubenanlagen auf verschiedenen Stockwerken sind seit 1983 als Besucherbergwerk eingerichtet (vgl. [Anhang](#)).

Im Falle von Herznach erreichten die Stollenanlagen ebenfalls einige Kilometer Länge. Der Eisenerzvorrat wurde dort auf einige Millionen Tonnen geschätzt, bei einem Eisengehalt von knapp 30%. Abgebaut wurden zwischen 1937 und 1967 rund 1.6 Millionen Tonnen Eisenerz.

Ein anderes Zentrum der Eisenerzproduktion war bis Ende 1945 das Delsberger Becken, wo im letzten Jahrhundert bis über 30'000 Tonnen pro Jahr gewaschenes Erz (Bohnerz) abgebaut wurde. Die Verhüttung fand in der Region statt. Der letzte Elektroofen von Choindenz produzierte bis 1983 (von 1944 bis 1966 auch mit Gonzenerz), zuletzt jedoch nur noch mit importierten Rohstoffen ([Abbildung 10.3](#)). Ein grösseres Bohnerzvorkommen wurde 1989 beim Bau des A4-Autobahntunnels bei Flurlingen (ZH) entdeckt. Mindestens 8200 Tonnen Roherz (Boluston und Erzbohnen) wurden während des Vortriebes gefördert, was etwa 1400 Tonnen reinem Eisen entspricht. Im letzten Jahrhundert hätte dies die dreifache Jahresproduktion der Eisenwerke am Rheinfall bedeutet; ein heutiger Hochofen produziert diese Menge in rund 1.5 Tagen (Hofmann in Kür-



10.6

steiner et al. [1990] und Dr. von Moos AG, unpublizierter Bericht, 1994). Auf dem Schaffhauser Südranden wurden zwischen 1810 und 1850 80'000 Tonnen gewaschenes Bohnerz gewonnen und am Rheinfall (Neuhausen) verhüttet. Der Bohnerzbergbau im Südranden ist bei Birchmeier (1986) beschrieben.

In Graubünden sind in den Rofnagneisen des Val Ferrera und in mit Gneisen stark verfalteten Triasgesteinen zahlreiche Eisenerzvorkommen bekannt (Val Sterla, Schmorrasgrat, Starlera, Fianell und weitere). Die Vorkommen liegen alle sehr hoch in steilem Gelände und sind heute ohne wirtschaftliche Bedeutung. Dominierend war der Bergbau im Ferreratal zwischen 1825 und 1845. 1918 bis 1920 wurde das Vorkommen Starlera, das auch grössere Mengen an Manganerz enthält, vorübergehend wieder abgebaut.

Eisenbergbau im Oberhasli wird erstmals 1416 in Gerichtsurkunden des Staates Bern erwähnt. Das Vorkommen von Erzegg-Planplatte wurde teilweise von Privaten, teilweise von der Landschaft Hasli im Auftrag des Staates Bern ausgebeutet und zuerst bei Meiringen, dann bei Unterwasser und schliesslich bei Mühletal verhüttet [Müller-Landsmann, 1900; Fehlmann & Rickenbach, 1962]. Im Binntal (VS) wurden an verschiedenen Stellen Magnetitvererzungen abgebaut.

Manganerze kommen in der Schweiz an mehreren Stellen vor. Neben dem bereits erwähnten Vorkommen am Gonzen sind die an Radiolarite mesozoischen Alters gebundenen Manganvorkommen im Oberhalbstein (z.B. Falotta, Alp Flix) besonders interessant. Eine Untersuchung der Vorkommen bei Tinizong [Suana, 1984] ergab für die Lagerstätte Falotta einen

**Abbildung 10.5:** Teil der Stollenbrust (A4-Tunnel, Flurlingen, 1989). Umrandet sind zwei Bohnerzlager im Boluston. Berechnungen ergaben eine Erzmenge von mindestens 8200 Tonnen Roherz (entspricht 1400 t Eisen). Bildbreite etwa 3.5 Meter.

**Abbildung 10.6:** Gold- und wolframführender Quarzgang am Calanda (GR). In der unter kombinierten Ultraviolett- und Tageslicht beleuchteten Probe leuchtet die Scheelitervererzung bläulich-weiss am Kontakt des Quarzanges zum Nebengestein (Serizitschiefer). Bildbreite

10 Zentimeter.

wahrscheinlichen Erzvorrat von über 110'000 Tonnen, das entspricht etwa 33'000 Tonnen Mangan.

#### 10.2.2 BLEI-ZINK (TEILWEISE MIT SILBER)

Blei-Zinkvererzungen sind in der Schweiz fast ausschliesslich auf die Alpen beschränkt. Viele sind gangförmig im Nebengestein eingelagert und am Ende des Paläozoikums entstanden. Bleiglanz (PbS) und Zinkblende (ZnS) sind die verwertbaren Erzminerale, wobei stellenweise der Bleiglanz etwas silberhaltig sein kann. Einige Vorkommen sind aus dem Wallis bekannt, beispielsweise im Val d'Hérens (Praz Jean) oder in der Umgebung von Sembrancher. Zahlreich sind Gänge von Blei-Zinkerzen bei Goppenstein (VS), bei Trachsellaunen (BE), am Bristenstock (UR) sowie im Bündnerland auf Alp Nadels und Alp Taspin. Goppenstein wurde 1474 erstmals erwähnt und im Laufe der nächsten Jahrhunderte mit wechselndem Erfolg ausgebeutet, mit einer Blütezeit im 19. Jahrhundert. Der Probebergbau im zweiten Weltkrieg förderte lediglich 40 Tonnen Erz. Die heute noch sichtbaren Aufbereitungsanlagen entstanden zwischen 1949 und 1952, als auch Hunderte von Metern Förderstollen angelegt wurden. Einige Bleilagerstätten sind schichtgebundene Vorkommen in Karbonatgesteinen der mittleren Trias. Darunter fallen die bekannten Vorkommen vom Silberberg bei Davos GR und bei S-charl GR. Sie gehören zu einer grossen Gruppe ost- und südalpiner Blei-Zinklagerstätten. Weitere Bündner Blei-Zinkvorkommen mit temporärem Abbau sind bekannt von Tiefencastel, Val Schmuér (Pb-Zn-Cu), Obersaxen, Taspin (Pb-Zn-Ag), nebst den zahlreichen Erzgängen des Malcantone (Astano, TI). Um 1904 wurden mehrere Versuchsstollen in dem im 19. Jahrhundert von Einheimischen entdeckten Bleivorkommen im Val Cadlimo angelegt.

#### 10.2.3 KUPFER (Z.T. MIT WISMUT UND ARSEN)

Kupfererze, welche sich für eine Kupfergewinnung eignen würden, kommen in der Schweiz nur selten vor und haben kaum Veranlassung zu nennenswertem Bergbau gegeben. Verschiedene Vorkommen sind aus dem Val d'Anniviers (VS) bekannt, wo Mitte des letzten Jahrhunderts, aber auch noch zu Beginn dieses Jahrhunderts einzelne Gruben ausgebeutet wurden. In den Untersuchungen während des ersten Weltkrieges haben sich aber die Walliser Gruben als nicht mehr abbauwürdig erwiesen. Weil die Versorgung während des zweiten Weltkrieges ungenügend war, wurde in den Jahren 1940 bis 1945 der

Abbau in der Kupfer-Wismutlagerstätte Baicolliau bei Grimontz (Val d'Anniviers) trotzdem wieder aufgenommen. Insgesamt konnten damals aus 800 Tonnen Roherz etwa 10 Tonnen Elektrolytkupfer hergestellt werden. In den Zentralmassiven und in der nördlichen Kalkalpenzone sind die Vererzungen am Bristenstock (UR) und im Vorderrheintal (Puntailas, Obersaxen) sowie die Kupfervererzung der Mürtchenalp (SG) bekannt. Aus letzterer Grube wurde im 19. Jahrhundert Erz ins Ausland verkauft, allerdings mit Verlust. Auch die Abbauprobe während des ersten Weltkrieges blieben ohne Erfolg. Im Penninikum und in den ostalpinen Gesteinsserien Graubündens sind wenige Kupfervererzungen bekannt, grössere Bedeutung erlangten die Kupfererze von Ursera, am Eingang zum Avers, wo alter Bergbau nachgewiesen ist (letztmals um 1860).

#### 10.2.4 NICKEL-CHROM, KOBALT

Nickel-Kobalterze sind hauptsächlich aus dem Wallis (Val d'Anniviers und Turtmanntal) bekannt. Nickelerze und stellenweise auch Chromitvererzungen sind aus ultrabasischen Körpern in Graubünden, im Zermatter Gebiet (VS) und aus der im Grenzbereich Schweiz/Italien liegenden Ivrea-Zone zwischen dem Val Sesia und dem Centovalli bekannt (Finero-Komplex). Nickel- und Kobaltbergbau fand im 18. und 19. Jahrhundert in den Gruben «Grand Praz» und «Gollyre» im Val d'Anniviers und im späten 19. Jahrhundert bei Kaltenberg im Turtmanntal (VS) statt. Aus Ergiebigkeitsgründen und aus wirtschaftlichen Überlegungen wurde während der Kriegsjahre auf einen erneuten Abbau verzichtet.

#### 10.2.5 ANTIMON

In der Schweiz kommt Antimonglanz (das Metall Antimon wird in einigen Legierungen verwendet) nur ganz selten vor und hat keine praktische Bedeutung. Ebenfalls wenig verbreitet sind Antimonsulfosalze (z.B. Lengenbach/Binntal [VS]), vgl. [Kapitel 11.1.4.2](#).

#### 10.2.6 MOLYBDÄN UND WOLFRAM

Molybdänit ist hauptsächlich vom Aarmassiv bekannt. Ein seit längerer Zeit bekanntes Vorkommen liegt am Alpjahorn im oberen Baltschiederthal (VS) auf 2700 bis 2950 m ü.M. In den Jahren 1969 bis 1980 wurde das vielversprechende Molybdän-Wolframvorkommen in verschiedenen Explorations- und Bohrkampagnen von französischen und kanadischen Minen-



gesellschaften untersucht, ein Abbau fand jedoch nie statt. Wolfram, meist in Form von Scheelit ( $\text{CaWO}_4$ ) ist von verschiedenen kleineren, wirtschaftlich unbedeutenden Vorkommen aus dem Aar- und Gotthardmassiv bekannt. In den Sanden des Südtessins sind an vielen Stellen erhöhte Scheelitgehalte festgestellt worden, und es gelang, im anstehenden Fels Scheelit zu finden, vor allem in Kalksilikatlinsen und -lagen im Malcantone und in der Val Colla [Stalder & Wenger, 1988]. Erhöhte Wolframgehalte sind im Gold-Arsenvorkommen von Salanfe (VS) festgestellt worden und in der Gold-Wolframvererzung am Calanda (GR) ([Abbildung 10.6](#)).

#### 10.2.7 GOLD

Kleine Mengen an Waschgold sind aus vielen Bächen und Flüssen der Schweiz bekannt, und teilweise gilt die Molasse, wenn auch nur in ganz bescheidenem Masse, als goldhaltig. Insbesondere im Napfgebiet, im nordostschweizerischen Alpenvorland, an der Allondon-Mündung in die Rhone (SW Genf), am Vorderrhein bei Disentis sowie in einigen Tessiner Wasserläufen wurde und wird auch heute wieder vermehrt Gold gewaschen, jedoch nur hobbymässig. Unter den schweizerischen Berggoldvorkommen ist das seit dem Mittelalter bekannte Vorkommen «Goldene Sonne» am bündnerischen Calanda erwähnenswert. Hier wurden die bisher schönsten Freigoldstufen in der Schweiz gefunden. Etliche Goldmünzen wurden aus Calanda-Gold geprägt, rentabel war die Vererzung aber nie (einige Golddukaten sind im Bündner Naturmuseum, Chur, ausgestellt). Bei Salanfe (VS) sind zum Teil hohe Goldgehalte von bis zu 20 Gramm pro Tonne gemessen worden, die goldführenden Zonen sind jedoch nur sehr geringmächtig und liegen ungünstig. Ebensolches gilt für das Goldvorkommen von Gondo (VS) bei Zwischbergen an der Simplonstrasse. Im Malcantone (Astano, Miglieglia, TI) sind über 20 vererzte, kleine Zonen bekannt mit stellenweise hohen Gold- und Silbergehalten. Bis zum Beginn des zweiten Weltkrieges wurden südöstlich von Astano Gold und Silber abgebaut. Neben den bekannten Waschgoldvorkommen bei Disentis wurden in den 40er Jahren auch Berggoldvorkommen bei Sedrun und in der Lukmanierschlucht wiederentdeckt. Eine kanadische Firma untersucht seit 1986 dieses Vorkommen und hat mit Explorationsbohrungen insgesamt vier erzeiche Zonen entdeckt, welche im Durchschnitt 2–3 Gramm pro Tonne Gold enthalten [Knopf et al., 1989].

#### 10.2.8 ÜBRIGE MINERALE/INDUSTRIEMINERALE

Asbest wurde früher verschiedentlich aus ultrabasischen Körpern gewonnen, so auf Alpe Quadrada (GR), bei Zeneggen (VS), Sils Maria (GR) und am Geisspfad (VS). Während des ersten Weltkrieges wurden immerhin etwa 440 Tonnen Rohasbest produziert. Der Rohasbest wurde teilweise zu Garnen gespult, teilweise zu Asbestkarton und Eternit-Platten verarbeitet. Heute findet kein Abbau mehr statt.

In den kristallinen Gebieten der Alpen treten Talkgesteine häufig in Form kleiner Linsen von wenigen Kubikmetern bis zu einigen zehntausend Kubikmetern Inhalt auf. Seltener sind Vorkommen von Talkschiefern. Talk wird einerseits in gemahlener Form (Papierindustrie, Keramik, Schmier- oder Füllmittel usw.) verwendet, andererseits werden talkreiche Gesteine wegen der hohen Wärmekapazität und der leichten Bearbeitbarkeit im Ofenbau verwendet. Erstere Verwendung war nur während des ersten Weltkrieges von Bedeutung, für den Ofenbau werden auch heute noch Talkgesteine, zum Teil aus Sturzblöcken, verwendet. Von alters her wurde besonders im Bündner Oberland, im Tessin und im Oberwallis in Ultrabasilinseln talkreiche Gesteine (Ofensteine) ausgebeutet.

Feldspat aus Pegmatiten (teilweise auch Quarz) wurde an verschiedenen Orten, hauptsächlich aber oberhalb Sementina (TI) ausgebeutet (sporadisch von 1905 bis 1946).

Barium und Fluor (Baryt und Fluorit), zur Herstellung von Schwerbeton und zur Aluminiumelektrolyse, wurden noch während des zweiten Weltkrieges abgebaut: Baryt am Mte. San Giorgio bei Serpiano (TI), bei Trachsellauenen (BE) und am Sustenpass (UR), Fluorit in der Umgebung von Martigny-Sembrancher (Les Trappistes, Mt. Catogne, Mt. Chemin, VS).

Gips, Salz und verschiedene Tone wurden und werden an verschiedenen Orten abgebaut (vgl. auch [Kapitel 4](#), [8.1](#) und [8.2](#)).

### 10.3 ENERGIEROHSTOFFE

Als Energierohstoffe werden hier einerseits Minerale verstanden, die aufgrund ihrer natürlichen Radioaktivität als Ausgangsstoffe für Kernspaltreaktionen gebraucht werden können (z.B. Uran, Thorium). Andererseits versteht man darunter die mineralischen Bodenprodukte, die durch ihren vorwiegenden Gehalt an Kohlenstoff (zum Teil neben reichlich

Wasserstoff) als mineralische Brennstoffe verwendet werden können (z.B. Kohlen, Erdöl). Aufgrund ihrer Entstehung und nach der Art der kohlenstoffhaltigen Verbindungen ist eine Unterteilung in Kohlen und Bitumina zweckmässig. Die meisten Erdgase sind im Zusammenhang mit der Bitumenbildung entstanden, allerdings gibt es auch Erdgase, die mit Kohlenbildungen zusammenhängen (vgl. 10.3.4). Geothermie, die Energiegewinnung aus tiefliegenden Gesteinsformationen, wird in diesem Werk ausgeklammert. Es sei an dieser Stelle aber auf verschiedene Arbeiten aus dem Institut für Geophysik und von der geophysikalischen Kommission (beide ETH Zürich) sowie auf den sogenannten Nationalen Energie-Forschungs-Fonds (NEFF) und das Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) hingewiesen, wo in den letzten Jahren einige Studien erarbeitet wurden.

### 10.3.1 URAN

Unterstützt durch verschiedene Gesellschaften und Vereinigungen und mit finanzieller Hilfe des Bundes wurden in den Jahren 1956 bis 1984 in den Alpen Uranprospektionsarbeiten durchgeführt. Mehrere radiometrische Anomalien und einige Uranmineralisationen (vorwiegend Pechblende) wurden dabei entdeckt oder neu untersucht. Sie liegen zum grössten Teil in einer schmalen Zone, die sich aus der Umgebung von Martigny VS längs des Rhonetals und des Vorderrheintales bis gegen Ilanz GR und von dort gegen Norden ins obere Weisstannental und in das Murgtal (SG) erstreckt. Die komplizierten Lagerungsverhältnisse und die geringen Schätzwerte für die möglichen geologischen Ressourcen (5 bis 250 t Uran als möglicher Uraninhalt, respektive 50 bis 250 ppm Uran als mittlerer Urangehalt) ergeben heute keine wirtschaftliche Bedeutung. Eine zusammenfassende Arbeit mit einer Übersichtskarte im Massstab 1:500'000 wurde 1988 unter dem Titel «Zur Geologie der Uranmineralisationen in den Schweizeralpen» publiziert [Gilliéron, 1988].

### 10.3.2 BITUMEN (ASPHALT)

Verschiedene kleinere und zumeist unbedeutende Asphalt-impregnationen finden sich sporadisch verteilt im Jura, im Molasse-Vorland und seltener auch in den Alpen (eine Beschreibung der einzelnen Lokalitäten ist in Kündig & de Quervain [1953] gegeben). Wirtschaftliche Bedeutung haben eigentlich nur die Asphaltminen im Val de Travers - La Presta erlangt, wo seit 1711 und noch bis 1986 Kalke mit 5 bis 12 Gew.% Bitumen abgebaut und zur Asphaltproduktion ver-

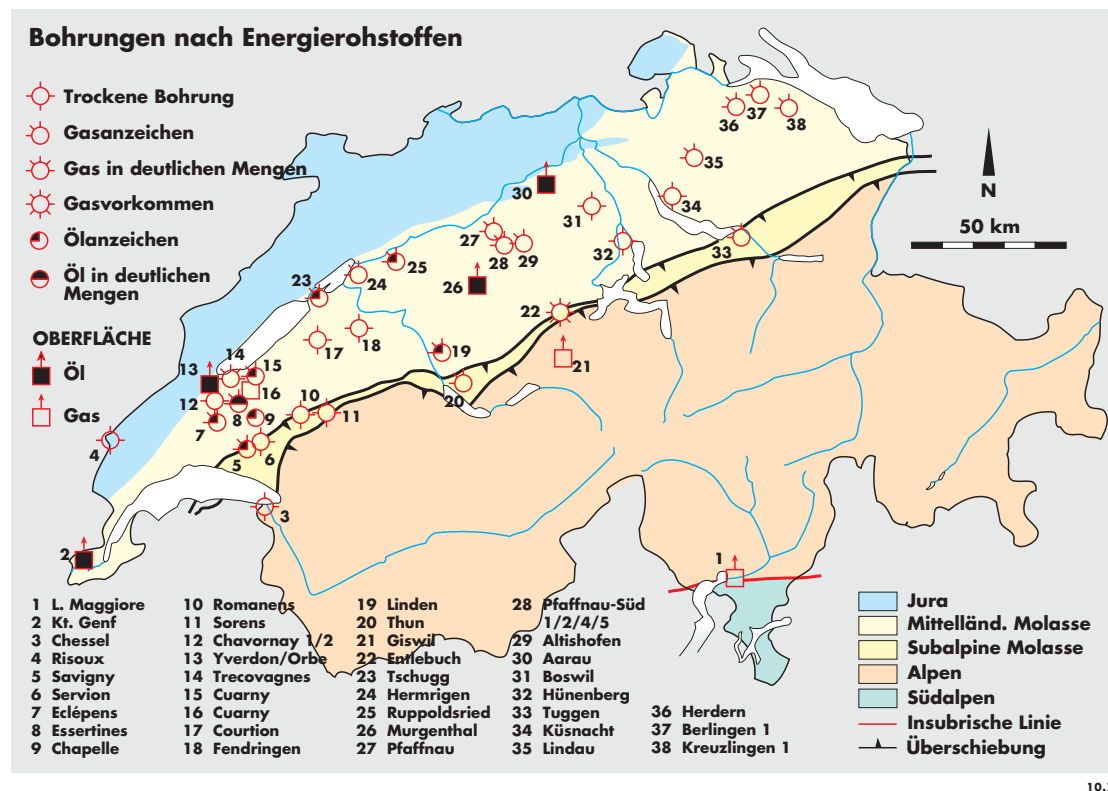
wendet wurden (bis 1837 im Tagebau, später dann im Stollenbau). Ebenfalls nur noch von historischer Bedeutung sind die bituminösen Schiefer am Mte. San Giorgio (TI), woraus bis in die 50er Jahre Saurol, ein durch Raffination gewonnenes Öl, als Arzneimittel hergestellt wurde. Ein Versuch während des zweiten Weltkrieges, aus den bituminösen Schiefern des Mte. San Giorgio auch Treibstoff zu gewinnen, schlug wegen völliger Unwirtschaftlichkeit fehl [Kündig & de Quervain, 1953].

### 10.3.3 GAS UND ÖL (KOHLENWASSERSTOFFE)

Im Bereich des Jura, des Mittellandes und der Nord-, beziehungsweise Südalpen sind seit längerem zahlreiche Kohlenwasserstoffindikationen an der Oberfläche, in Tunnels und Stollen bekannt [Frick & Büchi, 1981; Greber et al., 1995]. Erwähnenswert sind die mit Öl getränkten oder imprägnierten Molassesandsteine in der Umgebung von Aarau, Murgenthal, Yverdon-Orbe und im Kanton Genf. Bedeutende oberflächliche Erdgasaustritte wurden seit jeher in der Region von Cuarny VD, Giswil OW und in den Uferbereichen des Lago Maggiore (TI) beobachtet. Letztere wurden sogar in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts als Motortreibstoff und zu Kochgaszwecken verwendet. Viele dieser Gasindikationen sind eindeutig thermokatalytischer Natur und stehen wahrscheinlich mit tiefer liegenden Vorkommen oder gasproduzierenden Zonen in Verbindung. Mit der an Bedeutung gewinnenden industriellen Nutzung von Erdgas und Erdöl wurde von den 20er Jahren an auch in der Schweiz intensiv mit professionellen Methoden nach diesen Energierohstoffen gesucht. Mit über dreissig Tiefbohrungen wurde der Bereich des Schweizer Mittellandes abgesucht, mit nur kleinem Erfolg (Abbildung 10.7). Ansporn für die kostspielige und langandauernde Explorationsphase waren vielversprechende Funde in geologisch vergleichbaren Formationen in Süddeutschland und Oberösterreich [Brink et al. 1992]. Um die Explorationstätigkeit in der Schweiz zu koordinieren, wurde in den 60er Jahren die SWISSPETROL Holding AG gegründet. Die Beteiligungsgesellschaften verfügten über kantonale Schürfkonzessionen und arbeiteten mit ausländischen Forschungspartnern zusammen.

Im Bereich der mittelländischen Molasse zeigten die Bohrungen Essertines-1 (VD, 1962/63) und Pfaffnau-Süd 1 (LU, 1964) die positivsten Resultate. Während aus der Bohrung Essertines-1 rund 100 Tonnen hochwertiges Erdöl gewonnen werden konnten, wurden bei Pfaffnau-Süd 1 einige Millionen Kubikmeter Erdgas aus der Unteren Süsswassermolasse abgefackelt (Swisspetrol 1975). Im Alpenrandgebiet zeigten sich





10.7

Alter bedingen ferner die Unterteilung in Kohlen der Karbonformation, Kohlen aus mesozoischen und alt-tertiären Schichten, Kohlen aus den Molasseschichten sowie quartäre Kohle. Eine erste urkundliche Erwähnung des Kohleabbaues in der Schweiz geht auf 1548 zurück (Schweizer Chronik von Johannes Stumpf). Nach den Anfängen im Mittelalter und einer staatlich gelenkten Abbauperiode im 18. und 19. Jahrhundert wurden vor allem während der Kriegsjahre Schweizer Kohlen ausgebeutet. Allein in Käfornach bei Horgen ZH waren 1945 über 200 Bergleute mit dem Kohlenabbau beschäftigt,

1972/73 bei der Bohrung Linden-1 (BE) erste Teilerfolge, als in Riffalken des Malm Kondensatvorkommen in der Grössenordnung von einigen Millionen Kubikmetern angetroffen wurden. Jedoch erst mit der Bohrung Entlebuch-1 (Finsterwald, LU, [Titelbild Kapitel 10](#)) wurde 1980 das bis heute einzige kommerziell ausgebeutete Gasvorkommen der Schweiz angebohrt. Aus dem verkarsteten Malm wurden vom April 1985 bis Juli 1994 insgesamt rund 75 Millionen Kubikmeter Gas und kleinere Mengen Kondensat gefördert.

Ob die Schweiz über weitere wirtschaftlich lukrative Kohlenwasserstoffvorkommen verfügt, ist letztlich eine Frage des Marktpreises dieser Energierohstoffe. Aus dieser Perspektive haben speziell die möglicherweise sehr tief liegenden Gasvorkommen unter dem nordalpinen Überschiebungsbereich [Gunzenhauser & Bodmer, 1993] sowie die Kohlenflözgas im Nordschweizer Permokarbon-Trog [Kempster, 1994; siehe auch im [folgenden Abschnitt unter Kohlen und Torf: Anthrazit](#)] ein vielversprechendes Energiepotential für die Zukunft.

#### 10.3.4 KOHLEN UND TORF

Aufgrund des zunehmenden Kohlenstoffgehaltes (zunehmender Inkohlungsgrad) unterscheidet man zwischen Torf, Braunkohle, Steinkohle und Anthrazit. Beschaffenheit und

die Jahresproduktion betrug dort über 10'000 Tonnen und stieg kurz nach Kriegsende wegen fehlender Kohleimporte auf rund 13'000 Tonnen. Gesamtschweizerisch wurden zwischen 1940 und 1947 etwa 500'000 Tonnen Anthrazit, 410'000 Tonnen Braunkohlen und 275'000 Tonnen Schieferkohlen gefördert. Damit konnte für die Industrie während des Krieges 28% des Kohlebedarfs gedeckt werden. Nachdem die Kohleimporte wieder funktionierten, ging es mit der einheimischen Förderung rapide bergab, und die Betriebe wurden liquidiert.

**Anthrazit:** Die Anthrazitvorkommen sind fast ausschliesslich auf das Wallis konzentriert. Karbonische Kohlen ausserhalb des Wallis sind selten und ohne wirtschaftliche Bedeutung. Die Vorkommen erstrecken sich in drei Hauptzügen von Salvan-Vernayaz zum Lac de Fully (Dents de Morcles), im Bereich des unteren Lötschentals und vom Val d'Entremont über das Val de Bagnes nach Sion und gegen den Simplon. Da die Walliser Anthrazite nur beschränkt verwertbar sind (schwer entzündbar, brennen langsam ab, hoher Aschegehalt), werden seit den Kriegsjahren ausländische Kohlen bevorzugt. Die wichtigeren Abbaustellen befanden sich bei Bramois, Chandoline, Collonges, Dorénaz, Ferden, Grône, Isérables und Nendaz. Im Verlaufe des Tiefbohrprogrammes der Nagra (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle) konnte in der Nordschweiz ein bisher nur vermutetes, tieflie-

**Abbildung 10.7:** Karte der Schweiz mit Gas- und Öllindikationen in den Explorationsbohrungen sowie mit den wichtigsten natürlichen Gas- und Öllindikationen. (Karte: Geoform AG, Winterthur).

gendes Kohlevorkommen im «Permokarbondrog» mit einer kohleführenden Zone zwischen Riniken AG und Weiach ZH nachgewiesen werden. Mehrere Kohleflöze (Gasflamm- bis Fettkohlen) sind auf einer Tiefe zwischen 1400 und 1800 m bekannt. Wegen des hohen Aschegehaltes (17 bis über 20%) und wegen der grossen Lagerungstiefe ist eine Förderung heute ausgeschlossen [Nagra 1989, Sondierbohrung Weiach]. Interessant könnte dieses beachtliche Energiepotential hingegen im Hinblick auf eine mögliche Kohlenflözengasung werden [Kempter, 1994].

*Mesozoische und eozäne Kohlen:* Fast alle Lagerstätten aus diesem Bereich zeichnen sich durch tektonische Komplikationen oder eine schwierige Zugänglichkeit aus, die wirtschaftliche Bedeutung ist dementsprechend gering. Erwähnenswert sind die eozänen Kohlen von Beatenberg BE und Kandergrund BE sowie die Doggerkohlen von Boltigen BE.

*Molassekohlen:* Vielerorts sind Molassekohlen (Pechkohlen, Glanzbraunkohlen; vom Brennwert her vergleichbar mit Braunkohlen) als dünne und kleinräumige Flöze in der Molasse eingelagert. Manche Betriebe wie Ziegeleien, Zementfabriken, Glashütten, Kalkbrennereien verwendeten diese Kohlen als Ersatzbrennstoffe. Grössere Produktionsorte befanden sich in Käpfnach/Gottshalden/Gwandlen ZH, Paudex-Oron VD, Mionnaz VD, Elgg ZH, Rufi/Schänis SG, Sonnenberg/Littau LU, Reppischtal/Riedhof ZH, Herdern TG und Höhrone ZG. Daneben existierten zahlreiche Kleinbetriebe [Kündig & de Quervain, 1953]. Die Verbrennung der Käpfnacher Kohle wurde wegen des hohen Schwefelgehaltes und technischer Schwierigkeiten aufgegeben. Noch heute zeugt ein weitverzweigtes, über 20 Kilometer langes Stollensystem vom ehemaligen Abbau. Einzelne Stollen sind der Öffentlichkeit als Besucherbergwerk wieder zugänglich gemacht worden (vgl. [Anhang](#)).

*Schieferkohlen:* Unter dem Begriff Schieferkohlen sind Kohlenbildungen in pleistozänen Ablagerungen (Moränen, fluvio-glaziale Schotter und Sande) zusammengefasst. Die Flöze besitzen meist geringe Ausdehnung, der Wassergehalt dieser qualitativ zwischen Torf und Braunkohle liegenden Kohlen liegt zwischen 40 und 70%. Die durch den Wassergehalt nötige Trocknung und der relativ geringe Heizwert machten diese Schieferkohlen nur in absoluten Krisenzeiten attraktiv (Abbau vor 1911 etwa 920'000 Tonnen, zwischen 1917 und 1921 etwa 138'000 Tonnen, von 1941 bis 1946 etwa 275'000 Tonnen). Die bedeutenderen Vorkommen sind Uznach-Kaltbrunn SG, Eschenbach/Dürnten/Wetzikon SG, ZH, Zell/Gondiswil BE, LU, Mörschwil SG und Grandson VD.

## 10.4 WIRTSCHAFTLICHKEIT, IMPORT/EXPORT

### 10.4.1 BERGBAU, WIRTSCHAFTLICHKEIT

Der Bergbau ist, neben der Landwirtschaft, weltweit die wichtigste Primär-Industrie. Während die Landwirtschaft vielerorts aus Überlegungen der Selbstversorgung stark subventioniert wird, ist der Erzbergbau in vielen industriell hoch entwickelten Ländern Europas wegen Unrentabilität nahezu oder vollständig zum Erliegen gekommen. Der Abbau mineralischer, oder zumindest metallischer, Rohstoffe hat in der Schweiz seit dem zweiten Weltkrieg weitgehend seine Bedeutung verloren. Die für die Industrie und den täglichen Gebrauch benötigten Rohstoffe werden aus aller Welt importiert.

### 10.4.2 VERSORGUNG MIT EIGENEN ERZEN?

Bei der Frage der Versorgung mit eigenem Erz geht es um strategische Reserven, also um Vorkommen von Rohstoffen, die unter normalen Bedingungen wirtschaftlich nicht rentabel sind, in Krisenzeiten aber zur Versorgung der einheimischen Industrie abgebaut werden könnten. Während vergangener Krisenzeiten war beispielsweise die Selbstversorgung mit Eisen zumindest teilweise möglich. Auch heute wäre bei bekannten Reserven von rund 25 Millionen Tonnen Eisen der Jahresbedarf theoretisch über längere Zeit zu decken ([Tabelle 10.1](#)). Die während des zweiten Weltkrieges geförderte Kohle entspricht mit 1.2 Millionen Tonnen nur etwa einem Drittel des Jahresbedarfs von heute. Die damals genutzten Kohlevorkommen sind heute nahezu erschöpft. Um die Grössenordnung der benötigten Rohstoffe zu verdeutlichen, sind in [Tabelle 10.1](#) Produktion sowie Import und Export einiger mineralischer Rohstoffe aufgelistet. Verglichen mit den jährlichen Importmengen ist die schweizerische Eigenproduktion praktisch bedeutungslos. Durch das in letzter Zeit immer stärker verbreitete Materialrecycling entsprechen die aufgeführten Produktionszahlen meist nicht der primären Rohstoffproduktion und lassen sich Exportmengen ohne eigenen Abbau erklären (beispielsweise Blei aus importierten Autobatterien). Unter gewissen Voraussetzungen bestehen aber durchaus berechtigte Aussichten, dass in Krisenzeiten der Bedarf an einigen wichtigen Metallen zum Teil aus einheimischen Ressourcen gedeckt werden könnte: Der Metallinhalt der Molyb-



**Tabelle 10.1: Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe:  
Produktion, Import und Export in der Schweiz, Stand 1991**

	PRODUKTION (in t)	EXPORT (in t)	IMPORT (in t)
Aluminium	65'899	70'120	244'963
Antimon			475
Asbest			576
Baryt			1'289
Bentonit			14'692
Blei	5'200	17'622	9'612
Chrom			1'815
Diamant (in Karat)			
Industrie		285'000	255'000
andere		7'355'000	8'270'000
Diatomit (Kieselerde)		19	6'073
Eisen Roheisen			
(Pig iron)	70'000		
Stahl	955'000		
Eisenlegierungen	5'000		
Total	1'030'000	110'218	380'628
Erdöl Rohöl		4'528'655	
Treibstoffe			
und Heizöle		7'516'912	
sonstige		535'638	
Total		12'581'205	
Feldspat			12'462
Fluorit			575
Fullererde			1'507
Graphit			202
Gips	230'000	14'692	121'931
Glimmer		46	505
Gold (in kg)		1'135'048	1'255'524
Iod (in kg)		465'816	84'628
Kalium		1'693	77'326
Kaolin			87'827
Kohle		3'104	381'554
Kobalt		139	248
Kupfer		36'216	17'336
Magnesit			379
Magnesium			5'813
Mangan			519
Molybdän			19
Nickel		411	1'271
Platinelemente (in kg)		65'785	75'327
Phosphat			446
Quecksilber (in kg)		11'263	12'949
Salz	302'173		3'238
Schwefel		28'977	51'418
Silber (in kg)		2'376'014	2'563'258
Sillimanit			379
Talk		153	14'510
Titan Metall		355	
Oxid		595	17'190
Wismut			11
Wolfram		74	88
Zink		1'631	22'237
Zinn		134	941

Quelle: World Mineral Statistics 1987–1991, British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, 1993.

dänlagerstätte Alpbahorn (VS) wird auf 200 bis 2000 Tonnen Molybdän geschätzt (Schweizer Jahresbedarf etwa 20 t). Der wahrscheinliche Metallinhalt der Manganlagerstätte Falotta GR beträgt 10'000 bis 35'000 Tonnen Mangan (Schweizer Jahresbedarf etwa 520 t). Der Bedarf an Metallen wie Wolfram, Nickel, Antimon und Kobalt (siehe [Tabelle 10.1](#)) könnte angesichts der bekannten, bisher aber quantitativ nicht untersuchten Vorkommen auch zu einem Teil durch Eigenproduktion gedeckt werden. Daneben bestünde für Industriemineralien wie Baryt, Schwefel, Anhydrit und Phosphat eine potentielle Möglichkeit zur Eigenversorgung. Die Eigenproduktion von Baryt in den Jahren 1942 bis 1944 betrug beispielsweise 800 Tonnen, diejenige von Schwefel (1940–45) 3400 Tonnen. Es gilt aber stets zu beachten, dass im Normalfall vom Zeitpunkt der Entdeckung einer Lagerstätte bis zur industriellen Gewinnung fünf bis fünfzehn Jahre verstreichen und somit in nur mangelhaft untersuchten Vorkommen die Produktion nicht problemlos und kurzfristig (wieder) aufgenommen werden könnte. Stellen und Organisationen, die sich in der Vergangenheit mit Fragen bezüglich Vererzungen, wirtschaftlichen Aspekten der Erz- ausbeutung, betätigt haben und dies auch dokumentierten, sind im [Textkasten](#) angegeben. Für weiterführende Auskünfte sei auf diese Adressen und auf die [Literatur zu diesem Kapitel](#) verwiesen.

#### Wer hilft weiter bei Fragen bezüglich Vererzungen in der Schweiz?

Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH-Zentrum, 8092 Zürich  
-> Inventar mineralischer Rohstoffe, Sammlungen und Archive (u.a. Erzsammlung des Büros für Bergbau, Sammlung nutzbarer Gesteine).

Schweizerische Geologische Dokumentationsstelle (SGD), 3003 Bern.  
-> umfassendes geologisches Archiv, inkl. Akten und Berichte zur Bergbautätigkeit während der Weltkriege.

Studiengesellschaft für die Nutzbarmachung schweizerischer Lagerstätten mineralischer Rohstoffe, c/o Tj. Peters, Mineralogisch-Petrographisches Institut, Baltzerstrasse 1, 3012 Bern  
-> Studien und Untersuchungen zu Abbauwürdigkeit und Verwertung schweizerischer Lagerstätten; Studien und Projekte zu Nutzung von «Wertstoffen» und deren Einbezug in Herstellungsprozesse; umfangreiche Dokumentation (Archiv c/o -> Eisenbibliothek).

Eisenbibliothek (Stiftung der Georg Fischer AG), Klostersgut Paradies, 8246 Langwiesen -> Archiv der Studiengesellschaft (siehe oben); zahlreiche unpublizierte Berichte, Fachbibliothek.

## 11 MINERALIEN

### Übersicht

- 11.1 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Bedeutung der sammelwürdigen Mineralien
    - 11.1.1 *Alpine Zerrkluftmineralien*
      - 11.1.1.1 *Definition*
      - 11.1.1.2 *Die Lage der Mineralkluft im Gestein*
      - 11.1.1.3 *Hydrothermale Alteration*
      - 11.1.1.4 *Fluide Einschlüsse*
      - 11.1.1.5 *Herkunft der Kluftlösungen*
      - 11.1.1.6 *Kristallwachstum in der Kluft*
      - 11.1.1.7 *Zerrkluftmineralien als Sammelobjekte*
    - 11.1.2 *Pegmatite*
    - 11.1.3 *Gesteinsbildende Mineralien*
      - 11.1.3.1 *Mineralbildungen der Amphibolitfazies*
      - 11.1.3.2 *Mineralbildungen der Hochdruckmetamorphose*
    - 11.1.4 *Erzvorkommen*
      - 11.1.4.1 *Mangan-Erzlagerstätte Falotta (und entsprechende Manganvorkommen)*
      - 11.1.4.2 *Arsensulfid-Vererzung im Lengenbach, Binntal*
  - 11.2 Ausbeutung – Sammeltätigkeit – Handel – Verarbeitung
    - 11.2.1 *Historische Anmerkungen*
    - 11.2.2 *Strahlerzentren der Schweiz*
      - *Tavetsch (Surselva GR)*
      - *Bristen (Maderanertal UR)*
      - *Guttannen (Oberhasli BE)*
      - *Binn (Binntal VS)*
    - 11.2.3 *Sammler- und Strahler-Vereinigungen, Börsen, Publikationen*
    - 11.2.4 *Bestimmungen über das Mineraliensammeln in der Schweiz*
    - 11.2.5 *Verarbeitung von Mineralien*
-



# 11 MINERALIEN



**Kapitelinhalt**



Autor: Prof. Dr. Hans Anton Stalder, Naturhistorisches Museum, Bernastrasse 15, 3005 Bern

Fotos: Walter Gabriel, Münchenstein (11.15, 11.17, 11.19, 11.20, 11.21, 11.22, 11.23, 11.25, 11.26, 11.29, 11.30, 11.31), Hans Mühlethaler, Bern (11.16), Erich Offermann, Arlesheim (11.18), Stefan Rebsamen, Historisches Museum Bern (11.32, 11.34, 11.36), Thomas Schüpbach, Nidau (11.12), Valentin Sicher sen., Gurtellen (11.24), Hans Anton Stalder, Bern (11.2, 11.11, 11.14), Peter Vollenweider, Naturhistorisches Museum Bern (Titelbild, 11.1, 11.8, 11.9, 11.10, 11.27, 11.28, 11.33, 11.35)

---

**Abbildung auf Vorderseite:**  
**Facettierte Kyanite (Disthen; 3.9**  
**und 4.8 Karat) auf Kyanitstufe von**  
**der Alpe Sponda, Leventina (TI).**



## ÜBERSICHT

---

Das Kapitel «Mineralien» mag in einem Gesamtwerk über die mineralischen Rohstoffe der Schweiz auf den ersten Blick erstaunen, erhält aber durchaus die Berechtigung zur Integration, wenn man neben der klassischen Auffassung der privaten, institutionellen oder auch musealen Forschungs- und Sammeltätigkeit auch die volkswirtschaftliche Bedeutung für einzelne Regionen und auch gesamtschweizerisch in Betracht zieht.

Das vorliegende Kapitel ist jenen Mineralien gewidmet, die durch ihre Kristallform und/oder Farbe die Aufmerksamkeit eines Finders erwecken und die seit Jahrhunderten als sammlungswürdig gelten. Dabei ist es unerheblich, ob die Mineralien als bearbeitbare Objekte oder als Naturkörper um ihrer selbst willen gesucht und ausgebeutet werden. Damit sind weitaus die meisten gesteinsbildenden Mineralien ausgeschlossen. Im Vordergrund stehen die Mineralien, die man in alpinen Zerrklüften findet, allen voran die Quarzminerale. Auf diese «Spezialität» der Alpen wird denn auch im ersten Teil hingewiesen, wo speziell auf chemische und mineralogische Änderungen im Nebengestein sowie auf neuere Erkenntnisse aus dem Studium von fluiden Einschlüssen in den Kluftminerale eingegangen wird. Die Herkunft der Kluftlösungen und ebenso das Kristallwachstum in der Kluft werden zusammengefasst. Dazu kommen Angaben zu einigen Pegmatitbildungen und zu einer kleinen Serie von Mineralien, die ihre Entstehung der alpinen Metamorphose verdankt. Viele Mineralien von Erzvorkommen fallen ebenfalls unter das oben angegebene Auswahlprinzip, die Erze selbst werden aber im [Kapitel 10](#) zusammenfassend behandelt.

Viele Mineralien wurden erstmals aus der Schweiz beschrieben. Dabei erlangte die Arsensulfid-Vererzung aus dem Lengenbach im Binntal (VS) weltweite Beachtung, stammen doch allein aus dieser Fundstelle Erstbeschreibungen von 22 Arten. Neben dem Binntal haben sich auch andere Regionen der Schweiz zu eigentlichen Strahlerzentren entwickelt, beispielsweise das Tavetsch, Bristen im Maderanertal und Guttannen im Oberhasli, um nur einige der wichtigeren zu nennen. Sind es für Touristen und Mineraliensammler meist zeitlich begrenzte Besuche in diesen Bergregionen, so lebten und leben doch eine gewisse Anzahl von professionellen Strah-

lern mehr oder weniger ausschliesslich vom Mineralienhandel, welcher seinerseits wieder direkt und indirekt Leute beschäftigt und welcher nicht zuletzt im Zusammenhang mit der infrastrukturellen Entwicklung einzelner Talschaften steht.

Handel mit Mineralien und verarbeiteten Produkten findet in der Schweiz heute an verschiedenen Börsen statt, wobei es überraschen mag, dass allein 1993 etwa 20 solcher Börsen stattgefunden haben, welche gesamthaft einige Zehntausende von Besuchern angesprochen haben. Es ist naheliegend, dass sich, bedingt durch das grosse Interesse, die Nachfrage und die wissenschaftliche Bedeutung, zahlreiche Sammler- und Strahlervereinigungen gebildet haben und mehrere Publikationsorgane entstanden sind. Auch die unumgänglich gewordenen Bestimmungen und Vorschriften über das Sammeln und den Handel mit schweizerischen Mineralien erscheinen in diesem Zusammenhang weniger als «Schikane» denn als logische Konsequenz eines stetig wachsenden, breiten Interesses an diesem Thema.



11.1

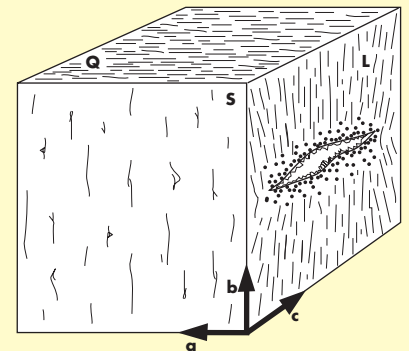


11.2

#### Allgemeine Lage einer alpinen Zerrkluft in verschiefertem Gestein

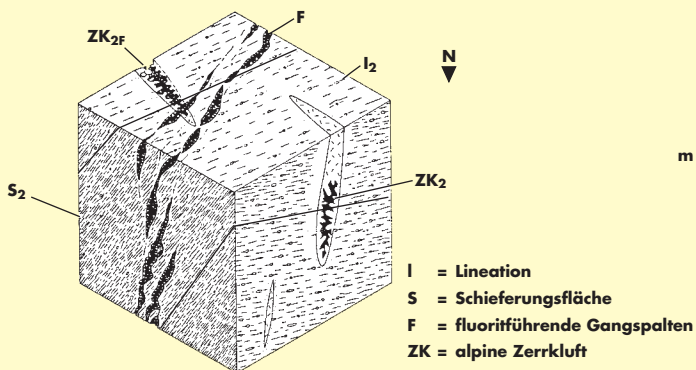
- S = Schieferungsfläche
- b = Streck- oder Strömungsrichtung
- a = Normale auf b in S
- c = Normale auf S
- Q = Querbruch
- L = Längsbruch

Kluftfläche = ac-Ebene  
Kluftachse = a-Richtung

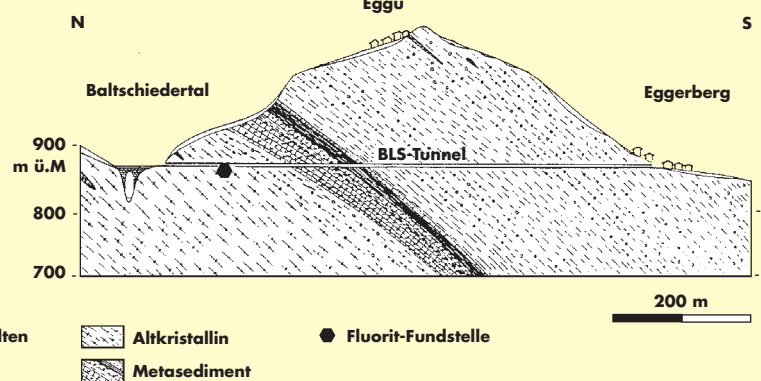


11.3

#### Kluftsysteme im Eggerbergtunnel BLS bei Visp



- I = Lineation
- S = Schieferungsfläche
- F = fluoritführende Gangspalten
- ZK = alpine Zerrkluft



11.4

Abbildung 11.1: Geschützte Mineralkluft Gerstenegg, Grimsel BE. Oben/hinten Bergkristall; Kluftboden gefüllt mit Chlorit, bedeckt mit Kalkzittafeln (Bildbreite etwa 1m).

Abbildung 11.2: Ausgeräumte Mineralkluft, Erlen, Grimsel BE mit auffälliger Alterationszone.

Abbildung 11.3: Allgemeine Lage einer alpinen Zerrkluft in einem leicht verschiferten Gestein.

Abbildung 11.4: Kluftsysteme verschiedenen Alters [nach Soom et al., 1988]. ZK2 = «normale» alpine Zerrkluft, senkrecht zu S2. F = fluoritführende Gangspalten, jünger als S2. ZK2F = von F angeschnittene ZK2, ebenfalls fluoritführend.

Eggerbergtunnel der BLS (VS), (vergleiche auch [Abbildung 11.20](#)).



## 11.1 WISSENSCHAFTLICHE UND WIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG DER SAMMELWÜRDIGEN MINERALIEN

### 11.1.1 ALPINE ZERRKLUFTEMINERALIEN

#### 11.1.1.1 Definition

Der Name sagt es, alpine Zerrklüftminerale kommen in den Alpen vor, also in gewissen Regionen der französischen, italienischen, schweizerischen und österreichischen Alpen. Das Aufreissen der Klüfte erfolgte während der alpinen Gebirgsbildung; dies belegen geologische Beobachtungen und radiometrische Altersbestimmungen. Die Grösse der Klüfte ist überaus unterschiedlich, wobei die mittleren Grössen etwa zwischen 50-30·5 cm und 5·2·1 m schwanken [Weibel et al. 1990]. Zwei sehr schöne alpine Zerrklüfte sind in den [Abbildungen 11.1](#) (Innenansicht alpine Zerrklüft Grimsel) und [11.2](#) (Zerrklüft im Gelände) abgebildet. Oft treten ganze Systeme von einzelnen parallel liegenden Klüften auf. Auch die Grössen der einzelnen Mineralien variieren sehr stark, von mikroskopisch klein bis riesengross, was beispielsweise für Quarz bis über 600 kg, für Adular bis zu 30 kg und für Fluorit bis zu 4 kg bedeutet. Die alpinen Klüftminerale sind hydrothermale Bildungen, wobei die [Mineralparagenese\\*](#) unverkennbar von der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung des Nebengesteins abhängt. Weitere offensichtliche Abhängigkeiten betreffen Bildungstemperatur, Bildungsdruck und Zusammensetzung der hydrothermalen Lösung. Weil die wichtigsten Klüftnebangesteine silikatischer Natur sind (beispielsweise Granite, Gneise, Glimmerschiefer, Amphibolite), werden in den Klüften vor allem Quarz und Silikate gefunden, doch können Vertreter aller Mineralordnungen angetroffen werden. So sind Sulfide in geringen bis geringsten Mengen fast immer vorhanden, und auch die Karbonate sind normalerweise vertreten, meist als Kalzit, im Zusammenhang mit CO<sub>2</sub>-reichen Klüftlösungen auch als Ankerit und Siderit.

#### 11.1.1.2 Die Lage der Mineralklüft im Gestein

Die meisten alpinen Gesteine weisen eine Paralleltexur auf, die der penetrativen Hauptschieferung der jeweiligen Region entspricht. Die S-Fläche besitzt normalerweise ein mehr oder weniger deutliches Streckungslinear. Die Zerrklüfte verlaufen nun mehr oder weniger senkrecht zum Streckungslinear, wobei die Klüftachse in der S-Fläche liegt. Die Mineralklüfte selbst können im Idealfall als Ellipsoide mit drei sehr verschieden langen Achsen beschrieben werden. Die längste Achse entspricht der Klüftachse, die kleinste der maximalen Klüftöffnung (siehe [Abbildungen 11.3](#) und [11.4](#)). Weil in den «autochthonen» Massiven die Schieferungsflächen steil stehen, liegen die Klüftflächen (= ac-Ebene) mehr oder weniger horizontal, in den Deckengebieten des Penninikums mit den flach liegenden Schieferungsflächen aber steil bis senkrecht. In der Richtung der Klüftachse können sich mehrere Hohlräume ablösen, die dann jeweils durch gering mächtige, schief zur ac-Ebene liegende Gesteinsplatten getrennt sind. Im Längsbruch ist oft eine schwache bis deutliche Einengung (= Boudinage) der Gesteinsschichten zu beobachten. Im Längsbruch des Gesteins können nicht selten mehrere Klüfte schief übereinander gestaffelt vorliegen ([Abbildung 11.4](#)).

Im Einzelfall weichen die Klüftformen zuweilen erheblich vom oben skizzierten «Idealfall» ab. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn das Nebengestein nicht einheitlich aufgebaut ist, also wenn ganz verschieden kompetente Gesteine vorliegen. Als Beispiel können Klüfte im Granitgebiet erwähnt werden, die ihre Entstehung und Form eingelagerten Aplittgängen, Aplittstöcken oder Lamprophyren verdanken und teilweise sehr unregelmässige Klüftformen aufweisen. In silikatischen Gesteinen (Ultrabasika ausgeschlossen) werden die Klüfte meist von Quarzadern begleitet; diese liegen ebenfalls in der ac-Ebene, mindestens in der unmittelbaren Umgebung der Klüfte.

Bei der Beschreibung der hydrothermalen Alteration geht man vom unveränderten Nebengestein aus. Die Veränderung gegen die Klüft zu ist zum Teil kontinuierlich, manchmal auch sprunghaft. Wesentlich ist vor allem die Abnahme des Gehalts gewisser Mineralarten und die Zunahme der Gesteinsporosität. In gewissen Klüften kann auch die Zementation durch neu gebildete Mineralarten eine wichtige Rolle spielen (vor allem in Klüften mit einer einst CO<sub>2</sub>-reichen Klüftlösung); häufig ist die Zementation aber vernachlässigbar.

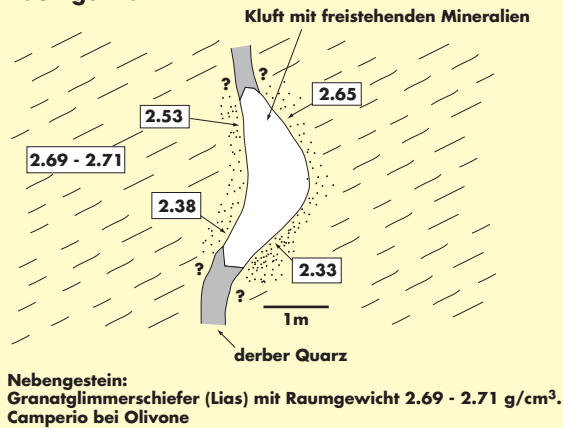
#### 11.1.1.3 Hydrothermale Alteration

Als Beispiel für die Veränderung des *Raumgewichts* rings um eine Mineralzerrklüft kann eine grosse Klüft in den Granatglimmerschiefern der Stgir-Serie, Lias (Bündnerschiefer) von Camperio bei Olivone angeführt werden. Beim Vergleich der offensichtlich weggeführten Substanz mit dem Mineralinhalt der Klüft kann festgestellt werden, dass die beiden Massen in der gleichen Grössenordnung liegen. Für die Camperio-Klüft

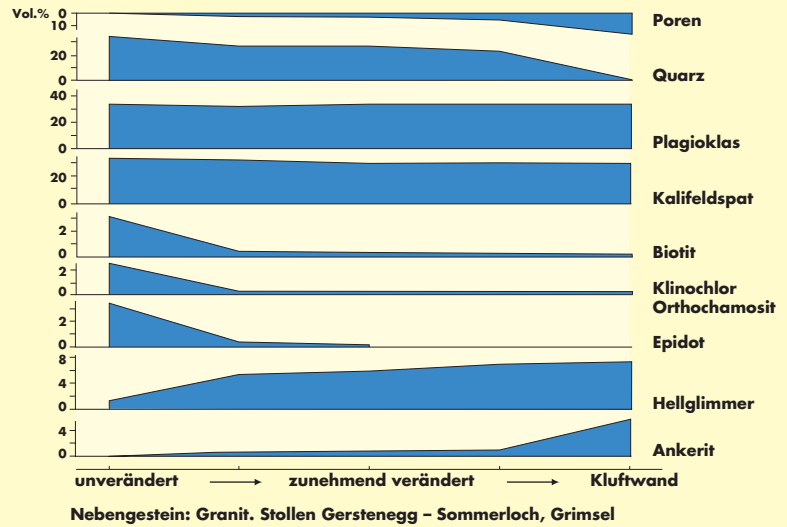
\* **Mineralparagenese:** Gesamtheit der in einer Klüft vorkommenden Mineralarten.

# Alpine Zerrklüfte: Hydrothermale Veränderung (Alteration) des Kluftnebangesteins

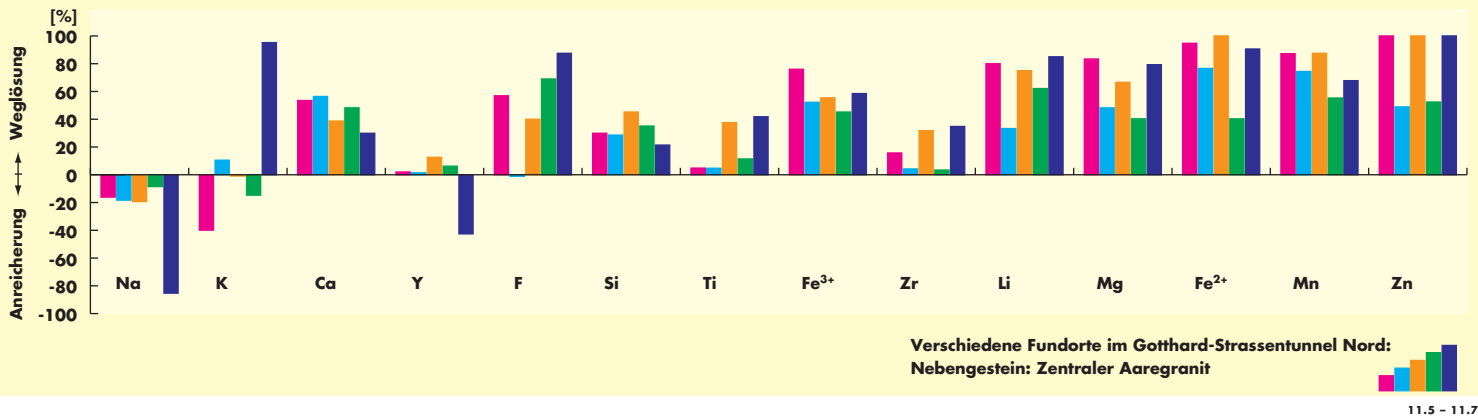
## Raumgewicht



## Mineralogische Zusammensetzung



## Chemische Zusammensetzung



(Abbildung 11.5) wurde eine Weglösung von 776 kg Substanz und ein Gewicht von 928 kg für alle Kluftmineralien errechnet. Es muss aber betont werden, dass beide Zahlen mit einem grossen Unsicherheitsfaktor behaftet sind [Wagner et al. 1972].

Als Beispiel für die *mineralogische Veränderung* des Nebengesteins soll eine Kluft aus einem relativ SiO<sub>2</sub>-reichen Granit des Grimselgebiets (Kabelstollen Gerstenegg–Sommerloch der KWO, Meter 2140) herangezogen werden. Die zusammengestellten Untersuchungsergebnisse wurden von Dollinger (1990) publiziert (Abbildung 11.6). Augenfällig ist das fast vollständige Verschwinden des Biotits gegen die Kluftwand hin (Ausbleichung), ebenso die Abnahme von Quarz in der gleichen Richtung. Der Gehalt der beiden Feldspäte ist dagegen auf der ganzen Profilstrecke praktisch unverändert. Die Kluft gehört der Fundortgruppe 4c [nach Parker, 1974] an; sie

zeichnet sich durch eine reiche Ankeritführung aus, wobei Ankerit auch als Zementationsmineral im veränderten Nebengestein auftritt. Dieser Sachverhalt ist für die ganze Fundortgruppe 4c charakteristisch. In der viel verbreiteteren Fundortgruppe 4a kommt Ankerit nicht vor, und die Zementation spielt ganz allgemein eine untergeordnete Rolle. Über die Verbreitung der Paragenesen der Fundortgruppe 4a und 4c orientiert Tabelle 11.1.

*Chemische Veränderung:* Der Vergleich von chemischen Analysen des unveränderten Nebengesteins mit solchen des veränderten ist nicht unproblematisch. Es stellt sich die Frage, ob es eine unveränderliche Grösse gibt, an der die tatsächlichen Veränderungen erkannt, resp. gemessen werden können. In der Literatur werden vor allem zwei Berechnungs-Methoden vorgeschlagen, entweder unter Annahme eines konstan-

Abbildung 11.5–11.7: Hydrothermale Alteration der Kluftnebangesteine. 11.5: Veränderung des Raumgewichts. Mineralkluft von Camperio bei Olivone TI; Granatglimmerschiefer, Lias. Unverändertes Nebengestein = 2.69–2.71 g/cm³, gegen die Kluftwand

sinkt das Raumgewicht bis 2.33 g/cm³ ab [nach Wagner et al., 1972]. 11.6: Veränderung des Mineralbestandes. Mineralkluft im Kabelstollen Gerstenegg–Sommerloch, Grimsel (BE); Granit [nach Dollinger, 1990]. Volumenmässige Ab- und

Zunahme der gesteinsbildenden Mineralien. Zusätzlich findet ein quantitativer Abbau statt von Titanit, Ilmenit, Apatit, Allanit und Kalzit. In der Zementation sind ferner enthalten: Rutil, Anatas, Brookit, Monazit und Aeschynit.

11.7: Veränderung der chemischen Zusammensetzung. Mineralklüfte im Zentralen Aaregranit des Gotthardstrassentunnels-Nord [nach Mercolli et al., 1984]. Berechnet auf der Basis einer Aluminium-Konstanz.





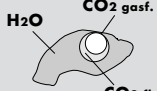
ten Volumens [Stalder et al., 1980] oder eines unveränderten Gehalts an Aluminium [Mercolli et al., 1984]. In der Praxis zeigt sich, dass beide Berechnungsmethoden (meist) sehr ähnliche Resultate liefern (Abbildung 11.7). Noch liegen wenig Untersuchungsergebnisse vor. Sofern man sich auf die granitischen Gesteine des Aarmassivs beschränkt, zudem auf eine sehr CO<sub>2</sub>-arme Kluftlösung – was der klassischen Paragenese 4a entspricht (Tabelle 11.1) – kann allgemein erkannt werden, dass vornehmlich die zweiwertigen, oktaedrisch im Kristallgitter der Phyllosilikate gebundenen Elemente Fe, Mg, Mn, Zn und Co abgebaut werden. Ebenso verliert das Kluftnebengestein neben Si auch Ca, Sr, Fe<sup>3+</sup> und F. Die Alkalien verhielten sich sehr unterschiedlich [Stalder et al. 1980, Mercolli et al. 1984]. Offensichtlich hing dies mit dem K/Na-Verhältnis in der chlorreichen Kluftlösung zusammen. Die verschiedenen Alkaliwerte entsprechen somit vermutlich verschiedenen Entwicklungsstufen des «Kluftgeschehens»: In einer ersten Phase kam es zu einer Ausscheidung von Natrium (Albitisierung). Bei der langsamen Abkühlung der Kluftlösung erfolgte dann umgekehrt eine Ausscheidung von Kalium. Tatsächlich weisen gesteinsbildende Albite des veränderten Nebengesteins oft kleine epitaxiale Aufwachsungen von Adular auf [Poty et al., 1974].

#### 11.1.1.4 Fluide Einschlüsse

Das Studium der fluiden Einschlüsse in den Kluftmineralien erlaubt wohl am besten, Erkenntnisse über die Entwicklungsgeschichte einer alpinen Mineralkluft zu gewinnen. Quarz, das verbreitetste Kluftmineral, ist zugleich auch das geeignetste Wirtmineral zur Durchführung dieser Studien. Das wichtigste Fluid in den (meisten) Einschlüssen ist mehr oder weniger salzreiches Wasser: Der Salzgehalt wird dabei als Äquivalent-Prozent (Mol- oder Gewichts-)NaCl angegeben. Neben NaCl ist vor allem der KCl-Gehalt von Bedeutung. Weitere fluide Phasen sind höhere Kohlenwasserstoffe (nur in unmetamorphen Sedimenten), CH<sub>4</sub> (charakteristisch in un- bis anchimetamorphen Sedimenten), CO<sub>2</sub> (in höher metamorphen Zonen) und N<sub>2</sub> (wohl im Zusammenhang mit schwarzen Schiefern).

Als Resultat, welches im wesentlichen aus den Untersuchungen fluider Einschlüsse in Kluftmineralien abgeleitet werden kann, gilt, dass die Ausscheidung von Mineralien aus einer hydrothermalen Lösung in einer alpinen Kluft ein lange andauernder Prozess bei stetig sich verändernder fluider Phase, bei langsam sinkenden Temperaturen und bei generell sinkenden Drucken war. Zum Teil fiel der Druck aber auch plötzlich

**Tabelle 11.1: Wichtige Paragenesen von alpinen Kluftmineralien im Aarmassiv.**

Fundortgruppe nach Parker (1973)	2a (z.T.)	4a	4c
Geographische Verbreitung	Goppenstein bis Guttannen Grimsel Fieschergletscher	Göscheneralp Grimsel Fieschergletscher	Göscheneralp
Durchläufermineralien	Quarz, Adular, Kalzit, Chlorit	Quarz, Kalzit, Chlorit (Ad, Ab)	Quarz, Kalzit, Chlorit, Muskovit
Leitmineralien	Epidot, Titanit, Amiant, Magnetkies, Pyrit, (Scheelit)	Fluorit, Apatit, Hämatit, Pyrit, Bleiglanz	Ankerit, Zinkblende, Siderit, Rutil, REE-Mineralien*
Nebengestein	Amphibolit (nördl. Schiefer des Aarmassivs), Altkristallin	Zentraler Aaregranit, Grimselgranodiorit	Zentraler Aaregranit, Grimselgranodiorit
Flüssigkeits-einschlüsse in Quarz	2-phasig 	2-phasig 	2- und 3-phasig 
T <sub>H</sub> <sup>1)</sup>	160–190 °C	190–205 °C	210 °C
Aeq. Gew.% NaCl <sup>2)</sup>	4–10	8–13	8
K/Na <sup>2)</sup>	0.15	0.18	
Gew.% CO <sub>2</sub> <sup>2)</sup>	1–5	0–4	7–12
Bildungstemp. <sup>3)</sup>	400 °C	430 °C	
Bildungsdruck <sup>3)</sup>	2.7 kbar (?)	2.8 kbar	
Veränderungen im Nebengestein Weglösung	Biotit, Hornblende, Quarz	Biotit, Quarz	Biotit, Quarz, Titanit, Epidot
Zementierung	Epidot, Adular	Adular, Epidot (Quarz, Chlorit)	Muskovit, Ankerit (Quarz, Chlorit)

<sup>1)</sup> T<sub>H</sub> = Homogenisationstemperatur <sup>2)</sup> gemessen <sup>3)</sup> berechnet  
\* REE = Seltene Erden Mineralien (rare earth elements)

ab (wohl bedingt durch tektonische Bewegungen), um bald wieder ungefähr den Wert vor dem Druckabfall zu erreichen; solche Druckschwankungen hatten drastische Änderungen in der Zusammensetzung der fluiden Phase – oft eine Entmischung derselben – zur Folge, ganz allgemein eine starke Zunahme der Gasphase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> oder N<sub>2</sub>). Die Entstehung von Zepterquarzen hat mit solchen Ereignissen einen ursächlichen Zusammenhang [Mullis et al. 1994].

Sofern nur die ältesten fluider Einschlüsse in Betracht gezogen werden, kann gezeigt werden, dass die Temperaturbedingungen in den alpinen Mineralklüften jenen der (neo)alpinen Metamorphose entsprachen. Dies trifft allerdings nur für Vorkommen zu, die ausserhalb des Lepontins liegen [Poty et al. 1974; Mullis et al. 1994]. Bis anhin sind keine Mineralklüfte gefunden worden, die sich über 450°C gebildet hätten. Die PT-Bedingungen oberhalb 450°C waren offenbar



11.8



11.9



11.10



11.11



11.12

Abbildung 11.8: Bergkristalle vom Vordere Zinggenstock, Grimsel (BE). Fund von 1719. Kristalle links und rechts (ca. 30 und 45 kg) = «Mailänderware»; Kristall in der Mitte (ca. 65 kg) = «Halbware». Vom gleichen Fundort sind rund 50 t Bergkristalle verarbeitet worden.

Abbildung 11.9: Bergkristallstufe vom Piz Beverin (GR). Freistehende Kristalle ( $V_o > V_x$ ) und «Fadenquarze» ( $V_o < V_x$ ); Stufenbreite 12 cm. ( $V_o$  = Geschwindigkeit des Kluftöffnens;  $V_x$  = Geschwindigkeit des Kristallwachstums).

Abbildung 11.10: Rauchquarz, Gwindel vom Planggenstock, Göschenentalp (UR); Höhe 12 cm.

Abbildung 11.11: Amethyst/Bergkristall von Hinterwasen am Fiescher- gletscher (VS); Bildbreite 10 cm.

Abbildung 11.12: Zepterquarz aus dem Val d'Illiez (VS), im Hinter- grund Kalzit; Bildbreite 2 cm.



durchwegs derart, dass eine spröde Gesteinsdeformation (Vorbereitung zur Entstehung einer alpinen Mineralkluft) generell nicht mehr möglich war, und deshalb finden sich im Bereich der Amphibolitfazies auch keine Mineralklüfte, die direkt mit den maximalen PT-Bedingungen dieser Metamorphose in Beziehung gebracht werden könnten [Mullis et al. 1994]. Die Mineralklüfte des Lepontins sind also alle relativ jüngere Bildungen.

#### 11.1.1.5 Herkunft der Kluftlösungen

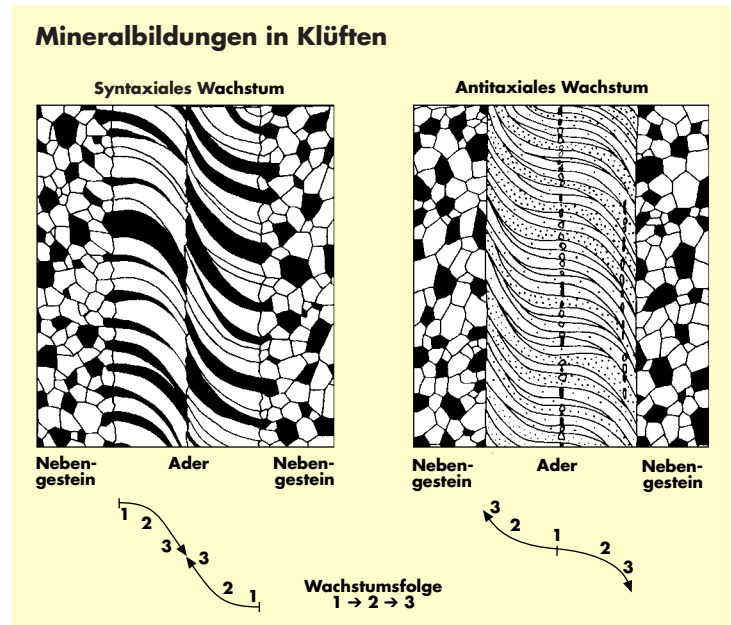
Einen Hinweis auf die Herkunft der Kluftlösungen haben neuere Bestimmungen stabiler Isotope aus fluiden Quarzeinschlüssen ergeben [Mullis et al. 1994], basierend auf  $^{13}\text{C}$ -, D- und  $^{18}\text{O}$ -Bestimmungen. Das  $\text{CO}_2$  besitzt danach (mindestens) zwei Quellen: Oxidation von organischem Material (vor allem aus der Umgebung sulfathaltiger Metasedimente) und Dekarbonatisations-Reaktionen. Früher [Hoefs und Stalder, 1977] ist auch noch eine Herkunft aus dem Erdmantel erwogen worden. Jedenfalls sind viele  $\text{CO}_2$ -reiche Kluftlösungen an tiefgreifende tektonische Störungen gebunden. Die Herkunft des Wassers wird ganz allgemein auf die Dehydration von Sedimenten zurückgeführt, die während der alpinen Gebirgsbildung in grössere Tiefen gelangten und von kristallinen Gesteinen überdeckt wurden. Formationswässer (= interstitial waters) spielten kaum eine Rolle, und Spuren von Oberflächenwasser sind nur in den allerjüngsten Kluftbildungen (niedrig temperiert, salzarm) nachzuweisen [Mullis et al. 1994].

An verschiedenen Stellen des Aar- und Gotthardmassivs sind schlotähnliche Körper hydrothermal stark veränderter Gesteine beobachtet worden, die nur mit dem Durchfluss einer Hydrotherme aus dem Untergrund erklärt werden können. So zum Beispiel im Gotthardstrassentunnel (Meter 2290–2312 ab N-Portal), wo ein völlig veränderter Zentraler Aaregranit angetroffen wurde, der fast nur aus Kalifeldspat und Laumontit besteht (Raumgewicht =  $1.89 \text{ g/cm}^3$ ; Stalder et al. 1980) oder im Roncofenster des Furkabasistunnels, wo der Rotondogranit stellenweise (etwa bei Meter 2255 ab S-Portal) stark hydrothermal verändert ist. Hier kam es im kavernen Gestein zur Bildung kleinster Kristalle Seltener-Erden-Mineralien, was einem systematischen Sammler nicht entging (Aeschynit, Synchisit, Xenotim und Gadolinit; Kipfer 1979). Im Bereich der schlotähnlichen hydrothermal veränderten Gesteine konnten unter- und übertage stellenweise Mineralzerrklüfte beobachtet werden. Auch die Spaltenbreccie mit Chalcedon und Opal vom Trübtensee, Grimsel [Stalder 1964]

hat mit dem Entweichen einer grösseren Wassermenge aus dem Untergrund etwas zu tun – auch wenn dies wohl erst in geologisch junger Zeit geschehen ist.

#### 11.1.1.6 Kristallwachstum in der Kluft

Ausführlich haben Ramsay und Huber (1983) die Entstehung von geschlossenen Mineralklüften unter dem Einfluss z.B. der alpinen Metamorphose dargestellt (Abbildung 11.13). Dabei unterschieden sie syntaxiale und antitaxiale sowie kombiniert entstandene Kluftbildungen, dazu auch noch Kluftfüllungen, wo nur «gestreckte» (stretched) Kristalle beobachtet werden. All diese syntektonischen Kristallfaserbildungen entstanden unter der Voraussetzung von  $V_o < V_x$  (wobei  $V_o$  der Geschwindigkeit des Kluftöffnens und  $V_x$  der Geschwindigkeit des Kristallwachstums entspricht). Ein freies Wachstum in einem Kluflhohlraum entsteht unter der Bedingung von  $V_o > V_x$  [Lemmlein, 1946]. Es kann auch vorkommen, dass  $V_o$  für bestimmte Wachstumsrichtungen einer Mineralart grösser, für andere aber kleiner als  $V_x$  ist. Damit ist die Voraussetzung gegeben, dass stengelige «Mineralbrücken» zwischen zwei sich öffnenden Kluftwänden entstehen [Lemmlein 1946]. Es sind vor allem die Mineralien Quarz, Adular, Epidot und ausnahmsweise Apatit, die in solchen stengeligen Ausbildungen angetroffen werden können (Abbildung 11.9).



11.13

**Abbildung 11.13:** Bildung von geschlossenen Mineralklüften [nach Ramsay und Huber, 1983].  
Syntaxiale Klüfte: Die Kluftmineralien wachsen von arteigenen Keimen im Nebengestein aus.

Antitaxiale Klüfte: Die Kluftmineralien wachsen von spontanen Keimen aus.

Tabelle 11.2. Liste der alpinen Zerrkluftmineralien:

	RELATIV HÄUFIG	SELTEN	SEHR SELTEN	SEKUNDÄRMINERALIEN
ELEMENTE:		Gold (inklusive Elektrum)	Silber	Schwefel
SULFIDE:	Galenit (Bleiglanz) Boulangerit Chalkopyrit (Kupferkies) Pyrrhotin Sphalerit (Zinkblende) Pyrit	Arsenopyrit (Arsenkies) Chalkosin-Reihe (z.B. Djurleit) Tetraedrit/Tennantit (Fahlerz) Markasit (Speerkies) Realgar Smythit	Cobaltit-Gersdorffit Millerit As-Sulfosalze (nur Binntal) Sb- und Bi-Sulfosalze Cinnabarit (Zinnober)	Covellin (Kupferindig) Pararealgar
HALOGENIDE:	Fluorit			Halit (z.B. Bex)
OXIDE:	Anatas Brookit Hämatit Ilmenit Magnetit Quarz Rutil	Aeschynit -(Y) Cafarsit Perowskit	Asbecasit Crichtonit/Senait Diaspor Stibiocolumbit	Goethit Hyalit Lepidokrokit Mn-Oxide Bindheimit (u.a. Sb-Oxide)
KARBONATE:	Ankerit Kalzit Dolomit Siderit	Bastnaesit -(Ce) Magnesit Strontianit Synchisit -(Ce)	Parisit-(Ce)	Aragonit Azurit Bismutit Cerussit Hydrozinkit Malachit Smithsonit
SULFATE:	Anhydrit Baryt	Coelestin Scheelit		Anglesit Gips Leadhillit
PHOSPHATE:	Apatit Monazit -(Ce)	Xenotim -(Y)	Chernovit -(Y) Goyazit Tilasit Gasparit -(Ce)	Mimetesit Pyromorphit U-Sekundärmineralien Vanadinit Vivianit Wulfenit
SILIKATE:	Adular Albit (Plagioklas) Amiant (Aktinolith) Andradit Axinit Biotit Chabasit Chlorit (Klinochlor) Epidot Grossular Heulandit Laumontit Muskovit Prehnit Skapolith (Mejonit/Marialith) Skolezit Stellerit Stilbit Talk Titanit Turmalin (Schörl, Dravit/Uvit) Vesuvian	Allanit -(Ce) Apophyllit Bavenit Bazzit Beryll Danburit Datholit Diopsid Epistilbit Gadolinit -(Y) Hyalophan Kainosit -(Y) Klinozoisit Melanit (Ti-Andradit) Milarit Orthochamosit Palygorskit Phenakit Pyrophyllit Stilpnomelan Zoisit	Armenit Bertrandit Dickit Mesolith Natrolith Phillipsit Thomsonit Tinzenit	Uranophan Hemimorphit Tonmineralien (verschiedene)

Nach Abschluss des Kluftöffnens (Bedingung  $V_O > V_X$ ) ist die Kristallbildung in der Kluft nicht abgeschlossen. Jede Kluft ist dann mit einer hydrothermalen Lösung gefüllt. Langsam stellen sich Gleichgewichtsbedingungen zwischen hydrothermalen Phase, dem Nebengestein und den schon entstandenen Kluftmineralien ein. Dabei wachsen etwa grössere Kluftquarze langsam auf Kosten von kleineren, aber auch auf Kosten von gesteinsbildendem Quarz des Nebengesteins (Gesetz von Ost-

wald-Freundlich). Dies dürfte das Geheimnis dafür sein, dass in tektonisch ruhigen Zonen überaus grosse Kristalle entstehen können. Bei langsam absinkenden PT-Bedingungen stellen sich immer neue Gleichgewichtsbedingungen ein. Es kann beispielsweise beobachtet werden, dass in den meisten Klüften des Aarmassivs Biotit eine der erst ausgeschiedenen Mineralarten war, die später aber instabil wurde und dann quantitativ wieder abgebaut und auch aus dem umgebenden Neben-



gestein herausgelöst wurde. Biotit kann oft nur noch als Einschluss in den ältesten Wachstumszonen von Quarzkristallen als einstiges Kluftmineral erkannt werden. Die Biotitbildung wurde später allgemein durch die Ausscheidung von Chlorit (seltener und/oder Hellglimmer) abgelöst. Sehr oft beschädigten tektonische Bewegungen schon auskristallisierte Kluftminerale. Diese konnten oft wieder «ausheilen». Im Extremfall entstanden eigentliche Brekzien, wobei die Komponenten aus Splintern von Kluftmineralien bestehen und durch einen Zeolith-Zement zusammengehalten werden. Es sind überaus komplexe Abhängigkeiten, die bei der Bildung einer alpinen Mineralkluft eine Rolle spielen. Diesen Sachverhalt vor Augen, hat Paul Niggli (1940) folgenden Satz formuliert: «Jede Kluff aber ist eine Einheit für sich, ein einmaliger Sonderfall, der nur regional und lokal in allen Einzelheiten erklärbar ist.»

#### 11.1.1.7 Zerrkluffmineralien als Sammelobjekte

Alpine Kluffmineralien aus der Schweiz gelten seit mehr als 200 Jahren als klassische Sammelobjekte. Waren es früher vor allem Gebildete eines wirtschaftlich privilegierten Standes, welche diese Mineralien sammelten, so erfuhr diese Tätigkeit nach dem zweiten Weltkrieg eine ungeahnte Breitenentwicklung. Die bevorzugten Sammelobjekte aber blieben immer dieselben: Gefällige Stufen mit Rauchquarz oder Bergkristall, insbesondere in der Ausbildung als Gwindel (= gedrehte Quarze) oder Zepterkristall ([Abbildungen 11.8 – 11.12](#)); Hämatit als Eisenrose ([Abbildung 11.29](#)) oder in guten Kristallen mit epitaxialer Aufwachsung von Rutil; rosaroter oktaedrisch ausgebildeter Fluorit ([Abbildung 11.19](#)); Anatas, Rutil ([Abbildung 11.18](#)) und Brookit; rosaroter ([Abbildung 11.22](#)) und violetter Apatit (leider nicht lichtbeständig); Epidot, Titanit ([Abbildung 11.30](#)) in seinen vielfältigen Erscheinungsformen; Adular in scharfkantigen weissen Kristallen (Maderaner Habitus) oder in der «orthoklasähnlichen» durchscheinenden Ausbildung mit Mondsteinschimmer (Fibbia Habitus), Axinit ([Abbildung 11.24](#)) oder Zeolith ([Abbildung 11.26](#)). Dazu kommen viele Seltenheiten wie etwa Milarit, Phenakit und andere Berylliumminerale ([Abbildung 11.28](#)), aber auch gut ausgebildete Klein- und Kleinstminerale wie etwa die ganze Serie der Seltenen-Erden-Mineralien. Alpine Kluffmineralien sind in allen grösseren mineralogischen Museen der Welt vertreten, sehr viele stammen aus der Schweiz, und ein grosser Teil davon wurde schon im letzten Jahrhundert gefunden und erworben. Eine Übersicht der alpinen Zerrkluffmineralien ist in [Tabelle 11.2](#) dargestellt.

#### 11.1.2 PEGMATITE

Es dauerte sehr lange, bis in der Schweiz Pegmatite als potentielle Quellen schöner Mineralien erkannt worden sind. Der erste Finder war wohl Rudolf Staub, der 1917 bei Kartierungsarbeiten im Bergell leuchtend blaue Beryll entdeckte (z.T. eigentliche Aquamarine). Als er 1924 die bis anhin «unbekannten Mineralschätze der Alpen» beschrieb, war von den «herrlich entwickelten Säulen», vom «prachtvollen Vorkommen am Cengalo» und den «allerschönsten Beryllsonnen» die Rede. Die mineralogisch interessanten Pegmatite der Schweiz treten fast ausschliesslich nur im Bergeller Massiv sowie im südlichen Deckengebiet und in der sogenannten Wurzelzone, aber auch südlich der Insubrischen Linie im Altkristallin der Südalpen auf (Bergell, Miso, mittleres Tessin). Die meisten dieser Pegmatite, vor allem die diskordanten Gänge, sind während der alpinen Orogenese im Tertiär entstanden; älter sind die Pegmatite der Südalpen. Gross ausgebildete Mineralienkomponenten sind Quarz, Orthoklas, Albit, Muskovit, Biotit; Turmalin (nur Schörl) und Granat (Almandin/Spessartin, d.h. Mischkristalle mit überwiegenden Anteilen von Fe oder Mn).

Drei Fundgebiete von Pegmatitmineralien, die z.T. intensiv von Sammlern abgesucht wurden (und werden), sollen kurz vorgestellt werden:

*Bergeller Massiv:* Das gesuchteste Mineral ist zweifellos Beryll (bis rund 25 cm lang, opak bis durchsichtig, blau, hellblau, auch blaugrün und gelb, Edelsteinqualität vorhanden, aber sehr selten und relativ klein; [Abbildung 11.27](#)). In den albitreichen, entwickelten Pegmatiten können neben Beryll, Magnetit, Allanit, Niob-Rutil auch ein Mineral der Bismuthinit-Aikinit-Reihe [Maurizio und Meisser, 1993] und Columbit gefunden werden. Letztere Mineralart hat durch Wenger und Armbruster (1991) eine kristallchemische und kristallstrukturelle Untersuchung erfahren: stets gilt  $Fe > Mg$ ,  $Nb > Ta$ , kein Sn (= Ferro-Columbit). Andere nennenswerte, aber seltene Mineralien in den Bergeller Pegmatiten sind Molybdänit, Uranpechblende, Chrysoberyll und Dumortierit.

*Lodrino, Riviera TI:* Aus zwei Steinbrüchen zwischen Lodrino und Iragna haben Bianconi und Simonetti (1967) Pegmatite mit jüngeren «hydrothermalen» Klufffüllungen beschrieben. Heute sind von hier mehr als 50 Mineralarten bekannt (Brannerit, Ferro-Columbit, Molybdänit, Monazit, Scheelit und viele Silikate).

Tabelle 11.3: Mineralien, erstmals beschrieben aus der Schweiz (Fortsetzung siehe Tabelle 11.4).

GESTEINSBILDENDE MINERALIEN			
Tremolit	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Campolungo TI (nicht Tremola)	H. B. de Saussure (1796)
Chamosit	$(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{O})_8$	Chamoson VS	P. Berthier (1820)
Antigorit	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Geisspfad VS/I	M. E. Schweizer (1840)
Paragonit	$\text{NaAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Alpe Sponda, Pizzo Forno (nicht Gotthard) TI	C. E. Schaffhütl (1843)
d Titan-Klinohumit	$(\text{Mg}, \text{Fe})_8(\text{Mg}, \text{Fe})_{1-x}\text{Ti}_x(\text{SiO}_4)_4(\text{OH})_{2-2x}\text{O}_{2x}$	Zermatt VS	A. A. Damour (1879)
Magnesio-Chloritoid	$\text{MgAl}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_2$	Allalin, Saastal VS	P. Bearth (1963)
Preiswerkit (Abb. 11.25)	$\text{NaMg}_2\text{Al}_3\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Geisspfad, Binntal VS	H.-R. Keusen und Tj. Peters (1980)
Bearthit	$\text{Ca}_2\text{Al}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})$	Stockhorn, Zermatt VS	Ch. Chopin, F. Brunet, W. Gebert O. Medenbach, E. Tillmanns (1993)
KLUFTMINERALIEN			
d Adular	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$	St. Gotthard TI	Pater E. Pini (1783)
d Pennin	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	Zermatt VS	J. Fröbel (1840)
Hyalophan	$(\text{K}, \text{Ba})\text{Al}(\text{Si}, \text{Al})_3\text{O}_8$	Lengenbach, Binn VS	W. Sartorius von Waltershausen (1835)
Milarit	$\text{K}_2\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Be}_4\text{Si}_{24}\text{O}_{60} \cdot \text{H}_2\text{O}$	V. Giuv, Tavetsch GR (nicht Val Milar)	G. A. Kenngott (1870)
Hydroxylapatit	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$	Kemmlen, Hospental UR	C. Burri (1935)
Kluftminerale aus Gestein mit Arsen-Anomalie			
Asbecasit	$\text{Ca}_3(\text{Ti}, \text{Sn}^{4+})\text{As}^{3+}_6\text{Si}_2\text{Be}_2\text{O}_{20}$	Wannigletscher, Binntal VS	S. Graeser (1966)
Cafarsit	$\text{Ca}_8(\text{Ti}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn})_{6-7}(\text{As}^{3+}\text{O}_3)_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Wannigletscher, Binntal VS	S. Graeser (1966)
Cervandonit-Ce	$(\text{Ce}, \text{Nd}, \text{La})(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Ti}, \text{Al})_3(\text{Si}, \text{As})_3\text{O}_{13}$	Scherbadung, Binntal VS	Th. Armbruster, Ch. Bühler, S. Graeser, H. A. Stalder, G. Amthauer (1988)
Fetiasit	$(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Ti})_3[\text{O}_2\text{As}_2\text{O}_5]$	Mt. Cervandone und Gorb, Binntal VS	S. Graeser, H. Schwander, F. Demartin, C.M. Gramaccioli, T. Pilati, E. Reusser (1994)
MANGAN- UND EISENLAGERSTÄTTEN			
Wiserit	$(\text{Mn}^{2+}, \text{Mg})_{14}\text{B}_8(\text{Si}, \text{Mg})\text{O}_{22}(\text{OH})_{10}\text{Cl}$	Gonzen, Sargans SG	W. Haidinger (1845), W.T. Epprecht, W.T. Schaller, A.C. Vlisidis (1959)
Parsettenit	$(\text{K}, \text{Na}, \text{Ca})(\text{Mn}, \text{Al})_7\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Alp Parsetten, Oberhalbstein GR	J. Jakob (1923)
Tinzenit	$(\text{Ca}, \text{Mn}^{2+}, \text{Fe}^{2+})_3\text{Al}_2\text{BSi}_4\text{O}_{15}(\text{OH})$	Falotta, Oberhalbstein GR	J. Jakob (1923)
Sursassit	$\text{Mn}^{2+}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_3$	Alp Parsetten, Oberhalbstein GR	J. Jakob (1926)
Grischunit	$\text{NaCa}_2\text{Mn}^{2+}_5\text{Fe}^{3+}(\text{AsO}_4)_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Falotta, Oberhalbstein GR	S. Graeser, H. Schwander, B. Suhner (1984)
Geigerit	$\text{Mn}^{2+}_5(\text{As}^{5+}\text{O}_4)_2(\text{As}^{5+}\text{O}_3\text{OH})_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Falotta, Oberhalbstein GR	S. Graeser, H. Schwander, R. Bianchi, T. Pilati, C. M. Gramaccioli (1989)
Fianelit	$\text{Mn}_2\text{V}(\text{V}, \text{As})\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Fianel, Val Ferrera GR	J. Brugger, P. Berlepsch (1996)
SEKUNDÄRE MINERALIEN			
Kalicinit	$\text{KHCO}_3$	Chippis VS (Produkt von Waldbrand)	M.F. Pisani (1865)
Grimselit	$\text{K}_3\text{Na}(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Sommerloch, Grimsel BE	K. Walenta (1972)
Baylissit	$\text{K}_2\text{Mg}(\text{CO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Sommerloch, Grimsel BE	K. Walenta (1976)

d = nicht oder nicht mehr offiziell anerkannte Art

Valle di Ponte bei Brissago TI: Dieses für die Schweiz ungewöhnliche Pegmatitvorkommen wurde von Paul Niggli entdeckt und von de Quervain (1932), Weiss (1982) und Cavalli (1984, unpublizierte Dissertation, 47 bestimmte Mineralarten) beschrieben. Charakteristisch ist hier das Vorkommen von Phosphaten, wie Graftonit, Apatit, Mitridatit oder Vivianit.

### 11.1.3 GESTEINSBILDENDE MINERALIEN

Ein Mineral gilt dann als sammelwürdig, wenn es entweder durch seine idiomorphe Ausbildung oder durch seine Farbe auffällt, und je grösser oder je durchsichtiger es ist, umso begehrt wird es. Eher selten erfüllen gesteinsbildende Mineralien solche Anforderungen. Doch es gibt Ausnahmen – und die wichtigsten davon sind schon an die 200 Jahre bekannt und haben längst den Weg in die wichtigsten Museen der Welt gefunden: Kyanit (Disthen), Staurolith, Tremolit u.a.m. aus der Region Pizzo Forno – Campolungo. Beispielhaft seien im



folgenden zwei Gruppen von gesteinsbildenden Mineralien erwähnt, die neben den Petrographen und Mineralogen auch die Sammler interessieren.

### 11.1.3.1 Mineralbildungen der Amphibolitfazies

Nur bei einem höhern Grad der (regionalen) Metamorphose entstehen grössere, auffällige Mineralien. In der Schweiz bildeten sich die schönsten Mineralien während der alpinen Metamorphose (keine spätere Überprägung!). Die Kyanit- und Staurolith-Kristalle in den Glimmerschiefern der Alpe Sponda und des Pizzo Forno werden seit rund 200 Jahren gesammelt [Chr. de Mechel, 1792]. Die hier gefundenen Kyanite (idiomorph, blau, teilweise durchsichtig, pleochroitisch) sind bei weitem die schönsten und die einzigen, die facettiert werden können (siehe [Titelbild zu diesem Kapitel](#)). Ungefähr gleich weit zurück reicht die Kenntnis über Korund-, Turmalin- sowie weisse, graue und grüne Tremolit-Vorkommen in den zuckerkörnigen Triasdolomiten der Region Campolungo–Vanit (früher P. Cadonighino). Korund (rote und blaue Varietäten, durchscheinend, keine Edelsteinqualität) und Turmalin (grüner Dravit mit Uvit-Komponente, undurchsichtig bis gut durchscheinend) kommen dicht eingeschlossen im Gestein vor, aber auch freistehend in Drusenhöhlräumen. Vor allem zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurden diese Mineralien intensiv gesucht und im Mineralienhandel hoch bewertet. Neufunde sind in den letzten Jahren selten geworden. Altbekannt sind auch die Granat-Hornblende-Garbenschiefer, die auf der Südseite des Gotthardmassivs (in der sogenannten Tremolaserie s.l.) gefunden werden: Die roten, rhombendodekaedrischen Granate sind Almandine und die (bis über 10 cm langen) Hornblende-garben Tschermakite. Ein besonderes Vorkommen, das 1916 von Rudolf Staub wiederentdeckt worden ist, sind Rubine (Korunde bis zu 0.78 Gew. % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) in den Amphiboliten des Val d'Arbedo (TI) und des Val Traversagna (GR). Die Rubine sind mehrfach bearbeitet worden: Cabochons, angeschliffene Plättchen. Erst in jüngster Zeit sind aus dem Val de Rebolgin, Misox, blaue Cordierite bekannt geworden. Die bis 4 cm langen, xenomorphen Kristalle sind teils sehr schön durchsichtig, teils infolge beginnender Pinitisierung trübe [Weibel, 1990; Stalder 1991, 1993].

### 11.1.3.2 Mineralbildungen der Hochdruckmetamorphose

Wenn subduzierte Krustenteile wieder auftauchen, weisen sie einen ganz charakteristischen Mineralbestand auf, der vor

allem durch die hohen Drücke geprägt worden ist. Der wichtigste Gürtel einer einstigen regionalen Hochdruckmetamorphose (eoalpine Metamorphose) der Schweiz ist in der Region Saas-Zermatt zu registrieren. Ehemalige Basalte enthalten hier beispielsweise Glaukophan, Lawsonit-Paramorphosen, pyrop-reiche Granate und Titanklinohumit, ehemalige Gabbros Jadeit (als Bestandteil des «Saussurits»), magnesiumreiche Chloritoide oder Chrom-Omphazit. In phosphathaltigen, hellen Gneisen kommen wunderschöner blauer Lazulith und gelblicher Bearthit vor. Lazulith gehört zu den schönsten Mineralien, die aus der Schweiz schon verarbeitet worden sind (Cabochons, Medaillons, Plättchen usw.). In diesem Zusammenhang sind auch die Pyrope und Chromdiopside im «Granat-Peridotit» der Alpe Arami im Tessin zu erwähnen [Stalder 1993; Weibel 1992].

### 11.1.4 ERZVORKOMMEN

Die Anreicherung einer bestimmten chemischen Komponente (normalerweise eines Schwermetalls) in einem natürlichen Mineralvorkommen macht dieses zu einer Erzlagerstätte, sofern der Abbau des geologischen Körpers aus wirtschaftlichen Überlegungen gerechtfertigt ist – oder unter Umständen sein könnte (vergleiche dazu auch [Kapitel 10](#)). Nun gibt es aber auch Erzvorkommen, welche die ihr entgegengebrachte Aufmerksamkeit eher der Schönheit und/oder Seltenheit der darin enthaltenen Mineralien verdanken. Auf zwei solche Mineralvorkommen muss im folgenden eingegangen werden, da sie in der topographischen Mineralogie der Schweiz eine zentrale Rolle spielen.

#### 11.1.4.1 Mangan-Erzlagerstätte Falotta (und entsprechende Manganvorkommen)

Bei Falotta oberhalb Tinzen im Oberhalbstein (GR) wurde im letzten Weltkrieg Manganerz gebrochen, ebenso an der nahe gelegenen Alp Parsettens. Die Fundstelle hat neben der wirtschaftlichen eine nicht unwesentliche wissenschaftliche Bedeutung. Die Manganerze verdanken ihre Entstehung untermeerischen, hydrothermalen Lösungen. Sie liegen über Pillowlaven als konkordante Einlagerungen in schwach metamorphen jurassischen Radiolariten [Geiger 1948; Suana 1984]. Das Haupterz besteht aus Braunit, der von viel feinkörnigem Quarz durchsetzt ist. Durch die schwache Metamorphose entstand eine ganze Reihe von seltenen Mangansilikaten, die





11.14



11.15



11.16



11.17



11.18

Tabelle 11.4: Mineralien, erstmals beschrieben aus der Grube Lengenbach, Binnatal VS (Arsensulfid-Vererzung)				
Dufrénoysit	Pb <sub>2</sub> As <sub>2</sub> S <sub>5</sub>			A. Damour (1845)
Jordanit	Pb <sub>14</sub> As <sub>6</sub> S <sub>23</sub>			G. vom Rath (1864)
Sartorit	PbAs <sub>2</sub> S <sub>4</sub>			G. vom Rath (1864)
Rathit	(Pb,Tl) <sub>3</sub> As <sub>5</sub> S <sub>10</sub>			H. Baumhauer (1896)
Seligmannit	PbCuAs <sub>3</sub> S <sub>3</sub>			H. Baumhauer (1901)
Livingit	Pb <sub>9</sub> As <sub>13</sub> S <sub>28</sub>			R. H. Solly und H. Jackson (1901)
Baum hauerit	Pb <sub>3</sub> As <sub>4</sub> S <sub>9</sub>			R. H. Solly (1902)
Lengenbachit	Pb <sub>6</sub> (Ag,Cu) <sub>2</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub>			R. H. Solly (1904)
Hutchinsonit	(Pb,Tl) <sub>2</sub> As <sub>5</sub> S <sub>9</sub>			R. H. Solly (1905)
Smithit	AgAs <sub>2</sub> S <sub>2</sub>			R. H. Solly (1905)
Marrit	PbAgAs <sub>3</sub> S <sub>3</sub>			R. H. Solly (1905)
Trechmannit	AgAs <sub>2</sub> S <sub>2</sub>			R. H. Solly (1905)
Hatchit	PbAgTlAs <sub>2</sub> S <sub>5</sub>			R. H. Solly und G. F. H. Smith (1912)
Giessenit	Pb <sub>13</sub> (Cu,Ag)(Bi,Sb) <sub>9</sub> S <sub>28</sub>	Turtschi, Binnatal VS		S. Graeser (1963)
Sinnerit	Cu <sub>6</sub> As <sub>4</sub> S <sub>9</sub>			F. Marumo und W. Nowacki (1964)
Wallisit	PbCuTlAs <sub>2</sub> S <sub>5</sub>			W. Nowacki (1965)
Nowackiit	Cu <sub>6</sub> Zn <sub>3</sub> As <sub>4</sub> S <sub>12</sub>			F. Marumo und G. Burri (1965)
Imhofit	Tl <sub>5.6</sub> As <sub>15</sub> S <sub>25.3</sub>			G. Burri, S. Graeser, F. Marumo, W. Nowacki (1965)
d Rathit IV	(Pb,Tl) <sub>3</sub> As <sub>5</sub> S <sub>10</sub>			T. Ozawa und W. Nowacki (1974)
Erniggliit	Tl <sub>2</sub> SnAs <sub>2</sub> S <sub>6</sub>			S. Graeser, H. Schwander, R. Wulf, A. Edenharter (1992)
Edenharterit	PbTlAs <sub>3</sub> S <sub>6</sub>			S. Graeser, H. Schwander (1992)
d Baumhauerit-2a	Pb <sub>3</sub> As <sub>4</sub> S <sub>9</sub>			A. Pring, W. D. Birch, D. Sewell, S. Graeser, A. Edenharter, A. J. Criddle (1990)
d Arsensulfidglas	ca. As <sub>3</sub> S <sub>3</sub>			M. Hügi (1988)
Stalderit	TlCu(Zn,Fe,Hg) <sub>2</sub> As <sub>2</sub> S <sub>6</sub>			S. Graeser, M. Schwander, R. Wulf & A. Edenharter (1995)
Jentschit	TlPbAs <sub>2</sub> Sb <sub>5</sub> S <sub>6</sub>			S. Graeser und A. Edenharter (1997)

d = nicht oder nicht mehr offiziell anerkannte Art

Abbildung 11.14: Mineraliengrube am Lengenbach, Binn (VS). Im Vordergrund links: neu eröffnete Abbaustelle von 1987. Mineraliensammler beim Suchen auf den Halden.

Abbildung 11.15: Hutchinsonit (Tl-Pb-Sulfosalz) im zuckerkörnigen Trias-Dolomit, Lengenbach; Bildbreite 4.5 mm.

Abbildung 11.16: Realgar (AsS<sub>4</sub>), Lengenbach; Bildbreite 9 mm.

Abbildung 11.17: Jordanit (Blei-Sulfosalz), Lengenbach; polysynthetische Verzwillingung, Anlauf-farben, mit Pyrit; Bildbreite 2 cm.

Abbildung 11.18: Rutil (Sagenit-gitter) mit Muskovit (hell) und Limonit (braun), Lamme, Ernen VS; Bildbreite 3.5 cm.



teilweise hier erstmals entdeckt worden sind: Parsettensit, Sursassit, Tinzenit. Mangan, ein Übergangselement, kann als Bestandteil eines Minerals diesem leuchtende Farben verleihen. Farbige Mangansilikate kommen in grosser Vielfalt vor: gelber bis oranger Tinzenit, roter Rhodonit ([Abbildung 11.33](#)), rosaroter Rhodochrosit, violetter Piemontit, violettbrauner Parsettensit, kupferroter Sursassit. Erzproben mit diesen Mineralien ergeben teilweise wunderschöne Dekorationssteine und sie sind auch oft verarbeitet worden (Cabochons, Plättchen, Schälchen, Halsketten-Perlen usw.; Stalder 1993). Die Falotta-Erze werden teilweise von dünnen Arsenat-Adern durchzogen, vorwiegend von Brandtit und von Sarkinit. Viele Arsenate konnten sich in kleinen Klüften und Rissen frei entwickeln – allerdings stets nur in kleinen oder kleinsten Kristallen. Von der Falotta kennt man heute etwa 36 verschiedene Mineralarten, darunter 10 Silikate und 11 Arsenate.

#### 11.1.4.2 Arsensulfid-Vererzung im Lengenbach, Binnthal

Etiketten zu Sammlungsproben in Museen von Basel, Zürich und Freiburg bezeugen, dass schon seit rund 200 Jahren Mineralien im zuckerkörnigen Dolomit des Lengenbachs im Binnthal (VS) gesammelt werden. Die wissenschaftliche Bearbeitung begann mit der Beschreibung der ersten neuen Mineralart: Dufrenoyisit (durch A.A. Damour, Paris, 1845, siehe [Tabelle 11.4](#)). Heute kennt man 22 Arten, die erstmals von dieser Fundstelle in die wissenschaftliche Literatur eingeführt worden sind. Weitere Arten werden folgen, z.T. sind sie schon von der «Commission on New Minerals and Mineral Names» (CNMMN) genehmigt. Damit nimmt der Lengenbach eine einzigartige Stellung ein, was die Taxonomie der Mineralien anbetrifft. Ohne Übertreibung kann festgestellt werden, dass die Fundstelle diesbezüglich eine der 10 wichtigsten der Welt darstellt, neben Tsumeb, Namibia; Långban, Schweden; Vesuv, Italien; Franklin, New Jersey, USA u.a. Der Lengenbach ist zudem (neben dem Vesuv) die einzige dieser Fundstellen, die nie eine kommerzielle bergmännische Ausbeutung erfahren hat.

Nach einer längeren Zeit ohne systematischen Abbau wird der Lengenbach seit 1958 von einer Arbeitsgemeinschaft, der auch wissenschaftliche Museen und Institute angehören, abgebaut. Total sind heute gegen 100 verschiedene Mineralarten nachgewiesen, davon etwas mehr als die Hälfte Sulfide und Sulfosalze. Die [Sulfosalze](#) des Lengenbachs sind fast durchwegs Arsen-Sulfosalze, eine untergeordnete Rolle spielt das Antimon. Das vorherrschende Schwermetall ist Blei. Die men-

genmässig wichtigsten [Sulfosalze](#) sind die reinen Blei-Arsen-Schwefel-Verbindungen der Rathit-Reihe und Jordanit. Diese dunkelgrauen Mineralien können zuweilen in Längen von über einem Zentimeter (teilweise sogar einige cm) vorkommen. Kleiner und seltener sind die Silber-, Kupfer- und Thallium-Sulfosalze, die sehr oft auch Blei enthalten. Diese sind zum Teil ebenfalls grau oder schwarz, meist aber dunkelrot oder rot, vor allem die Silber- und Thallium-Sulfosalze. Weitere Metalle, die nur ausnahmsweise vorkommen, sind Zn, Fe, Sn und Hg. Erst vor kurzem ist festgestellt worden, dass auch Uranminerale im Lengenbach vertreten sind: Brannerit, Uraninit. Als einziges Nichtsulfosalz respektive Nichtsulfid ist 1855 Hyalophan («Barium-Adular») als neue Art beschrieben worden. Weil dieses Mineral vor allem in alpinen Zerrklüften (auch im Lengenbach) vorkommt, ist es in [Tabelle 11.3](#) aufgeführt.

Weit über 200 wissenschaftliche Publikationen sind bis heute über die Fundstelle Lengenbach und ihre Mineralien verfasst worden. Übersichtsdarstellungen mit ausführlichen Literaturzitaten sind beispielsweise folgende: Graeser (1965), Stalder et al. (1978), Hofmann et al. (1993), Schwanz et al. (1994).

#### Sulfosalze

Die allgemeine Formel für ein Sulfosalz lautet  $A_xB_yS_z$ , wobei A für Schwermetall, B für As, Sb oder Bi und S für Schwefel steht. Dabei gilt die Bedingung, dass am Aufbau des Atomgitters im wesentlichen  $BS_3$ -Pyramiden beteiligt sind (B bezeichnet die Spitze einer flachen Pyramide, S die unteren Eckpunkte der dreiseitigen Pyramide). Verbindungen mit  $BS_4$ -Bausteinen (tetraedrische Anordnung der S um ein zentrales B) werden den «gewöhnlichen» Sulfiden zugerechnet [Nowacki, 1969, 1983].

Das Verhältnis der Sammler zu den Lengenbacher Mineralien ist ambivalent. Alle haben Freude, wenn sie auf der Halde schön geformte oder farbige Mineralien finden: Realgar, Auripigment, Pyrit, Sphalerit, Tennantit (= Binnit) oder Sulfosalze. Leider sind recht viele Mineralien, vor allem auch die Sulfosalze, durch reine Betrachtung (auch unter der Lupe) nicht sicher zu identifizieren. Bei der Bestimmung sind die meisten Sammler deshalb auf fremde Hilfe angewiesen. Aus diesem Grund erlahmt oft eine anfängliche Begeisterung für die kleinen Mineralien. Andere Sammler, vor allem solche, denen ein geeignetes Labor zur Verfügung steht, versuchen, selbst zu einem Bestimmungsergebnis, respektive Teilergebnis zu gelangen. Von diesen hat die Wissenschaft mehrfach profitiert.

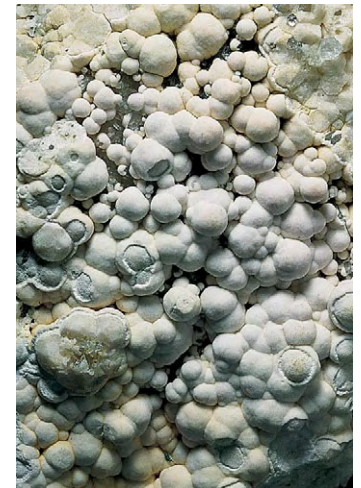




11.19



11.20



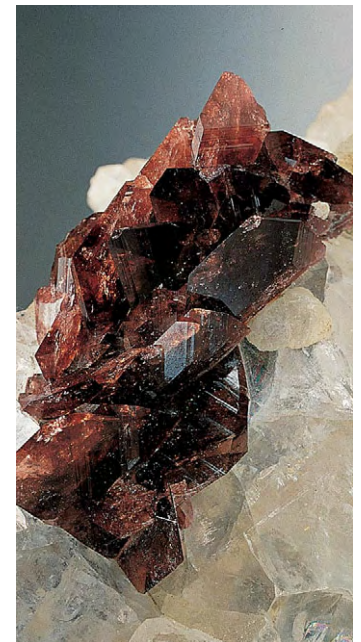
11.21



11.22



11.23



11.24



11.25



11.26



11.27

**Abbildung 11.19:** Fluorit-Oktaeder auf Kalzit, Druckschacht Kraftwerk Göschenen (UR); Bildbreite 2.5 cm.

**Abbildung 11.20:** Fluorit-Grundform Rhombendodekaeder aufgelöst in Würfel, BLS-Tunnel bei Eggerberg (VS); Bildbreite 12 mm.

**Abbildung 11.21:** Fluorit, junge Bildung in alter Mineralkluft, Furkahorn (VS); Bildbreite 5 cm.

**Abbildung 11.22:** Apatit, rosa (nicht lichtbeständig), Intschitobel bei Amsteg (UR); Bildbreite 4.5 cm.

**Abbildung 11.23:** Pyrrhotin auf Pyrit aus dem Gurschengneis, Gottshardstrassentunnel-Nord (UR); Bildbreite 4.5 cm.

**Abbildung 11.24:** Axinit auf Quarz, unterstes Lötschentälchen (VS); Bildbreite 5 cm.

**Abbildung 11.25:** Preiswerkit (hellgrün) in Pargasit-Amphibolit (dunkelgrün), Kern des Einschlusses vor allem Zoisit; Bildbreite 2.5 cm.

**Abbildung 11.26:** Stellerit aus der mächtigen Spaltenbrekzie am Gibelsbach bei Fiesch (VS); Bildbreite 7 cm.



## 11.2 AUSBEUTUNG - SAMMELTÄTIGKEIT - HANDEL - VERARBEITUNG

### 11.2.1 HISTORISCHE ANMERKUNGEN

Seit Jahrhunderten werden in den Schweizer Alpen Mineralien gesucht. Bis ins 18. Jahrhundert hinein hatten es die Strahler, wie die professionellen Kristallgräber hierzulande genannt werden, vor allem auf die farblosen Bergkristalle der alpinen Zerrklüfte abgesehen. Die geborgenen Kristalle wurden allesamt ins Ausland verkauft, wo sie von Kristallschleifern zu Kunstwerken verarbeitet wurden. Über 200 Jahre (etwa 1550 bis 1750) waren es vor allem mailändische Künstler, oft als Angestellte verschiedener Fürstenhäuser Europas, die es meisterhaft verstanden, aus dem Rohmaterial Bergkristall vielgestaltige Prunkgefässe oder Tierfiguren herzustellen. Die höchsten Preise erzielten die Strahler mit Bergkristallen, die farblos, durchsichtig und einschlussfrei waren (sogenannte Mailänder Ware). Wichtige Abnehmer waren auch die Kristallschleifereien von Freiburg im Breisgau und dem benachbarten Waldkirch, wo vor allem sakrale Objekte aus Bergkristall hergestellt wurden (Altarkreuze, Kerzenständer).

Mit dem erwachenden Interesse für die Naturwissenschaften im ausgehenden 18. Jahrhundert begann man sich auch für andere Mineralien zu interessieren. Wissenschaftliche Reiseberichte aus den Alpen erwähnten immer häufiger die «Gottthardmineralien» und den Mineralienhandel, der rund um den Gotthard (Urseren, Tavetsch, Leventina, Goms) sehr rege gewesen zu sein scheint. In wenigen Jahrzehnten lernten die Strahler, meist wohl durch die Vermittlung von Geistlichen (im Tavetsch z.B. durch Pater Placidus a Spescha 1752–1832), Mineralien kennen, die auch die Wissenschaft vielfach erst kurz zuvor genau definiert hatte (Jahrzahlen in Klammer): Adular (1783), Anatas (1801), Rutil (1803), Brookit (1825), Axinit (1797), Fluorit (alt), Titanit-Sphen (1795), Apatit (1786), Eisenrosen-Hämatit (alt), Disthen oder Kyanit (1801), Turmalin (alt) und «Rubin/Saphir» (alt). Königsberger [in Niggli et al., 1940] schätzte, dass zwischen 1800 und 1940 die berufsmässige Arbeitsleistung der Strahler für die ganze Schweiz 2 Millionen Arbeitstage zu 12 Stunden betrug. Dies hätte 280 aktiven Strahlern entsprochen, die sich pro Jahr jeweils 50 Tage dem Handwerk der Kristallgräberei (Strahlgänge, Waschen und Bereitstellen der Ware) hätten widmen müssen. Vermutlich ist eine derart aktive Strahlerei nur ganz ausnahmsweise erfolgt;

die Königsberger'sche Zahl von 2 Millionen dürfte etwa einen Faktor 5 zu hoch gegriffen sein. Aber auch 400'000 volle Arbeitstage entsprechen einem volkswirtschaftlich erheblichen Wert, da diese Arbeit damals ausnahmslos in Bergregionen erbracht wurde, wo neben der kargen Berglandwirtschaft eine Nebenbeschäftigung äusserst willkommen war [Maissen, 1955].

### 11.2.2 STRAHLERZENTREN DER SCHWEIZ

Von den verschiedenen Zentren sollen nur deren vier kurz vorgestellt werden. Es sind solche, wo das Strahlen Tradition besitzt und wo die Strahlertätigkeit im Laufe der letzten zweihundert Jahre nie ganz abgebrochen ist.

#### Tavetsch (Surselva GR)

Nirgends in der Schweiz ist die Strahlerdichte so gross wie im Tavetsch (inklusive Disentis und Val Medel). Von hier hat Pater Flurin Maissen (1955) eine einzigartige Monographie über das Auffinden und Ausbeuten von Mineralklüften, über deren Gestalt und Inhalt, über den Strahler und seinen Beruf und die volkswirtschaftliche Bedeutung der Strahlertätigkeit verfasst (Ausbeutungserfolge von 4 Tavetscher Strahlern [A–D] vor dem Jahre 1955 sind im [Textkasten unten](#) dargestellt). Das Tavetsch liegt, geologisch gesehen, im Tavetscher Zwischenmassiv, nördlich davon türmt sich das Aarmassiv, südlich das Gotthardmassiv auf. Die einzelnen kristallinen Gesteine sind oft schieferig oder deutlich parallel texturiert, aber auch mas-

#### STRAHLERGEWOHNHEITEN (A,B,C,D = 4 Tavetscher Strahler; um 1950)

	A	B	C	D*
- Anzahl Strahlgänge pro Jahr	27	40	35	50
- Benötigte Anzahl Jahre zur Ausbeutung von 100 Klüften	20	20	14	14
- Anzahl der Mineralien, die der Strahler aus seinem Gebiet kannte	44**	30	?	?
<b>ERLÖS AUS 100 KLÜFTEN</b>				
Der Geldwert entspricht jenem aus dem Jahr 1950. Angabe der entsprechenden Anzahl Klüfte				
- ohne Ertrag	5	—	—	5
- 10 – 180 Fr. Erlös pro Kluff	60	60	80	60
- 200 – 900 Fr. Erlös pro Kluff	32	20	18	30
- über 1000 Fr. Erlös pro Kluff	3	20	2	5
<b>MITTLERER TAGESERLÖS (FR.)</b>				
- Geldwert von 1950	40	50	40	30

\* D hat in seinem Leben ca. 1500 Strahlgänge gemacht.

\*\* Entdecker von mindestens 3 neuen Mineralarten für die Region: Datolith, Synchisit, Gadolinit.

Abbildung 11.27: Beryll aus Pegmatit, Verzascatal (TI); Bildbreite 6.5 cm.





11.28



11.29



11.30



11.31

sig ausgebildet. Eine klassische Mineralfundstelle liegt in der Cavadischlucht, wo im Permokarbon seit bald 200 Jahren in vielen kleinen Rissen Hämatit mit epitaxial aufgewachsenem Rutil gebrochen wird. Die Vielfalt der Geologie im Tavetsch widerspiegelt sich in der Vielfalt der gefundenen Mineralien ([Abbildung 11.30](#)). Die meisten Mineralklüfte sind eher klein.

### Bristen (Maderanertal UR)

Bristen ist ein kleines Dorf der Gemeinde Silenen und liegt auf einer muldenförmigen Terrasse am Eingang zum Maderanertal. Seit über 200 Jahren gilt dieses Tal als mineralienreich, und viele Dorfbewohner haben sich seit jeher als Strahler betätigt. In den Jahren 1855 bis 1876 hat Albin Furger, Kaplan in Bristen, als Förderer des Strahlerwesens und als Mittler zwischen Strahlern und Mineralogen respektive Mineralien-

sammeln eine wichtige Rolle gespielt. Nirgendwo sonst als in Bristen führen die Strahler alljährlich eine kleine interne Mineralienbörse durch. In der mineralogischen Literatur ist das Maderanertal durch einige ungewöhnliche Funde bekannt geworden, deren wichtigste nachfolgend beschrieben sind:

- um 1720: Riesenfund von Bergkristallen am Krüzlistock.
- 1837: Wiser beschreibt erstmals Brookit aus dem Maderanertal, später auch Turnerit (= Monazit).
- 1852 und 1873: Grosse Zeolithfunde am Kleinen Mutsch und am Schattig Wichel.
- 1895: Grösster Brookitfund im Griesserental mit Kristallen bis zu 3 cm Länge und 2 cm Breite.
- 1895 und 1908: Schmidt beschreibt Scheelitfunde vom Kleinen Mutsch und aus dem Etzlital.
- 19. Jahrhundert: Mehrfach werden in den im Abbau stehenden Eisenerzen der Windgälle (Eisenoölithe des Doggers)

**Abbildung 11.28:** Bazzit (blau), neben Stilbit (farblos) und Titanit (braun); Furkabasistunnel-West (V5); Bildbreite 20 mm.

**Abbildung 11.29:** Eisenrosen (Hämatit) aus den südlichen Gneisen des Aarmassivs, Gotthardstrassentunnel (UR); Bildbreite 7 cm.

**Abbildung 11.30:** Titanit (doppelfarbig) neben Amiant (Fasern) und Adular, Cuolm da Vi bei Sedrun (GR); Bildbreite 36 mm.

**Abbildung 11.31:** Magnesiumhaltiger Siderit (braungelb) auf Ankerit, Rutil (schwarz); Furkabasistunnel-West (V5); Bildbreite 6 cm.



sekundäre Salzminerale gefunden und bestimmt.

- 1922 wird nahe der Windgällenhütte ein nach dem Brasilianer Gesetz verzwillingter Bergkristall gefunden.
- 1919–1938: Ein grosser Teil der gefundenen Mineralien gelangt in die Ashcroft-Sammlung, welche die bestdokumentierte Mineralsammlung aus der Schweiz darstellt und im Naturhistorischen Museum London aufbewahrt wird. In seinem Werk «Der Engländer – F.N. Ashcroft und die Urner Strahler» berichtet P. Amacher [1994] recht ausführlich über die Bristner Strahler (8 Kurzporträts) und ihre Funde im Maderanertal.

Allgemein kann festgestellt werden, dass die altkristallinen Nördlichen Schiefer des Aarmassivs überaus reich sind an kleinen Mineralzerrklüften (Bergkristall, Adular, Albit, Chlorit, Kalzit, Anatas, Brookit, Ilmenit). In den Amphiboliten kommen unter anderem auch Titanit, Amiant (Aktinolith-Asbest), Epidot, Apatit vor. Die weiter im Süden liegenden variskischen Intrusivgesteine (Aaregranit, Givvysyenit) enthalten neben kleineren auch grosse Mineralklüfte.

### Guttannen (Oberhasli BE)

Guttannen ist vergleichsweise ein kleines Strahlerzentrum, das einzige im Kanton Bern, zu Zeiten aber ein recht erfolgreiches. Guttannen liegt im Aarmassiv; mineralienreiche Zonen, die von Guttannen aus bearbeitet werden, bestehen vorwiegend aus massigen variskischen Intrusivgesteinen (Aaregranit, Grimselgranodiorit). Dies sind Gesteine, die relativ wenig, dafür aber grosse Klüfte oder Kluftsysteme enthalten ([Abbildungen 11.1, 11.2, 11.8](#)). So kommt es, dass von Guttannen aus mehrfach während Jahren, sogar Jahrzehnten (z.B. an der Zinggenstockkette), die gleiche Fundstelle bearbeitet wurde und wird und dies oft durch eine ganze Strahlergruppe. Artenreich sind die meisten Mineralvorkommen nicht, dafür haben sie mächtige, teilweise wunderschöne Mineralstufen (Bergkristalle, Rauchquarze, rosa Fluorite) geliefert, wie private Mineralienmuseen in Guttannen und auch am Hasliberg BE oder in Obergesteln VS belegen. Auch die einzige geschützte Mineralkluft der Alpen liegt auf dem Gemeindegebiet von Guttannen, in den Anlagen der Kraftwerke Oberhasli an der Gerstenegg [Stalder et al., 1987].

### Binn (Binntal VS)

«Binn – Tal der Mineralien» steht auf dem Poststempel von Binn. Tatsächlich besitzt kein anderes Strahlerzentrum der

Schweiz so viele und so vielfältige Mineralvorkommen wie das Binntal, und nirgends ist die wirtschaftliche Abhängigkeit von den Mineralien so gross wie hier: 1974 bis 1978 gaben 49% aller Feriengäste von Binn an, dass sie wegen der Mineralien das Tal besuchen; auf der Halde am Lengenbach betrug 1982 und 1983 die durchschnittliche Besucherzahl während der Abbauphase der Arbeitsgemeinschaft Lengenbach 64 Personen pro Tag.

Kein anderes Mineralfundgebiet der Schweiz ist bei den professionellen Mineralogen so bekannt wie Binn. In der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts und zur Zeit der Jahrhundertwende haben unter anderen folgende Wissenschaftler Binn besucht: J.J.G. vom Rath, Bonn; C. Klein, Heidelberg; H. Baumhauer, Lüdinghausen (später Professor der Mineralogie in Fribourg); Gustav Seligmann, Koblenz; H. Bücking und P. Groth, Strassburg, sowie C.O. Trechmann, Hartlepool, England und R.H. Solly, London. Sie alle haben in der Folge wissenschaftliche Arbeiten über Binntaler Mineralien verfasst. Als 1959 an der ETH in Zürich die erste Tagung der «International Mineralogical Association» (IMA) stattfand, durfte eine Exkursion nach Binn nicht fehlen.

Der wichtigste Anziehungspunkt im Binntal ist natürlich die Arsen-Sulfid-Vererzung im Triasdolomit am Lengenbach (siehe auch [11.1.4.2](#); [Abbildungen 11.14 – 11.17](#)). Doch auch die alpinen Kluftminerale des Tales mit ungewöhnlich schön ausgebildeten Kristallen häufiger Mineralarten (z.B. Anatas und Magnetit) und vielen seltenen, oft arsenhaltigen Mineralien locken Strahler, Sammler und Käufer ins Tal. Die ertragreichste Strahlertätigkeit war wohl in der Zeit vor und nach der letzten Jahrhundertwende. In dieser Zeit (1900–1907) betrieb beispielsweise eine einheimische Strahlerorganisation unter Franz Jentsch den systematischen Mineralienabbau im Lengenbach. Anton Imhof war ein Mitglied dieser Strahlerorganisation; sein Sohn Josef übernahm 1958 die Leitung des Mineralienabbaus bei der Wiedereröffnung der Grube, und ein Enkel, Toni Imhof, leitet diesen Abbau noch heute.

#### 11.2.3 SAMMLER- UND STRAHLER-VEREINIGUNGEN, BÖRSEN, PUBLIKATIONEN

In der Zeit zwischen den beiden Weltkriegen war die Strahlertätigkeit relativ bescheiden. Museen und wissenschaftliche Institute hatten kaum Geld, um Mineralien zu kaufen, und finanzkräftige Sammler gab es nur wenige. Koenigsberger [in Niggli et al., 1940] schrieb: «...weil seit 1918 fast nur die selteneren oder kristallographisch beziehungsweise paragene-



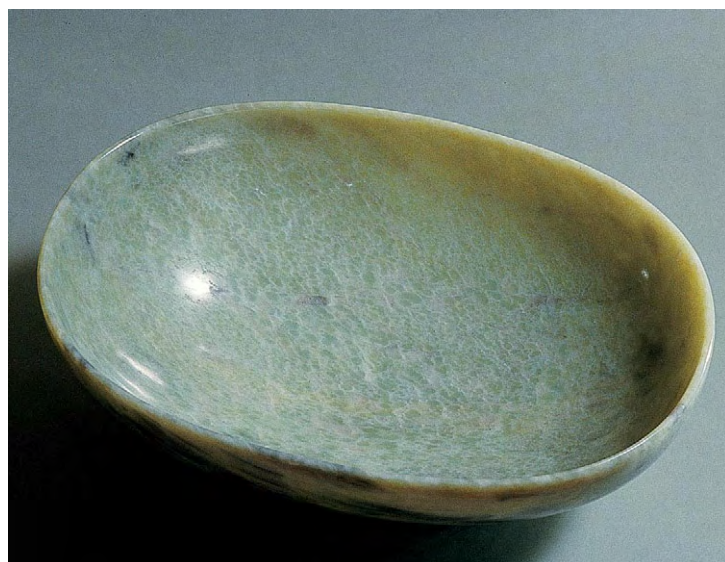
11.32



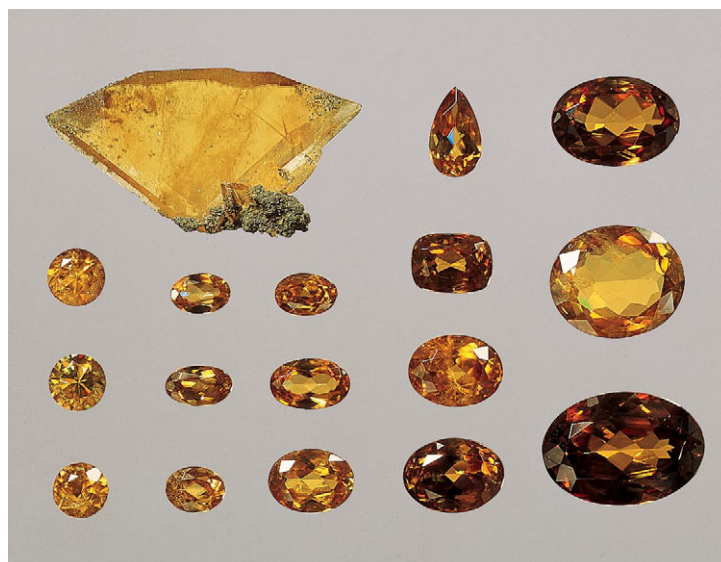
11.33



11.34



11.35



11.36

tisch interessanten Mineralien guten Verkaufswert besitzen...» arbeiteten die Strahler nicht mehr in Gruppen an grossen Quarzklüften, sondern einzeln oder zu zweit an kleineren Mineralvorkommen. Erfolgreich waren damit die Strahler, die bessere mineralogische Kenntnisse besaßen. Der Haupteinkäufer war damals F.N. Ashcroft aus London, der all die erworbenen Mineralien aus dem Kanton Uri und dem Tavetsch dem Britischen Museum (heute «The Natural History Museum», London) schenkte [Amacher, 1994].

Nach dem zweiten Weltkrieg änderte sich die Situation für Strahler und Sammler grundlegend. In den fünfziger Jahren

erfreuten sich die Mineralien im allgemeinen und die Kluftminerale aus den Alpen im besondern einer wachsenden Beliebtheit. 1957 lud eine kleine Interessengruppe unter der Leitung von Dr. G. Beck (1900–1993) Strahler und Mineraliensammler zu einem Treffen nach Schönenwerd ein. Unter den 33 Teilnehmern kam es zu einem regen Gedankenaustausch, die Mineraliensammlung des Bally-Museums wurde besichtigt und dann die erste organisierte Mineralienbörse der Schweiz durchgeführt. In den folgenden Jahren erfolgten ähnliche Zusammenkünfte mit Börsen und stets wachsenden Teilnehmerzahlen in Sedrun (1958), Bern (1959), Meiringen

**Abbildung 11.32:** Fluorit, rosa, facettierte Steine (7.2 bis 20.2 Karat) aus Granitklüften der Göscheneralp (UR), der Grimsel (BE) und von Chamoni (F).

**Abbildung 11.33:** Geschliffene Platte mit Rhodonit (rosa), Tinenit (braungelb) und Manganoxiden (schwarz), Mangangrube Falotta bei Tinzen, Oberhalbstein (GR); Bildbreite 4.5 cm.

**Abbildung 11.34:** Lilienkreuz aus Bergkristall (Venedig, 14. Jahrhundert), Historisches Museum Bern.

**Abbildung 11.35:** Schale aus Nephrit, Durchmesser 17 cm; Rohstein aus Selva bei Poschiavo (GR).

**Abbildung 11.36:** Titanit, Kristall und facettierte Steine (bis 16.4 Karat); Naret-Pass (TI).



(1960), Binn (1961), Luzern (1962), Andermatt (1963), Guttannen (1964), Sedrun (1965) und Spiez (1966).

Schon 1962 entstand im Kanton Uri die Vereinigung der Urner Mineralienfreunde (UMF) zusammen mit der Sammlerzeitschrift «Urner Mineralienfreund» (ab 1971 «Mineralienfreund»). Kurz danach, an der Mineralienbörse in Spiez, wurde die «Schweizerische Vereinigung der Strahler und Mineraliensammler» (SVSM) gegründet mit dem zweisprachigen Publikationsorgan «Schweizer Strahler/Le Cristallier Suisse» (heute z.T. dreisprachig). Vor allem bezüglich der Kenntnis der topographischen Mineralogie der Schweiz haben die beiden Zeitschriften seither einen ganz beachtlichen Beitrag geleistet.

Mit dem Entstehen der Sammler- und Strahler-Vereinigungen wurden an verschiedenen Orten alljährlich wiederkehrende Mineralienbörsen eingerichtet, so in Zürich, Basel, Genf, Bern, aber auch mitten in den Strahlergebieten, so in Altdorf, Fiesch, Disentis, Bristen und an andern Orten. Wurden 1965 in der Schweiz 3 Mineralienbörsen durchgeführt, so waren es 1970 = 7, 1975 = 13, 1980 = 16, 1985 = 16, 1990 = 21 und 1993 = 20. Die grösste Mineralienbörse ist jene von Zürich, für kurze Zeit (um 1970) vermutlich sogar die grösste von ganz Europa. Die Besucherzahlen stiegen zunächst steil an: 1962 = 320, 1965 = 3000, 1970 = 9000. Zwischen 1975 (um 10'000) bis 1984 (= 6500) fielen dann die Zahlen, um seit 1990 wieder auf über 10'000 anzusteigen. An allen Börsen werden Mineralien aus den Fundregionen der Schweiz verkauft, doch neben den eigentlichen Strahlern sind es mehr und mehr auch «Unterländer», die ihre (meist) alpinen Funde feilbieten. Da an den grossen Börsen die alpinen Mineralfunde teilweise deutlich weniger als 25% des Umsatzes ausmachen, werden an gewissen kleinern Börsen zum Schutz des «Inlandhandels» keine ausserschweizerischen respektive ausseralpinen Mineralien zugelassen. Ein besonderes Problem an den Mineralienbörsen besteht darin, dass immer mehr geschliffene Steine und Schmuck zum Markt drängen.

#### 11.2.4 BESTIMMUNGEN ÜBER DAS MINERALIENSAMMELN IN DER SCHWEIZ

Schon an der Gründungsversammlung des SVSM (1966) waren sich die Teilnehmer im klaren, dass bei der im Gange befindlichen starken Zunahme der Strahlertätigkeit Probleme rechtlicher Natur entstehen würden. Der SVSM verfasste deshalb einen «Ehrenkodex» (unterdessen mehrfach revidiert), um seinen Mitgliedern darzulegen, wie verantwor-

tungsvolles Mineraliensammeln betrieben werden soll (Bezugsquelle: SVSM, Postfach 101, 3608 Thun). Dieser Ehrenkodex (ohne Rechtsverbindlichkeit) konnte nicht verhindern, dass vielerorts verantwortungslos «gestrahlt» wurde: Raubbau, Verschandelung von Alpweiden oder hoch gelegener Landschaftsräume oder unerlaubtes Sprengen. Damit konnte nicht ausbleiben, dass kantonale und kommunale Behörden verschiedenerorts Strahlerpatente (meist mit der Einforderung von Gebühren) und Verbote erliessen. Der «Schweizer Strahler» publiziert jeweils im Maiheft eine Zusammenstellung aller derartigen Verfügungen in der Schweiz.

#### 11.2.5 VERARBEITUNG VON MINERALIEN

Wenn bis Mitte des 18. Jahrhunderts praktisch alle gefundenen Kristalle aus den Schweizer Alpen (Bergkristall und Rauchquarz; [Abbildung 11.34](#)) verarbeitet worden sind [Stalder, 1992], ist dies seither die Ausnahme. Die meisten Mineralien werden um ihrer selbst willen gesucht und gekauft.

Das Fundgut wird jedoch von Strahlern und Sammlern sehr oft intensiv bearbeitet, bevor es ausgestellt oder verkauft wird. Zunächst müssen fast alle gefundenen Proben sorgfältig gereinigt werden. Dabei werden je nach Art der Verschmutzung verschiedene Praktiken angewendet, wie kommerzielle Waschmittel, Säuren, Ultraschall und neuerdings mit gutem Erfolg Sandstrahlgeräte (wobei es hier auf die Wahl des «Sandes» ankommt). Gebrochene Stufen oder Kristalle werden geleimt – was bei einem Verkauf vermerkt werden muss. Eine «alpine» Unsitte ist das «falsche Kleben», das heisst das Aufkleben von Mineralien, die ursprünglich nicht auf der betreffenden Mineralprobe aufgewachsen waren. Der Verkauf solcher «komponierter» Mineralproben gilt heute als Betrug.

Verschiedene farbige, gesteinsbildende Mineralien können besser zur Schau gestellt werden, wenn das Gestein gesägt, geschliffen und poliert wird. Kunstgewerblich geschickte Schleifer stellen daraus auch Platten, Würfel, Perlen (für Ketten), Schalen, Aschenbecher oder bei besonders wertvollem Material Cabochons her. Aus den Schweizer Alpen wurden und werden unter anderem folgende Rohmaterialien verarbeitet: Nephrit aus dem Puschlav GR [Dietrich & de Quervain, 1968] ([Abbildung 11.35](#)), Lazulith von Zermatt VS, Mangansilikate aus dem Bündnerland ([Abbildung 11.33](#)), Californit (= feinkristalliner Vesuvian) vom Piz Lunghin GR, Rubin aus dem Val Traversagna GR oder nickelhaltiger Dolomit (Tara-spit) von Tarasp GR [Stalder 1991, 1993].

### Schweizerische Mineralien, welche bisher facettiert wurden [Stalder 1991, 1992]

- Adular: vorwiegend Oberwallis und Gotthardgebiet
- Amethyst: einzigartiger Fund aus dem Bieligtal (VS)
- Anhydrit: rotviolett aus dem Simplontunnel (VS/I)
- Apatit: blauviolett aus dem Val Casatscha (GR); grünlichgelb aus dem Val Fedoz (GR) (und weitere Fundorte)
- Axinit: Catogne (VS) mit Aktinolithfaser-Einschlüssen
- Bergkristall: viele Fundorte, teilweise mit festen Einschlüssen
- Beryll: Aquamarin aus Pegmatiten des Bergeller Massivs
- Cordierit: blaue Varietät, gesteinsbildend, aus dem Misox, sehr klein
- Diopsid: gelblich, von Zermatt, dunkelgrüner Chromdiopsid mit Katzenaugeneffekt, von der Alpe Arami (TI)
- Dolomit: farblos, aus dem Lengenbach, Binntal (VS)
- Epidot: helle Varietät vom Pollux bei Zermatt (VS)
- Fluorit: rosarot, aus dem mittleren Aarmassiv und dem Mt.-Blancmassiv sowie grüne und violette Varietäten verschiedener Fundorte ([Abbildung 11.32](#))
- Kyanit: metamorph, leuchtend blau, vom Pizzo Forno (TI)
- Rauchquarz: viele Fundorte, vorwiegend Aarmassiv
- Skapolith: bräunlichgelb, vom Lago Tremorgio (TI), Varietät Mejonit mit rund 30% Marialith-Anteil
- Titanit: honigbraun, vom Naret-Pass (TI), [Abbildung 11.36](#); grünlichgelb, vom Bortelhorn (VS) (und weitere Fundorte)
- Vesuvian: dunke-rotbraun, vom Pollux bei Zermatt

Nur wenig Kristalle eignen sich zum Facettieren, allen voran natürlich Bergkristall und Rauchquarz. Es ist sinnvoll, wenn Kristallbruchstücke, die bei der Ausbeutung einer grossen Quarzkluft fast immer entstehen, derart genutzt werden, vorausgesetzt, der Quarz ist einschlussfrei. Aber auch andere Mineralien wurden und werden ausnahmsweise facettiert. Eine Zusammenstellung ist im [Textkasten oben](#) aufgeführt. Es bleibt dazu zu bemerken, dass einzig facettierter Quarz (Bergkristall und Rauchquarz), Kyanit und Fluorit auf dem Mineralienmarkt mehr oder weniger regelmässig angeboten wird.



- 12      **GESETZLICHE GRUNDLAGEN FÜR DIE  
ROHSTOFFNUTZUNG UND FÜR ANDERE  
GEOLOGISCHE AKTIVITÄTEN**
  - 12.1    Bergrechtliche Grundfragen
  - 12.2    Bergrechtliche Grundlagen
    - 12.2.1   *Die Schweizerische Bundesverfassung (BV)*
    - 12.2.2   *Das Schweizerische Zivilgesetzbuch (ZGB)*
    - 12.2.3   *Bergrechtliche Grundlagen in den Kantonen*
  - 12.3    Andere gesetzliche Grundlagen
    - 12.3.1   *Gesetzliche Grundlagen des Bundes*
    - 12.3.2   *Rechtliche Bestimmungen für den  
Schutz von Geotopen*
    - 12.3.3   *Gesetzliche Grundlagen der Kantone*
  - 12.4    Rechtsgrundlagen für die Tätigkeit des  
beratenden Geologen
  - 12.5    Schlussbetrachtungen über das «Geologierecht»
-



An aerial photograph of a city, likely Bern, Switzerland. The image shows a dense urban area with many buildings, mostly with red-tiled roofs. A large, light-colored building with a central dome and classical architectural features is prominent in the center. A river flows through the city, and a large, multi-arched bridge crosses it in the lower right. Green spaces and trees are interspersed among the buildings. The text "12 GESETZLICHE GRUNDLAGEN FÜR DIE ROHSTOFFNUTZUNG UND FÜR ANDERE GEOLOGISCHE AKTIVITÄTEN" is overlaid in white, bold, sans-serif capital letters across the middle of the image.

# 12 GESETZLICHE GRUNDLAGEN FÜR DIE ROHSTOFFNUTZUNG UND FÜR ANDERE GEOLOGISCHE AKTIVITÄTEN

**Kapitelinhalt**



Autor: Dr. Peter Heitzmann, Landeshydrologie und -geologie, BUWAL, 3003 Bern

Fotos: Heinz Leuenberger, DESAIR AG, Wermatswil (Titelbild).

---

**Abbildung auf Vorderseite: Bern, Bundeshaus – Ort der Legislative. Die in Blickrichtung Nord aufgenommene Luftaufnahme zeigt in der Bildmitte den langgezogenen Gebäudekomplex von Bundeshaus und Parlamentsgebäude mit der**

**davorliegenden Bundeshausterrasse. Südlich der Aare sind, anschliessend an die Kirchenfeldbrücke, das Alpine Museum und das Postmuseum am Helvetiaplatz erkennbar (Aufnahme, Juni 1996).**

## 12.1 BERGRECHTLICHE GRUNDFRAGEN

Obwohl in der Schweiz der eigentliche Bergbau heute fast keine Bedeutung mehr hat (siehe auch [Kapitel 10](#)), soll zu Beginn kurz auf das Grundkonzept des Bergrechts eingegangen werden, sind doch in einem umfassenden Berggesetz die wesentlichen rechtlichen Bereiche für die Nutzung von Rohstoffen (Exploration, Schürfen, Gewinnung, Verarbeitung) enthalten. Diese können auch auf verwandte Gebiete (beispielsweise Kiesgewinnung; siehe auch [Kapitel 5.4](#)) angewandt werden, wo das Bergrecht nicht gilt, sich aber ähnliche Probleme stellen. Dass auch in der heutigen Zeit, in welcher in der Schweiz fast kein Bergwerk mehr in Betrieb steht und die mehr als 30-jährige Erdölexploration aufgegeben wurde, die Berggesetze noch immer ihre Bedeutung haben, zeigt sich am Beispiel des Kantons Nidwalden, wo nicht nur die Gewinnung von Bodenschätzen in Bergwerken, sondern auch das Einlagern in Untertagebauten (z.B. von radioaktiven Abfällen) der Berggesetzgebung unterstehen.

Im besonderen werden durch das Bergrecht die Interessen dreier Gruppen behandelt:

- *Die Rechte des Grundeigentümers:* Der Grundeigentümer kann die Ansicht vertreten, dass sein Eigentum sich auch auf den Erdkörper unter der Erdoberfläche erstreckt (vergleiche z.B. Artikel 667 ZGB, Schweizerisches Zivilgesetzbuch; [Kapitel 12.2.2](#)). Diese Art des Eigentums an den Bodenschätzen, die sich schon im römischen Recht findet, wird meist als *Grundeigentümerbergbau* bezeichnet.
- *Die Rechte des Staates:* Der Staat (als Vertreter der Interessen der Gesamtheit) vertritt den Standpunkt, dass ihm als Inhaber der Gebietshoheit auch die Verfügung über die Bodenschätze zusteht (Bergregal). Dabei spielt es keine Rolle, ob er die Gewinnung selbst betreibt oder aufgrund einer Konzession von Dritten durchführen lässt. Das *Bergregal* leitet sich aus den dem König zustehenden Rechten (= Regalia) ab, wobei dieses den *regalia minora* (Vermögensrechten) zugeschlagen wurde.
- *Die Rechte des Nutzungsinteressierten:* Der Unternehmer als Nutzungsinteressierter kann aufzeigen, dass nur er selbst, nicht aber die beiden andern Parteien, überhaupt in der Lage ist und die finanziellen Verpflichtungen überneh-

men kann, um eine rationelle Gewinnung und Verarbeitung der Rohstoffe zu garantieren.

Da alle drei genannten Gruppen ein Interesse an den Rohstoffen geltend machen können, muss es zu Interessenkonflikten kommen; diese sind deshalb gesetzlich zu regeln. Heute wird im allgemeinen durch das Bergrecht das Grundeigentum eingeschränkt. Entweder beansprucht der Staat das Bergregal und regelt Art und Weise, wie der Unternehmer für den Abbau eine Konzession bekommen kann, oder aber es wird für den Unternehmer die Bergfreiheit erklärt, wobei jedoch staatswirtschaftliche Vorbehalte eingeführt werden (beispielsweise sicherheits- und arbeitsrechtliche Vorschriften) und dem Staat die hoheitlichen Aufgaben übertragen werden (vergleiche dazu auch das deutsche Bundesberggesetz vom 13. August 1980).

Die Bodenschätze, das heisst alle natürlichen mineralischen Rohstoffe in festem, flüssigem oder gasförmigem Zustand werden meistens bezüglich ihrer Verfügbarkeit eingeteilt:

- *Regale oder bergfreie Bodenschätze* sind vom Eigentum an einem Grundstück ausgeschlossen. Sie werden im Gesetz oft abschliessend aufgezählt (siehe [Kapitel 12.2.3](#)). Jeder Interessent kann die Bewilligung (Konzession) für Exploration und/oder Gewinnung (eventuell Bergwerkseigentum) bekommen, sofern er die gesetzlich geforderten Bedingungen erfüllt.
- *Grundeigene Bodenschätze* stehen im Eigentum des Grundeigentümers. Er bestimmt über ihre Verwendung innerhalb der bergrechtlichen und anderen Vorschriften. Wenn im Gesetz die bergfreien oder regalen Bodenschätze abschliessend aufgeführt sind, fallen alle andern Rohstoffe (ausser das Wasser) unter diese Kategorie.

Mit dieser Einteilung der Bodenschätze ist die Art des Abbaus nicht direkt verbunden. Diese kann also für beide Gruppen von Bodenschätzen sowohl unterirdisch (bergmännisch) als auch im Tagbau erfolgen. Es ist aber zu beachten, dass je nach Abbauart verschiedene, nicht im Bergrecht geregelte Vorschriften beachtet werden müssen (Planungsrecht, Baurecht, Umweltverträglichkeitsprüfung UVP, Sicherheitsvorschriften usw.).



## 12.2 BERGRECHTLICHE GRUNDLAGEN

### 12.2.1 DIE SCHWEIZERISCHE BUNDESVERFASSUNG (BV)

Der Bund kann, entsprechend [Art. 3 BV](#), nur in Bereichen tätig werden, für die ihm durch die Bundesverfassung die entsprechende Kompetenz übertragen worden ist.

Eine spezielle Kompetenzzuteilung für die Belange des Bergrechts enthält die Bundesverfassung heute nicht. Nach [Art. 64 BV](#) wäre der Bund allerdings zur zivilrechtlichen Gesetzgebung auf diesem Gebiet kompetent: Er hat aber, wie weiter unten dargelegt wird, darauf weitgehend verzichtet.

#### Art. 3 BV:

Die Kantone sind souverän, soweit ihre Souveränität nicht durch die Bundesverfassung beschränkt ist, und üben als solche alle Rechte aus, welche nicht der Bundesgewalt übertragen sind.

#### Art. 64 BV:

Der Bund ist zur Gesetzgebung auch in den übrigen Gebieten des Zivilrechts befugt.

### 12.2.2 DAS SCHWEIZERISCHE ZIVILGESETZBUCH (ZGB)

Mit Bezug auf das Bergrecht umschreibt der Bund mit den Bestimmungen im Schweizerischen Zivilgesetzbuch das Grundeigentum, die Verfügung über öffentliche und herrenlose Sachen und die Befugnisse der Kantone in öffentlich-rechtlichen Angelegenheiten. Dabei wird der Widerspruch zwischen den privatrechtlichen Aspekten des Grundeigentümers (Recht am Grund inklusive Bodenschätze) und dem öffentlich-rechtlichen Anspruch des Staates auf eben diese Sachen (Bergregal) auf Bundesebene nicht gelöst; dieser muss deshalb in der kantonalen (Berg-)Gesetzgebung seine Lösung finden.

Das ZGB erwähnt eigentliche bergrechtliche Belange einzig im Zusammenhang mit dem Grundeigentum, nämlich in [Art. 655](#) und [Art. 943](#).

#### Art. 655 ZGB:

- <sup>1</sup> Gegenstand des Grundeigentums sind die Grundstücke.
- <sup>2</sup> Grundstücke im Sinne dieses Gesetzes sind:
  1. die Liegenschaften,
  2. die im Grundbuch aufgenommenen selbständigen und dauernden Rechte,
  3. die Bergwerke,
  4. die Miteigentumsanteile an Grundstücken.

#### Art. 943 ZGB:

- <sup>1</sup> Als Grundstücke werden in das Grundbuch aufgenommen:
  1. die Liegenschaften,
  2. die selbständigen und dauernden Rechte,
  3. die Bergwerke,
  4. die Miteigentumsanteile an Grundstücken.
- <sup>2</sup> .....

Präzisiert wird der Umfang des Grundeigentums in [Art. 667 ZGB](#), allerdings werden darin die Bodenschätze nicht speziell erwähnt. Im weiteren geht auch [Art. 771](#) auf die Bergwerke ein, nämlich auf die Nutzniessung.

#### Art. 667 ZGB:

- <sup>1</sup> Das Eigentum an Grund und Boden erstreckt sich nach oben und unten auf den Luftraum und das Erdreich, soweit für die Ausübung des Eigentums ein Interesse besteht.
- <sup>2</sup> Es umfasst unter Vorbehalt der gesetzlichen Schranken alle Bauten und Pflanzen sowie die Quellen.

#### Art. 771 ZGB:

Auf die Nutzniessung an Gegenständen, deren Nutzung in der Gewinnung von Bodenbestandteilen besteht, wie namentlich an Bergwerken, finden die Bestimmungen über die Nutzniessung am Walde entsprechende Anwendung.

Es ist allerdings fraglich, ob sich aus den oben zitierten Bestimmungen ein privatrechtlicher Anspruch ableiten lässt, der dem Bergregal widerspricht (vergleiche [Art. 6](#) und [Art. 664 ZGB](#)). In [Art. 6 ZGB](#) wird erklärt, dass die öffentlich-rechtlichen Befugnisse der Kantone nicht beschränkt werden. Mit dem [Art. 664 ZGB](#) überlässt der Bund die Verfügungs- und Gesetzgebungshoheit über die öffentlichen und herrenlosen Sachen, zu denen auch die unterirdischen Bodenschätze gezählt werden können, den Kantonen und verzichtet somit auf irgendeinen Anspruch daran.

#### Art. 6 ZGB:

- <sup>1</sup> Die Kantone werden in ihren öffentlich-rechtlichen Befugnissen durch das Bundeszivilrecht nicht eingeschränkt.
- <sup>2</sup> ....

#### Art. 664 ZGB:

- <sup>1</sup> Die herrenlosen und öffentlichen Sachen stehen unter der Hoheit des Staates, in dessen Gebiet sie sich befinden.
- <sup>2</sup> ....
- <sup>3</sup> ....

Den Kantonen steht es also aufgrund dieser Bestimmungen frei, ihr Bergregal zu beanspruchen oder auch neu einzuführen oder auf der andern Seite auf das Bergregal zu verzichten und die Bodenschätze dem Grundeigentum zuzuschreiben.

### 12.2.3 BERGRECHTLICHE GRUNDLAGEN IN DEN KANTONEN

Wie oben unter [12.2.1](#) und [12.2.2](#) abgeleitet wurde, sind die einzelnen Kantone kompetent, mit Bezug auf das Bergrecht autonom gesetzliche Bestimmungen zu erlassen. Die bergrechtlichen Grundlagen unterscheiden sich denn auch von Kanton zu Kanton sehr stark. Eine Zusammenstellung (Stand 1990) zeigt folgendes:

- Gar keine kantonalen gesetzlichen Grundlagen finden sich in den Kantonen Basel Stadt, Appenzell Innerrhoden und Graubünden. Appenzell Innerrhoden ist allerdings am Erdölkonzordat beteiligt.
- Die Kantone Uri (1984), Obwalden (1968), Nidwalden (1990), Glarus (1988), Basel Landschaft (1984), Aargau (1980) und Thurgau (1990) haben verfassungsrechtliche Grundlagen bezüglich Bergrecht.
- Einige Kantone haben bergrechtliche Bestimmungen ins kantonale Einführungsgesetz zum Zivilgesetzbuch (ZGB) aufgenommen, nämlich Zürich (1911; es besteht aber auch ein altes Bergbaugesetz), Nidwalden (1990), Zug (1942), Schaffhausen (1911) und Appenzell Ausserrhoden (1969).
- 14 Kantone verfügen über eine eigene Berggesetzgebung, wobei diese allerdings nicht immer den neuen Gegebenheiten angepasst wurde: Bern (1962), Luzern (1918), Schwyz (1978), Nidwalden (1979), Freiburg (1850), Solothurn (1978), Basel Landschaft (1876), St. Gallen (1919), Tessin (1853), Waadt (1891), Wallis (1856), Neuenburg (1935), Genf (1940) und Jura (1978).

Im allgemeinen verfügt der Staat (der Kanton) über das *Bergregal*, wobei für Exploration und Gewinnung eine Konzession erforderlich ist. Folgende Rohstoffgruppen sind meist als regal bezeichnet: Metallische Erze, Salz und Salzquellen, Kohlen (Schieferkohle, Braunkohle, Steinkohle), Kohlenwasserstoffe (Erdöl, Erdgas, Bitumen, Asphalt), Ölschiefer, Schwefel und Mineralien für die Kernenergie.

Mit dem Aufkommen der Erdöl-Exploration wurden verschiedentlich spezielle Regelungen für die Erdöl-Exploration und -Gewinnung geschaffen. So vereinbarten 1955 die Kantone Zürich, Bern, Solothurn, St. Gallen, Aargau und Thurgau ein Konkordat betreffend Schürfung und Ausbeutung von Erdöl. Bern und Solothurn traten dem Konkordat dann allerdings nicht bei; im Verlaufe der Jahre schlossen sich hingegen auch Schwyz, Glarus, Zug, Schaffhausen, Appenzell Aus-

serrhoden und Appenzell Innerrhoden dem Konkordat an. Die Kantone Freiburg (1960) und Waadt (1957) schufen dafür spezielle Gesetze. In diesen Zusammenhang ist auch die Gründung der Swisspetrol Holding AG im Jahre 1960 zu stellen (liquidiert 1995). Mit Bundesbeschluss vom 15. Dezember 1982 über eine Bundeshilfe an die Swisspetrol Holding AG für die Weiterführung der Erdöl- und Erdgasforschung in der Schweiz engagierte sich auch der Bund in der Rohstoffexploration – ohne allerdings die kantonale Berghoheit in Frage zu stellen.

Eine Erweiterung erfuhr das Bergrecht im Kanton Nidwalden. Am 29. April 1990 wurden drei Initiativen von der Landsgemeinde gutgeheissen, die eine Änderung von Verfassung, Einführungsgesetz zum ZGB und Bergregalgesetz verlangten. Dadurch wurde das Bergrecht über die traditionelle Gewinnung von Bodenschätzen hinaus erweitert und auch die Lagerung, insbesondere von radioaktiven Abfällen diesem Recht unterstellt. Das Bundesgericht hat mit Urteil vom 30. August 1993 diese neue Rechtsprechung geschützt und die entsprechenden staatsrechtlichen Beschwerden abgewiesen. Am 26. September 1995 wurde auch im Kanton Uri eine entsprechende Erweiterung gutgeheissen.

Es ist zu beachten, dass über nicht-regale Rohstoffe nicht frei verfügt werden kann, sondern auch in diesen Fällen Bewilligungen notwendig sind (vergleiche dazu auch [Teil 12.3](#) sowie das [Kapitel 13](#)).

## 12.3 ANDERE GESETZLICHE GRUNDLAGEN

### 12.3.1 GESETZLICHE GRUNDLAGEN DES BUNDES

Geologische Aktivitäten stehen vielfach nicht mit der Gewinnung von regalen Rohstoffen im Zusammenhang; die gesetzlichen Grundlagen dafür finden sich deshalb ausserhalb der Berggesetze in verschiedenen Erlassen, wobei die geologischen Belange meist nur am Rande erwähnt sind. Im besonderen sind diese Bestimmungen bei der Gewinnung von *grundeigenen Rohstoffen* (z.B. Steine und Erden) heranzuziehen (vergleiche dazu auch [Kapitel 5.4](#) und [13](#)). Folgende Verfassungsartikel und Bundesgesetze sind für geologische Untersuchungen von Bedeutung (über die rechtlichen Grundlagen des Geotop-schutzes orientiert das [Kapitel 12.3.2](#)):



**Art. 24bis BV:**

- <sup>1</sup> Zur häuslichen Nutzung und zum Schutz der Wasservorkommen sowie zur Abwehr schädigender Einwirkungen des Wassers stellt der Bund in Berücksichtigung der gesamten Wasserwirtschaft auf dem Wege der Gesetzgebung im Gesamtinteresse liegende Grundsätze über:
- a. die Erhaltung und Erschliessung der Wasservorkommen, insbesondere für die Versorgung mit Trinkwasser, sowie die Anreicherung von Grundwasser;
  - b. die Benützung der Gewässer zur Energieerzeugung und für Kühlzwecke;
  - c. die Regulierung von Wasserständen und Abflüssen ober- und unterirdischer Gewässer, Wasserableitungen ausserhalb des natürlichen Abflusses, Bewässerungen und Entwässerungen sowie weitere Eingriffe in den Wasserkreislauf.
- <sup>2</sup> Zum gleichen Zweck erlässt der Bund Bestimmungen über:
- a. den Schutz der ober- und unterirdischen Gewässer gegen Verunreinigung und die Sicherung angemessener Restwassermengen;
  - b. die Wasserpolyzei, inbegriffen Gewässerkorrekturen und Sicherheit der Stauanlagen;
  - c. Eingriffe zur Beeinflussung der Niederschläge;
  - d. Beschaffung und Auswertung hydrologischer Grundlagen;
  - e. das Recht des Bundes, für seine Verkehrsbetriebe die Benutzung von Wasservorkommen gegen Entrichtung der Abgaben und gegen angemessenen Ersatz der Nachteile zu beanspruchen.
- <sup>3</sup> ....
- <sup>4</sup> ....
- <sup>5</sup> ....

Mit diesem [Artikel in der Bundesverfassung](#) wird der ganze Wasserkreislauf sowie die verschiedenen Anwendungen, bei denen der Mensch mit dem Wasser in Berührung kommt, als möglichst Ganzes behandelt. Für die geologischen Untersuchungen wichtig sind jene Gebiete, wo für die hydrologischen Abklärungen auch geologische Grundlagen nötig sind. Dies gilt insbesondere für den Bereich des Grundwassers, wo die Interaktionen zwischen Untergrund und Wasser besonders eng und vielfältig sind. Es ist auch zu bemerken, dass ein analoger Artikel über die Erde, auf der wir leben, in der Bundesverfassung fehlt.

- Bundesgesetz vom 1. Juli 1966 über den Natur- und Heimatschutz (NHG), SR 451
- Im Zweckartikel ([Art.1 NHG](#)) wird unter anderem der Schutz des Landschaftsbildes, von Naturdenkmälern und des Lebensraums der Tier- und Pflanzenwelt aufgeführt und somit auch eine Verbindung zum geologischen Untergrund hergestellt (vergleiche auch [Kapitel 12.3.2](#)).

**Art. 1 NHG:**

- Dieses Gesetz hat zum Zwecke, im Rahmen der Zuständigkeit des Bundes gemäss Artikel 24sexies Absätze 2–4 der Bundesverfassung,
- a. das heimatliche Landschafts- und Ortsbild, die geschichtlichen Stätten sowie die Natur- und Kulturdenkmäler des Landes zu schonen;
  - b. die Kantone in der Erfüllung ihrer Aufgabe des Natur- und Heimatschutzes zu unterstützen und die Zusammenarbeit mit ihnen zu sichern;
  - c. die Bestrebungen von Vereinigungen zum Schutze von Natur und Heimat zu unterstützen;
  - d. die einheimische Tier- und Pflanzenwelt und ihren natürlichen Lebensraum zu schützen.

- Bundesgesetz vom 22. Juni 1979 über die Raumplanung (RPG), SR 700
- In Art.1 wird unter anderem als Ziel die Sicherung einer ausreichenden Versorgungsbasis genannt. Da bei Anlagen für die Rohstoff-Versorgung meist die Standort-Bindung gegeben ist, ist in Verbindung mit Art. 24 RPG eine genügende Rechtsgrundlage für solche Anlagen ausserhalb von Bauzonen gegeben (siehe auch [Kapitel 13](#)). Im weiteren wird in Art. 6 über die Grundlagen der kantonalen Richtpläne auf die Gebiete hingewiesen, die durch Naturgefahren erheblich bedroht sind.
- Bundesgesetz vom 21. Juni 1991 über den Wasserbau, SR 721.100
- Im 5. Abschnitt des Wasserbaugesetzes über die Grundlagenbeschaffung bekommt der Bund in Art.13 die Kompetenz, Erhebungen von gesamtschweizerischem Interesse durchzuführen. Dabei sind geologische Grundlagen sowohl im Zusammenhang mit dem Hochwasserschutz als auch mit den hydrologischen Verhältnissen (inklusive Grundwasser) notwendig.
- Bundesgesetz vom 8. März 1964 über die Nationalstrassen, SR 725.11
- Mit der Planung der Nationalstrassen und den damit verbundenen Sicherheitsaspekten vor Naturereignissen sind auch die Erarbeitung der geologischen Grundlagen verbunden.
- Bundesgesetz vom 23. Dezember 1959 über die friedliche Verwendung der Atomenergie (Atomgesetz), SR 732.0 und Bundesbeschluss zum Atomgesetz vom 6. Oktober 1978, SR 732.01 sowie Verordnung vom 27. November 1989 über vorbereitende Handlungen im Hinblick auf die Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle (Verordnung über vorbereitende Handlungen, SR 732.012).
- Die gestützt auf die gesetzlichen Grundlagen erlassene Verordnung über vorbereitende Handlungen schreibt für hydrologische und geologische Untersuchungen im Hinblick auf die Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle eine Bundesbewilligung vor (Art.1). Bemerkenswert ist auch, dass speziell auf den geologischen Bericht eingegangen wird (Art. 7) sowie eine Abgabe der geologischen Dokumentation bei der Schweizerischen Geologischen Dokumentationsstelle vorgeschrieben ist (Art.15). Es ist aber wichtig, dass durch diese Bundeskompetenz die kantonale Berghoheit nicht tangiert wird (Bundesgerichtsurteil vom 30. August 1993).

- Bundesgesetz vom 23. Juni 1944 über die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB), SR 742.31  
Geologische Untersuchungen im Zusammenhang mit dem Bahnbau der SBB können sich auf dieses Gesetz abstützen.
- Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (USG), SR 814.01 sowie Verordnung vom 19. Oktober 1988 über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV), SR 814.011 und Bundesgesetz vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG), SR 814.20  
Diese Bestimmungen haben vor allem den Zweck, Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume beziehungsweise die Gewässer vor schädlichen Einwirkungen zu schützen. Sie sind deshalb auch bei der Errichtung von Anlagen zur Rohstoffgewinnung zu beachten (siehe auch [Kapitel 13](#)). Von besonderem Interesse für geologische Untersuchungen sind im Gewässerschutzgesetz die Bestimmungen über die Erhaltung von Grundwasservorkommen (Art. 43) und über die Grundlagenbeschaffung (Art. 57 – 60).
- Bundesgesetz vom 4. Oktober 1991 über den Wald (Waldgesetz, WaG), SR 921.0 sowie Verordnung vom 30. November 1992 über den Wald (Waldverordnung, WaV), SR 921.01  
Im Zweckartikel (Art. 1) des neuen Waldgesetzes wird der Schutz vor Naturereignissen aufgeführt. Die damit verbundene Erarbeitung von Grundlagen (Art. 15 WaV), insbesondere Gefahrenkataster und Gefahrenkarten muss auf den geologischen und hydrologischen Grundlagen aufbauen.
- Bundesratsbeschluss vom 5. Februar 1975 über die Unterstützung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft und der Schweizerischen Geisteswissenschaftlichen Gesellschaft.  
In Art. 2 dieses BRB wird der Schweizerischen Geologischen Kommission (SGK), der Schweizerischen Geotechnischen Kommission (GTK) und der Schweizerischen Geophysikalischen Kommission (SGPK) der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft (SNG; heute SANW, Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften) der Auftrag erteilt, die geologische und geophysikalische Landesuntersuchung durchzuführen.
- Bundesratsbeschluss vom 16. Oktober 1985 über die Geologische Landesuntersuchung.  
Mit diesem BRB wurden die Aufgaben der Geologischen Landesaufnahme und der Führung der Schweizerischen Geo-

logischen Dokumentationsstelle (SGD) ab 1. Januar 1986 der Landeshydrologie übertragen und diese zur Landeshydrologie und -geologie erweitert.

- Verordnung vom 12. Juni 1995 des Eidgenössischen Departements des Innern (EDI) über die Landeshydrologie und -geologie (LHGV), SR 172.212.24.  
Mit der LHGV werden neben den Aufgaben der Abteilung Hydrologie neu auch die Aufgaben der Abteilung Geologie umschrieben.  
Während für die Grundlagenbeschaffung in andern Bereichen eine gesetzliche Grundlage vorhanden ist, wie beispielsweise für die
  - Hydrologie: Art. 24<sup>bis</sup> BV und oben erwähnte Gesetze
  - Meteorologie: Bundesgesetz vom 27. Juni 1901 über die Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt, SR 429.1
  - Topographie: Bundesgesetz vom 21. Juni 1935 über die Erstellung neuer Landeskarten, SR 510.62,
 fehlen für die geologische Grundlagenbeschaffung bis heute entsprechende verfassungsrechtliche oder gesetzliche Bestimmungen.

#### 12.3.2 RECHTLICHE BESTIMMUNGEN FÜR DEN SCHUTZ VON GEOTOPEN

Geotope sind Teile der Geosphäre von besonderer geologischer, geomorphologischer oder geoökologischer Bedeutung. Sie beinhalten wichtige Zeugen der Erdgeschichte und geben Einblick in die Entwicklung der Landschaft und des Klimas. Der Ausdruck Geotop wird in der Bundesgesetzgebung nicht ausdrücklich erwähnt, verschiedene Bestimmungen können aber zum Schutz von Geotopen herangezogen werden:

- Art. 724 ZGB erklärt den Schutz für Naturkörper (z.B. geologische Objekte) von erheblichem wissenschaftlichem Wert.
- Art. 17 RPG sieht den Schutz von naturkundlich wertvollen Landschaften und Naturdenkmälern vor.
- In Art. 1 NHG werden Einzelobjekte und Landschaften von natur- und heimatkundlicher Bedeutung als schutzwürdig definiert, und in Art. 5 NHG ist deren Inventarisierung vorgesehen. Dementsprechend wurden im Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler (BLN) auch einige geologische und geomorphologische Objekte erfasst.

Ausführlicher auf den Schutz von Geotopen wird im [Kapitel 13.4.1](#) (Geotope – Geotopschutz) eingegangen.



### 12.3.3 GESETZLICHE GRUNDLAGEN DER KANTONE

Der Vollzug der in [Kapitel 12.3.1](#) aufgeführten bundesrechtlichen Bestimmungen obliegt im allgemeinen den Kantonen, wobei dafür oft ein gewisser Handlungsspielraum offen gelassen wurde. In den Kantonen sind deshalb, gestützt auf die Bundesgesetzgebung, für die verschiedenen Bereiche eigene kantonale Gesetze erlassen worden, die auch direkt für geologisch relevante Projekte anwendbar sind (siehe auch [Kapitel 13](#)). Von Kanton zu Kanton können die entsprechenden Verfahren abweichen, eine detaillierte Aufführung würde aber den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

## 12.4 RECHTSGRUNDLAGEN FÜR DIE TÄTIGKEIT DES BERATENDEN GEOLOGEN

Der Geologe als Auftragnehmer steht mit dem Auftraggeber in einem Vertragsverhältnis gemäss Obligationenrecht (OR), unabhängig von der Art der Vertragsvereinbarung (mündlich oder schriftlich). Wird nichts anderes vereinbart, so ist das Geschäft als Auftrag nach Art. 394 OR ff. abzuwickeln. Eine Möglichkeit ist auch die Vereinbarung eines Werkvertrages nach Art. 363 OR ff., wobei diese Vertragsart stark auf die Ablieferung eines definierten Resultats zugeschnitten ist. Die SIA-Ordnung 103 gibt dazu weitere Anhaltspunkte; für die Expertentätigkeit sei auch auf die SIA-Richtlinie 155 verwiesen.

Auch wenn der Auftraggeber das Ergebnis des Geologen im Sinne einer beschränkten Nutzungsbefugnis für den vertraglich festgelegten Zweck braucht (beispielsweise Bau eines Gebäudes, Erstellen eines Tunnels), so bleibt das Urheberrecht am Werk selbst (z.B. dem geologischen Bericht) beim Autor/Auftragnehmer ([Art. 9 und 10 URG](#)). Jeder Verwendungszweck durch den Auftraggeber ist deshalb vertraglich festzulegen, insbesondere auch die Weiterverwendung eines geologischen Berichtes über den unmittelbaren Zweck hinaus.

**Bundesgesetz über das Urheberrecht und verwandte Schutzrechte (Urheberrechtsgesetz, URG) vom 9. Oktober 1992, SR 231.1:**

#### Art. 9 Anerkennung der Urheberschaft

- <sup>1</sup> Der Urheber oder die Urheberin hat das ausschliessliche Recht am eigenen Werk und das Recht auf Anerkennung der Urheberschaft.
- <sup>2</sup> Der Urheber oder die Urheberin hat das ausschliessliche Recht zu bestimmen, ob, wann, wie und unter welcher Urheberrechtsbezeichnung das eigene Werk erstmals veröffentlicht werden soll.
- <sup>3</sup> ....

#### Art. 10 Verwendung des Werks

- <sup>1</sup> Der Urheber oder die Urheberin hat das ausschliessliche Recht zu bestimmen, ob, wann und wie das Werk verwendet wird.
- <sup>2</sup> ....
- <sup>3</sup> ....

## 12.5 SCHLUSSBETRACHTUNGEN ÜBER DAS «GEOLOGIERECHT»

Im Verlaufe der Zeit lässt sich eine bedeutende Gewichtsverlagerung der rechtlichen Regelung mit Bezug auf die geologischen Aktivitäten feststellen. Ursprung und Zweck der Berggesetzgebung liegen klar in der Regelung der wirtschaftlichen Interessen der an der Gewinnung von Bodenschätzen Beteiligten. Das «Geologierecht» als Bergrecht war am Anfang also ein reines *Wirtschaftsrecht*. Um Gesundheit und Leben der Bergarbeiter zu erhalten, kamen später auch Sicherheitsbestimmungen hinzu. Das Bergrecht wandelte sich hiermit zum Wirtschafts- und *Sozialrecht*. Der Schutz der Geosphäre beziehungsweise des Lebensraums war im Bergrecht nie enthalten, bezweckte doch diese Gesetzgebung genau das Gegenteil, nämlich eine Ausbeutung der Erde und damit auch eine Zerstörung des natürlich Gewordenen. Erst mit dem *Umweltrecht*, das heisst mit der Regelung des Schutzes unseres Lebensraumes entwickelte sich die rechtliche Regelung in bezug auf geologische Aktivitäten über die oben erwähnten wirtschaftlich-sozialen Bereiche hinaus und wurde Teil dieses Umweltrechts [vergleiche auch Hepperle und Lendi 1993].

## 13 ABBAU- UND REKULTIVIERUNGSPLANUNG

### UVB / UVP

#### Übersicht

#### 13.1 Gesetzliche Grundlagen des Bundes

##### 13.1.1 *Prinzipien*

##### 13.1.2 *Die wichtigsten gesetzlichen Grundlagen*

#### 13.2 Bewilligungsverfahren für Abbauvorhaben

##### 13.2.1 *Planerlassverfahren*

##### 13.2.2 *Baubewilligungsverfahren*

##### 13.2.3 *Umweltverträglichkeitsprüfung UVP*

##### 13.2.4 *Einbettung der UVP in das massgebliche Verfahren*

#### 13.3 Landschafts- und Abbauplanung

##### 13.3.1 *Regionale Standortbeurteilung, Rohstoffversorgungskonzepte*

##### 13.3.2 *Planung*

#### 13.4 Geotope – Geotopschutz

##### 13.4.1 *Definition*

##### 13.4.2 *Gesetzliche Grundlagen*

##### 13.4.3 *Geotopschutz und Materialabbau*

---





# 13 ABBAU- UND REKULTIVIERUNGSPLANUNG UVB / UVP

**Kapitelinhalt**



Autoren: Dr. Hans Rudolf Keusen, Geotest AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen  
ILU Ottomar Lang AG, Zentralstrasse 2a, 8610 Uster (Samuel Spörri)  
CSD Colombi Schmutz Dorthe AG, Langsägestrasse 2, 6010 Kriens (Dr. Franz Schenker)

mit Beitrag von: PD Dr. Peter Jordan, Amt für Wasserwirtschaft, Kanton Solothurn, Rötihof, 4500 Solothurn ([13.4](#))

Fotos: Heinz Leuenberger, DESAIR AG, Wermatswil (Titelbild), ILU Ottomar Lang AG, Uster ( 13.8), Geotest AG, Zollikofen (13.10)

**Abbildung auf Vorderseite:** Kiesabbau im Gebiet Hüntwangen und Wasterkingen (ZH). Auf dem Luftbild (Blickrichtung gegen Westen) ist ein Abbaugelände bei Wasterkingen erkennbar. Über Förderbandanlagen gelangt das Material von

dort zu den Aufbereitungs- und Verladeanlagen im Vordergrund. Vom rechten Bildrand her wird ebenfalls über Förderbandanlagen Material aus einem neuen Abbaugelände im Osten zugeführt. Verschiedene Rekultivierungsetappen

ehemaliger Kiesgrubenbereiche sind erkennbar, so etwa in der Bildmitte die, gegenüber der früheren Geländeoberfläche, um rund 40 Meter tieferliegenden neuen Landwirtschaftsflächen und die entlang einer terrassierten, ehemaligen

Kiesabbauwand neu angelegte Rebbaufäche (Luftaufnahme Juni 1994).



## ÜBERSICHT

---

Untrennbar mit dem Abbau und der Gewinnung mineralischer Rohstoffe sind heute weitreichende gesetzliche Auflagen verbunden, insbesondere in bezug auf den Umweltschutz, auf die Umweltverträglichkeit und auf die Einbettung der Abbaustellen in eine optimale Landschafts- und Abbauplanung. Für alle Seiten – Behörden, Unternehmer, Planer und Öffentlichkeit – ist es eine grosse Herausforderung, einen gesetzeskonformen Weg zu finden, der die sinnvolle Rohstoffnutzung (weiterhin) ermöglicht. Ökologische und landschaftliche Konflikte sind oft nur schwierig und kontrovers beurteilbar, da – im Gegensatz zu Gewässer, Luft, Lärm – klare Grenzwerte fehlen. Kunst der Planer ist es, Synergien zwischen Rohstoffgewinnung und Folgenutzungen (inklusive Deponiebedarf) und Kongruenzen zwischen privaten Rechtsansprüchen und öffentlichem Interesse zu schaffen.

Im [ersten Teilkapitel](#) werden die gesetzlichen Grundlagen des Bundes beschrieben, sowohl eine Reihe von Grundprinzipien, die bei der Planung von Abbauvorhaben zu berücksichtigen sind wie auch die wichtigsten Gesetze (vergleiche dazu auch [Kapitel 12](#): Gesetzliche Grundlagen für die Rohstoffnutzung). Ergänzende Angaben finden sich auch im [Kapitel 5.4](#) (Kiesabbau: Planung, Methoden).

Das [zweite Teilkapitel](#) ist den Bewilligungsverfahren für Abbauvorhaben gewidmet, hauptsächlich der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) und deren Integration in die Planerlasungsverfahren. Dieses Kapitel ist stark an den Moment gebunden. Es kann sein, dass gewisse Teile, wie beispielsweise die Verfahrenskoordination oder die Kompetenzverteilung zwischen Bund und Kantonen in Kürze überholt sein werden. Dass den Verfahrensabläufen trotzdem viel Platz eingeräumt wurde, hängt damit zusammen, dass es sinnvoll erschien, die prinzipiellen Vorgehensweisen, wie sie anfangs der neunziger Jahre gültig waren, zusammenfassend darzustellen. Die herausgegriffenen kantonalen Beispiele sollen mehr die Variabilität und die grösseren Zusammenhänge zeigen und nicht als absolut gültige Schemata verstanden werden.

Ein [weiteres Teilkapitel](#) ([13.3](#)) beleuchtet die wichtigsten Aspekte der Landschafts- und Abbauplanung, insbesondere in bezug auf die Erstellung von Rohstoffversorgungskonzepten und auf die planerische Darstellung von langfristigen Abbauprojekten. Nutzungen und Nutzungsansprüche werden dem

Naturpotential und den natürlichen Ressourcen gegenübergestellt. Anhand ausgewählter Beispiele werden einige in den beiden vorangehenden Kapiteln erwähnte Grundlagen erläutert, und es werden Darstellungsmöglichkeiten für verschiedene Planungshorizonte diskutiert. Wie heute bereits viele Beispiele zeigen, besteht auch eine Chance, dass sich zuvor sehr intensiv genutzte Gebiete nach dem Abbau in ökologisch wertvolle Sekundärlandschaften oder in neue Lebens- und Industriegebiete überführen lassen können (siehe auch [Kapitel 3.3.5](#), Tonabbaustellen, Folgenutzung).

Der [letzte Teil](#) ist dem Thema Geotope und dem Geotopschutz aus Sicht des Rohstoffabbaus gewidmet. Es wurde in dieses Buchkapitel integriert, weil Abbaubetriebe wie Steinbrüche und Kiesgruben einerseits Geotope aufschliessen können, andererseits zerstören sie nicht selten eben diese Geotope beim weiteren Abbaufortschritt. Heute wird bei der Planung und Rekultivierung darauf geachtet, dass keine (oder möglichst wenige) wertvolle Geländeformen zerstört werden und dass Geotopteile nach Möglichkeit zugänglich bleiben.

## 13.1 GESETZLICHE GRUNDLAGEN DES BUNDES

### 13.1.1 PRINZIPIEN

Der Bund kennt eine Reihe von Grundprinzipien, welche bei der Planung von Abbauvorhaben zu berücksichtigen sind. Diese Prinzipien basieren auf verschiedenen gesetzlichen Grundlagen und sollen in der Folge näher erläutert werden [vergleiche M. Lendi und H. Elsasser, 1985 und BRP/BUWAL, 1991]. Da Abbauvorhaben meist jene Grösse erreichen, welche eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) notwendig machen, wird diese in die nachfolgenden Ausführungen miteinbezogen.

*Vorsorgeprinzip:* Aus dem Zweckartikel des Bundesgesetzes über den Umweltschutz (USG) vom 7. Oktober 1983 ist das Vorsorgeprinzip direkt ableitbar. Gemäss Kommentar zum USG [A. Kölz und H.U. Müller, 1993] ist das Vorsorgeprinzip als konzeptionelle Entscheidung zu verstehen, das heisst ohne Prävention wäre das Ziel des USG nicht zu erreichen. Dabei ist dieses «Vorbeugen ist besser als heilen» sowohl ökologisch wie auch ökonomisch begründbar. Aus dem Vorsorgeprinzip ist auch die UVP direkt ableitbar: Eine Anlage (z.B. ein Abbauvorhaben) soll im Sinne der Vorsorge vor Inbetriebnahme auf ihre Umweltauswirkungen geprüft werden. So kann sie durch allfällige Massnahmen und Projektanpassungen präventiv verbessert werden.

*Verursacherprinzip:* Das Verursacherprinzip, wie es in Art. 2 USG umschrieben ist, legt die Kostenpflicht bei Massnahmen fest, welche durch das USG begründet sind. So muss die Abbauindustrie dafür sorgen, dass ihre Werke keine übermässigen Umweltbelastungen verursachen. Der Aufwand, welcher durch die Untersuchungen zur UVP entsteht, ist ebenfalls vom Besitzer der zu prüfenden Anlage zu tragen.

*Prinzip der ganzheitlichen Betrachtungsweise:* Gemäss Art. 8 USG sind Umwelteinwirkungen einer Anlage sowohl einzeln als auch gesamthaft und in ihrem Zusammenwirken zu beurteilen. Die so geforderte ganzheitliche Betrachtungsweise stellt hohe Ansprüche an den Ersteller eines Umweltverträglichkeitsberichtes: Es reicht nicht aus, dass die Projektauswirkungen auf die einzelnen Umweltaspekte untersucht werden, sondern die Wirkung der Gesamtheit der Auswirkungen auf die Umwelt ist ebenfalls zu beurteilen. Diese etwas theoretische

Vorgabe kann am besten mit folgendem Beispiel erläutert werden: Ein Erweiterungsvorhaben einer Kiesgrube tangiert ein Waldstück. Dieses kann, falls die Rodungsvoraussetzungen vorhanden sind, gerodet werden. Eine der Voraussetzungen dafür ist die Ersatzaufforstung. Zeitweise brachliegende Flächen der Kiesgrube können nun wertvolle ökologische Ausgleichsflächen darstellen, welche durch das Natur- und Heimatschutzgesetz (NHG) vom 1. Juli 1966 geschützt sind. Die im Bundesgesetz über den Wald (WaG) vom 4. Oktober 1991 festgeschriebene Wiederaufforstungsverpflichtung steht nun in scheinbarem Konflikt mit dem NHG. Die ganzheitliche Betrachtungsweise führt jedoch zum Schluss, dass ein hundertprozentiger Realersatz nicht sinnvoll ist, sondern dass den ökologischen Ausgleichsflächen ebenfalls Platz eingeräumt werden soll. Das WaG hat diese Betrachtungsweise bereits aufgenommen, indem es in Art. 7 anstelle von Realersatz unter Umständen Massnahmen zugunsten des Natur- und Landschaftsschutzes akzeptiert.

Im genannten Beispiel führt die ganzheitliche Betrachtungsweise zu einer Interessensabwägung zwischen Walderhaltung und Naturschutz. Diese ist ebenfalls ein wichtiges Instrument zur Minimierung von Umweltauswirkungen. So ist beispielsweise bei einer Kiesgrube abzuwägen, ob Belastungen einer Teilauffüllung auf die Umwelt (Landschaft) grösser sind als diejenigen Umweltbelastungen (Lärm, Luftschadstoffe), welche durch die Auffülltransporte entstehen.

Ein sorgfältig erbrachter und nicht nur auf ökonomische Aspekte ausgerichteter Bedarfsnachweis ist ebenfalls Teil der ganzheitlichen Betrachtungsweise: Kann in einer Region ein Bedarf an einer Abbaustelle nachgewiesen werden und sind die entsprechenden Rohstoffe vorhanden, so ist diese einer entfernteren, gleichartigen Abbaustelle vorzuziehen. In einem anderen Fall kann vielleicht bei zwei geplanten Abbauvorhaben in der gleichen Region nur der Bedarf an einer von beiden Abbaustellen begründet werden.

*Koordinationsprinzip:* Das Koordinationsprinzip bezieht sich im allgemeinen auf den Vollzug von Umweltschutzmassnahmen (Art. 38, 41 USG) und im speziellen auf das Bewilligungsverfahren im Rahmen einer UVP (Art. 21 UVPV). Dies wirkt sich wie folgt aus:

Ein Abbauvorhaben braucht heute diverse Bewilligungen (z.B. Bau-, Rodungs-, Gewässerschutzbewilligung). Zudem sind die raumplanerischen Voraussetzungen zu schaffen. Der Bund (bei Vorhaben in Bundeskompetenz) und jeder Kanton betreiben eine Stelle, welche die verschiedenen Bewilligungs-



verfahren zu koordinieren hat. Dies hat den grossen Vorteil, dass der Antragsteller auf sein Gesuch eine Antwort erhält, welche vereinfacht gesagt alle benötigten Bewilligungen und Auflagen enthält.

### 13.1.2 DIE WICHTIGSTEN GESETZLICHEN GRUNDLAGEN

Gemäss Art. 24, Abs. 1 des Bundesgesetzes über die Raumplanung (RPG) vom 22. Juni 1979 können Rohstoffabbaugesuche, die ein Gebiet ausserhalb der Bauzonen betreffen, nur bewilligt werden, wenn der Zweck der Bauten oder Anlage diesen Standort erfordert (Standortgebundenheit) und dem Bauprojekt keine überwiegenden Interessen entgegenstehen. In der Regel werden heute kleinen Abbauvorhaben für den lokalen Gebrauch nur noch Ausnahmbewilligungen gemäss Art. 24 erteilt. Für grosse Abbauvorhaben werden je nach kantonalem Instrumentarium entweder im Rahmen des Zonenplanverfahrens Abbauzonen ausgeschieden, oder es wird über das Abbaug Gebiet ein Sondernutzungsplan festgesetzt.

Im Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (GSchG) vom 24. Januar 1991 wird der Rohstoffabbau in Art. 44 Abs. 1 aus Gruben sowie oberirdischen Gewässern einer kantonalen Bewilligung unterstellt. In Art. 44, Abs. 2 wird der Abbau in Grundwasservorkommen, die sich nach Menge und Qualität für die Wasserversorgung eignen, eingeschränkt.

Zum Schutz der Fischgründe wird im Bundesgesetz über die Fischerei (FG) vom 14. Dezember 1973 in Art. 24 Abs. 2 lit. h für das Waschen von Kies, Sand und anderen Stoffen in Gewässern eine kantonale Bewilligung gefordert.

Das Bundesgesetz über die Förderung der Landwirtschaft und die Erhaltung des Bauernstandes (LG) vom 3. Oktober 1951 enthält in Art. 85 Abs. 1 das sogenannte Zweckentfremdungsverbot. Danach darf ohne Bewilligung der kantonalen Behörden ein mit öffentlichen Mitteln verbessertes Grundstück innert 20 Jahren dem Zweck, für den die Beiträge geleistet wurden, nicht entfremdet werden. In der Praxis heisst das, dass die Subventionen zurückbezahlt werden müssen, falls vor Ablauf der genannten Frist ein Abbauvorhaben verwirklicht werden soll.

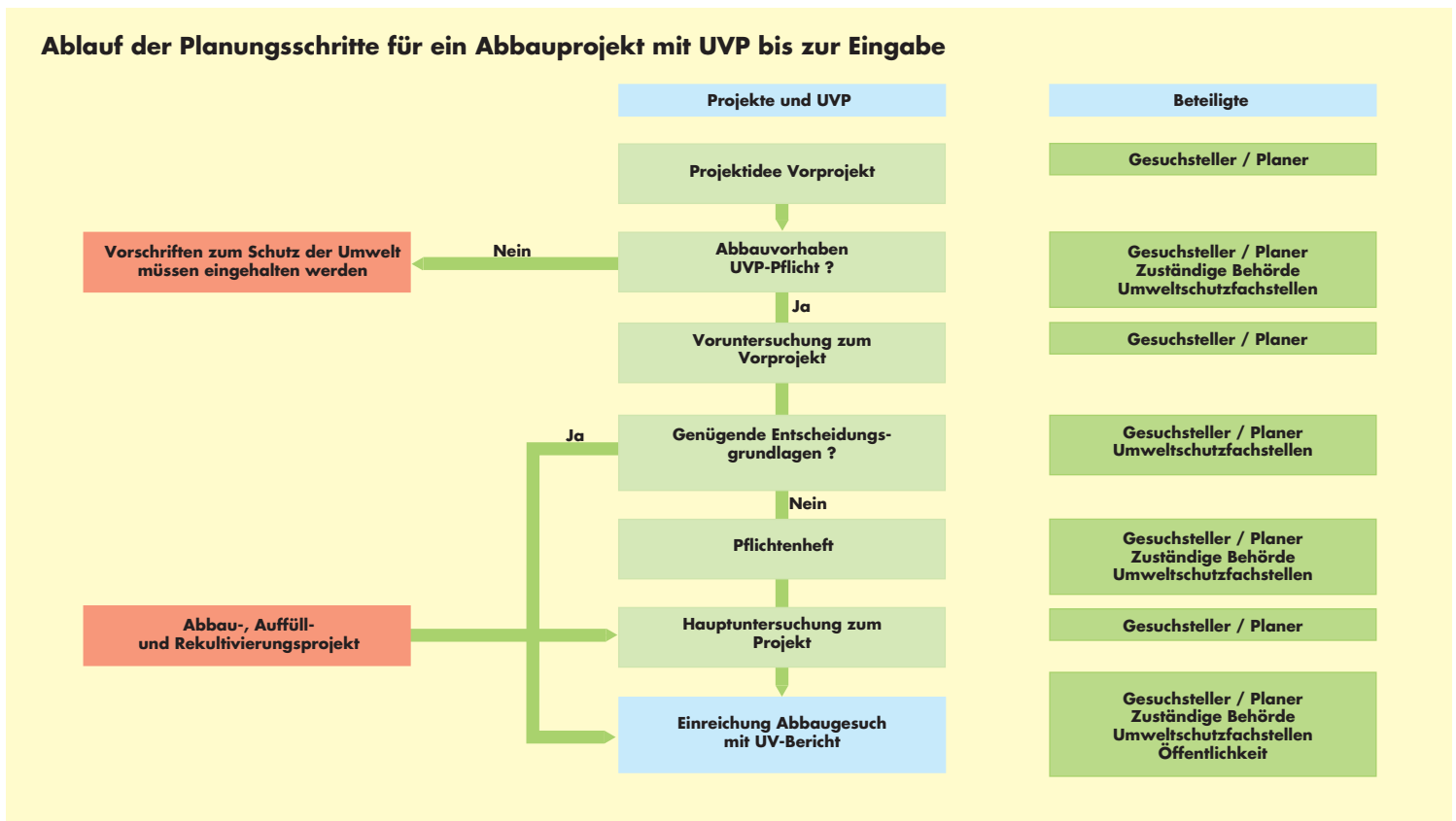
Gemäss Art. 3 des Bundesgesetzes über den Wald (WaG) vom 4. Oktober 1991 soll die Waldfläche nicht vermindert werden. In Art. 5 Abs. 1 werden Rodungen verboten. Ausnahmbewilligungen dürfen gemäss Abs. 2 und 3 des gleichen Artikels nur erteilt werden, wenn der Gesuchsteller nachweist, dass für

die Rodung wichtige Gründe bestehen, die das Interesse an der Walderhaltung überwiegen und dass zudem die folgenden Voraussetzungen erfüllt sind: Das Werk, für das gerodet werden soll, muss auf den vorgesehenen Standort angewiesen sein; das Werk muss die Voraussetzungen der Raumplanung erfüllen und die Rodung darf zu keiner erheblichen Gefährdung der Umwelt führen.

Finanzielle Interessen wie die möglichst einträgliche Nutzung des Bodens gelten nicht als wichtige Gründe. Die Erteilung von Ausnahmbewilligungen nach Art. 6 WaG liegt für Rodungsflächen bis 5000 Quadratmeter in der Kompetenz der Kantone. Über grössere Rodungsflächen entscheidet der Bund. Werden für das gleiche Werk mehrere Rodungsgesuche gestellt, so sind zur Ermittlung der Zuständigkeit alle Rodungsflächen zusammenzuzählen. Zudem bedarf es gemäss Art. 12 auch für die Festsetzung einer Nutzungszone im Zonenplanverfahren einer Rodungsbewilligung.

Das revidierte Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG) vom 1. Juli 1966 (Stand 1.4.1990) nimmt nicht ausdrücklich Bezug auf den Rohstoffabbau. Unter Art. 18 Abs. 1bis werden Uferbereiche, Riedgebiete, Moore, seltene Waldgesellschaften, Hecken, Feldgehölze, Trockenrasen und weitere Standorte, die eine ausgleichende Funktion im Naturhaushalt erfüllen oder besonders günstige Voraussetzungen für Lebensgemeinschaften aufweisen, geschützt. Unter Abwägung aller Interessen sind technische Eingriffe zu prüfen. Ist der Eingriff in schutzwürdige Lebensräume nicht zu vermeiden, hat der Verursacher für die Wiederherstellung oder für angemessenen Ersatz zu sorgen. In Art. 18b werden zudem die Kantone aufgefordert, in intensiv genutzten Gebieten ausserhalb von Siedlungen für ökologischen Ausgleich zu sorgen. Dies hat mit Feldgehölzen, Hecken, Uferbestockungen oder mit anderer naturnaher und standortgemässer Vegetation zu erfolgen. Abbaustellen sind solch intensiv genutzte Gebiete, in welchen ein ökologischer Ausgleich während und nach Beendigung des Betriebes geschaffen werden muss.

Das USG dient dem Zweck, Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen zu schützen und die Fruchtbarkeit des Bodens zu erhalten. In Art. 9 wird die Umweltverträglichkeitsprüfung konkretisiert. Zudem basieren die in [Kapitel 13.1.1](#) aufgeführten Prinzipien zum grössten Teil auf dem USG.



13.1

## 13.2 BEWILLIGUNGSVERFAHREN FÜR ABBAUVORHABEN

Damit grössere Abbauvorhaben verwirklicht werden können, sind im allgemeinen die drei Hauptschritte Planerlassverfahren, Baubewilligungsverfahren und Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) erforderlich. Meistens folgt das Baubewilligungsverfahren auf das Planerlassverfahren, die beiden Verfahren können aber, wie beispielsweise im Kanton Bern, auch gleichzeitig erfolgen. Die UVP ist kein eigenes Verfahren; sie wird an eines der beiden anderen Verfahren angegliedert. In der Folge sollen die wichtigsten Phasen dieser Hauptschritte erläutert werden. Dabei ist zu bedenken, dass bei den genannten Verfahren grundsätzlich kantonales Recht gilt.

### 13.2.1 PLANERLASSVERFAHREN

Wie in Kapitel 13.1.2 festgestellt, brauchen grössere Abbauvorhaben eine gültige Nutzungszone; das heisst es muss ein

Planerlassverfahren gemäss RPG durchgeführt werden. Diese Zone ist in ihrer Wirkung vergleichbar mit einer normalen Bauzone (z.B. Gewerbezone). Im Reglement ist die Art und Weise der Nutzung (z.B. Kiesabbau mit anschliessender Wiederauffüllung) zu umschreiben. Da grundsätzlich die Planungshoheit bei der Gemeinde liegt, ist diese in den meisten Fällen für die Planung besorgt. In speziellen Fällen können auch kantonale Planungen durchgeführt werden. Der Planungsträger ist dann der Kanton. Das Planerlassverfahren lässt sich wie folgt unterteilen:

**Planentwurf:** Das Vorhaben wird in einem geeigneten Plan und einem Reglement festgehalten. Die Wahl des Planungsinstrumentes (z.B. Abbauzone, Gestaltungsplan, Überbauungsordnung) hängt vom Vorhaben ab und davon, welche Möglichkeiten das entsprechende kantonale (Planungs- und) Baugesetz vorsieht.

**Mitwirkung:** Die öffentliche Mitwirkung ist durch Art. 4 RPG vorgeschrieben. Die betroffene Bevölkerung muss bei Planungen im Sinne des RPG in geeigneter Weise mitwirken können.

**Abbildung 13.1: Ablauf und Planungsschritte eines Abbauprojektes mit UVP von der Projektidee bis zur Eingabe [Quelle: BUWAL 1990, Direktion der öffentlichen Bauten Kanton Zürich 1991].**



### Relevanzmatrix (Schema, stark vereinfacht)

Relevanzmatrix	Luftreinhaltung	Lärmschutz	Gewässerschutz	Bodenschutz	Flora Fauna Naturschutz	Landschaftsschutz	Katastrophenschutz	Nutzungen	.....
Ausgangszustand	●	●	●	●	●	●	●	●	
Vorbereitungsphase	●	●	●	●	●	●	●	●	
Betriebsphase	●	●	●	●	●	●	●	●	
Transporte	●	●	●	●	●	●	●	●	
Rekultivierungsphase	●	●	●	●	●	●	●	●	
Zusatzaktivitäten	●	●	●	●	●	●	●	●	
.....									

- wird im Detail untersucht/beurteilt
- wird nur generell untersucht/beurteilt
- nicht relevant, wird nicht untersucht

13.2

Das kann heissen, dass der Planentwurf für eine gewisse Zeit zur Einsicht aufliegt, und die Bevölkerung kann Eingaben zuhanden der planenden Behörde formulieren.

**Vorprüfung:** Da ein Nutzungsplan gemäss Art. 26 RPG durch die kantonale Behörde zu genehmigen ist (vergleiche Planfestsetzung), wird in den meisten Kantonen vor seiner Verabschiedung geprüft, ob er auch genehmigungswürdig ist. Die Vorprüfung soll verhindern, dass aufgrund nachfolgend eingereichter Beschwerden bereits verabschiedete Pläne wieder zurückgewiesen werden müssen.

**Planaufgabe und Einsprachemöglichkeit:** Da ein Nutzungsplan grundeigentümerverbindlich wird (Art. 21 RPG), ist er vor der Verabschiedung öffentlich aufzulegen, damit die betroffenen Personen (z.B. Grundeigentümer) ihr Einspracherecht wahrnehmen können.

**Planfestsetzung:** Die Planungsbehörde (z.B. Gemeindeversammlung) beschliesst den Plan und legt ihn der kantonalen Behörde zur Genehmigung vor.

**Abbildung 13.2:** Relevanzmatrix (schematisch) für ein UVP-pflichtiges Abbauprojekt. Die Matrix beschreibt die Relevanz der Untersuchungsintensität, abgeleitet aus den Wirkungen, die durch die Aktivitäten des Vorhabens auf die verschie-

denen Umweltbereiche verursacht werden (Quelle: ILU Ottomar Lang AG, Uster).

Mit dem Genehmigungsentscheid kann der Plan Rechtskraft erlangen.

**Beschwerdemöglichkeit:** Gegen den Entscheid der Planfestsetzung kann von den involvierten Personen, beispielsweise von Grundeigentümern, welche bereits die Einsprachemöglichkeit genutzt haben, Beschwerde geführt werden.

### 13.2.2 BAUBEWILLIGUNGSVERFAHREN

Auf das Baubewilligungsverfahren wird nicht speziell eingegangen. Es umfasst im allgemeinen die Schritte: Eingabe Baugesuch (Unterlagen gemäss kantonalen Anforderungen), Publikation mit Einsprachemöglichkeit, Entscheid über Baugesuch und hängige Einsprachen sowie Beschwerdemöglichkeit.

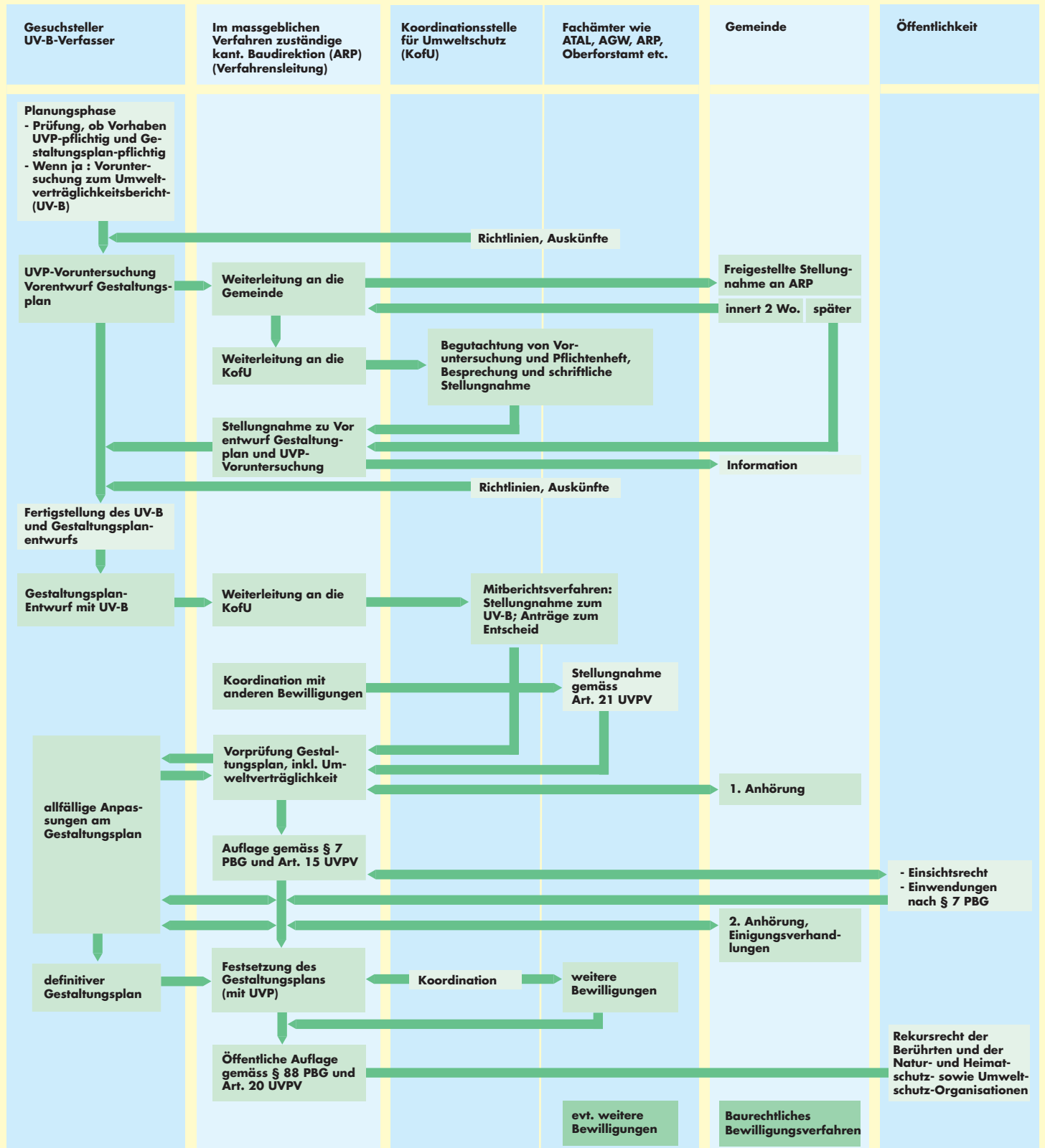
### 13.2.3 UMWELTVERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG UVP

Im Handbuch zur Umweltverträglichkeitsprüfung UVP [BUWAL, 1990] werden das Vorgehen und die Methodik umfassend beschrieben. Einzelne Kantone haben eigene Handbücher oder Anleitungen herausgegeben. Eine gute Übersicht über den Verfahrensablauf bei UVP-pflichtigen Abbauvorhaben bietet der «Kurzkommentar zum Verfahren bei UVP-pflichtigen Kiesabbauvorhaben» des Amtes für Umweltschutz des Kantons St. Gallen [1992]. In [Abbildung 13.1](#) werden auszugsweise die für den Ablauf jeder UVP typischen Verfahrens- bzw. Vorgehensschritte dargestellt.

**Abklärung der UVP-Pflicht:** Im Anhang zur Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) vom 19. Oktober 1988 sind diejenigen Anlagen aufgelistet, welche UVP-pflichtig sind. Abbauvorhaben sind dann UVP-pflichtig, wenn sie ein Volumen von mehr als 300'000 Kubikmeter aufweisen. Bei der Erweiterung einer bestehenden Grube wird normalerweise das Volumen der Erweiterung mit demjenigen, welches bereits abgebaut ist, zusammengezählt. Sind im Grubenareal Anlagen vorhanden, welche mit dem Abbaubetrieb eine Einheit bilden (z.B. Aufbereitungswerk), so sind diese ebenfalls in die UVP miteinzubeziehen.

**Bestimmung des massgeblichen Verfahrens und der zuständigen Behörde:** Wie bereits erwähnt, ist die UVP nicht als eigenständiges Verfahren ausgestaltet. Sie wird immer an ein anderes, ohnehin durchzuführendes Entscheidungsverfahren angegliedert. Dieses wird «massgebliches Verfahren» ge-

# Integration der UVP ins Genehmigungsverfahren im Kanton Zürich



© KofU, 4.93

13.3

Abbildung 13.3: Beispiel Integration der UVP ins Genehmigungsverfahren (kantonaler bzw. regionaler Gestaltungsplan) im Kanton Zürich [Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich, Koordinationsstelle für Umweltschutz, 1993].



# Integration der UVP ins Genehmigungsverfahren im Kanton Bern

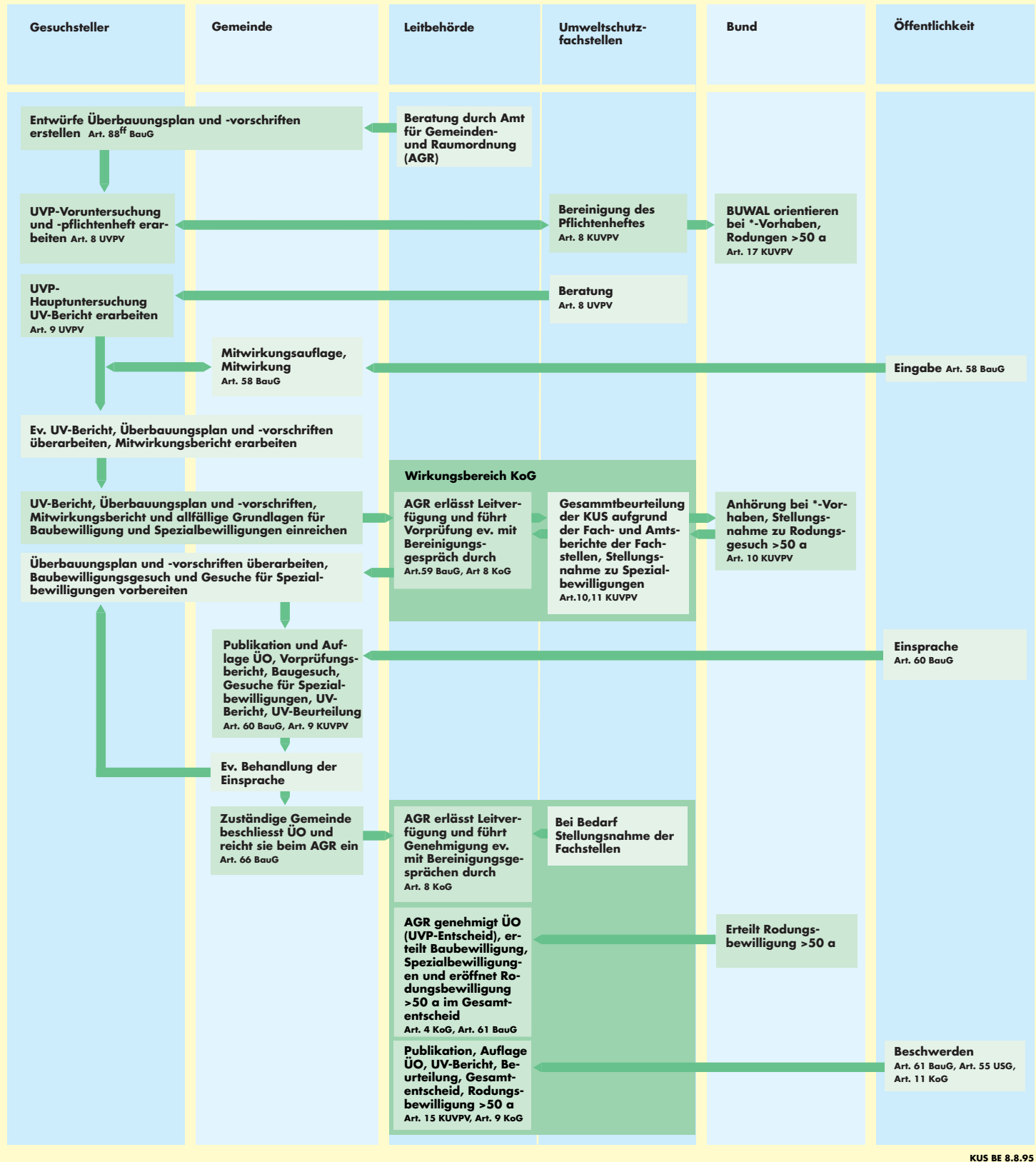


Abbildung 13.4: Beispiel Integration der UVP ins Genehmigungsverfahren (kommunale Überbauungsordnung ÜO) im Kanton Bern [Koordinationsstelle für Umweltschutz des Kantons Bern, 1995]. Die mit einem

Stern (\*) bezeichneten Vorhaben sind obligatorische Anhörungsfälle gemäss Anhang der UVPV des Bundes.

nannt. Für die UVP ist dasjenige Verfahren zu wählen, das eine frühzeitige und umfassende Prüfung ermöglicht. Je nach kantonaler Gesetzgebung wird die UVP dem Planerlassverfahren oder dem Baubewilligungsverfahren angeschlossen. Mit «zuständiger Behörde» wird die Behörde bezeichnet, die im «massgeblichen Verfahren» über das Vorhaben entscheidet.

*Voruntersuchung:* Nach Art. 8 UVPV klärt der Gesuchsteller in einer Voruntersuchung ab, welche Auswirkungen seiner Anlage die Umwelt belasten können. Die Voruntersuchung enthält das Vorprojekt (Vorhaben) und die Beschreibung des Ist- und Ausgangszustandes in den verschiedenen Umweltbereichen. Zur Ermittlung der voraussichtlichen Umweltauswirkungen ist zuerst die zeitliche und räumliche Abgrenzung des Untersuchungsgebietes festzulegen (Systemabgrenzung). Mittels Relevanztabellen ([Abbildung 13.2](#)) erfolgt die Triage der irrelevanten, der abschliessend in der Voruntersuchung behandelten und der für die Hauptuntersuchung relevanten Auswirkungen des Projektes auf die Umwelt.

Sind keine erheblichen Auswirkungen zu erwarten oder können alle Fragen abschliessend behandelt werden, ist der UV-Bericht mit der Voruntersuchung abgeschlossen ([Abbildung 13.1](#)). In der Regel wird die Voruntersuchung jedoch nicht vollumfänglich definitive Antworten geben, sondern lediglich gewährleisten, dass die richtigen Fragen gestellt und allfällige Probleme identifiziert werden.

Aufgrund der Erkenntnisse aus der Voruntersuchung soll bereits in diesem Planungsschritt das Vorprojekt bezüglich der zu erwartenden Umweltauswirkungen ergänzt und verbessert werden, sowohl für die Bereiche Abbauvorgehen und Transporte (Lärm-, Luftbelastung) als auch für den Natur- und Landschaftsschutz. Dies ermöglicht, in den folgenden Gesprächen mit den betroffenen Anwohnern, Behörden und Bewilligungsinstanzen Vertrauen zu schaffen und das Abbauprojekt im Sinne aller Beteiligten zu optimieren.

*Pflichtenheft:* Für die relevanten Probleme und Fragen, die in der Voruntersuchung nicht abschliessend beurteilt werden können, ist ein Pflichtenheft für die Hauptuntersuchung zu erarbeiten. Darin sind die zusätzlichen Abklärungen und das Vorgehen zu definieren, damit die Umweltverträglichkeit des Vorhabens nachgewiesen werden kann. Die angestrebte Genauigkeit, die Berechnungs-, Mess- und Darstellungsmethoden und das Arbeitsprogramm mit den einzelnen Tätigkeiten sind darzulegen. Das Pflichtenheft ist von der für das massgebliche Verfahren zuständigen Behörde ([siehe oben: Bestimmung](#)

[des massgeblichen Verfahrens](#); z.B. Gemeinderat) zu genehmigen. Diese nimmt Rücksprache mit der kantonalen Koordinationsstelle für Umweltschutz (z.B. Amt für Umweltschutz), die sich mit den spezialisierten Fachstellen (Bodenschutzfachstelle, Gewässerschutzamt, usw.) abspricht.

*Hauptuntersuchung:* Aufgrund des genehmigten Pflichtenheftes ist die Hauptuntersuchung durchzuführen. Resultat der Hauptuntersuchung ist der Hauptbericht zur Umweltverträglichkeit. In Ergänzung zur Voruntersuchung wird in der Hauptuntersuchung zuerst aufgrund zielgerichteter Fachgutachten die Beschreibung und Darstellung des Ist-/Ausgangszustandes vervollständigt. Für den Rohstoffabbau stehen dabei die Fragen zu Boden, Gewässer, Lärm und Lufthygiene sowie alle landschaftsökologischen Aspekte gemäss [Abbildung 13.4](#) im Vordergrund. Damit der Umweltverträglichkeitsbericht (UVB) nachvollziehbar, transparent und möglichst widerspruchsfrei wird, ist in dieser Planungsphase die interdisziplinäre Zusammenarbeit und Koordination der Fachexperten von zentraler Bedeutung.

Das Abbau-, Auffüll-, Rekultivierungs- oder Regenerationsprojekt wird bezüglich der Umweltauswirkungen während der verschiedenen Betriebszustände beurteilt und optimiert. Die von den einzelnen Fachexperten vorgeschlagenen oder zwingend geforderten belastungsmindernden Massnahmen (z.B. Immissionsschutz) sind auf Widersprüche und aus der Sicht des Betriebes zu prüfen und im Projekt entsprechend umzusetzen. Die voraussichtlich verbleibenden Umweltbelastungen werden auf der Basis des bereinigten Projektes beschrieben und dargestellt. Der Gesetzgeber fordert zudem Angaben über weitergehende Schutz- oder belastungsmindernde Massnahmen und deren Kosten. Beim Rohstoffabbau stehen wiederum Massnahmen im Bereich des Gewässerschutzes sowie in bezug auf Lärm und Lufthygiene im Vordergrund, wie beispielsweise die Verwendung neuerer Maschinenmodelle oder der Einsatz von Förderbändern.

Es folgen Überlegungen zur Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Resultate. Der Umweltverträglichkeitsbericht wird mit der zusammenfassenden Beurteilung der «Auswirkungen auf die Umwelt sowohl einzeln als auch gesamthaft und in ihrem Zusammenwirken» (UVPV Art. 9) abgeschlossen. Ein nachvollziehbarer UV-Bericht stellt qualitativ hohe Ansprüche an die Berichtsverfasser. Das in den Expertengutachten wiedergegebene Fachwissen und die Auswirkungen des Projektes auf die Umwelt sind in einem sowohl für Fachleute als auch für Laien verständlichen Bericht darzustellen.



*Einreichung des Gesuches mit Umweltverträglichkeitsbericht (UVB):* Der UVB wird zusammen mit den für das massgebliche Verfahren notwendigen Unterlagen der zuständigen Behörde eingereicht. Diese leitet ihn den einzelnen Fachstellen (z.B. Bodenschutzfachstelle) weiter.

*Prüfung des UVB:* Die einzelnen Fachstellen prüfen den UVB und formulieren unter Umständen Auflagen. Das Ergebnis ist die UVP.

*Entscheid über das Vorhaben:* Die zuständige Behörde entscheidet unter Berücksichtigung der Ergebnisse der UVP über die Genehmigung des Projektes. Der UVB wird im Rahmen des massgeblichen Verfahrens öffentlich aufgelegt.

#### 13.2.4 EINEBETTUNG DER UVP IN DAS MASSGEBLICHE VERFAHREN

Wie bereits erwähnt, ist die UVP an ein massgebliches Verfahren gekoppelt. Wie diese Koordination im einzelnen aussieht, ist je nach Kanton verschieden. Als Beispiel zeigt [Abbildung 13.3](#) die Integration der UVP ins Planerlassverfahren (kantonaler beziehungsweise regionaler Gestaltungsplan) im Kanton Zürich und [Abbildung 13.4](#) das entsprechende Verfahren anhand der kommunalen Überbauungsordnung im Kanton Bern. Die dargestellten Verfahrensabläufe können im Laufe der Zeit Modifikationen erfahren. Der neuste Stand kann jeweils bei den zuständigen kantonalen Fachstellen in Erfahrung gebracht werden.

### 13.3 LANDSCHAFTS- UND ABBAUPLANUNG

#### 13.3.1 REGIONALE STANDORTBEURTEILUNG, ROHSTOFFVERSORGUNGSKONZEPTE

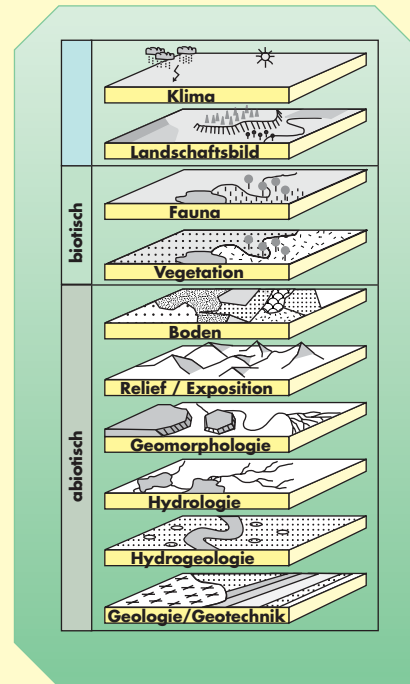
Die kantonalen Richtpläne der späten Achtzigerjahre haben den Rohstoffabbau nur ungenügend oder gar nicht behandelt. In der Regel hat sich die Behörde auf die Bezeichnung der damals bewilligten Abbaugelände beschränkt oder im Sinne der sogenannten «Negativplanung» die Gebiete bezeichnet, in denen ein Rohstoffabbau nicht möglich ist. Der gesetzliche Auftrag (RPG Art.1) der Raumplanung – die ausreichende Versorgungsbasis des Landes zu sichern – konnte damit nur teilweise erfüllt werden. Der Schutz der natürlichen Ressourcen beschränkte sich auf das Grund- und Oberflächenwasser, die Landschaftsform, die land- und forstwirtschaftlichen Nutzflächen, die schützenswerten Ökosysteme und das Landschaftsbild und vernachlässigte die mineralischen Rohstoffe. Der Nachweis der Standortgebundenheit gemäss Raumplanungsgesetz und Waldgesetz konnte mit den vorhandenen kantonalen beziehungsweise regionalen Grundlagen nicht oder nur teilweise erbracht werden.

Zum Schutz der natürlichen Ressourcen Steine und Erden und zu deren langfristiger Sicherung auf raumplanerischer Ebene müssen Grundlagen für eine nachvollziehbare Standortausscheidung zukünftiger Abbaustellen verfügbar sein. In verschiedenen Kantonen werden diese Grundlagen als «Rohstoffversorgungskonzepte» oder «Kieskonzepte» bezeichnet. Diese Konzepte bezwecken, die Basis für die langfristige regionale Rohstoffversorgung zu schaffen. Als Planungshorizont gilt in der Regel ein Zeitraum von 45 Jahren. Da die mineralischen Rohstoffe zu den nicht vermehrbaren Materialien zählen, sind sie haushälterisch zu nutzen und in den Materialkreislauf zu integrieren. Aus diesen Realitäten ergeben sich für die Rohstoffversorgungskonzepte folgende Hauptziele:

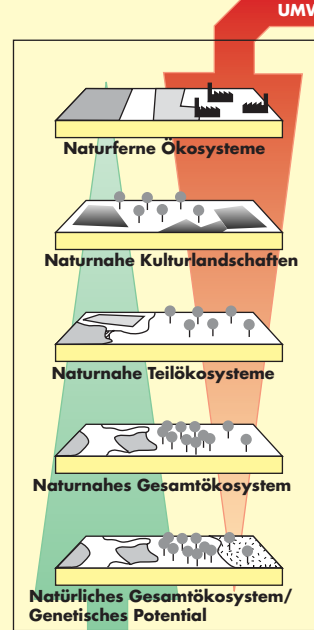
- Die *Rohstoffversorgung* ist zukünftig in die Gesamtressourcenbewirtschaftung innerhalb von Regionen zu integrieren.
- Das *Naturpotential* (z.B. Grundwasservorkommen), der *Naturhaushalt* der betroffenen Landschafts- und Lebensräume (Ökosysteme) und deren *Nutzungen* (z.B. Trinkwasserversorgung) dürfen nicht beeinträchtigt oder geschädigt werden.
- Die *Umweltbelastungen* durch Rohstoffgewinnung, Transport, Verarbeitung sowie Auffüllungen sind auf das Minimum zu beschränken.

## Erfassungsschema zur Grundlagenerarbeitung des Landschaftspotentials

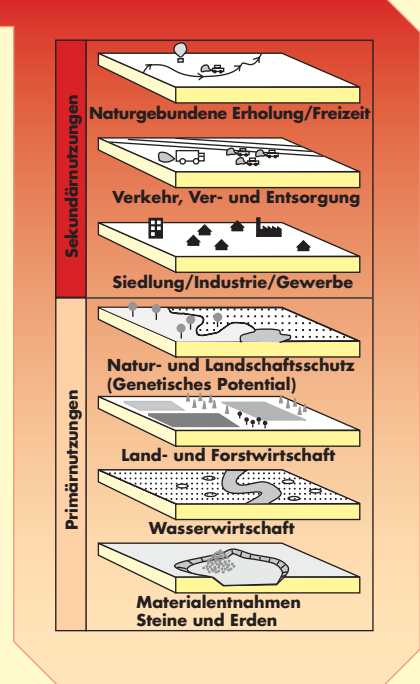
### Naturpotential / Natürliche Ressourcen



### Ökosysteme Natürlichkeitsgrad



### Nutzungen und Nutzungsansprüche



13.5

Daraus ergeben sich folgende Aufgaben und Inhalte für ein Rohstoffversorgungskonzept:

- Alle verwendbaren Rohstoffe sind flächendeckend in ihren unterschiedlichen Arten und Qualitäten in einer Rohstoffkarte zu erfassen und darzustellen.
- Rechtliche Ausschlusskriterien und kantonale oder regionale Randbedingungen sind für einen Rohstoffabbau mit den beteiligten Behörden und Interessensvertretern festzulegen.
- Potentielle Abbauggebiete sind aufgrund von Ausschlusskriterien (umweltrechtlich, situationsbedingt usw.) zu ermitteln und deren Volumen abzuschätzen.
- Für die Standorte der abbaubaren Rohstofflagerstätten sind Grundlagenkarten bezüglich Naturpotential, Nutzungen und raumplanerischen Bedingungen zu erarbeiten.
- Konflikte mit anderen Nutzungen und Interessen des Umweltschutzes von potentiellen Abbaugebieten sind nachvollziehbar in einer Konfliktkarte darzustellen.
- Der Bedarfsnachweis für die nächsten 5 bis 10 Jahre ist auf der Basis periodisch wiederkehrender Umfragen an die Rohstoffindustrie (Rohstoffbeschaffung und -verkauf, Auf-

bereitungsanlagen, Einsatz von Recyclingmaterial) sowie kantonalen Statistiken zu erarbeiten. Gleichzeitig ist die Verfügbarkeit von entsprechendem Ersatzmaterial (Wiederverwertung von Bauschutt, Aufbereitung von sauberem Aushub) abzuklären.

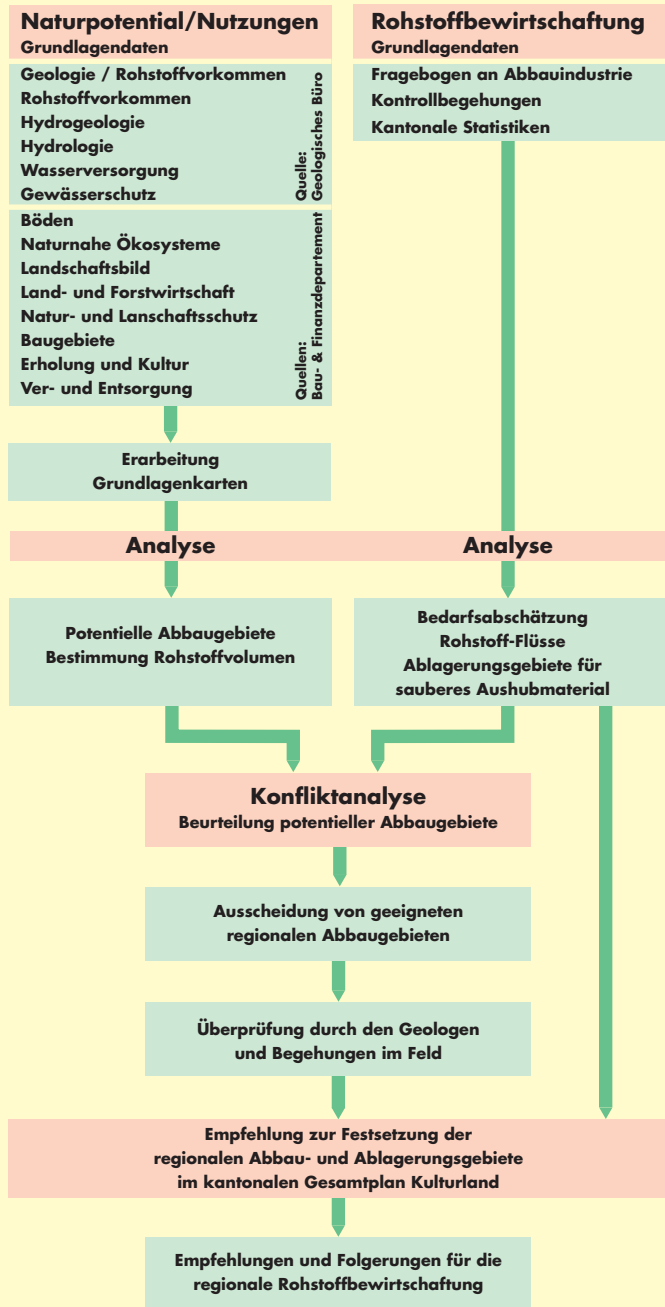
- Die möglichen Abbauggebiete sind nach Prioritäten für den Versorgungshorizont von 45 Jahren auszuscheiden. Dabei werden Abbaueiträume für die kurz- (bis ca. 15 Jahre), mittel- (bis ca. 30 Jahre) und langfristige (bis ca. 45 Jahre) Rohstoffsicherung berücksichtigt. Die Vorschläge dienen als Grundlage für die behördenverbindlichen regionalen oder kantonalen Richtpläne.

Ein mögliches Vorgehenskonzept ist in [Abbildung 13.6](#) dargestellt. Ein nachvollziehbares Rohstoffversorgungskonzept erlaubt regionale Querbezüge zu anderen Abbau- und Versorgungsmöglichkeiten sowie zu deren Konfliktsituationen. Standort- und Bedarfsnachweise können damit gegenüber der Bevölkerung, den betroffenen Gemeinden, den Behörden und den Politikern sachlich begründet erbracht werden.

**Abbildung 13.5: Naturpotential und Nutzungen thematisch gegliedert und in Ebenen dargestellt nach Landschaftselementen und Umweltfaktoren.**



### Rohstoffversorgungskonzept: Projektablauf



13.6

### 13.3.2 PLANUNG

Die umfassende Behandlung von Abbauprojekten erfolgt heute interdisziplinär im Rahmen von Landschafts- und Abbauplänen, unter Mitwirkung von Experten für die unterschiedlichsten Bereiche im gesamten Planungsablauf bis zur Realisierung. Die Sicherung der einheimischen Rohstofflagerstätten für den zukünftigen Gebrauch muss, wenn der Umweltschutz ernst genommen werden soll, unter breiten Aspekten gesehen werden. Der Rohstoffabbau verursacht immer einen Eingriff in den Naturhaushalt, in die morphologischen und nutzungsbedingten Formen der Landschaft. Mit diesen Eingriffen wird das Wirkungsgefüge der wechselseitigen Beziehungen der noch funktionierenden natürlichen Abläufe im Naturhaushalt verändert.

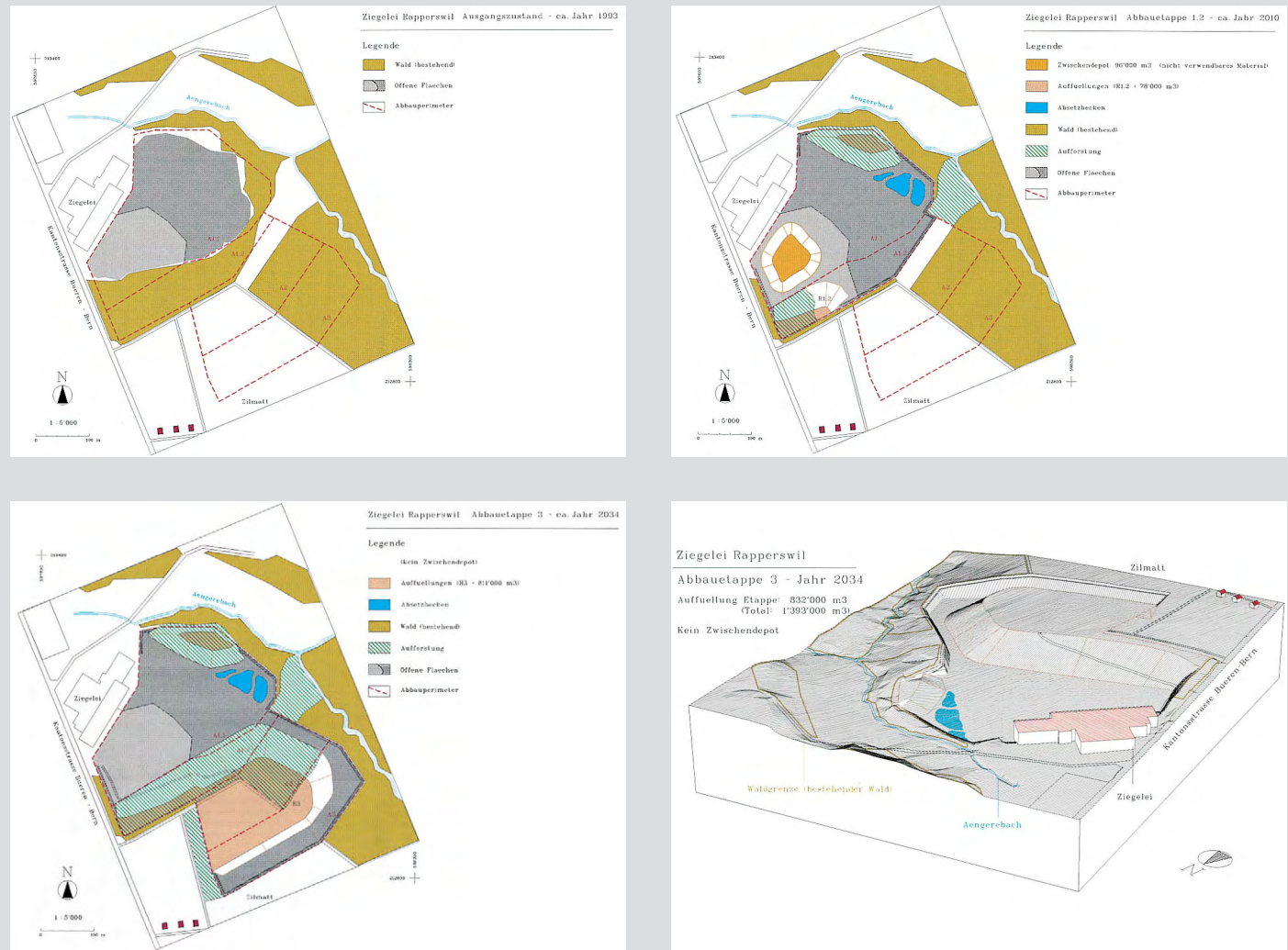
Die ökologischen Zusammenhänge und Abhängigkeiten im betroffenen Landschaftsraum sind sachbezogen zu erfassen und zu bewerten sowie transparent darzustellen. Dabei gilt es die direkten und indirekten Auswirkungen des Rohstoffabbaus im Voraus festzustellen und zu erkennen, ob sich der Eingriff positiv, negativ oder ohne besondere Folgen realisieren lässt (UVB). Die Rohstofflagerstätte ist maximal – im Sinne der Bewirtschaftung – und optimal – im Sinne des Naturhaushaltes – zu nutzen. Wirkungszusammenhänge sind aufzuzeigen, die Konflikte und Auseinandersetzungen bezüglich des Landschaftseingriffes sind auf eine sachbezogene Ebene zu bringen und die Entscheidungsträger müssen sachlich informiert werden.

Durch dieses Vorgehen werden emotionsfreie Bewertungen und sachliche Diskussionen über den Rohstoffabbau und dessen Auswirkungen auf die Umwelt ermöglicht. Der Planungsaufwand für ein Abbauprojekt wird im wesentlichen durch die Projektgrösse und die zu erwartenden Konflikte mit anderen Nutzungs- und Schutzansprüchen bestimmt. Der Gesetzgeber legt die UVP-Pflicht bei einem abbaubaren Gesamtvolumen von mehr als 300'000 Kubikmeter fest (siehe [Kapitel 13.2.3](#)). In den folgenden Ausführungen wird der Landschafts- und Abbauplan für UVP-pflichtige Vorhaben behandelt.

**Vorprojekt:** Nach der Projektidee, ausgelöst entweder durch ein Rohstoffversorgungskonzept, einen Grundeigentümer oder einen privatrechtlich abbauberechtigten Unternehmer, wird in einem ersten Schritt das Vorprojekt erarbeitet. Liegen keine genauen topographischen Karten im Massstab 1:5000 und kleiner vor, sollte mittels fotogrammetrischer und terrestrischer Vermessung ein Situationsplan mit Orthofoto im Massstab 1:1000 erstellt werden. Diese genauen Grundlagen

Abbildung 13.6: Mögliches Vorgehen zur Erarbeitung eines Rohstoffversorgungskonzeptes (RVK), illustriert am Beispiel des Kantons Aargau (Quellen: ILU, Ottomar Lang AG, Uster, Arbeitsgemeinschaft Rohstoffversorgungskonzept Kanton Aargau).

# Darstellung verschiedener zukünftiger Abbauetappen (Beispiel: Ziegelei Rapperswil BE)



13.7

verhindern unnötige Planungskosten infolge falscher oder nicht genügend exakter Pläne.

Der Geologe führt die geologisch/hydrogeologischen Voruntersuchungen auf der Basis vorhandener Unterlagen oder durch prospektive Vorabklärungen im möglichen Projektperimeter durch (geologische Kartierungen, geophysikalische Messungen, Bohrungen). Er erbringt damit den Nachweis der abbaubaren Rohstofflager und der Rohstoffqualität. Mit diesen ersten Fakten, zusammen mit den unternehmerischen Interessen, können die projektspezifischen Randbedingungen wie Lagerstättenbegrenzung und Projektperimeter, Abbausohle, abbaubares Gesamtvolumen, jährliches Abbauvolumen und

Zeitraum, mögliche oder bestehende Versorgungsregion, Maschineneinsatz, Transportmittel/-routen, Aufbereitung des Rohmaterials und Folgenutzung nach dem Abbau festgelegt werden.

Im Vorprojekt wird je nach Bedarf in einem Kurzbericht und den dazugehörigen Plänen die Projektidee konkretisiert. Auf der Basis der zusammengetragenen bekannten Grundlagen zu Naturpotential, Naturhaushalt, Nutzungen und der Raumplanung wird im Bericht das Vorprojekt mit Etappengliederung und Endgestaltung beschrieben (Abbildungen 13.7, 13.8). Die Pläne im Sinne von Vorentwürfen umfassen die Situation beim Ist- oder Ausgangszustand mit typischen Quer- und Längsprofilen, die Endgestaltung und deren Folgenutzung so-

**Abbildung 13.7: Ziegelei Rapperswil BE.** Dargestellt sind das aktuelle Abbaugebiet (1993) und zukünftige Abbauetappen (2010 und 2034). Die Abbauetappe im Jahr 2010 ist unten rechts auch in einer dreidimensionalen Blockansicht dargestellt (Quelle: Geotest AG, Zollikofen).



### Visualisierung zukünftiger Abbauetappen und Nutzungsmöglichkeiten (Beispiel: Wilchingen)



wie die Erschliessung und Etappengliederung. Das Vorprojekt dient als Grundlage für die Diskussionen mit den betroffenen Grundeigentümern, der Gemeinde und den betroffenen Behörden, um beispielsweise den Verfahrensablauf festzulegen, um zusätzliche, dem Projektanten noch nicht bekannte Grundlagen beschaffen zu können oder um erste Konflikte auszuräumen. Mit dem bereinigten Vorprojekt können die Voruntersuchung zur Umweltverträglichkeit und – wenn nötig – das Pflichtenheft für die Hauptuntersuchung erarbeitet werden (siehe [Kapitel 13.2.3](#)).

*Abbau-, Auffüll-, Rekultivierungs- und Regenerationsprojekt:* Es empfiehlt sich, das Projekt parallel mit dem Bericht über die Umweltverträglichkeit (Hauptuntersuchung) zu erarbeiten, da sich durch die Arbeit an den umweltrelevanten Aspekten Konsequenzen für das Projekt ergeben können. Das schrittweise Vorgehen verhindert unnötige Planungsarbeiten wie auch Planungskosten und erlaubt die Integration der vorausgegangenen Planungsarbeiten in den nächstfolgenden Schritt.

Die Darstellung des Abbauprojekts mit Plänen und Bericht hat hohen Ansprüchen zu genügen; sie soll für den Auftraggeber, die Behörden wie auch für den Laien transparent und nachvollziehbar sein. Grundsätzlich stellt sich in jedem Ge-

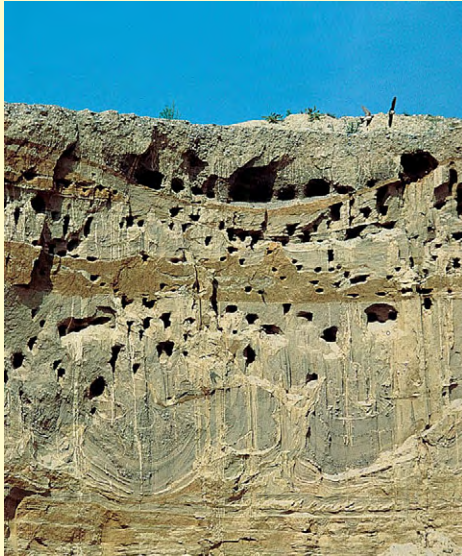
**Abbildung 13.8:** Visualisierung verschiedener Abbauetappen und zukünftiger Nutzungsmöglichkeiten anhand von Fotomontagen. Solche Darstellungen helfen bei Entscheidungen zuständiger Behörden und der Öffentlichkeit, indem sie – intuitiv

erfassbar – die Auswirkungen auf die Landschaft realistisch aufzeigen können (Quelle: ILU Ottomar Lang AG, Uster).



## Sekundärbiotop: Brutstandort Uferschwalben

(Bedeutung – Landschaftspflegerische Ziele – Entwicklung)



### AUSWIRKUNGEN AUF MATERIALABBAU, LANDSCHAFTSPFLEGERISCHE ZIELE:

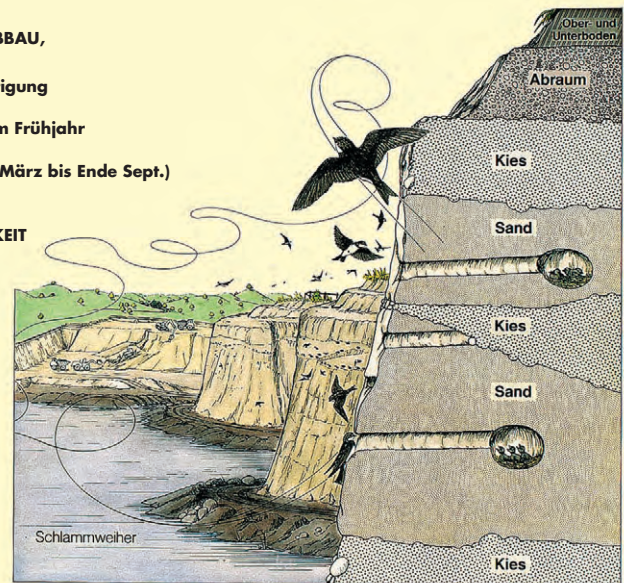
- Abbauplanung unter Berücksichtigung der Brutstandorte
- Erstellen frischer Abbauwände im Frühjahr
- Abbau von unten – Abbrüche
- Schonzeit berücksichtigen (Mitte März bis Ende Sept.)

### ÖKOLOGISCHE FUNKTIONSFÄHIGKEIT (abhängig von)

- Senkrechte Wände mit Sandlinsen
- Exposition
- Wandhöhe (4–5 m; Schutz vor Nesträubern)
- Offener Anflugraum

### BEDEUTUNG:

- «Ökologische Zelle» in intensiv genutzter Landschaft (z.B. Kiesabbau)
- Erhaltung der Artenvielfalt



13.9

biet mit abbauwürdigem Rohstoffvorkommen das Problem der Landschaftsveränderung. Ist ein organisch gewachsener Landschaftsraum betroffen, so hat die Projektierung mit Rücksicht auf die natürlichen Gegebenheiten des Landschaftsgefüges, die landschaftsökologischen Zusammenhänge und die Nutzungsformen zu geschehen. Dies kann mit der parallelen Bearbeitung des UV-Berichtes sichergestellt werden. Dabei sind die verschiedenen ökologischen oder ökonomischen Forderungen in Verhältnis zu den sich jeweils ergebenden Nutzen sowie zu den tatsächlichen Gegebenheiten des betroffenen Kulturlandschaftsraumes zu stellen. Die Bewirtschaftung der Rohstoffreserven soll nach folgenden Kriterien erfolgen:

- Die Nutzung der Rohstofflagerstätte ist im Sinne der Wirtschaftlichkeit auf einen maximalen Ertrag auszurichten, gleichzeitig soll sie den effektiv vorhandenen Gegebenheiten wie Abbaumöglichkeiten im Landschaftsraum oder Zusammensetzung des Rohstoffmaterials angepasst und optimiert werden.
- Der landschaftsökologische Zustand des betroffenen Natur- oder Kulturlandschaftsraumes soll bei der Planung aufgenommen und beurteilt werden. Ziel dieser Aufnahme ist die Sicherung oder – noch wünschenswerter – die Steigerung des landschaftsökologischen Potentials des Raumes während und besonders nach dem Rohstoffabbau.

- Auf Bevölkerung und Umwelt muss Rücksicht genommen werden: Umweltbelastungen wie Lärm- oder Luftbelastungen sind zu verhindern oder zu minimieren.
- Der Erhaltung des Landschaftsbildes während und nach dem Abbau wird grosse Bedeutung zugemessen. Während des Abbaus ist der Eingriff in den Landschaftsraum durch landschaftsgerechte Abbaugliederung so gering wie möglich zu halten. Nach dem Rohstoffabbau sollen sich die Rekultivierung des Projektraumes und die Erstellung von Sekundärlandschaften mit Neugestaltung von Ökosystemen nach den ursprünglichen charakteristischen Landschaftsformen ausrichten.
- Mittels fachgerecht durchgeführten Rekultivierungsmassnahmen soll eine uneingeschränkte Folgenutzung gewährleistet werden.
- Rohstoffabbau stellen bieten die Chance, mit Wanderbiotopen, Ersatzbiotopen oder ökologischen Ausgleichsflächen verschiedenartiger Ausprägung den landschaftsökologischen Wert des umgebenden, meist übernutzten Kulturlandschaftsraumes wesentlich zu steigern. Ziel einer jeden Abbauplanung sollte es sein, einen Beitrag zur ökologischen Wertsteigerung der Umwelt zu liefern.

Abbildung 13.9: Graphik Sekundärbiotop Brutstandort Uferschwalben.



Um den heutigen und zukünftigen Nutzungsansprüchen und Forderungen an die Landschaftsräume und der Lagerstättensicherung gerecht zu werden, erfolgt die Abbauplanung gegliedert nach drei Zeiträumen, in denen die raumplanerischen Massnahmen und Grundsätze sowie der jeweilige Rohstoffbedarf berücksichtigt werden. Es sind dies für den Zeitraum 0–15 Jahre die kurzfristige Rohstoffsicherung, für den Zeitraum 0–30 Jahre die mittelfristige Rohstoffsicherung und für den Zeitraum 0–45 Jahre die langfristige Rohstoffsicherung.

In den unterschiedlichen Plänen, vom Istzustand (Situation) bis zur Sekundärlandschaft, sind nachvollziehbar die Grundinformationen, der Abbau- und Auffüllvorgang und der Betriebsablauf darzustellen. Ebenso sind die notwendigen Aussagen für die Rekultivierungs- und Regenerationsmassnahmen des wieder zu gestaltenden Landschaftsraumes zu erbringen ([Abbildungen 13.7, 13.8](#)). Massnahmen zur kurz- oder langfristigen Sicherung von speziellen Ersatzbiotopen während und nach dem Abbaubetrieb sind zu beschreiben und darzustellen. Die Projektbeschreibung umfasst: Bedarfsnachweis, Versorgungsregion, Lage und Begrenzung des Abbaugebietes, Abbausohle, Abbaukubaturen, jährliches Abbauvolumen, Etappengliederung, Zeiträume, Abbaumittel, Transportmittel, Auffülletappen, Auffüllmaterial, Rekultivierungsziel und Rekultivierungsmethoden. Zusätzlich empfiehlt es sich, für Orientierungen und öffentliche Diskussionen, die Darstellung der Sekundärlandschaft in einem Modell oder in einer EDV-unterstützten dreidimensionalen Darstellung zu visualisieren ([Abbildung 13.8](#); siehe auch [Kapitel 14](#)).

## 13.4 GEOTOPE - GEOTOPSCHUTZ

### 13.4.1 DEFINITION

Eine Arbeitsgruppe «Geotopschutz Schweiz» der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften hat in ihrem Strategiebericht von 1995 Geotope folgendermassen definiert: *Geotope sind räumlich begrenzte Teile der Geosphäre von besonderer geologischer, geomorphologischer oder geoökologischer Bedeutung. Sie beinhalten wichtige Zeugen der Erdgeschichte und geben Einblick in die Entwicklung der Landschaft und des Klimas.*

Je nachdem, ob die prägenden Prozesse abgeschlossen oder noch im Gang sind, handelt es sich um statische oder aktive Geotope. Geotope sind der Nachwelt zu erhalten. Sie sind vor Einflüssen zu bewahren, die ihre Substanz, Struktur, Form oder natürliche Weiterentwicklung beeinträchtigen.

Bei Geotopen kann es sich also beispielsweise um Berge, Hügel, Täler, Schluchten, Höhlen, Karstphänomene, Moränenwälle, Findlinge, Ufergebiete, Talauen, Erosionskanten, Geröllhalden, aber auch um Steinbrüche, Kiesgruben, Bergwerke sowie Baugruben, Strassen- und Weganschnitte handeln. Geotope können von wissenschaftlichem, didaktischem oder landschaftlich-geoökologischem Wert sein. Je nach Wert und Seltenheit wird zwischen Geotopen von nationaler, regionaler oder lokaler Bedeutung unterschieden. Ein weiteres Kriterium, das den Schutzgrad bestimmt, ist die Verletzbarkeit des Geotops.

Geotope sind das abiotische Äquivalent zu den Biotopen. Dabei bestehen zwischen den beiden vielseitige Wechselbeziehungen. Viele Biotope sind an bestimmte Eigenschaften des Untergrundes, des Grundwasserhaushaltes, der Geländeform wie auch der Dynamik dieser Geländeform (z.B. Geröllhalden) gebunden. Ergibt sich der Wert eines Biotops aus der Seltenheit seines Substrates, so können sich Geotopschutz und Biotopschutz zu einem umfassenden Naturschutz verbinden. Zu nennen wären hier Moore im Bereich von Moränen, Auenlandschaften, Quellhorizonte oder Rutsch- und Soliflukationsgebiete. Auch grundsätzlich statische Geotope wie natürliche oder künstliche Aufschlüsse bestimmter Formationen, Deformationsphänomene oder Mineralparagenesen können als Substrat für seltene Pionierpopulationen dienen. Dies gilt insbesondere auch dann, wenn das Objekt durch Grabungstätigkeiten immer wieder gestört wird. Gerade hier zeichnet sich

jedoch oft ein Konflikt zwischen Geotopschutz und klassischem Landschafts- und Biotopschutz ab, wenn zur Erhaltung eines künstlich geschaffenen Geotops (z.B. in einer Kiesgrube) die Wiederherstellung der ursprünglichen Geländeform und Vegetationsdecke verhindert werden soll.

Der Geotopschutz hat sich zum Ziel gesetzt, dynamische Geotope zu erhalten oder zu reaktivieren sowie statische Geotope vor der Zerstörung oder Überdeckung zu bewahren.

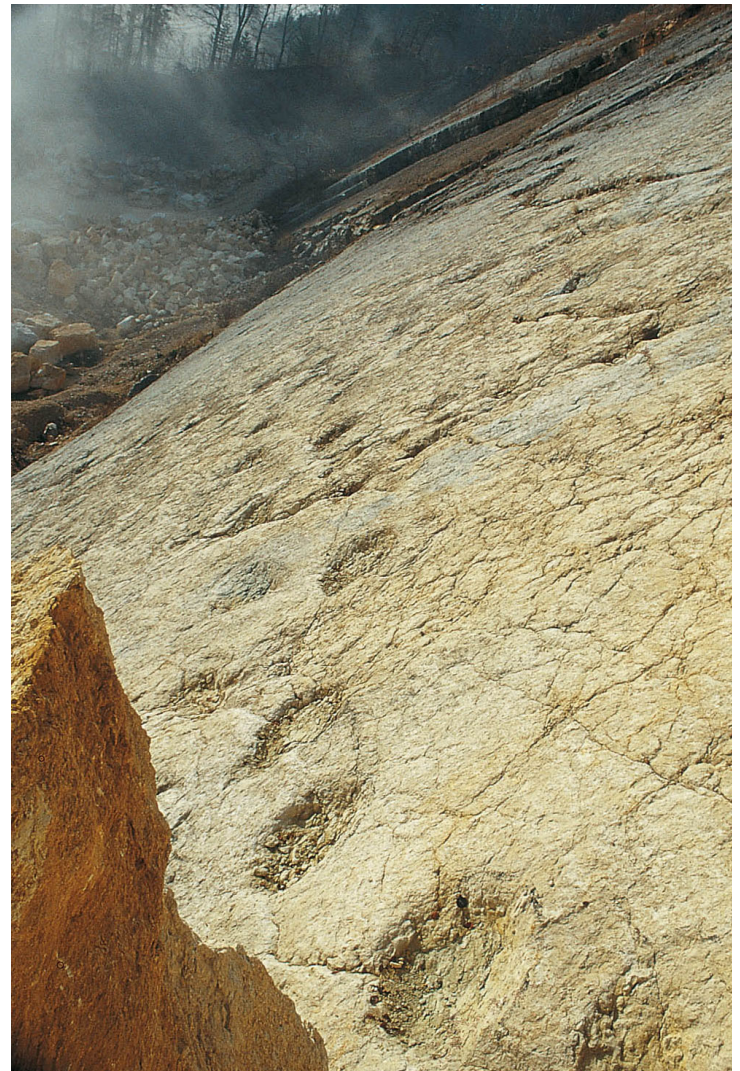
#### 13.4.2 GESETZLICHE GRUNDLAGEN

Beim Geotopschutz kann prinzipiell zwischen einem spezifisch objektbezogenen und einem generellen, umfassenden unterschieden werden.

Im ersten Fall stellen die kantonalen oder kommunalen Behörden, gestützt auf Art. 17 des Bundesgesetzes über die Raumplanung (RPG) und die entsprechenden kantonalen Gesetze und Vollzugsverordnungen, ein einzelnes Objekt oder eine Objektgruppe unter Schutz. Abhängig vom Schutzziel und den allenfalls notwendigen flankierenden Massnahmen (Erschliessung, Umzäunung, Nutzungsbeschränkungen, geotechnische Vorkehrungen, Rodungen) kann dies durch einfache Verfügung oder aber über das Nutzungsplanverfahren (Schutzzonen, Ortsplanung usw.) erfolgen. Sofern mit der Unterschutzstellung Interessen Dritter tangiert werden, ist das Vorhaben vorgängig öffentlich aufzulegen. Das hier beschriebene Verfahren ist relativ aufwendig. Es hat jedoch den Vorteil, dass die verfügten Massnahmen grundeigentümerverbindlich sind. Zudem können flankierende Massnahmen im gleichen Verfahren geregelt werden. Wichtig ist, dass im Rahmen der Unterschutzstellung auch die Zuständigkeiten insbesondere für die Erfolgskontrolle und den allenfalls notwendigen Unterhalt geregelt werden.

Ist ein Geotop akut gefährdet, so können, gestützt auf Art. 702 ZGB, Art. 37 RPG sowie Art. 15 und 16 des Bundesgesetzes über den Natur- und Heimatschutz (NHG), Sofortmassnahmen verfügt werden, um die Gefahr abzuwenden. Dieselben Artikel werden auch beigezogen, wenn in berechtigten Fällen Schutzverfügungen erzwungen werden müssen.

Den generellen Schutz von Geotopen kennen bislang erst einige wenige Kantone. So verbietet beispielsweise das Neuenburger Naturschutzgesetz vom 22. Juni 1994 grundsätzlich die Beeinträchtigung geologischer Objekte (Art. 11), welche geologische Aufschlüsse, Fossil- und Mineralfundstellen, Karstphänomene (Höhlen, Dolinen, Quellen) sowie glaziale Zeugen umfassen (Art. 9). Solche generellen Schutzbestimmungen,



13.10

wie sie auf Bundesebene insbesondere für Biotope gelten (Art. 18 ff NHG), bedürfen jedoch einer vorgängigen Inventarisierung und Bewertung oder doch zumindest eines verbindlichen Kriterienkataloges zur Bewertung eines einzelnen Objektes. Eine generelle Unterschutzstellung einer fossilreichen Schicht, beispielsweise der Herznacher Eisenoolithe mit den hängenden Schellenbrücke-Schichten, würde grossräumig den Bau von Verkehrswegen verunmöglichen (oder aber die generelle Schutzbestimmung würde mit routinemässigen Ausnahmebewilligungen ad absurdum geführt).

Die Arbeitsgruppe «Geotopschutz Schweiz» hat deshalb einen Kriterienkatalog zur Ausscheidung von Geotopen erarbeitet und auch eine vorläufige, rechtlich unverbindliche Liste der Geotope von nationaler Bedeutung erstellt. Einige wenige hervorragende Geotope sind ebenfalls im nicht sehr griffigen

**Abbildung 13.10: Spuren eines Elefantensauriers (*Cetiosauricus*) im Solothurner Schildkrötenkalk (Malm). Alter 145 Millionen Jahre, Steinbruch «Lommiswil», Gemeinde Oberdorf SO.**

**Geschützt durch Beschluss des Regierungsrates des Kantons - Solothurn vom 6. Dezember 1994.**



Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN) enthalten. Die Arbeitsgruppe bemüht sich zurzeit auf Bundesebene um die Einführung von Bestimmungen zum generellen Schutz und zur Inventarisierung der Geotope, die den heutigen Bestimmungen zum Biotopschutz ebenbürtig sind.

Im weiteren verfügen verschiedene Kantone und auch einige Gemeinden über Geotopinventare. Die Inventare umfassen in der Regel die durch Einzelbeschluss oder im Rahmen der Kantonal- oder Ortsplanung geschützten wie auch die zum Schutz vorgeschlagenen Objekte. Der Rechtsstatus der letzteren ist dabei von Kanton zu Kanton sehr unterschiedlich.

### 13.4.3 GEOTOPSCHUTZ UND MATERIALABBAU

Abbaubetriebe, wie Steinbrüche und Kiesgruben, können einerseits Geotope aufschliessen, andererseits zerstören sie naturgemäss nicht selten ebendiese Geotope beim weiteren Abbaufortschritt. Schliesslich werden häufig noch vorhandene Geotopteile bei den meist zwingend vorgeschriebenen Auffüllungen (Rekultivierungen) verdeckt. Liegt der Abbaubetrieb im Wald, steht zusätzlich die übliche Aufforstungspflicht in Konflikt mit der gewünschten Freihaltung eines Geotops.

Der Geotopschutz ist möglichst schon bei der Planung, spätestens aber sofort nach dem (unerwarteten) Aufschliessen geologisch interessanter Strukturen zu berücksichtigen. Richtig in die Abbauplanung eingebaut, ist der Geotopschutz nicht ein Nutzungskonflikt, sondern vielmehr eine Chance für das Vorhaben.

Bei der Projektierung ist darauf zu achten, dass durch Abbau und Rekultivierung keine wertvollen Geländeformen (z.B. wichtige Zeugen von Gletscherstadien oder Seeständen) oder Einzelobjekte (Gletscherschliffe, Saurierspuren, Höhlen usw.) zerstört oder verunstaltet werden. Ist es absehbar, dass interessante, zwar verbreitete, aber selten aufgeschlossene Formationen oder Phänomene angetroffen werden, so ist rechtzeitig, entsprechend den Notgrabungen der Archäologie, eine gezielte Bearbeitung und Dokumentation vorzusehen. Nach Abschluss des Materialabbaus sollten die verbliebenen Geotopteile nach Möglichkeit zugänglich bleiben, was bei der Endgestaltungsplanung und – in Waldgebieten – beim Rodungsgesuch zu berücksichtigen ist. Das Bundesgesetz über den Wald (WaG) vom 4. Oktober 1991 schreibt in solchen Fällen eine Wiederaufforstung nicht mehr zwingend vor (Art. 5 und 7 WaG). Werden die wissenschaftlich wertvollen Objekte erst beim Abbau entdeckt, so sind die Abbauplanung, der

Endgestaltungsplan und allenfalls auch die Rodungsbewilligung anzupassen.

Die Erschliessung der wissenschaftlich wertvollen Objekte (Tierspuren; [Abbildung 13.10](#), Meeresböden, Gletscherstauungen usw.) mittels Aussichtsplattformen, Info-Tafeln oder «Klopfplatz» oder aber die Ausstellung der wichtigsten Fundobjekte vor Ort (wie z.B. die Saurier von Frick) kann zur Akzeptanz des Abbaubetriebes bei einem breiten Publikum beitragen. Auch wenn keine wissenschaftlich wertvollen Schichten angeschnitten werden, kann ein Abbaubetrieb, in Anlehnung an entsprechende Vorstösse im Biotopbereich, dennoch zu einem didaktischen Geotop ausgebaut und beispielsweise Schulklassen zugänglich gemacht werden. Dass viele aktuelle und aufgelassene Abbaubetriebe wichtige Biotope enthalten, liegt nicht zuletzt am spezifischen geologischen Untergrund, den der Abbaubetrieb geschaffen oder aufgeschlossen hat. Auch in diesem geoökologischen Sinn stellen Abbaubetriebe somit häufig wichtige, anthropogen geschaffene geoökologische Geotope dar, die längst selten gewordene natürliche Geotope ersetzen. Jedoch ist auch hier darauf zu achten, dass der Abbau nicht wertvollere Geo- und Biotope zerstört als er neue schaffen kann. Nur so kann von einer echten Aufwertung der Landschaft gesprochen werden.

## **14      GEOINFORMATIK IM BEREICH «MINERALISCHE ROHSTOFFE» UND «NUTZBARE GESTEINE»**

Übersicht

14.1      Einsatzmöglichkeiten von geographischen Informationssystemen

14.1.1    *Was ist ein GIS?*

14.1.2    *Einsatzmöglichkeiten von GIS bei der regionalen Planung*

14.1.3    *Geologisch-Geotechnische Anwendungen von GIS-Programmen*

14.1.4    *Rohstoffbewirtschaftungsprogramme*

---





## **14 GEOINFORMATIK IM BEREICH «MINERALISCHE ROHSTOFFE» UND «NUTZBARE GESTEINE»**

**Kapitelinhalt**



Autoren: Dr. Rainer Kündig, Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH Zentrum, 8092 Zürich  
Edi Jericke, ILU Ottomar Lang AG, Zentralstrasse 2a, 8610 Uster  
Ottomar Lang, ILU Ottomar Lang AG, Zentralstrasse 2a, 8610 Uster

mit Beiträgen von: Dr. Reto Philipp, Sieber Cassina + Partner AG, Langstrasse 149, 8004 Zürich  
Markus Fries, ILU Ottomar Lang AG, Zentralstrasse 2a, 8610 Uster

Fotos: ESA, EURIMAGE (Titelbild).

---

**Abbildung auf Vorderseite:** Die Schweiz aus Satellitensicht. Heute werden häufig auch Satellitenbilder für Darstellungszwecke und für elektronische Weiterverarbeitungsschritte beigezogen. Vielfach dienen diese Bilder als Rasterdaten-

hintergrund in geographischen Informationssystemen. Je nach Bedarf können verschiedene Informationsebenen überlagert werden. Die vorliegende Aufnahme wurde am 7. Juli 1984 vom amerikanischen Erderkundungssatelliten Landsat-5

aufgenommen. Aus digitalen Rohdaten des Multispektralsensors «Thematic Mapper» wurden drei Kanäle (3,2,1) zur Farbwiedergabe ausgewählt. Mit Hilfe eines interaktiven Bilverarbeitungssystems wurde eine digitale Farbmaskie-

rung durchgeführt und eine weitgehend naturgetreue Farbgebung gewählt.  
Datenquelle: European Space Agency (ESA), Paris, © EURIMAGE 1977, Bildverarbeitung: Institut für Kommunikationstechnik, ETH-Zürich.



## ÜBERSICHT

---

In den Geowissenschaften allgemein und speziell in den Bereichen «Mineralische Rohstoffe» und «Nutzbare Gesteine» sind heute verschiedenste elektronische Hilfsmittel im Einsatz. Was 1969 – zur Zeit des Erscheinens der letzten Auflage des Buches «Die Nutzbaren Gesteine der Schweiz» – noch kaum denkbar war, hat sich in der Zwischenzeit in geradezu rasendem Tempo entwickelt. Die elektronische Datenverarbeitung und -bearbeitung hat heute im Bereich Steine und Erden in fast allen Sparten der Industrie und der Forschung einen festen Platz eingenommen. Eingesetzt werden EDV-Lösungen zur schnellen Übersicht über eigene Produkte in Form von einfachen oder relational verknüpften Datenbanken (mit oder ohne Einbezug technischer und regelungstechnischer Prozesse) oder in Form von umfassenderen, raumbezogenen Informationssystemen verschiedenster Art. Darunter fallen Geographische Informationssysteme (GIS), Land-Informationssysteme (LIS), Lagerstätten-Bewirtschaftungssysteme, multimediale Informationssysteme sowie auch – zum Teil integriert – dreidimensionale Modellierungssysteme.

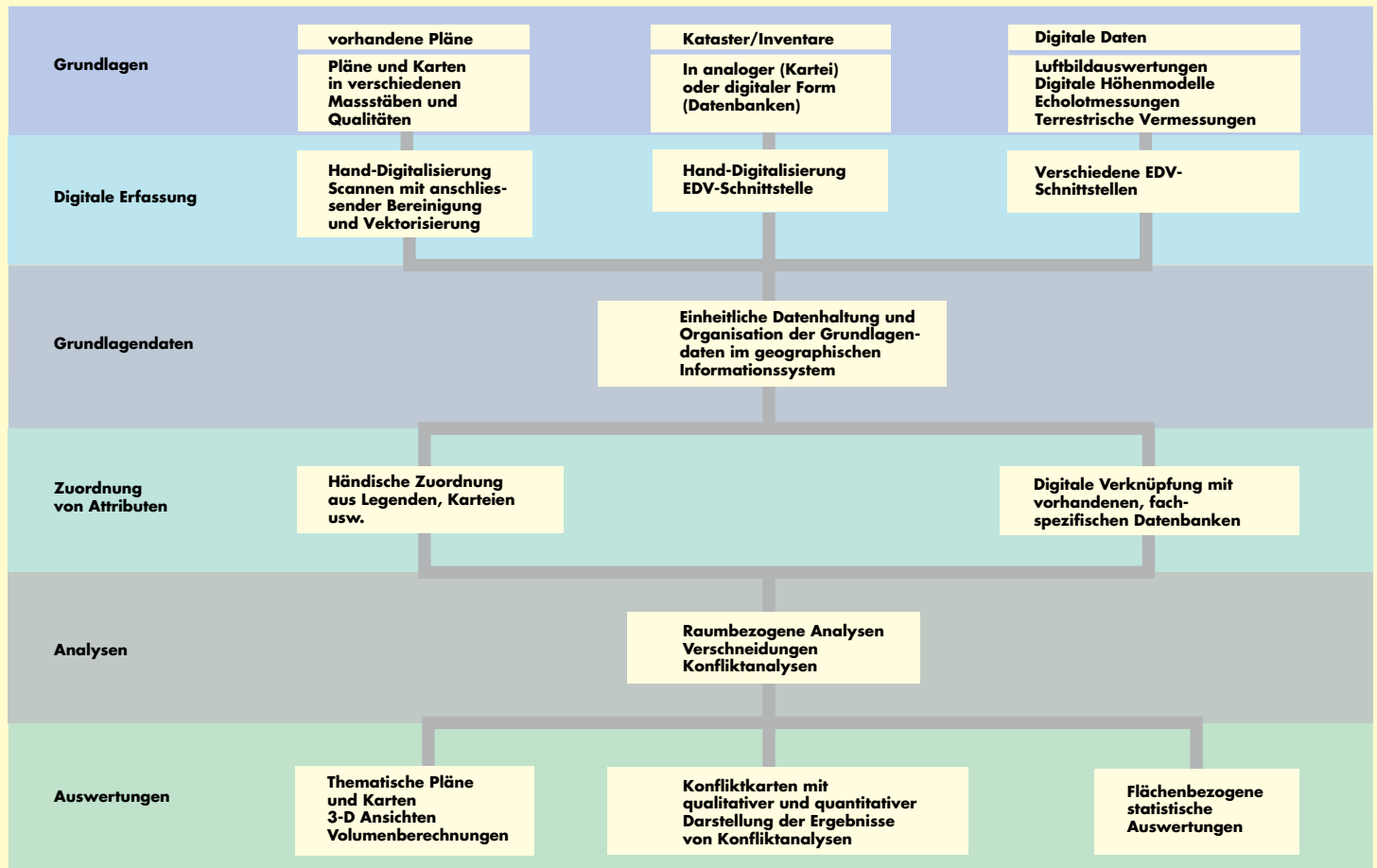
Geo-Informationssysteme sind im weitesten Sinn computergestützte Systeme zur Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation von zumeist raumbezogenen Daten. Neben der Datenhaltung kommt darin vor allem der Datenanalyse eine wichtige Bedeutung zu. Im Vermessungs- und Planungsbereich wie auch im Umweltbereich werden auf nationaler, kantonaler und kommunaler Ebene sowie auch in diversen privatwirtschaftlich organisierten Betrieben elektronische Plan-Datenbanken, Schutzzinventare, Kataster und andere Verzeichnisse geführt. Vom Hochmoorinventar oder dem Inventar schutzwürdiger Landschaften über geologisch-geotechnische Grundlagenkarten bis hin zu beispielsweise Permafrostkartierungen und geologischen Risikokartierungen, überall steht der Wunsch nach möglichst schneller, möglichst umfassender und möglichst einfach darzustellender Information im Vordergrund. Bevorzugterweise soll dies auf dem eigenen Bildschirm am Arbeitsplatz der jeweiligen Sachbearbeiter möglich sein, und Auswertungen sollen direkt in aktuelle Projekte und Berichte integriert werden können. Dank der Entwicklung im elektronischen Bereich und dank immer leistungsfähigeren Massenspeichern sind komplexe Anwendungsgebiete wie Umweltschutz-Daten-Management oder vernetzte, raumbezogene Informationssysteme keine Utopie mehr. Bereits sind

multimediale Anwendungen im Kartographiebereich in Entwicklung, und via Internet können benutzerspezifisch definierte Kartengrundlagen online zusammengestellt werden. Schon mit relativ geringem technischem und finanziellem Aufwand ist es möglich, ortsunabhängig umfassend und rasch informiert zu sein, was gerade im Falle von Katastrophen (Unfälle und Naturgewalten) von unschätzbarem Wert sein kann.

Eine besondere Bedeutung kommt der Datenkompatibilität und der interdisziplinären Vernetzung der Grundlagendaten zu. Es darf aber nicht vergessen werden, dass gemäss einer gängigen Überschlagsrechnung das finanzielle Investitionsverhältnis von Hardware zu Software zu Daten etwa bei 1:10:100 liegt. Dies relativiert meistens die technisch machbaren «Finessen». Auch wenn die Datenbearbeitung und -verbreitung relativ einfach geworden ist, darf nicht vergessen werden, dass die Qualität und Aussagekraft von digitalen Datenanwendungen wesentlich von der Qualität des Dateninputs und der Datenpflege abhängt.

Es ist nicht Aufgabe dieses Buches, detailliert auf die neuesten Entwicklungen im Geo-Informatikbereich oder auf spezielle Programme einzugehen. Darüber informieren eine Reihe von Softwareherstellern, und es existiert eine Fülle von spezieller Fachliteratur. In diesem Kapitel werden ein paar Hinweise gegeben und einige Anwendungen aufgezeigt, welche momentan (neunziger Jahre) in verschiedenen privaten, industriellen und wissenschaftlichen Bereichen im Einsatz sind. Die Beispiele sind willkürlich zusammengestellt: Sie dienen der Übersicht und sind nicht qualifizierend zu verstehen.

### Geographische Informationssysteme – Bearbeitungsschritte



14.1

## 14.1 EINSATZMÖGLICHKEITEN VON GEOGRAPHISCHEN INFORMATIONSSYSTEMEN

Für viele dreidimensionale Darstellungen komplexer Sachverhalte (beispielsweise in der Geologie) können Illustrations- oder CAD-Programme (computer aided design) beigezogen werden, welche die eingegebenen Informationen in verschiedenen Ebenen verwalten. Ganz neue Aussageebenen erschliessen sich jedoch, wenn objektbezogene Daten über sogenannte Schlüssel (Objektklassen-Identifikatoren) Kombinationen von verschiedenen Ebeneninhalten ermöglichen und damit selektiv zu neuen Darstellungen oder Projektionen führen.

Mit einer solchen Zielsetzung sind heute zahlreiche Geographische Informationssysteme (GIS) auf dem Markt. Diese werden oft im Zusammenhang mit Fragestellungen bezüglich mineralischer Rohstoffe eingesetzt.

### 14.1.1 WAS IST EIN GIS?

Ein Geographisches Informationssystem dient der Erfassung, Verwaltung, Auswertung und Darstellung von raumbezogenen Objekten und den zugehörigen Eigenschaften. Jedes dieser Objekte kann dabei aus einem oder mehreren Grundelementen wie *Flächen* (z.B. Abbauperimeter, Parzellen, Geologie, Waldflächen), *Linien* (z.B. Gewässer, Strassen, Grund-

Abbildung 14.1: Schematischer Ablauf der Bearbeitungsschritte beim Einsatz eines Geographischen Informationssystems (GIS): Durch den professionellen Einsatz des geographischen Informationssystems wird eine rationelle, kostengünstige Be-

arbeitung bei der Datenerfassung, der Auswertung und der Darstellung der Ergebnisse sichergestellt.



wasser-Isophypsen) oder *Punkten* (z.B. Quellen, Einzelbäume, Anlagen, Messstandorte) bestehen. Zur Verwaltung dieser Objekte stehen verschiedene Datentypen zur Verfügung: Geometriedaten, Graphikdaten und Sachdaten.

Die Geometrie von räumlichen Objekten kann mittels vektoriellen Daten oder Rasterdaten dargestellt werden. Als *Vektordaten* bezeichnet man eine auf einzelnen Punkten beruhende Beschreibung von raumbezogenen Objekten mit den oben erwähnten Grundelementen sowie deren Nachbarschaftsbeziehungen (z.B. Anfangspunkt, Endpunkt, angrenzende Flächen). Vektordaten sind vorteilhaft wegen relativ geringen Datenmengen und kurzen Rechenzeiten. *Rasterdaten* beziehen sich dagegen nur auf Flächen. Das geometrische Grundelement ist in diesem Fall das Pixel (picture element, Bildelement), welches zeilen- und spaltenweise in einer Matrix gleichförmiger Elemente angeordnet ist und in sich selbst einheitliche Flächenfüllungen aufweist. Die Darstellungsgrenze (Auflösung) hängt daher nur von der Pixelgrösse ab. Bei Rasterdaten (z.B. Satellitenbilder) besteht keine logische Verbindung zwischen den einzelnen Bildelementen, das heisst, es gibt keine Unterscheidung zwischen Punkten, Linien und Flächen. Rasterdaten sind einfach und zeitsparend erfassbar, bedingen aber grosse Datenmengen und benötigen entsprechend hohen Rechenaufwand. Unter *Graphikdaten* versteht man grafikbeschreibende Daten, das heisst, zusätzliche Angaben über die Art und Weise, wie ein bestimmtes Objekt auf einem bestimmten Ausgabegerät (Drucker, Plotter) dargestellt werden soll (Farbe, Füllung, Symbol, Linienstil etc.). Graphikdaten kombiniert mit Vektordaten oder Rasterdaten ergeben die sogenannten Vektorgraphiken respektive Rastergraphiken. Als weitere Datenkategorie werden in geographischen Informationssystemen *Sachdaten* benötigt, häufig auch als thematische Daten oder Attribute (beschreibende Daten) bezeichnet. Geographische Informationssysteme zeichnen sich durch eine gemeinsame Verwaltung und Analyse von Geometrie- und Sachdaten aus und unterscheiden sich damit von Kartographie- und CAD-Systemen oder weiteren Informationssystemen. Entsprechend den verschiedenen Datentypen spricht man von vektororientierten oder rasterorientierten Geo-Informationssystemen oder, heute immer häufiger, von kombinierten – hybriden – Systemen. Für eine genaue Beschreibung der Datenmodelle und GIS-Techniken sei auf Bill & Fritsch [1991] und auf weitere, im Literaturverzeichnis angegebene Grundlagenwerke verwiesen.

In [Abbildung 14.1](#) ist ein schematischer Ablauf der Bearbeitungsschritte mit einem GIS dargestellt. Die Objekte werden

zunächst in ihren räumlich-geometrischen Eigenschaften erfasst (beispielsweise über eine Digitalisierstation mit entsprechender Software). Anschliessend wird eine Topologie aufgebaut, das heisst, es werden die Beziehungen der Objekte untereinander festgelegt (Nachbarschaftsbeziehungen, Netzwerkstrukturen). Eingabefehler und inkonsistente Zustände müssen bereinigt werden, um eine Kerndatenbank aufzubauen. Mit Verknüpfungsmethoden können sodann Beziehungen zu fachspezifischen Datenbanken (Objektdatenbanken) aufgebaut werden. So kann beispielsweise ein Quellskataster geometrisch durch die räumliche Lage der einzelnen Quellen dargestellt werden. Über ein Schlüsselement (Index) kann jeder Quelle das in einer externen Datenbank abgelegte Katasterblatt zugeordnet werden (siehe auch [Kapitel 14.1.3](#)). Das GIS ermöglicht es später, durch einfaches Anwählen einer Quelle am Bildschirm das entsprechende Katasterblatt für die Bearbeitung aufzurufen. Wichtig bei GIS-Anwendungen sind nun die möglichen, raumbezogenen Datenanalysen, welche aus der «Verschneidung» der einzelnen Informationsebenen berechnet werden können. So ist beispielsweise die Durchführung und Darstellung von Konfliktanalysen ([Abbildung 14.2](#)) denkbar, mit dem Ziel, einen geplanten Rohstoffabbau versus den Grundwasserschutz und versus den Schutz des Waldes aufzuzeigen. Aufgrund der weitgehend massstabsunabhängigen Datenverwaltung im GIS können thematische Daten je nach Bedarf zu verschiedensten Plänen, Karten und dreidimensionalen Ansichten zusammengestellt werden (Szenarien). Verschiedenste Informationsebenen sind transparent und nachvollziehbar darstellbar und Entscheidungsgrundlagen lassen sich für zeitlich weitreichende Problemstellungen erarbeiten.

#### 14.1.2 EINSATZMÖGLICHKEITEN VON GIS BEI DER REGIONALEN PLANUNG

Geographische Informationssysteme kommen häufig im Planungs- und Kontrollbereich zum Einsatz, dies sowohl in der *regionalen Planung* (Regionalplanung, Rohstoffversorgung, Ressourcenmanagement, Richtplanung, Landschaftsplanung), bei der *Objektplanung* (Abbauplanung, landschaftspflegerische Begleitplanung, Umweltverträglichkeitsberichte, Gestaltungspläne) sowie bei *Kontrollen* und *Langzeitkontrollen* (Dokumentation des Abbaufortschritts, Volumenberechnungen, Auswertung und Darstellung von Messwerten, beispielsweise bei der Grundwasserüberwachung).

## Konfliktmatrix und Darstellung von potentiellen Abbaustandorten

Konflikte und Belastungen durch den Rohstoffabbau als Grobabklärung

Regionierungsgruppe	Rohstofftyp	Rohstoffvorkommen	Fläche	Kubatur	Abbaumenge	Naturpotential/Naturhaushalt				Primarnutzungen				Raumplanerische			
						Grundwasser	Geologisch wertvolle Biotopschritte	Feuchtwiesen	Boden Regende / Fluside	Ornithologisch wertvolle Gebiete	(Gebiete)	(Objekte)	NW-Schutzland	Industriegebiet	Flussgebiet	in der ufernahe	Strömungsgebiet
Aargau	Hochwertige Alluviale	19	2620	13.5	3.0												
		158	7420	5.0	1.8												
		164	8690	5.5	0.3												
		21	530	2.5	10												
		27	960	3.5	0.3												
		38	9880	5.0	1.9												
		9	670	7.5	0.3												
		142	11330	9.5	0.7												
		65	3540	6.0	0.8												
		31	1230	4.0	0.4												
Wiggertal	Hochwertige Alluviale	51	2310	4.5	0.7												
		31	1530	5.0	1.3												
		26	1820	7.0	0.8												
		33	830	2.5	0.4												
		18	620	3.5	2.6												
Surrental	Hochwertige Alluviale	70	7400	10.5	0.1												
		72	7810	10.0	0.1												
		218	29990	15.0	0.1												
		10	1510	15.0	0.1												
		29	20610	7.5	0.1												

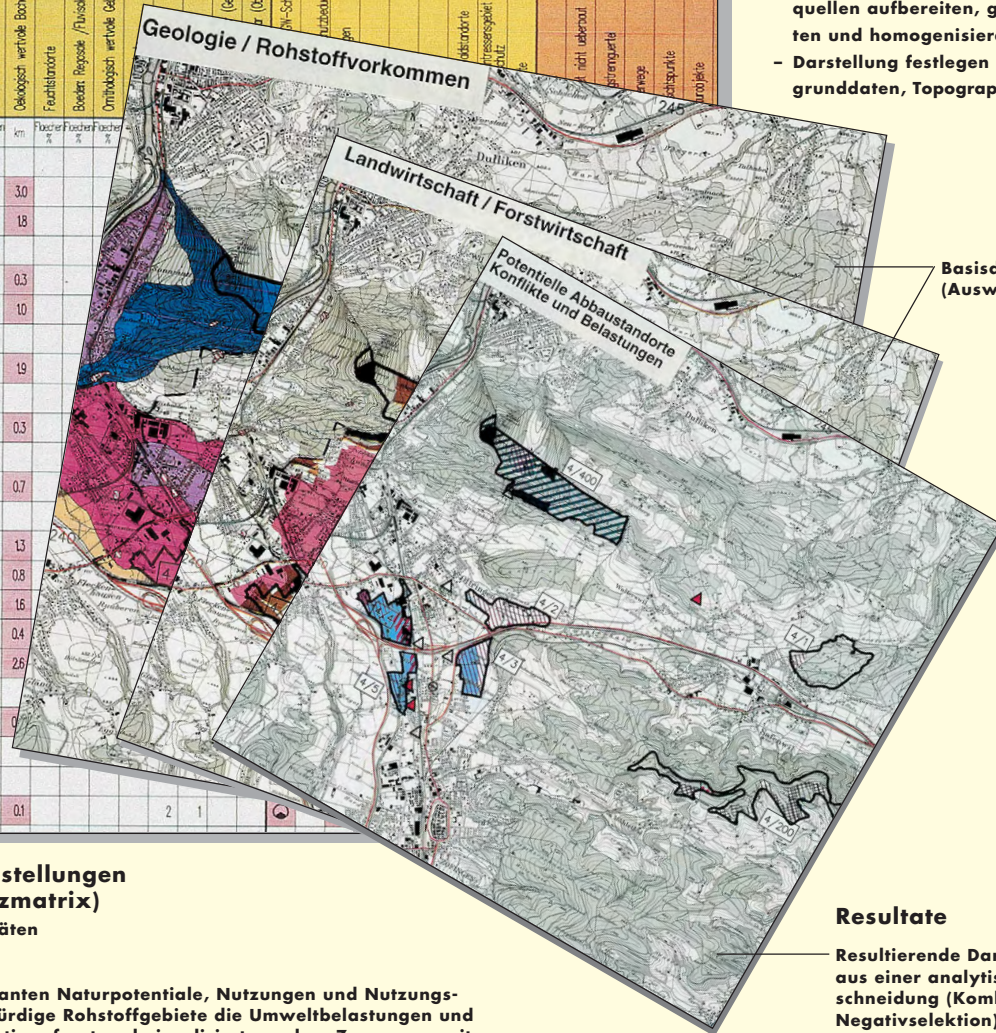
Tabellarische Zusammenstellungen  
(Konfliktmatrix/Relevanzmatrix)

«Gewichtung» der Daten, Prioritäten

Durch Überlagerungen der relevanten Naturpotentiale, Nutzungen und Nutzungsansprüchen können für abbauwürdige Rohstoffgebiete die Umweltbelastungen und Konflikte quantitativ und qualitativ erfasst und visualisiert werden. Zusammen mit tabellarischen Auswertungen ermöglichen die Konfliktkarten regionale Querbezüge zu anderen Abbau- und Versorgungsmöglichkeiten.

Datenerfassung und  
-weiterbearbeitung,  
Darstellung

- Erhebung der Basisdaten, digital oder analog.
- Analoge und digitale Datenquellen aufbereiten, gewichten und homogenisieren.
- Darstellung festlegen (Hintergrunddaten, Topographie etc.).



## Resultate

Resultierende Darstellung aus einer analytischen Verschnidung (Kombination, Negativselektion) verschiedener Grundlagendaten.

14.2

**Beispiel Rohstoffversorgungskonzept:** Im Rahmen der regionalen Rohstoffversorgung sind raumplanerische Entscheidungsgrundlagen, insbesondere Standortnachweise, mit einem Zeithorizont von mehreren Jahrzehnten zu liefern (siehe auch [Kapitel 13.3.1](#)). Da es grundsätzlich keine konfliktfreien Abbauggebiete gibt und eine regionale Rohstoffversorgung ge-

mäss Raumplanungsgesetz gewährleistet werden muss, sind Abwägungsprozesse und Standortnachweise nachvollziehbar zu erarbeiten und gegebenenfalls neuen Richtlinien anzupassen. Das GIS kommt dabei in mehreren Phasen zum Einsatz (siehe auch [Abbildung 14.2](#)):

- bei der Erfassung von Basisdaten zu Naturpotential und

**Abbildung 14.2:** Kartographische Darstellungen zu einem potentiellen Rohstoff-Abbauggebiet, wie sie aus einer typischen GIS-Anwendung resultieren (Quelle: ILU Ottomar Lang AG, Uster).



Nutzungen: Digitale Erfassung vorhandener thematischer Karten in verschiedenen Massstäben; digitale Erfassung von Feldaufnahmen, die im Rahmen der aktuellen Planung erfolgt sind; Übernahme von Daten aus Inventaren, Gutachten, Untersuchungen etc.; Übernahme digitaler Pläne wie etwa der digitalen Grundbuchvermessung; Übernahme weiterer digital vorliegender Grundlagendaten, beispielsweise von einem kantonalen GIS-Dienstleistungszentrum.

- bei der Bestimmung potentieller Abbaugebiete: Erstellung einer analogen Rohstoffkarte durch den Geologen; digitale Erfassung der Rohstoffkarte und Erweiterung der Kerndatenbank mit rohstoffspezifischen Angaben wie Materialqualität, Mächtigkeit der Lagerstätten etc.; Bestimmung von Ausschlusskriterien und anschliessende analytische Verschneidung der digitalen Rohstoffkarte mit Ausschlussgebieten wie Siedlungsflächen, Gewässerschutzgebieten, Naturschutzgebieten, grösseren Gewässern, grösseren Verkehrsträgern; digitale Bereinigung der entstandenen potentiellen Abbaugebiete (z.B. Eliminierung von nicht relevanten Kleinflächen).
- bei der Konfliktanalyse: Analytische Verschneidung aller relevanten Basisdaten zu Naturpotential und Nutzungen mit der Karte der potentiellen Abbaugebiete; Erweiterung der Datenbank der potentiellen Abbaugebiete mit den Ergebnissen der Konfliktanalyse ([Abbildung 14.2](#)).
- bei der Auswertung: Kartographische Darstellung der potentiellen Abbaugebiete mit allen betroffenen Konfliktflächen auf einer topographischen Hintergrundkarte; Darstellung aller Konflikte und Belastungen in Form von transparenten und nachvollziehbaren Konflikttabellen in der Kartenlegende; Zusammenfassende Grobbeurteilung als Grundlage für die Ausscheidung geeigneter regionaler Abbaugebiete.

*Beispiel Abbauplanung:* Im Rahmen von Objektplanungen im Rohstoffabbau können heute die meisten Pläne mit einem geographischen Informationssystem erarbeitet werden. Für die Erstellung von Betriebsplänen, die verschiedene Abbauzustände aufzeigen, können zur Zeit noch externe Programme effizienter eingesetzt werden. In folgenden Bereichen kann ein GIS gut verwendet werden:

- bei Situationsplänen (Istzustand): Übernahme von digitalen Höhendaten aus der Luftbildauswertung mittels EDV-Schnittstellen (Höhenlinien, Höhenkoten, Bruchkanten); Übernahme von digitalen Vermessungsdaten aus Luftbildauswertung, Satellitenbildern und terrestrischer Vermessung mittels EDV-Schnittstellen. Dazu gehören beispielsweise Parzellengrenzen, Gebäudeumrisse; digitale Erfas-

sung vorhandener thematischer Karten in verschiedenen Massstäben; digitale Erfassung von Feldaufnahmen, die im Rahmen der aktuellen Planung erfolgt sind; Übernahme von Daten aus Inventaren, Gutachten, Untersuchungen.

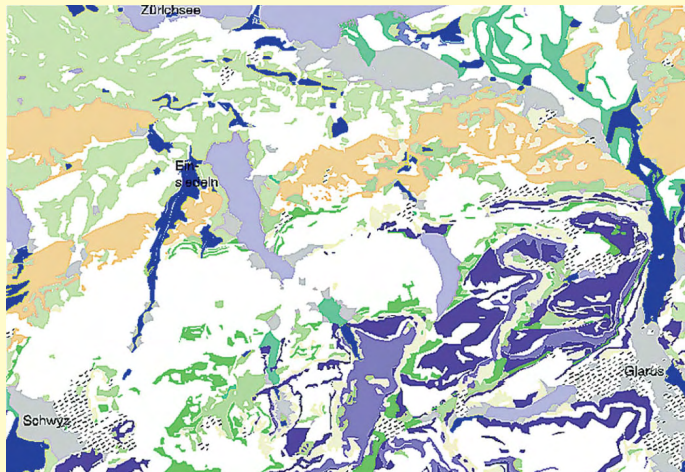
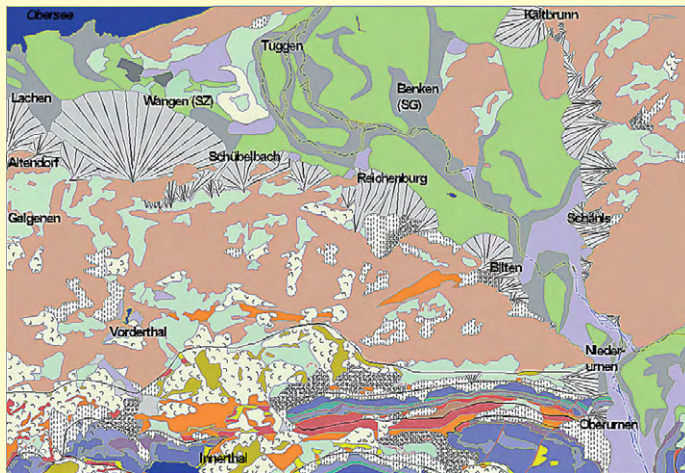
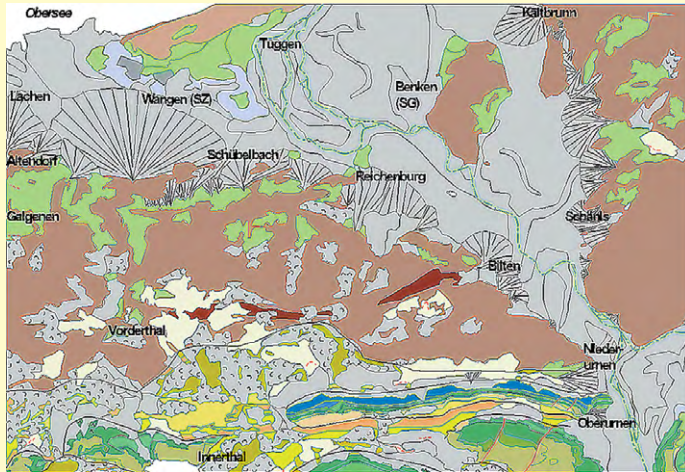
- bei Gestaltungsplänen (Endzustand): Übernahme der digitalen Situationspläne als Basis; digitale Erfassung der in der Endgestaltung veränderten, beziehungsweise neuen Elemente.
- für Profile: Erstellung der digitalen Geländemodelle von Istzustand und Endgestaltung; Automatische Herstellung von allen Längs- und Querprofilen.
- bei der Auswertung: Ausgabe von Situationsplänen von Istzustand und Endgestaltung in verschiedenen Massstäben und mit verschiedenen Planinhalten; Berechnung und Ausgabe dreidimensionaler Ansichten von Istsituationen, Abbauzuständen und Endgestaltung; Volumenberechnungen verschiedener Abbauzustände.
- Dokumentation des Abbaufortschrittes durch Übernahme von digitalen Vermessungsdaten des aktuellen Abbauzustandes aus Luftbildauswertung oder terrestrischer Vermessung und Ausgabe in Situationsplänen und dreidimensionalen Ansichten; Berechnung und statistische Auswertung von Volumendifferenzen zu vorherigen Abbauzuständen; Darstellung von Messwerten wie beispielsweise von Grundwassermessstellen im Ober- und Unterstrom des Abbaugeländes.

#### 14.1.3 GEOLOGISCH-GEOTECHNISCHE ANWENDUNGEN VON GIS-PROGRAMMEN

Im Bereich der thematischen Kartographie stehen seit einigen Jahren sehr gute digitale Systeme zur Verfügung. Diese werden immer häufiger in der Kartenherstellung für Bearbeitungsschritte miteinbezogen, um beispielsweise geologische Karten am Bildschirm zu erstellen und zum Druck vorzubereiten. Neben Amtsstellen nutzen auch viele private Anwender diese Möglichkeiten. Nach wie vor steht jedoch zu Beginn einer geologischen Kartierung die Arbeit von Geologen, welche die Verbreitung verschiedener Gesteine im Feld aufnehmen und interpretieren und Manuskriptkarten zeichnen. Mit geographischen Informationssystemen eröffnen sich später bei der Umsetzung von Kartengrundlagen Möglichkeiten, wie sie in der [Tabelle 14.1](#) zusammengefasst sind.

Zweck einer digitalen geologischen Karte sollen verschiedene Aussageebenen sein. Je nach Auswertung einer mit den Kartenelementen relational verknüpften Datenbank ([Abbil-](#)

## Digitale geologische Karte der Schweiz, 1:100'000



Geol. Karte 1:100'000, Blatt Toggenburg

Geol. Karte 1:100'000, Blatt Toggenburg

Code: 173333 Code Stratigraphie: cu, c6-8  
Stratigraphie: Schrätkalk, Garschella-Formation ("Helvetischer Gault s.l.")

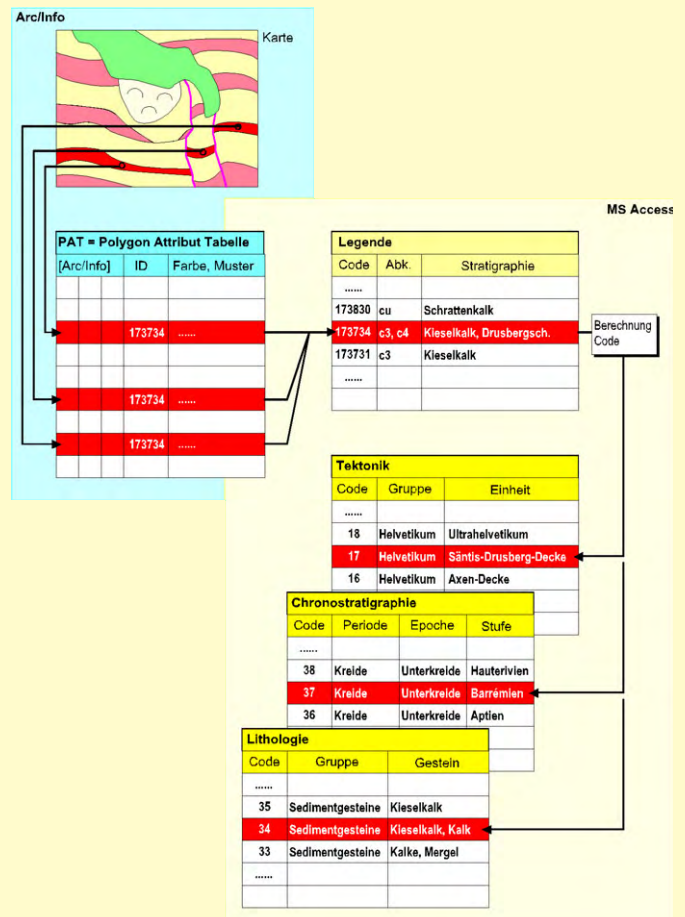
Tektonik: 17  
Gruppe: HELVETIKUM  
Einheit: Säntis-Drusberg-Decke

Chronostratigraphie von: 38  
(fakultativ) bis: 40

Periode: Kreide bis Periode: Kreide  
Epoche: Unterkreide Epoche: Unterkreide  
Stufe: Barrémien Stufe: Albien

Lithologie: 35  
Gruppe: Sedimentgesteine  
Einheit: Kalk, Echinodermenbreccie, Sandstein

Datensatz: 143 von 227



14.3

Abbildung 14.3: Beispiel einer digitalen geologischen Karte. Dargestellt sind links oben die Chronostratigraphie (Altersabfolge der Gesteinsschichten), darunter die Lithologie (Gesteinsarten und -eigenschaften) und zuunterst eine Kombi-

nation von Gesteinsschichten nach speziellen geotechnischen Parametern (Anwendung als Rohstoffkarte; Dargestellt sind Kiesvorkommen, minderwertige Kiesvorkommen und zur Gewinnung von Schotter oder Kies geeignete Festgesteine). Oben

rechts ist die Benutzeroberfläche (Bildschirmmaske) der Datenbankapplikation zur Verwaltung der Legenden-Tabellen abgebildet. Unten rechts steht das Datenbankkonzept für diese digitale geologische Karte, also die Verknüpfung von mehreren

Datenbanken (Sachdaten) mit den Polygon-Attributen des Informationssystems. (Alle Abbildungen aus: Karte Toggenburg, 1:100'000, Sieber Cassina + Partner SC+P, Zürich & Landeshydrologie und -geologie LHG, Bern).



**Tabelle 14.1: Konventionelle und digitale geologische Karten**

	Konventionelle geologische Karte	digitale geologische Karte
<b>Thematik</b>	Beschränkt auf die Darstellung einer einzelnen Thematik (Stratigraphie oder Tektonik oder ...)	Möglichkeiten zur gleichzeitigen Erfassung und Darstellung mehrerer Themen (Stratigraphie und Tektonik und ...)
<b>Anwendung</b>	Optische Interpretation der gedruckten Karte  einfache Handhabung im Gelände	Möglichkeiten zur Veränderung des Kartenausschnitts und -massstabs  Möglichkeiten zum Verschneiden der Information mit anderen Datenebenen und verwandten Themen (Raumgestaltung und Gewässerschutz, ...)
<b>Überarbeitung, Neuauflagen</b>	Mehrere Jahrzehnte bis zur nächsten Überarbeitung und Neuauflage. Eine gedruckte Karte bleibt für lange Zeit «gültig» und in Gebrauch	Permanente Nachführung, dem Anwender steht immer der aktuellste Stand zur Verfügung
<b>Druck</b>	Qualitativ hochstehender Kartendruck, rel. teuer. Auflage einige Tausend Exemplare pro Blatt.	Gebrauchskarten in geringer Auflage.  Plots gemäss Anforderungen des Anwenders (Ausschnitt, Darstellung)

Abbildung 14.3) sollen wahlweise lithostratigraphische, tektonische oder hydrogeologische Karten dargestellt werden können. Ebenso sollen geophysikalische, geotechnische und weitere Datenebenen überlagert werden können. Alle thematischen Darstellungen basieren auf der gleichen digitalen Kartengrundlage und können, je nach Bedarf, mit Hintergrunddarstellungen wie beispielsweise einer digitalen topographischen Karte, Strassenkarten oder Katasterplänen kombiniert werden. Solche Datenebenen können bei verschiedenen Stellen bezogen werden (z.B. Bundesamt für Landestopographie, Bundesamt für Statistik, eidgenössische und kantonale Ämter für Raumplanung, Umweltschutz sowie von privaten Anbietern). Durchgesetzt hat sich für Hintergrunddaten das von den meisten Computersystemen verwertbare TIFF-Bildformat (tag image file format). Bei den gängigen GIS-Programmen existieren verschiedene Datenstandards, die sehr oft kompatibel sind oder mit kleinem Aufwand aufeinander abgestimmt werden können.

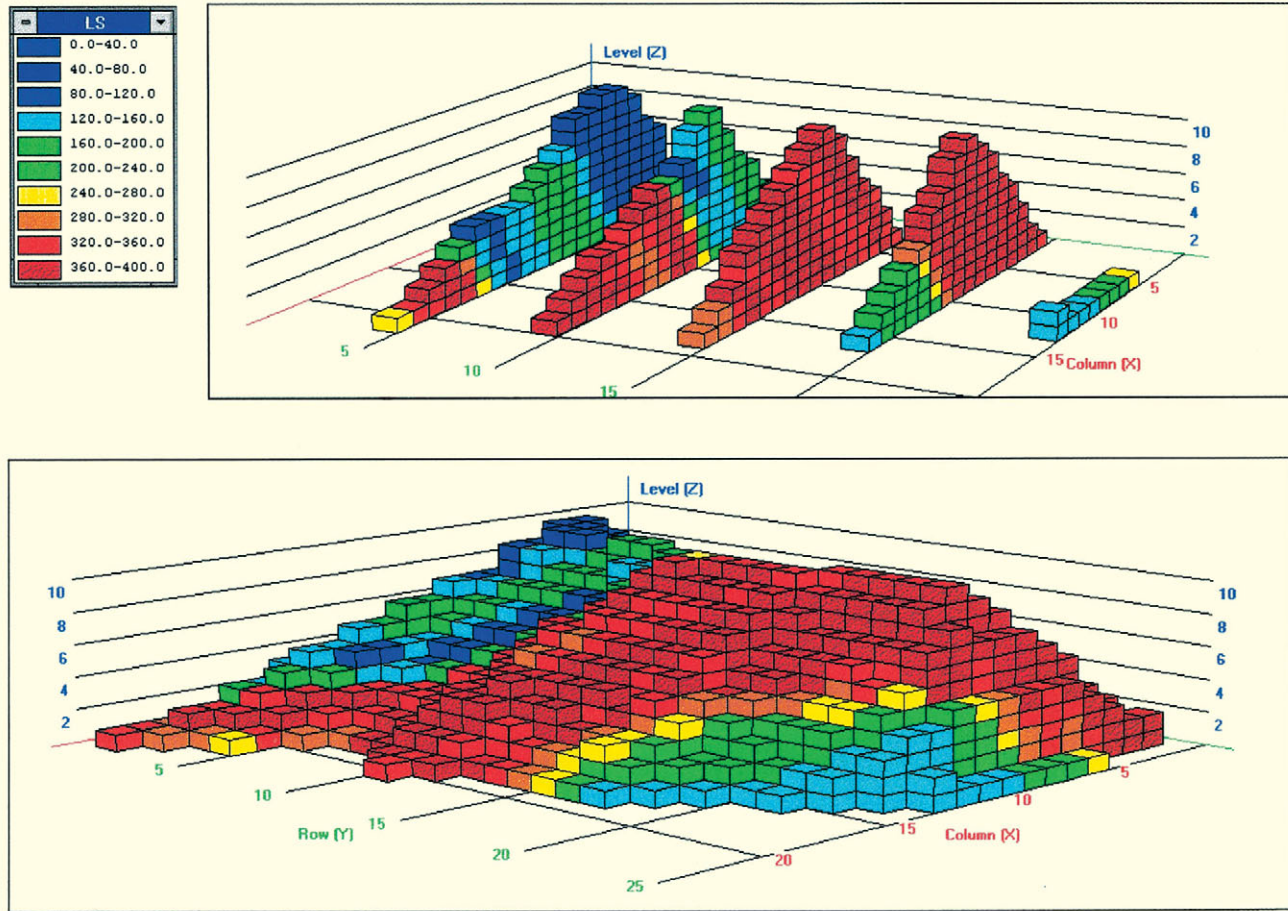
Aufgegliedert in Datenebenen, fliessen die folgenden primären geologischen Informationen ein:

- Geologische Elemente (flächendeckende Darstellung mittels Polygonen, welche Gesteinsformationen mit gleicher Beschreibung darstellen)
- Tektonische Elemente (z.B. Begrenzung tektonischer Einheiten, Überschiebungen, Brüche)
- Hydrogeologische Elemente (z.B. Begrenzung und Isohypsen von Grundwassergebieten, Quellen, Grundwasserfassungen)

- Geophysikalische Parameter (z.B. Datenebenen mit Isolinien geophysikalischer Angaben wie Magnetfeld, Seismik, Schwereanomalien, Geothermie)
- Quartärgeologische Signaturen (z.B. Moränenwälle, Drumlins)
- Bauten (z.B. Bohrungen, Bergbau)
- Kartographische Signaturen (z.B. nicht exakt ortsgebundene geologische Signaturen wie Rutschungs- oder Sackungszeichen, Bachschuttkegel).

Die Polygone der Basiskarte stellen die wichtigste Verknüpfung zu den Datentabellen dar. Jeder Fläche einer Karte wird eine Identifikationsnummer (ID) zugeordnet. Diese Nummer der Polygone wird zur Verknüpfung mit der Codierung der verschiedenen Tabellen mit Sachdaten genutzt, es wird ein sogenannter Schlüsselcode berechnet. Ein Beispiel der Verknüpfung eines Schlüsselcodes mit Sachdaten mehrerer Datenbanken ist in der [Abbildung 14.3](#) dargestellt. Der Vorteil eines solchen Codes liegt im direkten Verweis von der Polygonfläche (ID) auf Sachdaten, die ausserhalb des eigentlichen GIS liegen (externe Datenbanken) und in einer einfachen Programmierung von Sachabfragen aus dem Kartenbild. Nachteilig können sich die möglicherweise langen ID-Nummern auswirken. Beispiele von thematischen Ausdrucken aus einer digitalen geologischen Karte sind in der linken Spalte in [Abbildung 14.3](#) gegeben. Im [obersten Bild](#) wurde das Schwergewicht der Aussage auf die Chronostratigraphie gelegt, das heisst, es sind die Gesteinsschichten mit gleicher Altersabfolge anhand einer entsprechenden Farblegende zur Darstellung gebracht. Im [mittleren Bild](#) wurde die Gewichtung auf die Lithologie gelegt. Die zugehörige Farblegende bezeichnet in diesem Fall die Gesteinsarten und -eigenschaften im dargestellten Gebiet. Eine der vielen Möglichkeiten, welche sich mit dieser digitalen Grundkarte im Hinblick auf mineralische Rohstoffe realisieren lassen, ist im [untersten Teilbild](#) gezeigt. In einer bestimmten Region wurden für diese Abbildung die potentiellen Gesteinsserien für Kies herausgezogen. Dargestellt in verschiedenen Flächenfarben sind hochwertige Kiesvorkommen (Alluvialkiese der Talsohlen und verschiedene höhergelegene Schotter), minderwertige Kiesvorkommen (z.B. lehmhaltige Kiese), aber auch Festgesteine, die für eine allfällige Aufbereitung zu Schotter und Kies geeignet wären. Wird diese Informationskarte mit weiteren digitalen Karten und Plänen überlagert (Negativplanung), beispielsweise mit Gewässerschutzkarten, Richtplänen, Schutzgebieten, erhält man sehr schnell eine erste Information, wo Möglichkeiten für allfällige Abbaugelände existieren. Anwendungen in dieser Art sind vielerorts im Gebrauch.

# Blockmodell einer Kalklagerstätte Visualisierung der Rohstoffqualität anhand der Kalksättigung



14.4

Genauso wie bei konventionellen Karten gilt auch bei digitalen Karten das Prinzip des verantwortungsvollen Umganges mit den Grundlagendaten, respektive eine seriöse Auskunft darüber, welche Qualität von Stammdaten zur Erstellung verwendet wurde. Die Gefahr einer «Überinterpretation» bis hin zur Falschinformation ist bei elektronisch umformatierbaren Grunddaten eher noch grösser als in der konventionellen Kartentechnik. Im Auge behalten muss man die für die digitale Erfassung notwendigen Arbeitsschritte, die, je nach Projekt, verschieden gewichtet sein können. Darunter fallen die Kompilation und die Generalisation sowohl in geographischer Hinsicht wie auch in geologischer Art (Kartenmassstab, Zusammenfassung geologischer Einheiten, kartographische

Darstellung, Detailgenauigkeit etc.). Damit eine digitale Karte auch wirklich ein schnelles und dynamisches Werkzeug bleibt, muss die Nachführung der Grunddaten gewährleistet sein, ein arbeitsintensiver Punkt, der oft unterschätzt wird und der vielfach massive Folgekosten verursacht.

## 14.1.4 ROHSTOFFBEWIRTSCHAFTUNGSPROGRAMME

In der rohstoffverarbeitenden Industrie haben seit längerer Zeit verschiedenste elektronische Hilfsmittel von der langfristigen abbautechnischen Planung bis hin zur Produktionssteuerung Einzug gehalten. Waren früher nur Spezialisten durch den Einsatz von Grosscomputern in der Lage, eine

**Abbildung 14.4:** Blockmodell einer Kalklagerstätte. Anhand eines engmaschigen Bohr- und Analytikrasters der Lagerstätte können dreidimensionale Blockmodelle berechnet und dargestellt werden. Anhand von

Farbgrafiken (unterer Teil der Abbildung) kann aufgezeigt werden, wie sich ein bestimmter Rohstoffparameter – in diesem Fall die Kalksättigung – räumlich verhält. Für die Darstellung der Verhältnisse in

einem bestimmten Teil der Lagerstätte können aus dem Modell horizontale Schnitte, sogenannte Strossenkarten (oberer Teil der Abbildung), hergestellt werden. Ziel dieser Planung ist es, bei gleichblei-

bender Rohmischungsqualität alle unterschiedlichen Lagerstättenbereiche optimal nutzen zu können. (Quelle: Holderbank Management und Beratung AG; W. Baumgartner, Holderbank News 1/90).



optimierte Abbauplanung durchzuführen, sind heute dank den Fortschritten in der Mikroelektronik Einsätze auf verschiedenen Mitarbeiterstufen, bis hin zur Anwendung vor Ort möglich.

Bei den meisten Rohstoffbewirtschaftungsprogrammen kommt dabei eine wichtige Rolle dem *Blockmodell* zu. Ein Blockmodell ist eine vollständige dreidimensionale Beschreibung einer Lagerstätte mit dem Ziel, eine objektive, verlässliche und reproduzierbare Lagerstättenbeschreibung zu erhalten. Zur Berechnung des Modells wird die Lagerstätte in eine grosse Anzahl kleiner Blöcke unterteilt. Jeder Block repräsentiert eine Abbaumenge, die einer bestimmten Produktionszeit entspricht. Von Bohrungen und anderen Explorationsdaten ausgehend werden jedem Block mittels Interpolationsverfahren Kennwerte (z.B. Elementgehalte, Dichte) zugeordnet. Bohrergebnisse, geologische Untersuchungen, geochemische und geophysikalische Resultate werden in eine bestmögliche und einheitliche Lagerstättenbeschreibung umgewandelt. Das so entstehende Blockmodell ist also ein genaues Lagerstätteninventar.

Um geologisch und chemisch komplexe Lagerstätten bestmöglich zu nutzen und eine optimierte Abbauplanung zu integrieren, sind weiterführende, sogenannte Operations-Research-Methoden erforderlich (Quarry Scheduling Optimization, QSO). Während das Blockmodell den Zustand der Lagerstätte und insbesondere der Rohstoffreserven beschreibt, zeigt ein QSO in Form von Abbauplänen, wie man die Lagerstätte bestmöglich nutzen kann. Technisch durchführbare Abbaupläne, die natürlich immer die Rohmaterialanforderungen in Menge und Qualität erfüllen, werden auf der Grundlage von Lagerstättenkarten errechnet. Der Abbau im Steinbruch hat sich an diese Vorgaben zu halten. Die Resultate werden periodisch in Übersichts-Farbgrafiken oder auch in Form von horizontalen Schnitten (sogenannte Strossenkarten) dargestellt ([Abbildung 14.4](#)). Auch perspektivische Darstellungen der Steinbruchentwicklung können gezeigt werden. Hier wird teilweise auch die digitale Geländemodellierung integriert. Dadurch können detailgetreue Pläne und Projektionen der Steinbruchentwicklung dargestellt werden. Die je nach Lokalität, Dimension und Genauigkeit benötigten digitalen Datengrundlagen (Höhenlinien, Gewässernetze, Siedlungsdaten etc.) werden heute von verschiedenen offiziellen oder privaten Firmen angeboten (z.B. Bundesamt für Landestopographie, Bundesamt für Statistik) oder müssen selbst projektbezogen digitalisiert werden.

Ausschlaggebend ist in der Praxis einerseits die Sicherstellung einer kontinuierlichen Rohstoffversorgung vom Stein-

bruch bis zur Produktionsstätte und andererseits die wirtschaftliche Nutzung der verfügbaren Rohstoffe zu geringstmöglichen Kosten und über die längstmögliche Lebenszeit. Dabei sind auch von der Softwareseite her gewisse Regeln zu beachten. So kann beispielsweise – was im Steinbruch jedem Arbeiter klar ist – ein Block nur dann abgebaut werden, wenn der Block darüber bereits abgebaut ist und die Anordnung der benachbarten Blöcke einen Zugriff zulassen und wenn dadurch die Stabilität der Grube nicht beeinträchtigt wird. Die Kunst von speziellen QSO-Programmen liegt darin, mathematisch all diesen Umständen Rechnung zu tragen und einen realistischen Abbau vorzuschlagen. Bei aller Mathematik muss natürlich immer auch eine direkte Eingriffsmöglichkeit bestehen, das Programm muss laufend an die tatsächlichen Steinbruchbedingungen angepasst werden können. Rein numerische Lösungen fallen bei den meisten Rohstoffbewirtschaftungsprogrammen weg, vielmehr spielen das Zusammenwirken von Software und die langjährige Betriebserfahrung die Schlüsselrolle. Die Optimierungsverfahren variieren logischerweise in den einzelnen Industriezweigen stark.

Sowohl in der Zementindustrie wie auch in der Ziegelindustrie werden diese Programme seit einigen Jahren mit gutem Erfolg eingesetzt. Auch viele andere, rohstoffabbauende und rohstoffverarbeitende Industriezweige oder Beratungsfirmen setzen diese elektronischen Möglichkeiten ein. Es ist in diesem Rahmen nicht möglich, auf einzelne Programme im Detail einzugehen. Spezifische Informationen erhält man am besten direkt von den Spezialisten aus der betreffenden Industrie, aus entsprechenden Veröffentlichungen dieser Stellen oder aus Fachzeitschriften. Vielfach haben sich, wie auch im Bereich der Geographischen Informationssysteme, Benutzergruppen gebildet, mit der Absicht, innerhalb der einzelnen Programme gewisse Richtlinien und eine Konsistenz bei den Grundlagendaten einzuhalten.

## **LITERATUR**

Kapitel 1

Kapitel 2

Kapitel 3

Kapitel 4

Kapitel 5

Kapitel 6

Kapitel 7

Kapitel 8

Kapitel 9

Kapitel 10

Kapitel 11

Kapitel 12

Kapitel 13

Kapitel 14

---



## LITERATUR

Das Literaturverzeichnis ist Kapitelweise geordnet. Im Text wurde aus Gründen der Lesbarkeit darauf verzichtet, Literaturquellen wiederholt zu erwähnen oder nur schwer zugängliche Quellen zu zitieren. Umgekehrt wurden dem Literaturverzeichnis auch Werke, die zum besseren Verständnis eines Kapitels zur Lektüre empfohlen werden, beige-fügt.

### KAPITEL 1

- de Quervain, F. (1967): Technische Gesteinskunde. Birkhäuser Verlag, Basel.
- de Quervain, F. (1969): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. 3. Auflage. Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- de Quervain, F. & Gschwind, M. (1934): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. 1. Auflage. Verlag Hans Huber, Bern.
- de Quervain, F. & Gschwind, M. (1949): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. 2. Auflage. Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- Duparc, M. L. (1896): Notice sur les exploitations minérales de la Suisse. Edition Philippe Dürr, Genf.
- Fehlmann, H. (1919): Der schweizerische Bergbau während des Weltkrieges. Schweizerisches Volkswirtschaftsdepartement, Büro für Bergbau. Kümmerly & Frey, Bern.
- Fehlmann, H. (1947): Der schweizerische Bergbau während des II. Weltkrieges. Büro für Bergbau des eidgenössischen Kriegs-, Industrie- und Arbeitsamtes, Bern.
- Kissling, E. (1903): Die schweizerischen Molassekohlen westlich der Reuss. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 2.
- Kündig, E. & de Quervain, F. (1941): Fundstellen mineralischer Rohstoffe in der Schweiz, mit Karte 1:600'000. Kümmerly & Frey, Bern.
- Kündig, E. & de Quervain, F. (1953): Fundstellen mineralischer Rohstoffe in der Schweiz, mit Karte 1:600'000, Neuauflage. Kümmerly & Frey, Bern.
- Letsch, E. (1899): Die schweizerischen Molassekohlen östlich der Reuss. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 1.
- Letsch, E., Zschokke, B., Rollier, L. & Moser, R. (1907): Die schweizerischen Tonlager, mit Karte der schweizerischen Tonlager und Ziegeleien 1:530'000. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 4.
- Niggli, P., Grubenmann, U., Jeannot, A. & Moser, R. (1915): Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz, mit Karte der schweizerischen Steinbrüche in Bausteinen. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 5.
- Schmidt, C. (1910): Die Eisenerzvorräte der Schweiz. Sonderdruck aus «The iron ore resources of the world», Geologischer Kongress, Stockholm.
- Schmidt, C. (1917): Erläuterungen zur Karte der Fundorte von mineralischen Rohstoffen in der Schweiz, mit Karte 1:500'000. Verlag A. Francke, Bern.
- Schmidt, C. (1920): Texte explicatif de la carte des matières premières minérales de la Suisse. Birkhäuser & Cie., Basel.
- Weber, J. & Brosi, A. (1883): Karte der Fundorte von Rohprodukten in der Schweiz, 1:500'000, mit Text «Rohprodukte und deren Fundorte in der Schweiz» von H. Streng 1884. Zeitschrift für Schweizerische Statistik, Bern.

### KAPITEL 2

- Büchi, U. P., Wiener, G. & Hofmann, F. (1965): Neue Erkenntnisse im Molassebecken auf Grund von Erdöltiefbohrungen in der Zentral- und Ostschweiz. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 58/1, 87-108.
- de Quervain, F. (1969): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. 3. Auflage. Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.

- Dössegger, R., Furrer, H. & Müller, W.H. (1982): Die Sedimentserien der Engadiner Dolomiten und ihre lithostratigraphische Gliederung. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 75/2, 303-330.
- Funk, H. (1989): Evolution of the Northern margin of Tethys (Ed. by M. Rakús, J. Dercourt, A.E.M. Naiun). *Mémoires de la Société Géologique de France*, N8, 154/II, 139-141.
- Furrer, H., Eichenberger, U., Froitzheim, N. & Wurster, D. (1992): Geologie, Stratigraphie und Fossilien der Durankette und des Landwassergebietes (Silvretta-Decke, Ostalpin). *Eclogae Geologicae Helvetiae* 85/1, 245-256.
- Gubler, T. (1987): Zur Geologie der Oberen Süsswassermolasse zwischen Zürich und Zug. Diplomarbeit, geologisches Institut ETH-Zürich, Nr. 340.
- Labhart, T.P. (1992): Geologie der Schweiz. Ott Verlag Thun.
- NAGRA (1988): Sondierbohrung Weiach, Untersuchungsbericht NBT 88-08.
- Odin, G.S. (1994): Geological time scale. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 318, 59-71, Paris.
- Trümpy, R. (1980): Geology of Switzerland. Wepf & Co., Basel.
- Vonderschmitt, L. (1941): Bericht über die Exkursion der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft in den Südtessin, 30. September bis 2. Oktober 1940. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 32/2, 205-219.

### KAPITEL 3

- Baumgart, W., Dunhan, A.C. & Amstutz, G.C. (1984): Process mineralogy of ceramic materials. Enke Verlag, Stuttgart.
- Bender, W. (1991): Lexikon der Ziegel. Bauverlag Wiesbaden.
- Bender, W. & Händle, F. (1982): Handbuch für die Ziegelindustrie. Bauverlag Wiesbaden.
- Brodmann-Kern, P. et al. (1990): Die Ziegeleigrube Oberwil. Tätigkeitsberichte der Naturforschenden Gesellschaft Baselland 36, 5-74.
- Brownell, W.E. (1976): Structural clay products. Springer-Verlag, Wien/New York.
- Büchi, U.P. & Schlanke, S. (1977): Zur Paläogeographie der Schweizerischen Molasse. *Erdöl-Erdgas-Zeitschrift* 93.
- Caillere, S. & Henin, S. (1963): Minéralogie des argiles. Edition Masson, Paris.
- Caillere, S., Henin, S. & Rautureau, M. (1989): Les argiles. Edition Septima, Paris.
- de Quervain, F. (1967): Technische Gesteinskunde. Birkhäuser Verlag Basel und Stuttgart.
- de Quervain, F. (1969): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. 3. Auflage. Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- de Quervain, F. & Friedländer, C. (1942): 1. Nachtrag zu: Chemismus schweizerischer Gesteine, mit tabellarischer Zusammensetzung der Gesteins- und Mineralanalysen von 1930-1941. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 20.
- de Quervain, F. & Gschwind, M. (1934): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. 1. Auflage. Verlag Hans Huber, Bern.
- de Quervain, F. & Gschwind, M. (1949): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. 2. Auflage. Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- de Quervain, F. & Jenny, V. (1956): 2. Nachtrag zu: Chemismus schweizerischer Gesteine, mit tabellarischer Zusammensetzung der Gesteins- und Mineralanalysen von 1942-1955. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 34.
- Fürst, D. (1993): Ziegeleirohstoffe und Phonolithzusatz. Diplomarbeit, Institut für Mineralogie und Petrographie, Universität Fribourg.
- Geyer, O. & Gwinner, M. (1986): Geologie von Baden-Württemberg. 3. Auflage. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Hartmann, A. (1950): Der untere braune Jura des Aargau als wichtigster zukünftiger Tonlieferant der Schweiz. Mitteilungen der Aargauischen Naturforschenden Gesellschaft XXIII, 3-20.
- Heim, D. (1990): Tone und Tonminerale. Enke Verlag, Stuttgart.
- Iberg, R. (1971): Beitrag zur Thermochemie von Ziegelton. *Tonindustrie-Zeitung* 95/3, 79-81.

- Iberg, R. (1981): Der Tondachziegel - ein hochwertiger Silikatbaustoff. Schweizer Ingenieur und Architekt 18.
- Iberg, R. (1986): Gebrannter Ton - ein besonderer Bauwerkstoff. Schweizerische Ziegelindustrie, „element“, Nr. 26.
- Iberg, R., Peters, Tj. & Mumenthaler, Th. (1972): Beitrag zur Thermochemie von Ziegelton. Tonindustrie-Zeitung 96/2, 34-37.
- Koch, R. (1923): Geologische Beschreibung des Beckens von Laufen. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz 48.
- Letsch, E., Zschokke, B., Rollier, L., Moser, R. & Grubenmann, U. (1907): Die schweizerischen Tonlager. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 4.
- Matile, Ch. & Weidmann, D. (1978): Tuiles anciennes du Pays de Vaud. Chantier 4.
- Meyer, Ch., Kaufmann, B. & Keller, H.J. (1984): Das Mikrogefüge grobkeramischer Scherben. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 63.
- Millot, G. (1964): Géologie des argiles. Edition Masson, Paris.
- Müller, W.H. et al. (1984): Geologische Spezialkarte der zentralen Nordschweiz 1:100'000, Blatt Nr. 121, mit Erläuterungen. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA) und Schweizerische Geologische Kommission, Zürich.
- Mumenthaler, Th. (1979): Zusammensetzung und Verwertbarkeit von schweizerischen Kiesschlamm im hydrothermalen Härungsprozess. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 58.
- Mumenthaler, Th., Peters, Tj. & Iberg, R. (1987): Kiesschlammverwertung, ein Beitrag zur Nutzbarmachung und Bewirtschaftung stark verlehmt Kiesvorkommen. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 71.
- Mumenthaler, Th., Peters, Tj. & Weidmann, M. (1981): Niveau de bentonite dans la molasse grise de Lausanne (USM-«Aquitaniens»). *Eclogae Geologicae Helvetiae* 73/3, 639-650.
- NAGRA (1988): Sedimentstudie - Zwischenbericht 1988: Möglichkeiten zur Endlagerung langlebiger radioaktiver Abfälle in den Sedimenten der Schweiz. NTB 88-25.
- NAGRA (1990): Sedimentäre Architektur der distalen Unteren Süsswassermolasse. NTB 90-41.
- Niggli, P., de Quervain, F. & Winterhalter, R.U. (1930): Chemismus schweizerischer Gesteine. Kümmerly & Frey AG, Bern.
- Peters, Tj. (1961): Tonmineralogische Untersuchungen an Glazialmergeln von Zollikofen und an aquitanen Tonen und Mergeln von Pieterlen. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 41/1.
- Peters, Tj. (1962): Tonmineralogische Untersuchungen an Opalinuston und einem Oxfordienprofil im Schweizer Jura. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 42/2, 359-380.
- Peters, Tj. (1964): Tonmineralogische Untersuchungen an einem Keuper-Lias-Profil im Schweizer Jura (Frick). Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 44/2, 559-588.
- Peters, Tj. (1969a): Tonmineralogische Untersuchungen an einigen schweizerischen Ziegleirohstoffen. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 49, 391-405.
- Peters, Tj. (1969b): Tonmineralogie einiger Glazialablagerungen im schweizerischen Mittelland. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 62/2, 517-525.
- Peters, Tj. & Iberg, R. (1978): Mineralogical changes during firing of calcium-rich brick clays. *American Ceramic Society Bulletin* 57/5, 503-506.
- Peters, Tj., Iberg, R. & Mumenthaler, Th. (1982): Kiesschlamm als potentieller Rohstoff? Schweizer Ingenieur und Architekt 19.
- Peters, Tj. & Jenni, J.P. (1973): Mineralogische Untersuchungen über das Brennverhalten von Ziegeltonen. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 50.
- Peters, Tj. & Mumenthaler, Th. (1977): Mineralische Baustoffe - Chance für die Schweiz. Neue Zürcher Zeitung, Forschung und Technik, 3. August 1977.
- Peters, Tj., Mumenthaler, Th. & Jenni, J.P. (1972): Mineralogische und technologische Untersuchungen an Ziegeltonen aus der Molasse der NE-Schweiz. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 52/2, 331-348.
- Salmang, H. & Scholze, H. (1968): Die physikalischen und chemischen Grundlagen der Keramik. Springer-Verlag, Berlin, 450 S.
- Schulle, W. (1990): Feuerfeste Werkstoffe. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.
- Sigg, J. (1950): Einige Bemerkungen zur Trocknung in der Grobkeramik. *Die Ziegelindustrie* 19, 418 - 420.
- Sigg, J. (1991): Les produits de terre cuite. Edition Septima, Paris.
- Sigg, J. & von Steiger, J. (1950): Contribution à l'étude des marnes bleues de la région d'Allschwil (Bâle-Campagne). *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 64.
- Zschokke, B. (1907): Resultate der technologischen Untersuchungen der schweizerischen Tone. Aus: Letsch, E., Zschokke, B., Rollier, L., Moser, R. & Grubenmann, U. (1907): Die schweizerischen Tonlager der Schweiz. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 4.

## VERORDNUNGEN

Luftreinhalte-Verordnung LRV vom 16. Dezember 1985, LRV: SR 814.318.142.1

## KAPITEL 4

- Bühler, Ch. (1986): Untersuchung über die Verwendung karbonatreicher Mergel als Rohstoff für die Herstellung hydrothermalgehärteter Baustoffe (Teil 1). Untersuchung des Mikrogefüges hydrothermalgehärteter Erzeugnisse (Teil 2). Experimenteller Teil: Reaktion von Tonmineralien bei der hydrothermalen Härtung. Dissertation, Institut für Mineralogie und Petrographie, Universität Bern.
- de los Cobos, G. (1994): Valorisation des boues de lavage de graviers dans le domaine du stockage d'eau chaude et de la rétention de substances polluantes. Thèse, Science, EPF Lausanne, Nr. 1216.
- de Quervain, F. (1969): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. 3. Auflage. Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- de Quervain, F. & Jenny, V. (1956): 2. Nachtrag zu: Chemismus schweizerischer Gesteine, mit tabellarischer Zusammensetzung der Gesteins- und Mineralanalysen von 1942-1955. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 34.
- Gundlach, H. (1973): Dampfgehärtete Baustoffe. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin.
- Haller, P., Kollbrunner, C.F. & Iberg, R. (1969): Aktivierter Ton (Röstton-Verfahren). Institut für bauwissenschaftliche Forschung, Zürich.
- Hermanns, R.U.K. (1992): Sicherung von Altlasten mit vertikalen mineralischen Barriersystemen im Zweiphasen-Schlitzwandverfahren. Dissertation ETH-Zürich, Nr. 9833.
- Hofmann, F. (1956a): Sedimentpetrographische und tonmineralogische Untersuchungen an Bentoniten der Schweiz und Südwestdeutschlands. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 49/1, 113-133.
- Hofmann, F. (1956b): Zur Frage der Entstehung des glimmerartigen Tons in der Trias des Monte Caslano, Kanton Tessin. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 36/2, 489-496.
- Hofmann, F. (1960): Beitrag zur Kenntnis der Glimmersandsedimentation in der Oberen Süsswassermolasse der Nord- und Nordostschweiz. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 53/1, 1-25.
- Hofmann, F. (1981): Erläuterungen zu Blatt 1031 Neunkirch des geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000. Schweizerische Geologische Kommission, Zürich.
- Hofmann, F. (1991): Geologische Raritäten auf dem Reiat. *Schaffhauser Magazin* 2/91, 17-18.
- Hofmann, F., Büchi, U.P., Iberg, R. & Peters, Tj. (1975): Vorkommen, petrographische, tonmineralogische und technologische Eigenschaften von Bentoniten im schweizerischen Molassebecken. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 54.
- Hofmann, F. & Bühl, H. (1982): Überprüfung zweier schweizerischer Ultramafitit-Vorkommen zur Gewinnung von Olivinsand als Giesseireiformstoff. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 62/1, 135-144.



- Hofmann, F. & Hantke, R. (1964): Erläuterungen zu Blatt 1032 Diessenhofen des geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000. Schweizerische Geologische Kommission, Zürich.
- Hofmann, F. & Peters, Tj. (1969): Untersuchungen über die Verwendbarkeit schweizerischer Rohstoffe als Bindetone für Giessereiformsande. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 47.
- Lang, H.J. & Huder, J. (1994): Bodenmechanik und Grundbau: das Verhalten von Böden und die wichtigsten grundbaulichen Konzepte. Springer, Berlin.
- Lemcke, K. (1985): Flussfracht von Ur-Main und Ur-Naab in der Schweiz und im deutschen Molassebecken. Bulletin der schweizerischen Vereinigung von Petroleum-Geologen und -Ingenieuren 51/121, 13-21.
- Litzow, K. (1984): Keramische Technik: Vom Irdengut zum Porzellan. Verlag G. Callway, München.
- Magyar, St. & von Moos, A. (1947): Der glimmerartige Ton in der Trias des Monte Caslano, Kanton Tessin. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 27/1, 21-34.
- Maha, D. (1994): Bodenmechanische Eigenschaften schweizerischer Tone und toniger Kiese bei Kontakt mit Deponiesickerwässern. Veröffentlichungen des Instituts für Geotechnik der ETH Zürich 207, vdf Hochschulverlag, Zürich.
- Müller-Vonmoos, M. & Jenny, F. (1970): Einfluss der Beschaffung auf Körnung, rheologische Eigenschaften, Sedimentationsverhalten und Injizierbarkeit wässriger Opalit Suspensionen. Beiträge zur Geologie der Schweiz, kleinere Mitteilungen 50.
- Mumenthaler, Th. (1979): Zusammensetzung und Verwertbarkeit von schweizerischen Kiesschlammern im hydrothermalen Härtungsprozess. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 58.
- Mumenthaler, Th. & Peters, Tj. (1977): Vergleichende Untersuchungen über das Verhalten von reinem Quarzsand und einem fluvioglazialen Sand aus dem schweizerischen Mittelland bei der hydrothermalen Härtung von Baustoffen. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 47.
- Mumenthaler, Th., Peters, Tj. & Weidmann, M. (1981): Niveau de bentonite dans la molasse grise de Lausanne (USM-«Aquitaniens»). *Eclogae Geologicae Helveticae* 73/3, 639-650.
- NAGRA (1988): Sedimentstudie-Zwischenbericht 1988: Möglichkeiten zur Endlagerung langlebiger radioaktiver Abfälle in den Sedimenten der Schweiz. NBT 88-25.
- Niggli, P. & von Moos, A. (1941): Bestandesaufnahme der schweizerischen Quarz- und Formsandvorkommen. Interner Bericht, Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- Peters, Tj., Iberg, R. & Mumenthaler, Th. (1978): Comparative study of the use of a quartz poor sand for lime silice bricks and the kinetics of the hydrothermal hardening mechanism. *Cement and Concrete Research* 8, 415-424.
- Salmang, H. & Scholze, H. (1983): Keramik, Teil 2: Keramische Werkstoffe. Springer Verlag, Berlin.
- Schalch, F. (1916): Erläuterungen zu Blatt 145 Wiechs-Schaffhausen der geologischen Spezialkarte des Grossherzogtums Baden 1:25'000. Badische geologische Landesanstalt, Baden-Baden und Schweizerische Geologische Kommission, Zürich.
- Schlatter, R. (1990): Bodenschatz Kalkstein. Hemmentaler Heimatbuch, 900 Jahre Hemmenthal, 46-54.
- Schulle, W. (1990): Feuerfeste Werkstoffe. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.
- Teutsch, R. & Hofmann, F. (1978): Flotierbarkeit von mässig quarzhaltigen, karbonat- und feldspatführenden einheimischen Sanden. Interner Bericht an die Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- von Moos, A. (1942): Über Vorkommen und Abbau von Giessereiformstoffen in der Schweiz. *Eclogae Geologicae Helveticae* 34.
- Winkler, W., Galetti, G. & Maggetti, M. (1985): Bentonite im Gurnigel-, Schlieren- und Wägital-Flysch: Mineralogie, Chemismus, Herkunft. *Eclogae Geologicae Helveticae* 78/3, 545-564.
- Zraggen, P. & Peters, Tj. (1980): Verwertbarkeit karbonathaltiger Molassesandsteine als Rohstoffe für dampfgehärtete Baustoffe. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 59.
- Zweifel, H. & de Quervain, F. (1954): Der Biotit-Apatit-Schiefer des P. Corandoni (Val Cadlimo, Tessin) Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 32.

## NORMEN UND VERORDNUNGEN

- ISO-Norm 1109 (1975): Feuerfeste Erzeugnisse; Klassifikation von dichten, feuerfesten Erzeugnissen.
- ISO/R-Norm 836 (1968): Vokabular für die Industrien feuerfester Baustoffe.
- SIA-Norm 203 (1997): Deponiebau
- Technische Verordnung über Abfälle TVA vom 10. Dezember 1990, SR 814.015

## KAPITEL 5

- Abele, G. (1970): Bergstürze und Flutablagerungen im Rheintal W-Chur. Aufschluss 21, 345-359
- Arbeitsgruppe Gestaltung Rafzerfeld (1992): Gesamtkonzept zum Kiesabbau und zur Gestaltung des Rafzerfeldes. Bericht im Auftrag der Baudirektion des Kantons Zürich.
- Arbeitsgemeinschaft Rohstoffversorgungskonzept Steine und Erden Kanton Aargau ARGE RVK (1995): Rohstoffversorgungskonzept Steine und Erden für den Kanton Aargau. Koordinationsstelle der aargauischen Kies- und Transportbetonverbände, Brugg.
- Bourquin, P. et al. (1968): Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000, Blatt Val de Ruz, Nr. 51. Kümmerly & Frey, Geographischer Verlag Bern.
- de Quervain, F. & Frey, D. (1963): Geotechnische Karte der Schweiz, 2. Auflage. Kümmerly & Frey, Geographischer Verlag Bern.
- de Quervain, F. (1969): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. 3. Auflage Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich (1996): Rohstoffkarte Kies des Kantons Zürich. Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau, Amt für Raumplanung.
- Eisenmann, J. & Neumann, U. (1989): Untersuchung des Einflusses der Brechkornzusätze in bituminösen Tragschichten auf die Spurrinnenbildung. Bonn-Bad Godesberg: Bundesminister für Verkehr, Abteilung Strassenbau 77.
- Frei, E. et al. (1974): Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000, Blatt Neuchâtel, Nr. 67. Kümmerly & Frey, Geographischer Verlag Bern.
- Freimoser, M. & Locher, T. (1980): Gedanken zur pleistozänen Landschaftsgeschichte im nördlichen Teil des Kantons Zürich aufgrund hydrogeologischer Untersuchungen. *Eclogae Geologicae Helveticae* 73/1, 251-270.
- Gsell, R. (1918): Beitrag zur Kenntnis der Schuttmassen im Vorderrheintal. Naturforschende Gesellschaft Graubünden, 58
- Hahn, U. (1990): Brechsand-Handbuch: Brechsand als Beton-Zuschlag: Anforderung, Aufbereitung, Verwendung. Bonner Bundesverband, Naturstein Industrie.
- Jäckli, H. & Schindler, C. (1986): Möglichkeiten der Substitution hochwertiger Alluvialkiese durch andere mineralische Rohstoffe. NFP 4. 294. 079.07. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 68.
- Küttel, M. (1989): Jungpleistozän-Stratigraphie der Zentralschweiz. In Rose, J. & Ch. Schlüchter (ed.): Quartarnary type sections - Imagination or reality. Balkema Rotterdam, 179-192.
- Mühlberg, F. (1901): Geologische Karte der Lägernkette, 1:25'000, mit Erläuterungen. Geologische Spezialkarte 3.
- Müller, B.U. (1988): Zur Geologie des unteren Luthertales (LU). Diplomarbeit der philosophischen Fakultät II, Universität Zürich.
- Nabholz, W. (1975): Geologischer Überblick über die Schiefersackungen des mittleren Lugnez und über das Bergsturzgebiet Ilanz-Flims Reichenau-Domleschg. Bulletin der Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und Ingenieuren 42/101.
- Niggli, P. & de Quervain, F. ([1934]: Geotechnische Karte der Schweiz, 1:200'000, 1. Auflage. Kümmerly & Frey, Geographischer Verlag Bern.
- Pavoni, N. (1968): Über die Entstehung der Kiesmassen im Bergsturzgebiet von Bonaduz-Reichenau (Graubünden). *Eclogae Geologicae Helveticae* 61/2, 494-500.

- Pavoni, N., Jäckli, H. & Schindler, C. (1992): Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000, Blatt Zürich, Nr. 90. Landeshydrologie und -geologie.
- Schär, U. et al. (1971): Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000, Blatt Bielersee, Nr. 60. Kümmerly & Frey, Geographischer Verlag Bern.
- Schlüchter, Ch. (1983): Die Bedeutung der angewandten Quartärgeologie für die eiszeitgeologische Forschung in der Schweiz. Physische Geographie 11, 59–72, Geographisches Institut, Universität Zürich.
- Studer, W. (1988): Untersuchungen zur Beziehung zwischen der Korngrößenverteilung und der Siebkurve. EMPA Untersuchungsbericht Nr. 11'300/1, Dübendorf.
- Trümpy, R. & Trommsdorff, V. (1980): Alps of Eastern Switzerland. In *Geology of Switzerland, Part B*: 211–260. Wepf & Co Publishers, Basel, New York
- Weber, J. & Studer, W. (1990): Untersuchungen zur Zertrümmerungsprüfung. EVED FA Nr. 8/86, Bericht Nr. 193, Verband Schweizerischer Strassenfachleute, Zürich und EMPA, Dübendorf.
- Wegmüller, S. (1992): Vegetationsgeschichtliche und stratigraphische Untersuchungen an Schieferkohlen des nördlichen Alpenvorlandes. Denkschriften des schweizerischen Akademie für Naturwissenschaften, Band 2. Birkhäuser Verlag.
- Wettstein, A. (1885): Geologie von Zürich und Umgebung. Geologische Karte, Blatt Zürich, 1:40'000. Wurster-Verlag, Zürich.
- NORMEN UND VERORDNUNGEN**
- SIA-Norm 162/1 (1989): Betonbauten; Materialprüfung.
- SN-Norm 670710 d (1988): Sand, Kies, Splitt und Schotter für Beläge.
- Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz) GSchG vom 24. Januar 1991, SR 840.20.
- Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz) USG vom 7. Oktober 1983, SR 814.01.
- Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz) WaG, 4. Oktober 1991, SR 921.0
- Bundesgesetz über die Landwirtschaft (Landwirtschaftsgesetz) LWG vom 3. Oktober 1951, SR 910.0.
- Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz) RPG vom 22. Juni 1979, SR 700.
- Lärmschutz-Verordnung LSV vom 15. Dezember 1986, SR 814.331.
- Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung UVPV vom 19. Oktober 1988, SR 814.011.
- KAPITEL 6**
- GESTEINSKUNDE, STEINBRÜCHE, NATURSTEINTECHNIK**
- de Quervain, F. (1967): Technische Gesteinskunde. 2. Auflage, Birkhäuser Verlag, Basel/Stuttgart.
- de Quervain, F. (1969): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. 3. Auflage, Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- Deutscher Naturwerksteinverband (1988): Bauen mit Naturwerkstein. Bautechnische Informationen. Deutscher Naturwerkstein-Verband, Würzburg.
- DIN-Taschenbuch (1979): Naturwerksteinarbeiten, Betonwerksteinarbeiten VOB/SILB, Beuth Verlag, Berlin
- Eckhardt, P. (1988): Natursteine aus der Schweiz und der übrigen Welt. Bulletin der Vereinigung schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure 54/126.
- Félix, C. (1993): Caractéristiques des grès du plateau suisse, Procès-Verbal, Nr. 30/93/LCP. Laboratoire de Conservation de la Pierre, Lausanne.
- Leisi, E. & Stutz, W. (1987): Zürcher Fassaden, Verlag NZZ Zürich.
- Naturstein (1997): Technische Informationen Naturstein. Naturstein-Verband Schweiz, Bern.
- Niggli, P., Grubenmann, U., Jeannet, A. & Moser, R. (1915): Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 5.
- Reinsch, D. (1991): Natursteinkunde, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Schwarz, H. (1983): Die Steinbrüche in der Schweiz. Dissertation der philosophischen Fakultät II, Universität Zürich.
- Schweizerische Arbeitsgesellschaft Pro Naturstein (1995): Musterordner, Farbtafeln A4 von fast allen schweizerischen Naturbausteinen. Pro Naturstein, Bern.
- Singewald, C. (1992): Naturwerkstein, Exploration und Gewinnung. Verlag Rudolf Müller, Köln.
- Stadler, R. (1981): Der Bollinger und Uznaberger Sandstein. Verband Schweizerischer Bildhauer- und Steinmetzmeister, Bern. Kunst und Stein 26/6, 16–22.
- Stadler, R. (1981): Der Lägern-Kalksteinbruch bei Regensberg ZH. Verband Schweizerischer Bildhauer- und Steinmetzmeister, Bern. Kunst und Stein 26/3, 12–17.
- Stadler, R. (1982): Der Solothurner-Marmor aus dem Jura. Verband Schweizerischer Bildhauer- und Steinmetzmeister, Bern. Kunst und Stein 27/2, 15–20.
- Stauffer, J. (1991): Zürich lag einst im Bollingerwald. Turicum Herbst 1991.
- Villwock, R. (1966): Industriegesteinskunde. Stein Verlag, Offenbach/Main.
- Wilcke, H. & Thunig, W. (1986): Gewinnen, Bearbeiten und Versetzen von Werkstein. 4. Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin.
- HISTORISCHES**
- Association Vaudoise des Métiers de la Pierre (1995): Charte d'éthique et de bienfaisance professionnelle. Editions chantiers SA, Montreux.
- Birkner, O. (1975): Bauen und Wohnen in der Schweiz 1850 bis 1920. Artemis Zürich.
- Bissegger, P. (1980): Une dynastie d'artisans vaudoise: les marbriers Doret. Zeitschrift für schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte 37/2, 97–122.
- Bissegger, P. (1980b): Noir, brun, rouge, violet et jaspe: les marbres du Chablais vaudois. In: Von Farbe und Farben. Veröffentlichungen des Instituts für Denkmalpflege, Band 4. Manesse, Zürich.
- Cuendet, J.P. (1986): Lemaniquement Voté. Les Bateaux. Slatkine.
- de Quervain, F. (1979): Steine schweizerischer Kunstdenkmäler. Neu bearbeitete Sammlung von Abhandlungen aus den Jahren 1961–1978. Manesse, Zürich.
- de Quervain, F. (1982): Geologisch-petrographische Notizen über Steinanwendungen an historischen Bau- und Bildwerken in der Schweiz. Schweizerische geotechnische Kommission, Zürich.
- de Quervain, F. (1983–1985): Gesteinsarten an historischen Bau- und Bildwerken der Schweiz. 10 Bände. Institut für Denkmalpflege ETH Zürich.
- Département des travaux publics Genève (1984): La pierre - provenance Merkblatt, Département des travaux publics, Genève.
- Dipartimento dell'Ambiente Ticino (1985): 2000 anni di pietra ollare. Quaderni d'informazione 11. Ufficio cantonale dei monumenti storici, Bellinzona.
- Drack, W. & Fellmann, R. (1988): Die Römer in der Schweiz. Verlag Raggi, Stuttgart und Theiss, Jona SG.
- Gähwiler, A. (1981): Geschichte und Technik der historischen Lavezverarbeitung. Lapis 3/19, Christian Weise Verlag, München.
- Grimm, W.D. (1990): Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine. Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München.
- Hebeisen, K. (1993): Ein Stonenge oder Carnac am Neuenburgersee. «Der Bund» 7.8.93, Bern.
- Herger, F. (1987): 700 Jahre Wassen. Einwohnergemeinde, Wassen
- Holliger, C. & Pfeifer, H.R. (1982): Lavez aus Vindonissa. Jahrbuch Geschichte Pro Vindonissa, 11 64.
- Kissling Richard, Leben und Werk (1988). Katalog zur Ausstellung des Danioth Rings, Kunst- und Kulturverein Uri.
- Labhart, T. (1989): Marmor und Baustein aus dem Berner Oberland. Aus Jahrbuch vom Thuner- und Brienersee, Uferschutzverband Thuner- und Brienersee, Thun.
- Labhart, T. & Thierstein, F. (1987): Die Steine des Parlamentsgebäudes. Mitteilungen der naturforschenden Gesellschaft Bern, NF 44, 203–235.
- Mehling, G. (1993): Natursteinlexikon, 4. Auflage, Callway, München.
- Moser, A. (1970): Beiträge zur Geschichte der älteren Steinbearbeitung in der Westschweiz. Dissertation Universität Freiburg.
- Moser, A. (1974): Steinmetzarbeit nach den Darstellungen der Berner



- Bilderchroniken des Diebold Schilling. Verband Schweizerischer Bildhauer- und Steinmetzmeister, Bern. Kunst und Stein, 4/11-14.
- Moser, A. (1980): Zur Farbwirkung des ockergelben Neuenburgersteins. In: Von Farbe und Farben. Veröffentlichungen des Instituts für Denkmalpflege, 4/ 73-78, Manesse, Zürich.
- Pfeifer, H.R. (1989): Wenig bekannte Beispiele von ehemaliger Laveausbeutung in den südlichen Alpentälern. *Minaria Helvetica* 9/ 8-54, Zeitschrift der Schweizerischen Gesellschaft für Historische Bergbauforschung.
- Schelbert, U. (1992): Die Schieferarbeiter und ihr Handwerk. *Minaria Helvetica* 12b/ 83-106, Zeitschrift der Schweizerischen Gesellschaft für Historische Bergbauforschung.
- BRECHKIESE UND SCHOTTER**
- Blumer, M. (1989): Verwendung von felsgebrochenem Hartsplitt für die Herstellung von Asphaltbelägen. Die Schweizer Baustoff-Industrie 8.
- Bundesverband Naturstein-Industrie (1993): Mineralbeton, Tragschichten ohne Bindemittel aus Naturgestein, 5. Auflage, Eigenverlag, Bonn.
- Bundesverband Naturstein-Industrie (1993): Splittbeton, Qualitätseigenschaften, Herstellung, Verarbeitung und Verwendung. 4. Auflage, Eigenverlag, Bonn.
- Caprez, M. (1985): Geotechnische Untersuchung von Brechschotter. Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Strassenbau (Forschungsauftrag 26/81, VSS).
- Cementbulletin (1981): Beton mit gebrochenem Zuschlagsmaterial. Technische Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizerischen Zementindustrie, Wildeg, Cementbulletin 49/21.
- Cementbulletin (1984): Über den gebrochenen Zuschlag und das Wassermengenzementwertgesetz. Technische Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizerischen Zementindustrie, Wildeg, Cementbulletin 52/9.
- Eisenmann, J. & Neumann, U. (1989): Untersuchung des Einflusses der Brechkornzusätze in bituminösen Tragschichten auf die Spurrinnenbildung. Bundesminister für Verkehr, Abteilung Strassenbau, Heft für Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik 577, Bonn.
- Fenz, G. et al. (1991): Prüfung des Verformungsverhaltens von Rund-, Kant- und Brechkörnungen im Spurrinentest. Schriftenreihe Strassenforschung 390, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien.
- Hahn, U. (1990): Brechsand-Handbuch: Brechsand als Betonzuschlag – Anforderung, Aufbereitung, Verwendung. Bundesverband Natursteinindustrie, Bonn.
- Hirt, R. (1992): Unterhalt von Wald- und Güterstrassen. Departement für Wald- und Holzforchung, Forstliches Ingenieurwesen, ETH Zürich.
- Humm, W., Junker, J. & Neubauer, V. (1989): Polierwiderstand von Mineralstoffen. Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Strassenbau (Forschungsauftrag 10/86, VSS).
- Jäckli, H. & Schindler, C. (1986): Möglichkeiten der Substitution hochwertiger Alluvialkiese durch andere mineralische Rohstoffe. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 68.
- Junker, J.P. (1981): Haftfestigkeit bituminöser Bindemittel am Gestein. Eidgenössisches Departement des Innern, Bundesamt für Strassenbau (Forschungsauftrag 4/73, VSS).
- Kuonen, V. (1983): Wald- und Güterstrassen. Planung, Projektierung, Bau. Eigenverlag, Pfaffhausen.
- Partl, M.N. & Fritz, H.W. (1993): Asphaltbetonfahrbahnen für starke Verkehrsbeanspruchung. Bitumen, Heft 3, Arbeitsgemeinschaft der Bitumenindustrie, Berlin.
- Stahel, A. (1968): Die Eignung von Splitten verschiedener schweizerischer Steinbrüche für den Bau von Strassenbelägen. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 45.
- Wesche, K. (1993): Baustoffe für tragende Bauteile: Beton, Mauerwerk; Herstellung, Eigenschaften, Verwendung, Dauerhaftigkeit, Band 2. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin.
- SCHÄDIGUNG UND ERHALTUNG VON NATURSTEIN**
- Arnold, A. (1985): Moderne alkalische Baustoffe und die Probleme bei der Konservierung von Denkmälern. Natursteinkonservierung, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München, Arbeitsheft 31, 152-162.
- Arnold, A. (1991): Monitoring of wall paintings affected by soluble salts. The Conservation of Wall Paintings, Getty Conservation Institute, 103-135.
- Bonnard, P. (1977): Les fontaines des campagnes vaudoises. Editions 24 heures.
- Brun, E. (1992): Der Glarner Landesplattenberg, Engi. *Minaria Helvetica* 12b/107-120, Zeitschrift der Schweizerischen Gesellschaft für Historische Bergbauforschung.
- de Quervain, F. (1945): Verhalten der Bausteine gegen Witterungseinflüsse in der Schweiz, Teil I. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 23.
- de Quervain, F. & Jenny, V. (1951): Verhalten der Bausteine gegen Witterungseinflüsse in der Schweiz, Teil II. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 30.
- Girardet, F. & Furlan V. (1982): Mesure de la vitesse d'accumulation de composés soufrés sur des éprouvettes de pierres exposées en atmosphère rurale et urbaine. Fourth International Congress Deterior. Preservation Stone objects, Louisville, Kentucky, 159-168.
- Hirschwald, J. (1911): Technische Gesteinsprüfung. Gebrüder Bornträger, Berlin.
- Kieslinger, A. (1932): Zerstörungen an Steinbauten, ihre Ursachen und ihre Abwehr. Deuticke, Leipzig.
- Snethlage, R. (1984): Steinkonservierung. Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Arbeitsheft 22, München.
- Zehnder, K. (1982): Verwitterung von Molassesandsteinen an Bauwerken und in Naturaufschlüssen. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 61.
- VERORDNUNGEN UND NORMEN**
- BS 812 (1990): Prüfvorschrift Polished Stone Values, Teil 110-114.
- DIN-Norm 1053 (1996): Mauerwerk, Teil 1.
- DIN-Norm 18332 (1996): ATV: Naturwerksteinarbeiten.
- DIN-Norm 18515 (1993): Aussenwandverkleidungen: Angemörtelte Fliesen und Platten; Grundsätze für Planung und Ausführung, Teil 1.
- DIN-Norm 18515 (1993): Aussenwandbekleidung: Anmauerung auf Aufstandsflächen; Grundsätze für Planung und Ausführung, Teil 2.
- DIN-Norm 18516 (1990): Aussenwandverkleidung; hinterlüftet, Teil 1.
- DIN-Norm 18516 (1990): Aussenwandverkleidung; hinterlüftet, Teil 3.
- DIN-Norm 51097 (1992): Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft; nassbelastete Barfussbereiche.
- DIN-Norm 51130 (1992): Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaften Eigenschaft; Arbeitsräume/-bereiche.
- DIN-Norm 52102 (1988): Prüfung von Naturstein: Bestimmung von Dichte, Trockenrohdichte, Dichtigkeitsgrad und Gesamtporosität.
- DIN-Norm 52103 (1988): Prüfung von Naturstein: Bestimmung von Wasseraufnahme und Sättigungswert.
- DIN-Norm 52104 (1982): Prüfung von Naturstein: Frost-Tau-Wechsel-Versuch.
- DIN-Norm 52105 (1988): Prüfung von Naturstein: Druckversuch.
- DIN-Norm 52106 (1994): Prüfung von Naturstein: Beurteilungsgrundlagen der Verwitterungsbeständigkeit.
- DIN-Norm 52108 (1988): Prüfung anorganischer nichtmetallischer Rohstoffe: Verschleissprüfung mit der Schleifscheibe nach Böhme.
- DIN-Norm 52112 (1988): Prüfung von Naturstein: Biegefestigkeit.
- EN-Norm 771-6 (1992): Festlegung für Mauersteine.
- EN-Norm 772-1 (1992): Prüfverfahren für Mauersteine; Druckfestigkeit.
- EN-Norm 772-2 (1992): Prüfverfahren für Mauersteine: Dichte und Rohdichten.
- EN-Norm 772-21 (1993): Prüfverfahren für Mauersteine: Offene und Gesamtporosität von Naturstein.
- EN-Norm 1341 (1994): Anforderungen an Platten aus Naturstein für Aussenbereiche.
- EN-Norm 1342 (1994): Anforderungen an Pflastersteine aus Naturstein für Aussenbereiche.
- EN-Norm 1343 (1994): Anforderungen an Bordsteine aus Naturstein für Aussenbereiche.
- EN-Norm 1467 (1994): Rohblöcke aus Naturstein; Spezifikation.

- EN-Norm 1468 (1994): Halbfertigerzeugnisse aus Naturstein (Rohplatten); Spezifikation.
- EN-Norm 1469 (1994): Fertigerzeugnisse, Wandverkleidung aus Naturstein; Spezifikation.
- EN-Norm 1925 (1995): Prüfung von Naturstein: Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten infolge Kapillarwirkung.
- EN-Norm 1926 (1995): Prüfung von Naturstein: Bestimmung der Druckfestigkeit.
- EN-Norm 1936 (1995): Prüfung von Naturstein: Bestimmung der Reindichte, Rohdichte, der offenen Porosität und Gesamtporosität.
- EN-Norm 12057 (1995): Fertigerzeugnisse: Fliesen aus Naturstein; Spezifikation.
- EN-Norm 12058 (1995): Fertigerzeugnisse: Bodenplatten und Stufenbeläge aus Naturstein; Spezifikation.
- EN-Norm 12059 (1995): Steine für Massivarbeiten; Spezifikation.
- EN-Norm 12370 (1996): Prüfung von Naturstein: Kristallisationsverfahren.
- EN-Norm 12371 (1996): Prüfung von Naturstein: Bestimmung des Frostwiderstandes.
- EN-Norm 12372 (1996): Prüfung von Naturstein: Bestimmung des Biege-  
widerstandes unter Punktlast.
- EN 1015 (1993): Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk: Bestimmung der Rohdichte von Festmörtel, Teil 10.
- EN 1015 (1993): Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel, Teil 11.
- SBB-Norm R 211.1 (1993): Bahnschotter: Unterbau und Schotter, Vorschriften für Neubau und Erneuerung.
- SN-Norm 640 415c (1991): Oberflächenbehandlungen, Tränkungen, Konzeption, Anforderungen, Ausführungen.
- SN-Norm 640 461a (1994): Betonbeläge.
- SN-Norm 640 485b (1996): Naturstein-Pflasterungen.
- SN-Norm 640 535a (1987): Grabarbeiten.
- SN-Norm 640 535b (1987): Grabarbeiten: Ausführungsvorschriften.
- SN-Norm 640 560b (1985): Randabschlüsse aus Natur- und Kunststeinen, Qualität und Form.
- SN-Norm 670 120b (1980): Kiessande für Fundamentalschichten, Qualitätsvorschriften.
- SN-Norm 670 125a (1983): Filtermaterialien, Qualitätsvorschriften.
- SN-Norm 670 320a (1994): CBR-Versuche im Laboratorium.
- SN-Norm 670 703 (1969): Pflastersteine und Randabschlüsse, Qualitätsvorschriften (in Revision).
- SN-Norm 670 710d (1988): Sand, Kies, Splitt und Schotter für Beläge, Qualitätsvorschriften.
- SN-Norm 670 760a (1988): Filler für bituminöses Mischgut, Qualitätsvorschriften.
- SN-Norm 670 830a (1991): Zertrümmerungsprüfung.
- SN-Norm 670 835b (1991): Los-Angeles-Versuch.
- SIA-Norm 162 (1993): Betonbauten.
- SIA-Norm 162-1 (1989) Betonbauten, Materialprüfung.
- SIA-Norm V178 (1980): Naturstein-Mauerwerk.
- SIA-Norm 226 (1976): Naturstein-Mauerwerk, Leistung und Lieferung.
- SIA-Norm 246 (1976): Naturstein-Arbeiten, Beläge, Verkleidung, Werkstücke.
- SIA-Norm 318 (1988): Garten- und Landschaftsbau.

#### EUROPÄISCHE NORMUNG/TECHNISCHE KOMITEES

- CEN TC 125: Mauerwerk.
- CEN TC 128: Dachschiefer.
- CEN TC 154: Zuschlagstoffe/Wasserbausteine.
- CEN TC 178: Pflaster- und Randsteine.
- CEN TC 246: Naturbausteine.

#### NORMENBEZUG

- SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Normenverkauf, Selnaustrasse 16, 8036 Zürich, tel. 01 238 15 60, fax 01 201 63 35.
- VSS Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute, Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich, tel. 01 251 69 14, fax 01 252 31 30.

- SNV Schweizerische Normenvereinigung, Mühlebachstrasse 54, 8008 Zürich, tel. 01 254 54 54, fax 01 254 54 74.
- Beuth-Verlag GmbH, D-10772 Berlin, 0041 30 2601-0, fax 0047 2601-1231.

## KAPITEL 7

- Broomfield, J.P. (1997): Corrosion of steel in concrete. Understanding, investigation and repair. E. & F. Spon/Chapman Hall, London.
- Bühler, Ch. (1986): Untersuchungen über die Verwendung karbonatreicher Mergel als Rohstoff für die Verwendung hydrothermal gehärteter Baustoffe. – Untersuchung des Mikrogefüges hydrothermal gehärteter Erzeugnisse. – Experimenteller Teil: Reaktion von Tonmineralien bei der hydrothermalen Härtung. Dissertation, mineralogisch-petrographisches Institut, Universität Bern.
- Bye, G.C. (1983): Portland cement: composition, production and properties. Pergamon Press, Oxford.
- Czemin, W. (1977): Zementchemie für Bauingenieure. 3. Auflage, Bauverlag GmbH Wiesbaden-Berlin.
- Elvers, B., Hawkins, St. & Schulz, G. (1990): Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry. Volume A15, 329-331. VCH-Verlags AG, Basel.
- Malhotra, V.M. (ed.) (1994): Durability of concrete. Third International Conference, Nice, France. American Concrete Institute, Detroit.
- Marchand, J., Pigeon, M. & Setzer, M.J. (1997): Freeze-thaw durability of concrete. Proceedings International Workshop, E. & F. Spon/Chapman Hall, London.
- Mehta, P.K. (1994): Concrete technology: Past, present and future. American Concrete Institute, Detroit, SP 144.
- Schrämli, W. & Wolter, H. (1988): Feststellung der Zementqualität mittels Norm-Mörtel- oder Standardbetonprüfung? - Eine Untersuchung des VSTB und VSZKGF. Verein Schweizerischer Zement-, Kalk- und Gips-Fabrikanten, Zürich.
- Studer, W. (1995): Die neuen Zementnormen SIA 215.001 und SIA 215.002. Schweizer Ingenieur und Architekt 17/18.
- Taylor, H.F.W. (1990): Cement chemistry. Academic Press, London.
- Trüb, U. (1990): Baustoff Beton. Ein Handbuch für die Baupraxis. 3. Auflage, Technische Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizerischen Zementindustrie, Wildeggen.
- Verein Schweizerischer Zement-, Kalk- und Gips-Fabrikanten (1986): Einführung in die schweizerische Zementindustrie, 3. Auflage. Verein Schweizerischer Zement-, Kalk- und Gips-Fabrikanten, Zürich.
- Weigler, H. & Sieghart, K. (1989): Beton: Arten – Herstellung – Eigenschaften. Handbuch für Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau. Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin.

#### NORMEN UND VERORDNUNGEN

- DIN-Norm 1060 (1995): Baukalk: Definitionen, Anforderungen, Überwachung, Teil 1.
- DIN-Norm 19611 (1983): Weisskalk zur Wasseraufbereitung, technische Lieferbedingungen.
- EN-Norm 459-1 (1995): Baukalk: Prüfverfahren.
- SIA-Norm 215 (1978): Mineralische Bindemittel.
- SIA-Norm 215.002 (1993): Zement-Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien, Teil 1: Allgemein gebräuchlicher Zement. SN ENV 197-1. Inklusive Ergänzungen (Nationaler Anhang).

## KAPITEL 8

- Badoux, H. (1963): Les unités ultrahelvétiques de la zone des Cols. Eclogae Geologicae Helvetiae 56/1, 1-13.
- Badoux, H. (1966): Description géologique des mines et salines de Bex et de leurs environs. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 41.
- Badoux, H. (1981): Géologie des mines de Bex, données 1966 - 1980. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 60.



- Badoux, H. (1982): Mines de sel de Bex. Aperçus géologique et minier. Association Aminsels, Bex (Bulletin de Géologie Lausanne).
- Badoux, H., Gabus, J.H. & Mercanton, C.H. (1990-1991): Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000, Blatt 1285, Les Diablerets. Mit Erläuterungen von Badoux, H. & Gabus, J.H. Landeshydrologie und -geologie, Bern.
- Baumann, W. & Stucky, K. (1984): Geologische Untersuchungen an Evaporiten der Mittleren Trias in der Nordwestschweiz am Beispiel des Bergwerkes Felsenau. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 77/3, 511-540.
- Birkhäuser, K., Hauber, L. & Jedelhauser, A. (1987): 150 Jahre Saline Schweizerhalle 1837 bis 1987, Band 28. Kommission für Quellen und Forschungen zur Geschichte des Kantons Basel-Landschaft, Liestal.
- Bitterli, P. (1972): Erdölgeologische Forschungen im Jura. Bulletin der schweizerischen Vereinigung von Petroleum-Geologen und -Ingenieuren 39/95, 13-28.
- Carlé, W. (1964): Die Salzsuche in der Markgrafschaft und im Grossherzogtum Baden. Bericht 54 der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg im Breisgau, 5-86.
- Carlé, W. (1969): Die Salinistenfamilie Glenck. Lebensbilder aus Schwaben und Franken 11, 118-149, W. Kohlhammer, Stuttgart.
- de Quervain, F. (1969): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. 3. Auflage, Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- de Quervain, F. (1979): Steine schweizerischer Kunstdenkmäler. Manesse Verlag, Zürich.
- de Quervain, F., Hofmänner, F., Jenny, V. & Köppel, V. (1964): Geotechnische Karte der Schweiz, 1:200'000, Blatt Neuchâtel-Bern-Basel, Schweizerischen Geotechnischen Kommission, Zürich.
- de Quervain, F., Frey, D., Hofmänner, F. & Jenny, V. (1963): Geotechnische Karte der Schweiz, 1:200'000, Blatt Luzern-Zürich-St. Gallen-Chur, Schweizerischen Geotechnischen Kommission, Zürich.
- de Quervain, F., Hofmänner, F., Jenny, V. & Köppel, V. (1965): Geotechnische Karte der Schweiz, 1:200'000, Blatt Genève-Lausanne-Sion, Schweizerischen Geotechnischen Kommission, Zürich.
- de Quervain, F., Hofmänner, F., Jenny, V. & Köppel, V. (1964): Geotechnische Karte der Schweiz, 1:200'000, Blatt Bellinzona-St. Moritz, Schweizerischen Geotechnischen Kommission, Zürich.
- Disler, C. (1948): 100 Jahre Saline Riburg 1848-1948 und ihre aargauischen Schwestersalinen Kaiseraugst 1843-1846 und 1865-1909 und Rheinfelden 1844-1942. Gedenkschrift, herausgegeben vom Regierungsrat des Kanton Aargau und von den Vereinigten Schweizerischen Rheinsalinen, Schweizerhalle.
- Gwinner, H.P. (1978): Geologie der Alpen. Stratigraphie, Paläogeographie, Tektonik. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Hauber, L. (1971): Zur Geologie des Salzfeldes Schweizerhalle-Zinggibrunn (Kanton Baselland). *Eclogae Geologicae Helvetiae* 64/1, 163-183.
- Hauber, L. (1980): Geology of the salt field Rheinfelden-Riburg, Fifth Symposium on Salt, North Ohio Geological Society, Proceedings I, 83-90.
- Hauber, L. (1993): Der Mittlere Muschelkalk am Hochrhein. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen 189, 147-170.
- Heim, A. (1919): Geologie der Schweiz, Band 1, Molasseland und Jurabirge. Tauchnitz, Leipzig.
- Knauf, A.N. (1968): Die Herstellung von Putzgips mit dem Rostbrandverfahren nach neuen Erkenntnissen auf dem Gebiet der Gesteinshüttenkunde. Dissertation, Technische Hochschule Aachen, Fakultät Bergbau und Hüttenwesen.
- Laubscher, H. (1961): Die Fernschubhypothese der Jurafaltung. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 54/1, 221-282.
- Masson, H. (1972): Sur l'origine de la cornieule par fracturation hydraulique. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 65/1, 27-41.
- NAGRA (1988): Sedimentstudie - Zwischenbericht 1988: Möglichkeiten zur Endlagerung langlebiger radioaktiver Abfälle in den Sedimenten der Schweiz. NTB 88-25.
- Pièce, R. (1961): Analyse thermique différentielle et thermogravimétrie simultanées du gypse et de ses produits de déshydratation. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 41/2, 303-310.
- Pièce, R. et al. (1964): Gips. Die Schweizerische Gipsindustrie, Schweizer Baublatt.
- Schwiete, H.E. & Knauf, A.N. (1968): Gips: alte und neue Erkenntnisse in der Herstellung und Anwendung der Gipse.
- Syndicat national des Industries du Plâtre. (1982): Le Plâtre. Physico-chimie, fabrication, emplois. Eyrolles, Paris.
- Verloop, J. H. (1909): Das Salzlager der Nordschweiz. Dissertation Universität Basel, Birkhäuser, Basel.
- Widmer, T. (1991): Zur Stratigraphie und Sedimentologie der Anhydritgruppe (Mittlere Trias) in der Region Liestal-Arisdorf (Baselland, Nordwestschweiz). Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 79.

## KAPITEL 9

- Bayer, G. & Iberg, R. (1983): Kiesschlamm als potentieller Rohstoff? III. Sinter- und Schmelzverhalten von Kiesschlämmen. Schweizer Ingenieur und Architekt 39.
- Bernier, G., Malier, Y. & Mazars, J. (1978): New material from concrete demolition waste, the Bibeton. Proceedings of the international conference on the use of by-products and waste in civil engineering, Paris, 157-162.
- Büchi, E. & Thalmann, C. (1995): Wiederverwertung von TBM-Ausbruchmaterial. Einfluss des Schneidrollenabstands. TBM Know-How zum Projekt NEAT, Atlas Copco-Robbins Symposium, 16. März 1995, Luzern.
- Bundesamt für Konjunkturfragen (1991): Recycling-Verwertung und Behandlung von Bauabfällen. Impulsprogramm Bau (IP-Bau).
- Bundesamt für Konjunkturfragen (1993): Bauabfälle-Teil des Stoffkreislaufes. Impulsprogramm Bau (IP-Bau).
- Cementbulletin (1996): Zuschlagstoffe. Technische Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizerischen Zementindustrie, Wildeg, Cementbulletin 7-8/64.
- Coquillat, G. (1982): Recyclage de matériaux de démolition dans la confection de béton. CEBTP, Service d'études des matériaux unites: Technologie des Bétons, Saint Remy les Chevreuse.
- de los Cobos, G. (1994): Volarisation de boues de lavage de gravier dans le domaine du stockage d'eau potable, d'eau chaude et de la retention de substance polluantes. These, Sciences, EPF Lausanne, Nr. 1216.
- Ernst Basler & Partner (1992): Untersuchung über die Wiederverwertung von Tunnelausbruchmaterial. Bundesamt für Verkehr.
- Fedi, J.Ph., Haendle, F. & Koeniger, R. (1982): Die Herstellung von Stargil in der Praxis. Ziegelindustrie International 10, 580-584.
- Fetz, L. B. (1974): Stabilisierung von Schlamm aus Absetzbecken. Schweizerische Handelszeitung 35, 31.
- Fookes, P. & Revie, W. (1982): Mica in concrete - a case history from Eastern Nepal, Concrete 16/3, 12-16.
- Frondistou-Yannas, S. (1977): Waste concrete as aggregate for new concrete. ACI Journal, 373-376.
- Gerardu, J.J.A. & Hendriks, C.F. (1985): Recycling of road pavement materials in the Netherland. Rijkswaterstaat Communications 38, Den Haag.
- Gerke, J., Dabrock, R. & Reichert, G. (1994): Schotterwaschanlagen im Dienste der Deutschen Bahn. Terra Tech 5, 36-40.
- Hansen, T.C. & Narud, H. (1983): Strength of recycled aggregate concrete made from crushed concrete coarse aggregate. Concrete International, Design and Construction 5/1, 79-83.
- Hermann, K. (1992): Betonrecycling: Ein Gebot der Stunde. Cementbulletin 6.
- Hugi, H.R. (1983): Angepasste Technologien für Entwicklungsländer. Schweizer Ingenieur und Architekt 50.
- Iberg, R., Peters, Tj., & Mumenthaler, Th. (1983): Kiesschlamm als potentieller Rohstoff? II. Technologisches Verhalten von thermisch aktiviertem Kiesschlamm. Schweizer Ingenieur und Architekt 36.
- Ingenieurgesellschaft Gotthard-Basistunnel (1993): Betonzuschlagstoffe aus Tunnelausbruchmaterial. Schweizerische Bundesbahnen, Generaldirektion, Projektleitung AlpTransit Gotthard.
- Kakizaki, M. et al. (1988): Strength and elastic modulus of recycled aggregate concrete. Proceedings of the Second International RILEM Symposium on demolition and reuse of concrete and masonry. 2: Reuse of demolition waste. Nihon Daigaku Kaikan, Tokyo, Japan, Chapman & Hall, London. Reference 135, 585-674.

- Kasai, J. (1985): Studies into the reuse of demolished concrete in Japan. EDA/RILEM Demo-Recycling Conference. Proceedings 2, Re-Use of Concrete and Brick Materials, Rotterdam, European Demolition Association, Den Haag.
- Kruse, M. & Weber, R. (1995): Beton aus TBM-Ausbruchmaterial. Schweizer Ingenieur und Architekt, 47.
- Kawamura, M. & Torii, K. (1988): Reuse of recycled concrete aggregate for pavement. Proceedings of the Second International RILEM Symposium on demolition and reuse of concrete and masonry. 2: Reuse of demolition waste. Nihon Daigaku Kaikan, Tokyo, Japan, Chapman & Hall, London. Reference 135, 726-735.
- Laquerbe, M. (1982): Herstellung und Verwendung von Baustoffen auf der Grundlage von kaltstabilisiertem Ton. Ziegelindustrie International 10, 571-579.
- Morlion, D., Venstermans, J. & Vyncke, J. (1988): Demolition of the Zandvliet lock as aggregates for concrete. Proceedings of the Second International RILEM Symposium on demolition and reuse of concrete and masonry. 2: Reuse of demolition waste. Nihon Daigaku Kaikan, Tokyo, Japan, Chapman & Hall, London. Reference 135, 709-718.
- Mukai, T., Kikuchi, M. & Ishikawa, N. (1978): Study on the properties of concrete, containing recycled concrete aggregate. Cement Association of Japan, 32nd Review.
- Mumenthaler, Th. (1979): Zusammensetzung und Verwertbarkeit von schweizerischen Kiesschlamm im hydrothermalen Härtungsprozess. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 58.
- Mumenthaler, Th., Peters, Tj. & Iberg, R. (1987): Kiesschlammverwertung, ein Beitrag zur Nutzbarmachung und Bewirtschaftung stark verlehmt Kiesvorkommen. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 71.
- Olbrecht, H.P. & Studer, W. (1995a): Beton aus TBM-Chips. Schweizer Ingenieur und Architekt 47.
- Olbrecht, H.P. & Studer, W. (1995b): Kiessubstitution durch Tunnelausbruchmaterial. Die Schweizer Baustoffindustrie 8.
- Peters, Tj., Iberg, R. & Mumenthaler, Th. (1982): Kiesschlamm als potentieller Rohstoff? Schweizer Ingenieur und Architekt 19.
- Rasheeduzzafar, A. & Khan, A. (1984): Recycled concrete, a source of new aggregate. Cement, Concrete and Aggregates (ASTM) 6/1, 17-27.
- Ravindarajah, R.S. & Tam, T.C. (1985): Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate. Magazine of Concrete Research 37/130.
- Ravindarajah, R.S. & Tam, T.C. (1986): Concrete with fly ash or crushed concrete fines or both. ACI-CANMET, 2nd International Conference on the use of fly ash, silica fume fine, slag and natural pozzolans in concrete, Madrid.
- Ravindarajah, R.S., Loo, Y.H. & Tam, T.C. (1987): Recycled concrete as fine and coarse aggregates in concrete. Magazine of Concrete Research 39/141, 214-220.
- Schweizerische Bundesbahnen, Projektleitung AlpTransit Gotthard (1995): Aufbereitungs- und Betonversuche von August 1994 bis März 1995. Schweizerische Bundesbahnen.
- Sommer, H. (1990): Beton aus Altbeton. Zement und Beton 4.
- Soshiroda, T. (1983): Recycled concrete. Proceedings 9th Congress of CIB, Stockholm.
- Thalmann, C. (1996): Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 91.
- Tillmanns, W. (1982): Zur Bedeutung von Tonmineralen als Adsorber für Schwermetalle. Tonindustrie-Zeitung, 106, 137-139.
- Tillmanns, W. (1984): Bedeutung von Tonlagerstätten und Einsatz von Tonmineralen in der Abfallwirtschaft. Tonindustrie-Zeitung, 108, 92-94.
- Werner, R. (1991): Hochwertiger Zementbeton aus altem Strassenbeton (Recyclingbeton). Erster Grossversuch in der Schweiz. Betonstrassen AG, 5103 Wildegg.
- Wesche, K. & Schulz, R. (1982): Beton aus aufbereitetem Altbeton. Technologie und Eigenschaften, Beton 32/2 and 32/3.
- Zagurskij, V.A. & Zhadanovskij, B.V. (1985): Breaking reinforced concrete and recycling crushed materials. Special Technical Report, Research Institute for Concrete and Reinforced Concrete (GOSSTROY), Moscow (in Russian). English translation available from European Demolition Association, Den Haag.

## NORMEN UND VERORDNUNGEN

- AFNOR P 18-541 (1994): Zuschlag, Zuschlag für Zementbeton, technische Lieferbedingungen.
- CEN TC 154: Zuschläge.
- DIN 4226 (1983): Zuschlag für Beton.
- SIA-Norm 162 (1993): Betonbauten.
- SIA-Norm 162-1 (1989): Betonbauten – Materialprüfung.
- SIA-Norm 162-4 (1994): Recyclingbeton.
- SN-Norm 640 431a (1988): Asphaltbetonbeläge; Konzeption, Anforderungen, Ausführung.
- SN-Norm 640 740 (1993): Verwertung von Bauschutt.
- SN-Norm 640 741 (1993): Verwertung von Ausbauphosphat.
- SN-Norm 640 742 (1993): Verwertung von Strassenaufbruch.
- SN-Norm 640 743 (1993): Verwertung von Betonabbruch.
- SN-Norm 640 744 (1994): Verwertung von Mischabbruch.
- SN-Norm 640 746 (1994): Verwertung von Altglas, Vornorm.
- SN-Norm 670 120b (1980): Kiessande für Fundamentalschichten, Qualitätsvorschriften.
- SN-Norm 670 710d (1992): Bitumen, Qualitätsvorschriften.
- Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz NHG vom 1. Juli 1966, SR 531.32.
- Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz) USG vom 7. Oktober 1983, SR 814.01.
- Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz) GSchG vom 24. Januar 1991, SR 840.20.
- Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz) RPG vom 22. Juni 1979, SR 700.
- Lärmschutz-Verordnung LSV vom 15. Dezember 1986, SR 814.331.
- Luftreinhalte-Verordnung LRV vom 16. Dezember 1985, SR 814.318. 142.1.
- Richtlinien ARV (1992): Gütesicherung für Sekundärbaustoffe als Kiesersatzmaterial.
- Technische Verordnung über Abfälle (TVA) vom 10. Dezember 1990, SR 814.015.
- Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen (VVS) vom 12. November 1986, SR 814.014.

## KAPITEL 10

- Althaus, H.E. & Rickenbach, E. (1947): Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz. Band 1: Die ölführende Molasse zwischen Genfer- und Neuenburger-See. Über geologische Untersuchungen im Gebiet der ölführenden Molasse im Kanton Genf. Vorkommen von bituminösen Schiefern, Asphaltvorkommen, Erdgasvorkommen. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 26/1.
- Baumgartner, E. et al. (1923): Die Eisen- und Manganerze der Schweiz. Band 1: Bohnerz, Hämatit, Siderit, Manganerze. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 13/1.
- Bodmer, Ph. (1978): Die Eisen- und Manganerze der Schweiz. Band 11: Geophysikalische Untersuchung der Eisenoolithlagerstätte von Herznach-Wölflinswil. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 13/11.
- Birchmeier, Ch. (1986): Bohnerzabbau im Südranden. Neujaarsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen, Nr. 38.
- Brink, H.J., Burri, P., Lunde, A. & Winhard, H. (1992): Hydrocarbon habitat and potential of the Swiss and German molasse basin: a comparison. Eclogae Geologicae Helvetiae 85/3, 715-732.
- de Quervain, F. (1969): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. 3. Auflage. Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- Delaloye, M. (1966): Die Eisen- und Manganerze der Schweiz. Band 9: Contribution à l'étude des silicates de fer sédimentaires, le gisement de



- Chamoson (Valais). Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 13/9.
- Déverin, L. (1945): Die Eisen- und Manganerze der Schweiz. Band 2: Bohnerz, Hämatit, Siderit, Manganerze. Etudes pétrographique des minerais de fer oolithiques du Dogger des Alpes suisses. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 13/2.
- Epprecht, W. (1958): Unbekannte schweizerische Eisenerzgruben sowie Inventar und Karte aller Eisenerz- und Manganerz-Vorkommen der Schweiz. Beiträge zur Geologie der Schweiz, kleinere Mitteilungen 19.
- Erni, A. & Kelterborn, P. (1948): Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz. Band 2: Ölgeologische Untersuchungen im Molassegebiet südlich Wangen an der Aare-Aarburg. Die Erdölfrage im Molassegebiet von Aarau und Umgebung. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 26/2.
- Fehlmann, H. (1919): Der schweizerische Bergbau während des Weltkrieges. Schweizerisches Volkswirtschaftsdepartement, Bergbaubüro, Kümmerly & Frey, Bern.
- Fehlmann, H. (1932): Die Eisen- und Manganerze der Schweiz. Band 3: Die schweizerische Eisenerzeugung, ihre Geschichte und wirtschaftliche Bedeutung. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 13/3.
- Fehlmann, H. (1947): Der schweizerische Bergbau während des II. Weltkrieges. Büro für Bergbau, eidgenössisches Kriegs-, Industrie- und Arbeitsamt, Bern.
- Fehlmann, H. & de Quervain, F. (1952): Die Eisen- und Manganerze der Schweiz. Band 8: Eisenerze und Eisenerzeugung der Schweiz. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 13/8.
- Fehlmann, H. & Rickenbach, E. (1962): Die Eisen- und Manganerze der Schweiz. Band 7: Die eisenhaltigen Doggererze der Schweiz. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 13/7.
- Frei, A. (1952): Die Eisen- und Manganerze der Schweiz. Band 6: Die Mineralien des Eisenbergwerkes Herznach im Lichte morphogenetischer Untersuchungen. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 13/6.
- Frick, S. & Büchi, U.P. (1981): Die schweizerische Erdgas- und Erdölforschung. Dokumentation, Energieforum Schweiz, Bern.
- Gilliéron, F. (1988): Zur Geologie der Uranmineralisationen in den Schweizer Alpen. Mit Karte 1:500'000 der Radioaktivitätsmessungen, radiometrischen Anomalien und Uranvorkommen der Schweizer Alpen von F. Gilliéron & T. P. Labhart. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 77.
- Greber, E., Leu, W. & Wyss, R. (1995): Erdgasindikationen in der Schweiz. Grundlagen zur Charakterisierung des Gefahrenpotentials im Untergrund. Schweizer Ingenieur und Architekt 24, 567-572.
- Gunzenhauser, B. & Bodmer, Ph. (1993): Deep gas exploration needed in central Swiss overthrust. Oil & Gas Journal, 91/23, 52-54.
- Hofmann, F. (1990): Mineralische Rohstoffe der Kantone St. Gallen und Appenzell. Beiträge zur Geologie der Schweiz, kleinere Mitteilungen 83.
- Hugger, P. (1991): Der Gonzen - 2000 Jahre Bergbau. Das Buch der Erinnerungen. (Hrsg. Eisenbergwerke Gonzen AG). Kantonaler Lehrmittelverlag St. Gallen, Rorschach.
- Hugi, E., Huttenlocher, H.F., Gassmann, F. & Fehlmann, H. (1948): Die Eisen- und Manganerze der Schweiz. Band 4: Die Magnetit-Lagerstätten. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 13/4.
- Jaffé, F. (1986): Mineral deposits of Switzerland, In: Central Europe 3, 41-54. Institution of Mining and Metallurgy, Mineralogical Society, London.
- Jaffé, F. (1991): Gold in Switzerland. Beiträge zur Geologie der Schweiz, kleinere Mitteilungen 89.
- Jeannet, A. (1952): Die Eisen- und Manganerze der Schweiz. Band 5: Stratigraphie und Paläontologie des oolithischen Eisenerzlagers von Herznach und seiner Umgebung. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 13/5.
- Kempster, E.H.K. (1994): Erdgas aus "tight reservoirs". Schweizerische Technische Zeitschrift 7/8, 41-45.
- Kissling, E. (1903). Die schweizerischen Molassekohlen westlich der Reuss. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 2.
- Knopf, D.J., Naert, K. & Bell, D.R. (1989): New type mineralization in the Swiss Alps: The Disentis gold occurrence. Mining Magazine 16.1/4, 290-296.
- Kündig, E. & de Quervain, F. (1941, 1953): Fundstellen mineralischer Rohstoffe in der Schweiz, (erweiterte Neuauflage 1953; mit Karte 1:600'000). Kümmerly & Frey, Bern; Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- Kündig, E. & de Quervain, F. (1953): Fundstellen mineralischer Rohstoffe der Schweiz. 2. Auflage. Schweizerische Geotechnische Kommission, Kümmerly & Frey.
- Kürsteiner, M., Hofmann, F. & Stalder, H.A. (1990): Eisenerz und Eisenindustrie im Jura. Beiträge zur Geologie der Schweiz, kleinere Mitteilungen 84.
- Letsch, E. (1899): Die schweizerischen Molassekohlen östlich der Reuss. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 1.
- Lofty, G.J. (1992): World Mineral Statistics (1986-1990): Industrial Minerals, Volume 2. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham.
- Müller-Landsmann, J.R. (1900): Das Eisenbergwerk im Oberhasle, Kanton Bern (Schweiz). Jean Frey, Zürich.
- NAGRA (1989): Sondierbohrung Weiach - Untersuchungsbericht. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 73.
- Niggli, E. (1978): Erzvorkommen, Bergbau und Lagerstättenforschung in der Schweiz. Neue Zürcher Zeitung Nr. 84, Beilage Forschung und Technik, 12.4.1978.
- Suana, M. (1984): Die Manganerzlagerstätten von Tinizong (Oberhalbstein, Graubünden). Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 64.
- Schmidt, C. (1917): Erläuterungen zur Karte der Fundorte von mineralischen Rohstoffen in der Schweiz, mit Karte 1:500'000. A. Francke, Bern.
- Schmidt, C. (1920): Texte explicatif de la carte des matières premières minérales de la Suisse. Birkhäuser & Cie., Basel.
- Schuppli, H.M. (1950): Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz. Band 3: Ölgeologische Untersuchungen im Schweizer Mittelland zwischen Solothurn und Moudon. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 26/3.
- Schuppli, H.M. (1952): Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz. Band 4: Ölgeologische Untersuchungen der subalpinen Molasse der Schweiz. Ölgeologische Probleme des Mittellandes östlich der Linie Solothurn-Thun. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 26/4.
- Schweizerische Geotechnische Kommission (1990ff): «Rohstoffinventar» - Datenbank zum Inventar der mineralischen Rohstoffe der Schweiz. Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- Stalder, H.A. & Wenger, Ch. (1988): Scheelit aus dem Aar- und Gotthardmassiv. Schweizer Strahler 8/2, 45-82.
- Stumpf, J. (1548): Schweizer Chronik, 1. Auflage. Zürich, Christoph Froschauer, 1547-1548. Faksimile der 1. Auflage, Winterthur: Schellenberg, 1975.
- Swisspetrol (1975): Dossier Swisspetrol (Informationsbroschüre) Swisspetrol Holding AG, Zug.
- Taylor, L.E. et al. (1995): World Mineral Statistics (1990-1994): Production, exports, imports. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham.
- Tröhler, B. (1967): Die Eisen- und Manganerze der Schweiz. Band 10: Geologie der Glockhaus-Gruppe, mit besonderer Berücksichtigung des Eisenoolithes der Erzegg-Planplatte. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 13/10.
- von Arx, R. (1992): Das Kupferbergwerk Mürtchenalp. Baeschlin Verlag, Glarus.
- Weber, J. & Brosi, A. (1883): Karte der Fundorte von Rohprodukten in der Schweiz, 1:500'000, mit Text „Rohprodukte und deren Fundorte in der Schweiz“ von H. Streng 1884. Zeitschrift für schweizerische Statistik 19.
- Wehrli, L. & Christ, P. (1925): Das produktive Karbon der Schweizeralpen. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 11.
- Wenger, Ch., Steiger, R. & Bianconi, F. (1990): Karte der mineralischen Rohstoffe der Schweiz, 1:200'000, Blatt Tessin-Uri, mit Erläuterungen. Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- Woodtli, R., Jaffé, F. & von Raumer, J. (1987): Prospection minière en Valais: le projet Uromine. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 72.

## KAPITEL 11

- Amacher, P. (1994): Der Engländer F.N. Ashcroft und die Urner Strahler. Geo Uri, Amsteg.
- Armbruster, Th. et al. (1988): Cervandonite, a new Alpine fissure mineral. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 68/2, 125-132.
- Baumhauer, H. (1896): Über den Rathit, ein neues Mineral aus dem Binnenthaler Dolomit. Zeitschrift für Kristallographie 26, 593-602.
- Baumhauer, H. (1901): Über den Seligmannit, ein neues dem Bournonit homöomorphes Mineral aus dem Dolomit des Binnenthales. Sitzungsbericht der deutschen Akademie der Wissenschaften, Berlin 6, 110-117.
- Bearth, P. (1963): Chloritoid und Pargasit aus der Ophiolith-Zone von Zermatt-Saas Fee. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 43/1, 269-286.
- Berthier, P. (1820): Sur la nature du minéral de fer magnétique de Chamoison (Valais). Annales Mines 5, 303-396.
- Bianconi, F. & Simonetti, A. (1967): La brannerite e la sua paragenesi nelle pegmatiti di Lodrino (Ticino). Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 47, 887-934.
- Brugger, J. & Berlepsch, P. (1996): Description and crystal structure of fianelite,  $\text{Mn}_2\text{V}(\text{V,As})\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , a new mineral from Fianel, Val Ferrera, Graubünden, Schweiz. American Mineralogist 81, 1270-1276.
- Burri, C. (1935): Über Hydroxylapatit von der Kemmleten bei Hospenthal (Kanton Uri). Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 15/2, 327-339.
- Burri, G., Graeser, St., Marumo, F. & Nowacki, W. (1965): Imhofit, ein neues Thallium-Arsensulfosalz aus dem Lengenbach. Chimia 19, 499-500.
- Cavalli, I. (1984): Mineralogische Untersuchungen an Graftoniten der südalpiner Pegmatite (Olgiassa (I) und Brissago (TI)). Dissertation, Universität Basel.
- Chopin, C. et al. (1993): Bearthite, a new mineral from high-pressure terranes of the Western Alps. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 73/1, 1-9.
- Damour, A. (1845): Sur le sulfo-arsénier de plomb du Mont Gothard. Annales der Physik und Chemie 3/14, 379-383.
- Damour, A. (1855): Note sur un peridot titanifère. Annales Mines 8/5, 90.
- de Mechel, Ch. (1795): Itinéraire du St. Gothard. Basel.
- de Quervain, F. (1932): Pegmatitbildungen von Brissago. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 12, 539-541.
- de Saussure, H.B. (1796): Voyages dans les Alpes. Neuchâtel.
- Dietrich, V. & de Quervain, F. (1968): Die Nephrit-Talklagerstätte von Scortasco. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 46.
- Dollinger, H. (1990): Kleinmineralien in der Auslaugungszone um eine Zerrklüft. Mineralienfreund 28, 1-20.
- Epprecht, W.T., Schaller, W.T. & Vlisidis, A.C. (1959): Über Wiserit, Sussexit und ein weiteres Mineral aus den Manganerzen vom Gonzen (bei Sargans). Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 39, 85-104.
- Fröbel, J. (1840): Der Pennin, ein chloritartiges Mineral. Annales der Physik und Chemie 50, 523-526.
- Geiger, T. (1948): Manganerze in den Radiolariten Graubündens. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 27.
- Graeser, St. (1963): Giessenit, ein neues Pb-Bi-Sulfosalz aus dem Dolomit des Binnnales. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 43, 471-478.
- Graeser, St. (1965): Die Mineralfundstellen im Dolomit des Binnnales. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 45, 597-795.
- Graeser, St. (1966): Asbecasit und Cafarsit, zwei neue Mineralien aus dem Binntal (Kanton Wallis). Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 46/2, 367-375.
- Graeser, St. & Edenharter, A. (1997): Jentschite, a new mineral from Lengenbach, Binntal. Mineral Magazine 61, 131-137.
- Graeser, St. et al. (1989): Geigerite, the Mn analogue of chudobaite, its description and crystal structure. American Mineralogist 74/5-6, 676-684.
- Graeser, St. et al. (1994): Fetiasite, a new arsenite mineral; its description and structure determination. American Mineralogist 79/9-10, 996-1002.
- Graeser, St. & Schwander, H. (1992): Edenharterite, a new mineral from Lengenbach, Binntal (Switzerland). European Journal of Mineralogy 4/6, 1265-1270.
- Graeser, St., Schwander, H. & Suhner, B. (1984): Grischunit, eine neue Mineralart aus den Schweizer Alpen, zur Mn-As Mineralisation des Oberhalbstein-Gebietes. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 64/1-2, 1-10.
- Graeser, St., Schwander, H., Wulf, R. & Edenharter, A. (1992): Erniggliite, a new mineral from Lengenbach (Binntal). Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 72, 293-305.
- Graeser, St., Schwander, H., Wulf, R. & Edenharter, A. (1995): Stalderite, a new mineral related to routierite. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 75, 337-345.
- Haidinger, W. (1845): Handbuch der bestimmenden Mineralogie. Wien.
- Hoefs, J. & Stalder, H.A. (1977): Die C-Isotopenzusammensetzung von  $\text{CO}_2$ -haltigen Flüssigkeitseinschlüssen in Kluftquarzen der Zentralalpen. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 57, 329-347.
- Hofmann, B., Graeser, St., Imhof, T., Sicher, V. & Stalder, H.A. (1993): Mineralogie der Grube Lengenbach, Binntal, Wallis. Jahrbuch des Naturhistorischen Museums Bern 12, 3-90.
- Hügi, M. (1988): Petrographie und Mineralogie der Lercheltitnzone (Monte Leone-Decke, Binntal VS). Diplomarbeit, Universität Bern.
- Jakob, J. (1923): Vier Mangansilikate aus dem Val d'Err (Kanton Graubünden). Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 3, 227-237.
- Jakob, J. (1926): Sursassit, ein Mangansilikat aus dem Val d'Err (Graubünden). Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 6, 376-380.
- Kenngott, A. (1870): Correspondenz aus Zürich (Milarit). Neues Jahrbuch der Mineralogie, Geologie und Paläontologie, 80-81.
- Keusen, H.R. & Peters, Tj. (1980): Preiswerkite, an Al-rich trioctahedral sodium mica from Geisspfad ultramafic complex (Penninic Alps). American Mineralogist 65/11-12, 1134-1150.
- Kipfer, A. (1979): Mineralien aus dem Rotondogranit. Schweizer Strahler 5, 45-91.
- Lemmlein, G.G. (1946): Über die Entstehung flacher Kristalle mit «weisen Streifen». Aus Fragen der Mineralogie, Geochemie und Petrographie, 99-109; übersetzt von B. Stalder (1972) in Schweizer Strahler 2, 430-437.
- Maissen, P. F. (1955): Mineralklüfte und Strahler der Surselva. Fuorns e Cavacristallas.
- Maissen, P. F. (1974): Mineralklüfte und Strahler der Surselva. Neuauflage, Verlag Desertina, Disentis.
- Marumo, F. & Nowacki, W. (1964): The crystal structure of lautite and of sinnerite, a new mineral from the Lengenbach quarry. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 44/2, 439-454.
- Marumo, F. & Burri, G. (1965): Nowackiite, a new copper zinc arsenosulfosalz from Lengenbach. Chimia 19, 500-501.
- Maurizio, R. & Meisser, N. (1993): Neue Mineralien des Bergells (Schweiz/Italien). Schweizer Strahler 9, 525-557.
- Mercolli, I., Schenker, F. & Stalder, H.A. (1984): Geochemie der Veränderungen von Granit durch hydrothermale Lösungen (Zentraler Aaregranit). Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 64, 67-82.
- Mullis, J., Dubessy, J., Poty, B. & O'Neil, J. (1994): Fluid regimes during late stages of a continental collision: Physical, chemical, and stable isotope measurements of fluid inclusions in fissure quartz from a geotraverse through the Central Alps, Switzerland. Geochimica Cosmochimica Acta 58/10, 2239-2267.
- Niggli, P., Königsberger, J. & Parker, R.L. (1940): Die Mineralien der Schweizeralpen. B. Wepf & Co., Basel (2 Bände).
- Nowacki, W. (1965): Über neue Mineralien aus dem Lengenbach. Separatdruck aus Jahrbuch des naturhistorischen Museums Bern, 293-299.
- Nowacki, W. (1969): Zur Klassifikation und Kristallchemie der Sulfosalze.



- Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 49, 109-156.
- Nowacki, W. (1983): Die Arbeiten der Abteilung für Kristallographie und Strukturlehre der Universität Bern über Sulfosalze (aus dem Binntal). Mineralienfreund 21, 87-95.
- Ozawa, T. & Nowacki, W. (1974): Note on the mineral rathite-IV. Neues Jahrbuch für Mineralogie 11, 530-531.
- Parker, R.L. (1973): Die Mineralfunde der Schweiz. Neubearbeitung durch Stalder, H.A., de Quervain, F., Niggli, E. & Gräser, St., Wepf & Co., Basel.
- Pini, Pater E. (1783): Memoria mineralogica sulla montagna e i sui contorni di S. Gottardo. Milano.
- Pisani, M.F. (1865): Sur la Kalicine, nouvelle espèce minérale trouvée à Chypis, Valais. Comptes rendus de Séances de l'Académie des Sciences (Paris) 60, 918-919.
- Poty, B. & Stalder, H.A. (1970): Kryometrische Bestimmungen der Salz- und Gasgehalte eingeschlossener Lösungen in Quarzkristallen aus Zerkluftungen der Schweizer Alpen. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 50, 141-154.
- Poty, B., Stalder, H.A. & Weisbrod, A.M. (1974): Fluid inclusions studies in quartz from fissures of Western and Central Alps. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 54, 717-752.
- Pring, A. et al. (1990): Baumhauerite-2a, a silver-bearing mineral with a baumhauerite-like supercell from Lengenbach, Switzerland. American Mineralogist 75/7-8, 915-922.
- Ramsay, J.G. & Huber, M.I. (1983): Modern Structural Geology. Strain Analysis, Volume 1. Academic Press.
- Schaffhäufl, C.E. (1843): Chemisch-mineralogische Untersuchungen. Annalen der Chemie und Pharmacie 46, 334-336.
- Schwanz, J., Schüpbach, Th. & Gorsatt, A. (1994): Das Binntal und seine Mineralien. Verlag A. Gorsatt, Binn.
- Schweizer, M.E. (1840): Über den Antigorit, ein neues Mineral. Annalen der Physik und Chemie 49, 595-599.
- Solly, R.H. (1902): On Baumhauerite, Seligmannite and a third mineral from Binn. Mineral Magazine 13, 31.
- Solly, R.H. (1904): On various minerals from the Binnenthal. Mineral Magazine 14, 16-17.
- Solly, R.H. (1905): Some new minerals from the Binnenthal. Mineral Magazine 14, 72-82.
- Solly, R.H. & Jackson, B.A. (1901): Der Liveingit, ein neues Mineral aus dem Binnenthal. Zeitschrift für Kristallographie 37, 304.
- Solly, R.H. & Smith, G.F.H. (1912): Hatchite, a new mineral from the Binnenthal. Mineral Magazine 16, 287-289.
- Soom, M., Armbruster, Th. & Stalder, H.A. (1988): OH-rich topaz from Alpine fissures in Triassic dolomites near Lugnez, Graubünden (Mesozoic cover of Gotthard Massif, Swiss Alps). Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 68/2, 141-155.
- Stalder, H.A. (1964): Petrographische und mineralogische Untersuchungen im Grimselgebiet (Mittleres Aarmassiv). Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 44, 187-398.
- Stalder, H.A. (1991): Edel- und Schmucksteine aus der Schweiz. Schweizer Strahler 9, 173-268.
- Stalder, H.A. (1992): Edel- und Schmucksteine aus der Schweiz. Teil 2: Die Mineralien der Quarzgruppe. Schweizer Strahler 9, 305-346.
- Stalder, H.A. (1993): Edel- und Schmucksteine aus der Schweiz. Teil 3: Undurchsichtige Mineralien. Schweizer Strahler 9, 473-524.
- Stalder, H.A., Embrey, P., Graeser, St. & Nowacki, W. (1978): Die Mineralien des Binntales. Jahrbuch des Naturhistorischen Museums Bern 6, 221-359.
- Stalder, H.A., Rufibach, C., Forter, D. & Vollenweider, P. (1987): Die geschützte Mineralkluft an der Gerstenegg, Grimsel BE. Schweizer Strahler 7, 433-475.
- Stalder, H.A., Sicher, V., Lussmann, L. & Schenker, F. (1980): Die Mineralien des Gotthardbahntunnels und des Gotthardstrassentunnels N2. Repof AG, Gurtellen.
- Staub, R. (1916): Zur Tektonik der südöstlichen Schweizeralpen. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, 1:250'000, Nr. 78.
- Staub, R. (1924): Zur Kenntnis der Bergeller Berylle. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 4, 364-367.
- Suana, M. (1984): Die Manganerzlagertstätten von Tinizong (Oberhalbstein, Graubünden). Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische Serie 64.
- von Rath, G. (1864): Mineralogische Mitteilungen. Annalen der Physik und Chemie 122, 371-399.
- von Waltershausen, W.S. (1835): Ein Beitrag zur näheren Kenntnis des Dolomites in den Walliser Alpen. Annalen der Physik und Chemie 94, 115-141.
- Wagner, A., Frey, M., Quadrio, F., Schwartzkopff, J. & Stalder, H.A. (1972): Die Mineralfundstellen von Camperio und Campo Blenio, Kanton Tessin. Jahrbuch des Naturhistorischen Museums Bern 4, 277-360.
- Walenta, K. (1972): Grimselit, ein neues Natrium-Kalium-Uranylkarbonat aus dem Grimselgebiet (Oberhasli, Kanton Bern, Schweiz). Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 52/1, 93-108.
- Walenta, K. (1976): Baylissit, ein neues Karbonatmineral aus den Schweizer Alpen. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 56/2, 187-194.
- Weibel, M. (1990): Edelsteine der Schweiz. Mineralienfreund 28/3, 41-50.
- Weibel, M. (1992): Tessiner Edelsteine. Mineralienfreund 30/2, 1-8.
- Weibel, M., Graeser, St., Oberholzer, W., Stalder, H.A. & Gabriel, W. (1990): Die Mineralien der Schweiz. Birkhäuser, Basel.
- Weiss, St. (1982): Die Geologie des Tessin. Lapis 7/8, 48-54.
- Wenger, M. & Armbruster, Th. (1991): Columbite (Fe, Mn)(Nb, Ta)<sub>2</sub>O<sub>6</sub> in the pegmatites of the calcalkaline Bergell intrusion (Southeast Central Alps). Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 71, 349-369.

## KAPITEL 12

- Aeppeli, H. (1997): Schweizerisches Zivilgesetzbuch mit einschlägigen Nebengesetzen und Verordnungen. 29. Auflage, Orell Füssli, Zürich.
- Arbeitsgruppe Geotopschutz Schweiz (1995): Geotope und der Schutz erdwissenschaftlicher Objekte in der Schweiz; ein Strategiebericht. Institut de Géologie, Université Fribourg.
- Barrelet, D. & Egloff, W. (1994): Das neue Urheberrecht. Kommentar zum Bundesgesetz über das Urheberrecht und verwandte Schutzgebiete. Verlag Stämpfli & Cie AG, Bern.
- Gäntzsch, G. & Kühne, G. (1991): Wandel und Beharren im Bergrecht. Perspektiven der Bergrechtsentwicklung in Deutschland. Nomos-Verlagsgesellschaft, Baden-Baden.
- Haggenbüchle, A. (1957): Das Bergrecht mit besonderer Berücksichtigung der Erdölforschung. Referate und Mitteilungen des schweizerischen Juristenvereins 91, 1a-182a.
- Hansell, H. (1997): Schweizerisches Obligationenrecht, 4. Auflage. Stämpfli, Bern.
- Hepperle, E. & Lendi, M. (1993): Leben – Raum – Umwelt. Recht und Rechtspraxis. Verlag der Fachvereine, Zürich.
- Niederer, W. (1960): Aktuelle Fragen der schweizerischen Erdölforschung. Schweizer Energie-Konsument.
- Schmid, H. (1920): Das Bergrecht in der Schweiz. Schweizerische Juristenzeitung, 17/4-5, 57-65.
- Schmid, H. (1920): Das Bergrecht in der Schweiz. Schweizerische Juristenzeitung, 17/6, 102-106.
- Schweizerische Bundeskanzlei (1996): Bundesverfassung der Eidgenossenschaft vom 29. Mai 1874, Stand 1. April 1996. Schweizerische Bundeskanzlei, Bern.
- Vuilleumier, J. (1957): Vers un régime juridique propre à la recherche et à l'exploitation des gisements de pétroles (contribution à l'étude du droit minier suisse). Referate und Mitteilungen des schweizerischen Juristenvereins 91, 185a-326a.
- Willecke, R. (1958): Grundriss des Bergrechts. Springer-Verlag, Berlin.

## NORMEN UND VERORDNUNGEN

- SIA-Norm 103 (1984): Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieure.

- SIA-Norm 155 (1987): Richtlinie für die Ausarbeitung von Gutachten. Bundesgesetz über das Urheberrecht und verwandte Schutzrechte (Urheberrechtsgesetz, URG) vom 9. Oktober 1992, SR 231.1.
- Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG) vom 1. Juli 1966, SR 45.
- Bundesgesetz über den Schutz von Gewässern (Gewässerschutzgesetz, GschG) vom 24. Januar 1991, SR 814.20.
- Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG) vom 7. Oktober 1983, SR 814.01.
- Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz, WaG) vom 4. Oktober 1991, SR 921.0.
- Bundesgesetz über den Wasserbau vom 21. Juni 1991, SR 721.00.
- Bundesgesetz über die Erstellung neuer Landeskarten vom 21. Juni 1935, SR 510.62.
- Bundesgesetz über die friedliche Verwendung von Atomenergie (Atomgesetz) vom 21. Dezember 1959, SR 732.0.
- Bundesgesetz über die Nationalstrassen vom 8. März 1964, SR 725.11.
- Bundesgesetz über die Raumplanung (RPG) vom 22. Juni 1979, SR 700.
- Bundesgesetz über die Schweizerischen Bundesbahnen vom 23. Juni 1944, SR 742.31.
- Bundesgesetz über die Schweizerische meteorologische Zentralanstalt vom 27. Juni 1901, SR 429.1.
- Verordnung des Eidgenössischen Departement des Innern (EDI) über die Landeshydrologie und -geologie (LHGV) vom 12. Juni 1995, SR 172.212.24.
- Verordnung über den Wald (Waldverordnung, WaV) vom 30. November 1992, SR 921.01.
- Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) vom 19. Oktober 1988, SR 814.011.
- Verordnung über vorbereitende Handlungen im Hinblick auf die Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle (Verordnung über vorbereitende Handlungen) vom 27. November 1989, SR 732.012.

## KAPITEL 13

- Amt für Umweltschutz des Kantons St. Gallen (1992): Kurzkomentar zum Verfahren bei UVP-pflichtigen Kiesabbauvorhaben. Amt für Umweltschutz des Kantons St. Gallen.
- Arbeitsgruppe Geotopschutz Schweiz (1995): Geotope und der Schutz erdwissenschaftlicher Objekte in der Schweiz; ein Strategiebericht. Institut de Géologie, Université Fribourg.
- Arbeitsgemeinschaft Rohstoffversorgungskonzept Steine und Erden Kanton Aargau ARGE RVK (1995): Rohstoffversorgungskonzept Steine und Erden für den Kanton Aargau. Koordinationsstelle der aargauischen Kies- und Transportbetonverbände, Brugg.
- Bundesamt für Raumplanung (1991): Verhältnis zwischen Raumplanung und Umweltverträglichkeitsprüfung. Bundesamt für Raumplanung, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (1990): Handbuch zur Umweltverträglichkeitsprüfung: Richtlinien für die Ausarbeitung von Berichten zur Umweltverträglichkeit gemäss Umweltschutzgesetz vom 7. Oktober 1983. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich (1993): Integration der UVP in das Planerlassungsverfahren; Richtlinien. Koordinationsstelle für Umweltschutz, Zürich.
- Fachkommission Rekultivierung des Kantons Berns (1995): Merkblatt: Bodenkundliche Aufnahme bei Deponien und Materialentnahmestellen. Bodenschutzfachstelle des Kantons Berns.
- Frei, B. (1997): Information des Bundes über geologische Beobachtungen. Recht. Schriftenreihe Umwelt 278, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Horat, S., Brunner, B. & Fuchs, F. (1995/96): Aspekte eines nachhaltigen Umgangs mit Geotopen. Interdisziplinäre Semesterarbeit im Rahmen des Projektes nachhaltige ETH des Forums für Umweltfragen, ETH Zürich.

- Kölz, A. & Müller, H.U. (1993): Kommentar zum Umweltschutzgesetz. Handbuch-Kommentar-Ausführungserlass. Schulthess, Zürich.
- Koordinationsstelle für Umweltschutz des Kantons Bern (1991): Hilfsmittel für Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit von Anlagen; 2. Auflage. Koordinationsstelle für Umweltschutz des Kantons Berns.
- Koordinationsstelle für Umweltschutz des Kantons Bern (1995): Planung UVP-pflichtiger Vorhaben im Rahmen kommunaler Überbauungsordnungen (ÜO) mit gleichzeitiger Baubewilligung; Richtlinien. Koordinationsstelle für Umweltschutz des Kanton Berns.
- Lendi, M. & Elsasser, H. (1985): Raumplanung in der Schweiz: Ein Beitrag an die europäische Raumordnung. Institut für Orts-, Regional- und Landesplanung, ETH-Zürich.

## VERORDNUNGEN UND NORMEN

- Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz NHG vom 1. Juli 1966, SR 451.
- Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG) vom 7. Oktober 1983, SR 814.01.
- Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24. Januar 1991, SR 840.20
- Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz, WaG), 4. Oktober 1991, SR 921.0
- Bundesgesetz über die Fischerei BFG vom 21. Juni 1991, SR 923.0.
- Bundesgesetz über die Landwirtschaft (Landwirtschaftsgesetz, LWG) vom 3. Oktober 1951, SR 910.0
- Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz, RPG) vom 22. Juni 1979, SR 700.
- Lärmschutz-Verordnung LSV vom 15. Dezember 1986, SR 814.331
- Luftreinhalte-Verordnung LRV vom 16. Dezember 1985, SR 814.318.142.1.
- Verordnung über den Schutz des Bodens VSBo (ab 1998 VBBo, Verordnung über die Belastung des Bodens) vom 9. Juni 1986, SR 814.12.
- Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung UVPV vom 19. Oktober 1988, SR 814.011.

## KAPITEL 14

- Bill, R. & Fritsch, D. (1991): Grundlagen der Geoinformationssysteme. Band 1: Hardware, Software, Daten. H. Wichmann-Verlag GmbH, Karlsruhe.
- Buziek, G. (1995): GIS in Forschung und Praxis. Hrsg. Arbeitsgemeinschaft «Geo-Informationssysteme» der Universität Hannover. Wittwer Stuttgart.
- Bonham-Carter, G. F. (1994): Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. Pergamon, Kidlington U.K.
- Computers & Geosciences. International Journal. Geological Survey of Canada, ISSN 0098-3004, Elsevier Science Ltd., Oxford.
- Deutsche Gesellschaft für Kartographie (1997): GIS und Kartographie im multimedialen Umfeld – Grundlagen, Anwendungen und Entwicklungstrends. Kirschbaum Verlag, Bonn.
- Maguire, D. J., Goodchild, M. F. & Rhind, D. W. (1991): Geographical information systems – Vol. 1: Principles. J. Wiley, New York.
- Maguire, D. J., Goodchild, M. F. & Rhind, D. W. (1991): Geographical information systems – Vol. 2: Applications. J. Wiley, New York.



**ORTSREGISTER**
**A**

Aadorf 121  
Aadorferfeld 126  
Aarau 119, 185, 256, 309, 315, 326, 385, **413**  
Aarberg 49, 113, 188, 258  
Aare 112, 119, 189, 273, 386  
  -brücke bei Brugg 227  
  -delta 113  
  -mündung 135  
  -tal 111, 112, 113, 127, 241  
Aargau 183, 204, 443, 459  
Aargauer Jura 2  
Aarmassiv 438  
Aarwangen 128  
Abbatiale 184  
Acherbüel 133  
Acla 260  
Acquarossa 121  
Adelboden 203, 349  
Ädermannsdorf SO 93  
Adnet 196  
Aebisholz 120, 132  
Aegerten 132  
Ägene 242  
Ägeri 183, 257  
Agiez 189, 257  
Äginental (Goms) 260  
Ägypten 290  
Aigle 123, 183, 261, 357, 362  
Ain (F) 181, 190  
Aire-la-Ville 115  
Airolo 260  
Ajoie 116, 357  
Akropolis 188  
Albiskette 258  
Albisrieden 71  
Albtal (D) 181  
Albula 116, 349, 376  
Alesses 204, 260  
Allaine 116  
Allalingsletscher 122, 428  
Allaman 123  
Allmend-Steini 128  
Allondon 412  
Allschwil 47  
Alp  
  Flix 18, 261, 410  
  Nadels **411**  
  Parsettens 428, 429  
  Taspin **411**  
Alpe  
  Arami 429, 438  
  Ajone Ros 260  
  Corso 260  
  Magnello 199  
  Pianca 74  
  Quadrada 412  
  Sponda 418, 428, 429  
Alpjahorn 411, 416

Alpnach 118, 242, 249, 253, 262  
Alpnachersee 118, 264, 274  
Alptal 119  
Alt-Bechburg 176  
Altdorf 437  
Altdorf/Randen 257  
Alterswil 129, 258  
Alto Adige (I) 220  
Altstätten 79  
Amsteg 122, 144, 432  
Andeer 232, 233, 248, 252, 295, 258  
Andelfingen 125, 126  
Andermatt 260, 437  
Appenzell 79, 112  
  Ausserrhoden 443  
  Innerrhoden 443  
Arbaz 260, 261  
Arboldswil 256  
Arch 128  
Arconciel 258  
Ardez 258  
Ardon 262  
Arête du Raimeux 12  
Areuse 117  
Arieschbach 116  
Arisdorf 256  
Arlesheim 179, 256  
Arolla 260  
Arosa 116  
Arosio 76  
Arve 114  
Arvel **189-192**, 245, 262, 274  
Arveyes 261, 361  
Arvigo 172, 237, 238, 249, 253, 259  
Arzier 188, 257  
Arzo 121, 173, 179, 189, 190, **195**, 196, 235, **240**, 249, 253, 262  
Asp 256  
Astano 407, **411**, 412  
Asuel 271  
Attalens 257  
Attinghausen 122, 274, 275, 262  
Attiswil 114, 128  
Auberson 79  
Aubin 257  
Aubonne 123  
Auenstein 256  
Augst 176, 182, 187, 198, 256  
  -Wyhlen 365  
Augusta Raurica 174, 176  
Ausserberg 259, 261  
Avançon 359  
Avegno 121, 132  
Avenches 26, 27, 176, 177, 185  
Aventicum 176, 188, 189  
Avers 411  
Avusy 115, 129  
Aymon de Montfalcon 191

**B**

Baar 183, 232  
Baarburg 258

Bäch 185, 257  
Bachs 125  
Bachtelen 127  
Bachtellen 132  
Bad  
  Ragaz 189  
  Wimpfen (D) 364  
Baden 112, 190, 256, 376  
Badisch Rheinfelden 367  
Baicolliou 411  
Balerna 200  
Ballaignes 257  
Ballwil 129  
Balmholz 274, 262, 397  
Baltschieder 259  
  -tal 411  
Bank Leu 194, 195, 196  
Bankgesellschaft Zürich 196  
Bannwald 128  
Bardonnex 42, 54, 56, 115, 129  
Baren 143, 129  
Bärengraben 95  
Bargen 256, 257  
Bärschwil 70, 73, 77  
Basadingen 53, 108, 122  
Basel 112, 179, 182, 184, 185, 187, 188, 197, 286, 292, 294, 363, 364, 437, 443  
Basler Münster 182  
Baslertor 188  
Bassecourt 116  
Baveno (I) 181  
Bavonatal 238  
Beauregard 184  
Beckenried 78, 118, 262, 332  
Bedretto 121  
  -tal 259, 260  
Beggingen 42, 45, 81  
Bellinzona 196, 239, 280, 281, 284  
Belvoje (F) 186  
Benken 66, 70, 73, 77, 91, 257  
Berg TG 51, 93  
Bergamasker Alpen (I) 179  
Bergell 19, 116, 198, 233, 427, 438  
Bergli Valendas 115  
Bergün 116  
Beringen 76, 119, 132, 256  
Berisal 260  
Berlincourt 256  
Bern 113, 127, 128, 177, 179, 180, 183, 184, 187, 188, 190, 191, 195-198, 200, 203, 229, 231, 290, 357, 435-437, 443, 455  
Bernier  
  Jura 113  
  Kantonalbank 193  
  Mittelland 113  
  Münster 184, 231, 294  
  Oberland 112, 177, 190, 202, 203  
  Rathaus 184  
  Seeland 185  
Bernerschachen 128  
Bernex 258

Bernina  
  -häuser 258  
  -pass 116  
Beromünster 190  
Berschis 190, 261  
Berzona 259  
Besançon 359  
Bethlehem 139, 140, 133  
Bettens-Angolliaux 132  
Bettingen 256  
Beurnevésin 256  
Bevaix 272, 257  
Bever GR 96  
Bever (Isellas) 258  
Bévioux 362  
Bex 195, 245, 252, 273, 338, 349, 351, **352**, 357, **359**, **362**, 364, 365, 367, 407  
Biasca 121, 248, 252  
Biaschina 237  
Biberegg 312, 313  
Biberist 119  
Biel 128, 187, 272, 257, 319, 359  
Bielersee 319  
Bieligertal 438  
Bière 123, 257  
Binn 428, 430, **435**, 437  
Binntal 260, 405, 410, 411, 419, 428, **431**, **435**, 438  
Binz ZH 26  
Bioley-Orjulaz 132, 135, 145  
Birchbüel-Tenterenberg 46  
Birmenstorf 127  
Birrfeld 112  
Birs 116, 119  
Bischofszell 74, 75, 121, 122, 132  
Blackenstock 8  
Blatten-Staad 258  
Blauen 256  
Blausee-Mitholz 241, 249, 253  
Bleisch dal Piz dal Ras 116  
Blenio 121  
  -tal 121, 132, 235, 237, 260  
Blumenstein 261  
Blumisberg 127  
Bluturm 201  
Bodensee 177, 185, 385  
  -gebiet 121, 135  
Bodio 236, 248, 252, 258  
Boécourt 256  
Bofflens 257  
Bois  
  de Robe 116  
  Jaques 320  
  Genoud 49  
Bôle 257  
Bolligen (Stockern) 258  
Bollingen 183, 209, 257, 397  
  -Lehholz 230, 248, 252  
Bollion 258  
Bonaduz 149-150  
Boncourt 256  
Bondo 258  
Bonfol 73, 93, 116, 256  
Bönigen 128, 261  
Boningen 120

Bonvillars 257  
 Born 256, 318  
 Bortelhorn 438  
 Böttstein 44, 45, 127, 256  
 Botzeresse 260  
 Boudry 117, 257  
 Bouillet 361, 362, 363, 364  
 Boussens 145, 147  
 Bouveret 262  
 Bovas 116  
 Boveresse 257  
 Bözberg 51, 256, 376  
 Bözen 256  
 Bramois 260, 414  
 Brand 209, 230  
 Breitenbach 120  
 Breiti 128  
 Bremgarten 190, 191  
 Brenno 121  
 Brescia (I) 181, 192  
 Bressaucourt 256  
 Bretonnières 152, 154, 157, 257  
 Brienz 190, 261  
 Briensersee 113, 190, 241  
 Brig 124, 198, 202, 204, 242, 260  
 Brigels 242  
 Brigerberg 260  
 Brione 238, 249, 253, 259, 260  
 Brissago 260, 428  
 Bristen 419, 434, 437  
 Bristenstock **411**  
 Brou (F) 190  
 Broye 123, 128, 184  
 Brugg 83, 111, 112, 185, 227, 313, 397  
 Brugg 397  
 Brunefarine 333  
 Brunegg 256  
 Brunnen 275, 262, 304, **316**, 318, 326, 332  
 Brunst 234  
 Brusio 116, 234, 258  
 Brüttelen 179, 185  
 Bubendorf 256  
 Buch SH 119  
 -berg 50, 70, 71, 73, 119, 183  
 -eggberg 119  
 -rain 128  
 Buchen–Staad 185, 231, 248, 252, 257  
 Buchs 77, 79, 209, 262  
 Buechberg 119  
 Buix 256, 357  
 Bülach 77, 133  
 Bullet 257  
 Bümberg 113, 128  
 Bümpliz 53  
 Bundesarchiv 183  
 Bundesgericht 184  
 Bundeshaus 180-193  
 Bure 256  
 Büren 128  
 an der Aare 185  
 Burgacker 135, 133  
 Burgdorf 42, 55, 113, 128, 184, 258  
 Bürglen 121

Büriswilen 230, 248, 252  
 Bütschwil 120, 181, 201  
 Büttenhardt 91  
 Buttes 117  
 Buus 182, 256  
 Buzza di Biasca 121, 132

## C

Cabbiolo 259  
 Cademario 259  
 Cadro 121  
 Calanca 236  
 -tal 172, 234, 235, 237, 260  
 Calanda 407, 410, 412  
 Calmot 260  
 Calmut 242, 249, 253  
 Cama 259  
 Cambrena 116  
 Campascio 234, 248, 252  
 Campèja 170  
 Camperio 421, 422  
 Campo Valle Maggia 121  
 Campolungo 428, 429  
 Campsüt 258  
 Caprino 262  
 Carasso 259  
 Carona 260  
 Casaccia 116  
 Casino Bern 181  
 Caslano 274  
 Castaneda 259  
 Castione 121, 189, **195**, **196**, 225, 235, 239, 249, 253, 275, 280, 261  
 Catogne 438  
 Cavigliano 259  
 Cavadischlucht 434  
 Ceneri  
 Zone 235  
 Gebiet 81  
 Cengalo 427  
 Centovalli 74, 121, 197, 260, 411  
 Cernier 188, 257  
 Cervandone 428  
 Cevio 121, 238, 239, 249, 253, 259  
 Chablais 195  
 Châbles 258  
 Chaisterfeld 127  
 Cham 124  
 Chämleten 242, 249, 253  
 Chamonix 436  
 Chamoson 409, 428  
 Chamossaire 363  
 Champagne (F) 179  
 Champs Pointus 129  
 Chandoline 414  
 Chant Blau 116  
 Charmey 262  
 Charmoille 256  
 Châtelwald 319, 320  
 Cheseaux 147, 258  
 Chevenez 256  
 Chèvres 258

Chiavenna 198  
 Chiètres 245  
 Chiggiogna 237, 248, 252, 258  
 Chillon 183, 195  
 Chippis 77, 428  
 Chlosterchöpfli 271  
 Choëx 245, 275  
 Choindez 77, 407, 410  
 Cholbach 117  
 Cholfirst 73, 77, 125  
 Chraiegg 376  
 Chratzme 113  
 Chrützacker 127  
 Chüenzen 241  
 Chüenzentennlen 241  
 Chugelwald 128  
 Chur 148, 129, 177, 191, 311, 385  
 Churer Rheintal 115, 116, 129  
 Claie-aux-Moines 122  
 Claro 235, 238, 258  
 Clos du Doubs 256  
 Clüs 258  
 Coeuvres 256  
 Coffrane 117, 129  
 -Rive 117  
 -Serroue 117  
 Col  
 de la Croix 349  
 du Pillon 349  
 Collegiata 196, 281  
 Collegiatakirche 280, 284  
 Collombey 189, **193**, 196, 200, 262  
 Collonges 124, 133, 244, 249, 253, 260, 262, 414  
 Colombier 257  
 Combe du Pont 12  
 Concise 189, 257  
 Conthey 133  
 Corbières 179, 257  
 Corcelles 46, 257  
 Cornaux 257, 304, **319**, 320, 321  
 Cornol 256  
 Corpataux 128, 201  
 Cortaillod 117  
 Cossonay 122  
 Côtes  
 de Montbelon 258  
 de Vaux 321, 322  
 Coulat 363  
 Courchavon 256  
 Courgenay 256  
 Courrendlin 117, 256  
 Courroux 117  
 Court 70, 73, 256, 257  
 Courtedoux 256  
 Courtelary 257  
 Courtemaiche 256  
 Crap Ses 115  
 Crapteig 115  
 Crémines 256  
 Cresciano 236, 237, 238, 248, 252, 258  
 Cresciano-Osogna 258  
 Cressier 272, 257, 319, 320  
 Creux de Boisset 129

Crissier 42, 49  
 Cristallina 235, 240  
 Cröt 258  
 Croy 257  
 Cuarny **413**  
 Cuasso al Monte 275  
 Cuolm da Vi 434  
 Curio 259

## D

Dalpe 261  
 Dampfreux-Lugnez 256  
 Däniken 120, 132  
 Dänikon 256  
 Därligen 305, 326  
 Daro 259  
 Dastello San Pietro 262  
 Davos 258, 260, 407, **411**  
 Frauenkirch 116  
 Degerfelden 182  
 Degersheim 120, 231, 258  
 Deisswil 127  
 Deitingen 119  
 Delémont 117, 256  
 Delsberg 187, 410  
 Delsberger Becken 410  
 Densbüren 256  
 Dents de Morcles 414  
 Develier 116, 256  
 Devens 363  
 Diablerets 359  
 Dicki-Eichholz 128  
 Dieggis 317, 318  
 Dielsdorf 78, 126, 187, 227, 256  
 -Steinmaur 248, 252, 256  
 Diemtigtal 261  
 Diepflingen 257  
 Dierikon 257  
 Diesbach 261  
 Diesse 257, 320  
 Diessenhofen 51, 121  
 Dietlikon 126  
 Dinhard 126  
 Disentis 242, 249, 253, 412, 433, 437  
 Disla 259  
 Dittingen 176, 187, 227, 272  
 -Liesberg 248, 252  
 Dizey-En-Fayet 122  
 Dölle 262  
 Domleschg 148, 150  
 Donneloye 258  
 Dorénaz 204, 275, 260, 414  
 Dornach 120, 256  
 Dorneck 120  
 Dottikon 258  
 Döttingen 42, 46, 53, 127  
 Doubs 116  
 Drahtschmidli 282  
 Dreifaltigkeitskirche 180, 181, 187, 188  
 Drunbach 115  
 Düringen 129  
 Dulliken 120, 132  
 Dünern 71, 119, 120



Dürnten 126, 415  
 Dürrboden 234, 252  
 Dürrenbüel 234

## E

Ebnat 257  
 Echallens 258  
 Echarlens 257  
 Eclépens 257, 298, 304, **320**,  
 322, 353  
 Ecublens 258  
 Ederswiler 256  
 Effingen 256  
 Egerkingen 77, 272, 256  
 Egg 125  
 Eggerberg 420, 432  
 Eglisau 198, 202, 241  
 Ehrendingen 256  
 Ei 128  
 Eichberg SG 79  
 Eichholz 127  
 Eichrüteli 127  
 Eidgenössische Münzstätte 183  
 Eiken 256  
 Einigen BE 83  
 Einsiedelei Rüttenen 277  
 Einsiedeln 41, 93, 119, 132, 179,  
 183, 262  
 Eisten 260  
 Elgg 415  
 Elggis 332  
 Elm 202, 203, 261  
 Elsass 120, 355  
 Embd 209, 215, 260  
 -Kalpetran 249, 253  
 Embrachertal 126  
 Emmental 113, 119, 128, 359  
 Emmetten 117  
 Engadin 116, 129, 284  
 Enge 201  
 Engelberg 190, 261  
 Engi 132, 202, 203, 261  
 Engstligental 202, 203  
 Ennerberg 117, 129  
 Ennetmoos 351, 353  
 Entlebuch 185, 229, 257, 413  
 Entre-deux-Gryonnes-Mine 361  
 Eptingen 256  
 Eriwies 24  
 Erlach 128  
 Erlen 420  
 Ernen 202, 430  
 Ernetschwil 120  
 Erschwil SO 70, 73, 77  
 Eschenbach 117, 120, 129, 209,  
 415  
 -Brand 230, 248, 252  
 Eschenz 121  
 Escherdenkmal Zürich 181  
 Essertines 359, 413  
 Estavayer 84  
 -le-Gibloux-Grands Champs  
 128  
 -le-Lac 27, 83  
 ETH-Zürich 184, 191

Ettingen 272, 256  
 Etzelkofen 49  
 Etzgen 256  
 Etzlital 260, 434  
 Eulacherfeld 126  
 Evian 183  
 Evilard 256, 257  
 Evolène 199, 249, 253

## F

Fahr 179, 196  
 Fahy 256  
 Faido 237  
 Falotta 410, 416, 428, 429, 431,  
 436  
 Faltenjura 271, 348  
 Fanas 261  
 Felsberg 79, 260, 261  
 Felsenau 256, 348  
 Fenza 310, 311  
 Ferden 414  
 Ferreratal 410  
 Fescoggia 259  
 Fexbach 116  
 Fianell 410  
 Fideris 116  
 Fiesch 432, 437  
 Fieschergletscher 424  
 Fieschertal 124  
 Figino 260  
 Filisur 116  
 Finero (I) 411  
 Finhaut 260  
 Finsteraarhorn 18  
 Finsterhennen 114, 128  
 Finsterwald 413  
 Fisibach 50  
 Fisistock 241  
 Flaach 126  
 Flavil 120  
 Fleurier 257  
 Flims 148, 261  
 Flüelapass 116  
 Flüelen 122, 132  
 Flüeli 262  
 Flumenthal 13  
 Flums 79, 261  
 Flurlingen 410  
 Fondement 362  
 Fontana 259  
 Fontenais 256  
 Forestal 129  
 Forst 113  
 Fränkische Alb 227  
 Franziskanerkirche 290  
 Frauenfeld 121, 122, 199  
 Fraumünster 183, 185  
 Freiamt 112  
 Freiberg GL 135  
 Freiberge 256  
 Freiburg 50, 178, 179, 184, 185,  
 188, 193, 200, 202, 443  
 im Breisgau 433  
 Freienbach 185, 257  
 Freudwil 133

Fribourg 188, 229, 294, 385  
 -Beauregard 258  
 Frick 42, 44, 45, 46, 57, 256  
 -tal 182  
 Frutigen 203, 261  
 Fuchsbad 185  
 Fuchseloch 231  
 Fulachtal 257  
 Furka 376  
 -basistunnel 425, 434  
 -horn 432  
 Furnabach 116, 129  
 Fürstentum Liechtenstein 365  
 Furttal 126  
 Fusio 260

## G

Gabenkopf 2, 314  
 Galmisberg 129  
 Galtorn 258  
 Gammenthal 114  
 Gampel VS 77  
 Gamsen 124  
 Ganda 116  
 Gänssbrunnen 256  
 Gansingen 228, 256  
 Gäu 119, 120, 132  
 Gebenstorf 256  
 Geisingen (D) 312  
 Geisspfad 412, 428  
 Gelterkinden 256  
 Generaldirektion SBB Bern 290  
 Genf 27, 177, 184, 185, 187, 188,  
 192, 193, 258, 281, 412, **413**,  
 437, 443  
 Genfersee 123, 124, 177, 189,  
 245, 357, 385  
 -gebiet 177, 183, 190, 200  
 Genolier 257  
 Gerechtigkeitsbrunnen BE 200  
 Gerendorf 260  
 Gerentöbeli 81  
 Gerlafingen 374  
 Gerra 259  
 Gersau 199  
 Gerstenegg 420, 422, 435  
 Gettnau 142, **143**, 144  
 Gheiba 239  
 Gheid 120  
 Gibelsbach 432  
 Giebenach 256  
 Gigenbuck 54  
 Gigestaffel 260  
 Giorno 121, 197  
 Girendorf 132  
 Gisikon 51, 257  
 Giswil 118, 349, **413**  
 Giuv 428  
 Glarus 203, 233, 261, 443  
 Glatt 125  
 Glattal 125, 126, 133  
 Glattfelden 125, 126, 133  
 Gletsch 245, 249, 295  
 Gletschergarten Luzern 276  
 Glis 124  
 Glovelier 256  
 Goldach 108, 120  
 Goldene Sonne 412  
 Goldswil 249, 253  
 Gollyre 411  
 Gommiswald 120  
 Goms 124, 198, 242, 433  
 Gondiswil 415  
 Gondo 260, 407, 412  
 Gonzen 406, 407, 409, 428  
 Goppenstein 406, 407, **411**  
 Gorb 428  
 Gorgier 117  
 Göschenen 198  
 Göscheneralp 96, 424, 436  
 Gösgen 120  
 Gossau 120  
 Gotthard 376, 382, 433  
 -gebiet 438  
 -pass 260  
 -strassentunnel 422, 425, 432,  
 434  
 Göttingen (D) 364  
 Gottshalden 415  
 Grabs 262  
 Grammont 262  
 Grand Praz 411  
 Grandson 27, 415  
 Granges 349, 351, 352, **353**, 354  
 -de-Vesin 128  
 -Marnand FR 85  
 Gräntschel 128  
 Graubünden 198, 200, 233, 274,  
 349, 407, 443  
 Grenchen 128, 188, 257  
 Grenchenberg 376  
 Grenilles 129  
 Greyerzerland 114  
 Grien 119  
 Griesserental 434  
 Grimont 411  
 Grimmisuat 261  
 Grimsel 241, 420, 428, 436  
 -gebiet 18, 199, 422  
 -pass 249, 253  
 Grindel 256  
 Grindelwald 179, 189, **193**  
 Grisigen 48, 49  
 Grône 133, 414  
 Gros-de-Vaud 145, 132  
 Grosse Melchaa 22  
 Grosse Schliere 22, 242  
 Grossmünster ZH 183  
 Grubenwald 262  
 Gruhalde 44  
 Grundmatt 272  
 Grüne 113  
 Grüt 127  
 Gruyère 114, 128  
 Grynau 230  
 Gryonne 359  
 Gstaad 261  
 Gsteig 204  
 Gsteigwiler 190, 261  
 Guber 118, 249, 253, 262  
 Gudo 259  
 Guegiloche 128

Güetli 198, 241, 249, 253, 259  
 Gugen 271  
 Guntliweid 230, 252  
 Guntmadingen 119, 132  
 Gunzgen 113  
 Gürbetal 113  
 Gurten 184, 231, 248, 252, 258  
 Gurtellen 198, 241, 249, 253  
 Guttannen 260, 419, 435, 437  
 Gwandlen 415

## H

Habkern 198  
 Habsburg 256  
 Hägendorf SO 42  
 Hahnenmoos 349  
 Haldenstein 115, 129, 261  
 Hallau 119, 182, 256, 448  
 Hallauerberg 76  
 Handegg 249, 253, 259  
 Hard 132, 133  
 Hard, obere 114  
 Hardwald ZH 84  
 Härkingen 132  
 Hasle 128  
 Haslen 132  
 Hasli 410  
   -berg 435  
   -kraftwerke 241  
   -tal 200  
 Hauenstein 271, 272, 318, 319, 376  
 Hauptaltar St. Michel 193  
 Hauptbahnhof Zürich 184  
 Hausen 256  
 Haute Nendaz 260  
 Hauterive 177, 185, 188, 257  
 Hauteville (F) 181  
 Hegau 135, 272  
 Hegnau 126  
 Heiliggeistkirche Bern 200  
 Heimberg 93, 128, 351, 352  
 Heimenhausen 114, 128  
 Hellikon 256  
 Helsinghausen 42, 51  
 Hemishofen 119  
 Hemmental SH 81, 256  
 Hemmiken 256  
 Henau 120  
 Henggart 126  
 Hérault (F) 179  
 Herblingen 257  
 Herdern 415  
 Herisau 258  
 Herrliberg 258  
 Herti 129  
 Herznach 407, 409, 410, 464  
 Hettis 317, 318  
 Himmelried 256  
 Hindelbank 193  
 Hinteres Rheinwald 233  
 Hinterfeld 128  
 Hinterrhein 148, 234, 248, 252, 258  
 Hinterwasen 424

Hinwil ZH 83  
 Hirzel 126  
 Hochdorf 42, 51, 129  
 Hochfelden 126  
 Höchi 129  
 Hochrhein 357, 364, 367  
 Hof 271  
 Hofkirche Luzern 286  
 Hofstatt 143  
 Hofstetten 256  
 Hoggerwald 256  
 Hohentannen 122, 132  
 Höhrone 139, 415  
 Holderbank 176, 305, 326, 351, 353  
 Höllgrotten 232  
 Hölstein 256  
 Höngg 125  
 Horboden 261  
 Horgen 414  
 Hörnli 126  
 Hornussen 256  
 Horw 42, 48, 257  
 Hospental 198, 242, 249, 253, 428  
 Hotel Bernerhof 195, 198  
 Hôtel de Musique 184  
 Hottwil 256  
 Huémoz 261  
 Hüerbüel 122  
 Hüntwangen 126, 136, 137, 155, 133  
 Hurden 119, 126  
 Huttwil 143  
 Hüttwilen 122

## I

Iberg 257, 260  
 Ichertswil 119  
 Ilanz 115, 150, 260, 413  
 Ilanzer See 145, 150  
 Ilfis 113  
 Im Hard 133  
 Immensee 180  
 Inn 116  
 Innerschweiz 190  
 Innertkirchen 259, 261  
 Innertport 128  
 Ins 179, 185  
 Inselspital 191  
 Inselwald 128  
 Intragna 259  
 Intschitobel 432  
 Intyamom 114  
 Inwil 51  
 Iragna 214, 236, 237, 248, 252, 259, 427  
 Irchel 51, 77, 125  
 Iseltwald 261  
 Iseo 259  
 Isérables 260, 414  
 Isla 129  
 Issert 260  
 Istighofen TG 42  
 Ittenthal 256

## J

Jaberg 112, 113  
 Jakobsberg 315, 316  
 Jassbach 113  
 Jegenstorf 193  
 Jesuitenkirche St. Michael 178  
 Jona 183, 257  
 Jonschwil 120  
 Joux 123  
 Julia 116  
 Jungfrauojoch 376  
 Junkerboden 116  
 Jura 112, 188, 227, 271, 272, 280, 386, 406, 407, 443

## K

Kadelburg 135  
 Kaiseraugst 256, 365, 366, 369  
 Kaiserstuhl 357  
 Kaisten 127, 256  
 Kalpetran 209, 215, 249, 253  
 Kaltbrunn 415  
 Kaltenbach 121  
 Kaltenberg 411  
 Kämmlen 260  
 Kander  
   -delta 112, 113  
   -grund 128  
   -tal 128, 202, 241  
 Kapellbrücke in Luzern 278  
 Kapelle St. Magdalena 284  
 Käpfnach 414, 415  
 Kappel 183  
 Kasino Bern 286  
 Kathedrale  
   Lausanne 281  
   von Fribourg 294  
 Kehrsiten 272, 274, 262  
 Kemmlen 428  
 Kerns 351, 352, 353  
 Kernwald 117  
 Kienberg 256  
 Killwangen 111, 126  
 Kirchberg SG 120  
 Kirchdorf 114, 127  
 Kirche St. Maria Calanca 196  
 Kirchet 200  
 Klein-Bösigen 258  
 Kleiner Mutsch 434  
 Kleingrütt 365  
 Kleinfützel 256  
 Klettgau 55, 118, 135  
 Klettgau (D) 182  
 Klöntal 261  
 Klöntalersee 22  
 Kloster  
   Fraubrunnen 27  
   Gottstatt 185  
   St. Johannsen 185  
 Klostergut Paradies 416  
 Klosterkirche  
   Müstair 292  
   Rheinau 288, 289  
 Kloten 126

Klus 272  
   von Moutier 12  
   von Rechenette 319  
 Knonauer Amt 126  
 Koblenz 111, 366  
 Kohlwald 102  
 Kölner Dom 281  
 Köniz 231, 248, 252  
 Konstanz (D) 230  
 Kornberg 256  
 Kornhausbrücke BE 181  
 Kraftwerk  
   Eglisau 241  
   Göschenen 432  
 Krattigen 350, 351  
 Kratzmatt 128  
 Krauchthal 184, 230, 231, 248, 252, 258  
 Kreienmoos 257  
 Kriens 185, 257  
 Krüzlistock 434  
 Künstlergasse in Zürich 288  
 Kunsthaus Zürich 193, 195  
 Kunstmuseum in Basel 292  
 Küsnacht ZH 14  
 Küsnacht am Rigi 199  
 Küttigen 45

## L

La Bretagne 123  
 La Brévine 257  
 La Caquerelle 256  
 La Cernia 187, 188, 228, 252, 272, 257  
 La Charuque 319  
 La Chaux-de-Fonds 188, 271, 256, 257  
 La Chaux-du-Milieu 257  
 La Combe 129  
 La Côte-aux-Fées 257  
 La Coudre 188, 257  
 La Croix 351  
 La Forclaz 199  
 La Frésaire 123  
 La Lance 176, 189, 257  
 La Malcote 271  
 La Molière 179, 185  
 La Neuveville 272  
 La Presta 42, 46, 47, 413  
 La Roche-Villaret 128  
 La Sarraz 208, 257, 320  
 La Sauge 189, 257  
 La Sagne 257  
 Laas 177  
 Lac  
   de Fully 414  
   Champex 260  
   Léman 132, 183, 195  
 Lacaunes 196  
 Laconnex 115  
 Lägern 187, 205, 272  
 Lago  
   di Poschiavo 115, 116  
 Maggiore 413  
 Tremorgio 438



- Lamme 430  
 Landeron-Combes 257  
 Landesmuseum Zürich 181, 187, 201  
 Landesplattenberg 203  
 Landiswil 113, 128  
 Landquart 41, 42, 55, 115, 116  
 Langacker-Juch 133  
 Langensee 121  
 Langfuhr 102  
 Langfuri 133  
 Lasa 177  
 Laubberg 125  
 Lauenen 349  
 Lauerzersee 272, 274  
 Läufelfingen 256, 355  
 Laufen 42, 46, 47, 55, 179, 180, 187, 256  
 Laufenburg 198, 260  
 Laufental 73, 227  
 Lauffohr 256  
 Laupen 258  
 Lausanne 145, 177, 179, 183, 184, 185, 188, 190, 191, 192, 193, 195, 281, 258, 320, 357  
 Lausen 91, 305  
 Lauteraarhorn 18  
 Lauwil 256  
 L' Avançon 353  
 L' Isle St-George 257  
 Lavaux 132  
 Lavertezzo 259  
 Lavigny 123  
 Lavorgo 236, 237, 248, 252, 258  
 Le Bouveret 123, 257  
 Le Brassus 257  
 Le Daillet 322  
 Le Landeron 257  
 Le Locle 188, 256, 257  
 Le Pont 257  
 Le Prese 116  
 Le Ravoir 260  
 Le Sentier 257  
 Le Noirmont 256  
 Lebern 119  
 Legiuna 236, 237  
 Lehalde 129  
 Lehholz 209, 224, 230  
 Leissigbad 351  
 Leissigen 350, 351  
 Lengenbach **411**, 419, 428, 430, **431**, 435, 438  
 Lengnau 256, 272  
 Lenk 262, 349  
 Lenzerheide 116  
 Lenzerhorn 116  
 Les Bois 256  
 Les Brenets 256  
 Les Breuleux 256  
 Les Convers 256  
 Les Evouettes 262  
 Les Genevez 256  
 Les Grangettes 123, 132  
 Les Haudères 260  
 Les Hauts Geneveys 272  
 Les Îles 123, 124, 133  
 Les Planchettes 256  
 Les Trappistes 412  
 Les Verrières 257  
 Lesgiüna 237  
 Leuenhof 185  
 Leuggern 366  
 Leuk 77, 123, 124  
 Leuzigen 128, 176, 201  
 Leventina 121, 172, 180, 235, 237, 433  
 Leytron 204, 273, 260, 261  
 Liddes 124  
 Liebistorf 128  
 Lienz 120  
 Liesberg 187, 227, 256, 305, 326  
 Liestal 256  
 Lignières 257  
 Limmatt 111, 125, 313  
 -tal 125, 126  
 Linden 413  
 Lindenberg 199, 258  
 Linescio 170, 238, 239, 249, 253, 259  
 Linth 22, 115, 119, 124, 386  
 Linthal 274  
 Linthebene 120  
 Linthmündung 129  
 Littau 415  
 Locarnese 121, 199  
 Locarno 376  
 Lochmüli 230  
 Lodrino 236, 237, 248, 252, 427  
 Lohn SH 42, 47, 76, 91, 92, 312  
 Löhningen 256  
 Lombardei (I) 196  
 Lommiswil 119, 187, 227, 228, 248, 252, 256, 464  
 Lonza 124  
 Lorzetobel 139  
 Losone 259  
 Lostallo 121, 259  
 Lostorf 120, 256  
 Lothenbach 183, 257  
 Lötschberg 124, 376  
 Lötschental 198, 260, 414, 432  
 Lottstetten 126  
 Löwenburg 176  
 Löwendenkmal 185, 276, 277  
 Lufingen 42, 51, 133  
 Lugaggia 260  
 Luganersee 274, 275  
 Lugano 180  
 Luino 121  
 Lukmanierschlucht 412  
 Lungern 261  
 Lüssel 119  
 Luterbach 326  
 Lüterkofen 119  
 Lutherntal 95, 117, 135, **143–144**  
 Lütchinendelta 128  
 Lütchinentaler 261  
 Lützelau 257  
 Lützelflüh 128  
 Luzern 179, 183, 185, 190, 197, 257, 385, 437, 443  
 Lyss 114, 128  
 Lyssach 397  
**M**  
 Maderanertal 260, 419, 434, 435  
 Magadino 259  
 Magden 256  
 Mägenwil 111, 231, 248, 252, 258  
 Maggia 121, 235, 236  
 -tal 121, 132, 198, 208, 209, 215, 235, 238, 242  
 Maienfeld 129  
 Mailand (I) 196  
 Maingebiet (D) 182  
 Maira 232  
 Maisprach 71, 73, 182, 256  
 Malcantone **411**, 412  
 Maloja 258  
 -passhöhe 258  
 Malvaglia 248, 252  
 Mammern 71  
 Mandach 256  
 Markuskirche 187  
 Marmorera 260  
 Marthalen 126, 135, 133  
 Martigny 124, 245, 249, 253, 260, 412, 413  
 Martinsbrugg 286  
 Martinstobel 257  
 Maschänzer-Rüfi 115  
 Maschwanden 126  
 Maseltrangen 257  
 Massongex 245, 275, 262  
 Massonnens 231, 248, 252, 258  
 Matt 262  
 Mattertal 260  
 Mattmark 122  
 Mattstetten 114, 128  
 Medeglia 259  
 Medel 242, 260  
 Meilen 258  
 Meiringen 77, 201, 260, 261, 410, 436  
 Melbach 351, 352, **353**  
 Melchtal 190, 261  
 Melezza 121  
 Melide 260  
 Mellikon 312  
 Melligen 111, 126, 199  
 Mels 179, 234, 248, 252, 262  
 Mendrisiotto 235  
 Ménières 85, 128  
 Menzingen 124, 133, 135, **139–141**  
 Menzingen-Neuheim ZG 135  
 Merishausen 81, 256  
 Merligen 189, **191**, 262  
 Mervelier 256  
 Mesocco 233  
 Mesopotamien 27  
 Messen SO 93  
 Mettau 256  
 Mettlen 51, 56, 128  
 Meuse (F) 181  
 Miécourt 256  
 Miéville 260  
 Migliaglia 412  
 Mionnaz 415  
 Miralago 258  
 Misox 81, 121, 179, 196, 235, 239, 260, 427, 429, 438  
 Mitholz 241, 253, 262  
 Mittelbuck 81  
 Mittelbünden 115, 129  
 Moellons 241, 257  
 Moesa 121  
 Mohenjo-Daro 27  
 Möhlin 76, 111, 364, 365  
 Möhrenhof LU 96  
 Moirygletscher 260  
 Molinazzo 259  
 Molinis 21  
 Mollis 129, 274, 262  
 Molomba 145  
 Mompé 242, 260  
 -Medel 249, 253  
 -Tavetsch 260  
 Mont  
 Blanc-Massiv 409, 438  
 Chemin 409, 412  
 d'Arvel 191  
 Jacques 271  
 Montagne de Diesse 320  
 Montana 261  
 Monte  
 Bré 262, 274  
 Caslano 76, 77  
 Catogne 412  
 Cervandone 428  
 Generoso 241, 274  
 San Giorgio 76, 412, 413  
 San Salvatore 77, 274  
 Montebello 116, 129  
 Montet 84, 85, 353  
 Montfaucon 256  
 Monthey 91, 200, 245, 249, 253, 260, 262, 363  
 Montlingerberg 262  
 Montreux 261  
 Montricher 123  
 Morbio Inferiore 305  
 Mörel 260  
 Morges 123, 183  
 Mormont 189, 257, 320, 322  
 Moron BE 77  
 -Montgirod 73  
 Morschach 199  
 Mörschwil 415  
 Morteratsch-Gletscher 116  
 Mosnang 120  
 Motta 259  
 Motto 121  
 Moudon 123  
 Moutier 12, 77, 256, 319  
 Muggiotal 241  
 Mühlenen 188  
 Mühlental 77, 257  
 Mühletal 180, 186, 410  
 Mülönen 203  
 Mülligen 127, 256  
 Mümliswil SO 77  
 Mumpf AG 70, 71, 73  
 München Südfriedhof 280  
 Münchenbuchsee 83, 127  
 Münchenstein 256, 305  
 Munot 188

Münsterportal in Bern 278  
 Münstertal 116  
 Münzgasse in Bern 286  
 Muota 316  
 Muotathal 262  
 Muraz 261  
 Mureda 116  
 Murg 262  
 Murgenthal **413**  
 Murist-La Molière 248, 252  
 Mürli 273  
 Murten 128, 185, 188  
 Mürtschenalp 411  
 Mürtschenstock 18  
 Museum Allerheiligen 182  
 Musital 312, 313  
 Müstair 116, 292, 293  
 Mutten-Signau 114  
 Muttentz 114, 271, 256, 364, 365

## N

Nägeli 316  
 Nänikon 133  
 Napfgebiet 412  
 Naret-Pass 436, 438  
 Nassen 120  
 Naters 259, 260  
 Nationalbank Zürich 185  
 Neckar (D) 364  
 Neftenbach 71  
 Nendaz 260, 414  
 Nennigkofen 119  
 Netstal 77, 261, 304, 330, 333  
 Neuchâtel/Neuenburg 187-189,  
 228, 272, 256, 257, 443  
 Neuenburger Jura 271  
 Neuenburgersee 112, 117, 129,  
 176, 185, 319  
 Neuendorf 132  
 Neuenegg 201  
 Neuhaus 183, 257  
 Neuhausen 257, 410  
 Neuheim 124, 125, **139-141**, 133  
 Neunkirch 42, 54, 55  
 Neuveville 257  
 Nidwalden 443  
 Niederamt 119, 120, 132  
 Niederbipp 113, 114, 120, 128  
 Niederbüren 120, 132  
 Niedereichi (Ruchmühle) 258  
 Niedererlinsbach 120, 271  
 Niedergösgen 176  
 Niederhard 127  
 Niederhelfenschwil 74  
 Niederholz 126  
 Niedermartelen 133  
 Niederwangen 128  
 Niederwichtrach 127  
 Niesenkette 203  
 Noiraigue 200  
 Nordostschweiz 386  
 Nordwestschweiz 185  
 Notkersegg 257  
 Novaggio 259  
 Novate 19

Nufenen 234  
 -pass 242, 244  
 Nuglar 256  
 Nuolen-Guntliweid 230, 248,  
 252  
 Nürnberg (D) 203  
 Nydeggbücke 198, 200  
 Nyon 123

## O

Oberaargau 112, 114, 128  
 Oberalppass 242, 249, 253  
 Oberbauenstock 8  
 Oberbuchsiten 256  
 Oberbüren 120  
 Oberburg 258  
 Oberdiessbach 55, 93  
 Oberdorf 129, 200, 272, 256, 464  
 Obere Hard 114  
 Oberegg 315, 316  
 Oberehrendingen 256  
 Oberembrach ZH 77  
 Oberengadin 202  
 Oberer Zürichsee 229  
 Oberfeld 128  
 Oberfrick 256  
 Obergericht Bern 184  
 Obergesteln 260, 435  
 Oberglatt 125  
 Oberhalbstein 116, 260, 261,  
 405, 407, 410, 428, 429, 436  
 Oberhallau 256  
 Oberhasli 410, 419, 435  
 Oberhof 256  
 Oberhofen 182, 256  
 Oberklettgau 132  
 Oberluft 132  
 Obermumpf 256  
 Oberriet 274, 262  
 Obersaxen **411**  
 Obersee GL 22  
 Obersee, ZH 177, 183  
 Oberstocken 261  
 Oberwald 245, 249, 253, 295,  
 260  
 Oberwallis 202, 204, 438  
 Oberwangen 113, 128  
 Oberwangenhubel 128  
 Oberweningen 125  
 Oberwil ZG 124  
 Oberwil BL 42  
 Obfelden 126  
 Obwalden 353, 443  
 Ochsenboden VS 77  
 Oensingen 13, 120, 132  
 Oeschinensee BE 22  
 Oftringen 256  
 Ohringen 71  
 Oldis 129  
 Olivone 421, 422  
 Ollon 362  
 Olten 83, 119, 120, 180, 304,  
 309, **318**, 319, 331  
 Oltingen 256  
 Onsernone 235, 236

Opéra von Paris 195  
 Orbe 123, 188, 257, 320  
 Ormalingen 256  
 Orny 257  
 Orsières 122, 123, 124, 204, 260  
 Osogna 121, 237  
 Osterfingen 256  
 Ostermundigen 184, 231, 248,  
 252, 258  
 Othmarsingen 258

## P

Pagig 116  
 Panex 362  
 Paradeplatz 187  
 Paradies 42, 416  
 Paradis VD 145  
 Paris (F) 195  
 Parkring-Mauer in Zürich 284  
 Parlamentsgebäude 180, 181, 183,  
 188, 191, 192, 193, 195, 196, 198  
 Parpaner Rothorn 407  
 Paspels 115, 129  
 Passo  
 Barna 259  
 Cadonighino 429  
 Patschadauns 242, 249, 253  
 Paudex-Oron 415  
 Pauluskirche 181  
 Payerne 123, 184, 185, 188  
 Peccia 249  
 Pedemonte 235  
 Perdatsch 259  
 Pérolles 184  
 Personico 236, 237, 248, 252, 258  
 Péry 319  
 Peterhof 185  
 Petersburg 203  
 Pétozan 132  
 Peyres-Possens 49, 56  
 Pfäfers 179, 190, 191, 261  
 Pfaffenboden-Waldhaus 128  
 Pfäffikon SZ 83  
 Pfaffnau 413  
 Pfandshof 116  
 Pfannenstil 129  
 Pfarrkirche  
 St. Peter 179, 204  
 St. Verena 179, 196  
 Pfungen 71  
 Pfynwald 124  
 Piandera 260  
 Piano di Peccia 240  
 Piatta TI 77  
 Piatto della Miniera 79  
 Piemont (I) 196  
 Pierre Pertuis 376  
 Pieterlen 42, 49, 256  
 Pillon 351  
 Piotta 259  
 Pissieux 258  
 Piz  
 Beverin 424  
 Daint Tschier 116  
 Lunghin 437

Pizzo  
 Castello 240  
 Corandoni 79  
 Forno 91, 428, 438  
 Planggenstock 424  
 Plasselb 249, 253, 262  
 Plasselschlund 242  
 Plauna 260  
 Pleigne 176, 256  
 Plessur 115  
 Plessurmündung 129  
 Plurs 198  
 Pollux 438  
 Polmengo 374  
 Pont  
 Butin 192  
 du Milieu 202  
 Ponte  
 Brolla 259  
 Leggiuna 259  
 Pontresina 116, 129, 258, 260  
 Porrentruy 256  
 Port Valais 133  
 Poschiavino 116  
 Poschiavo 198, 234, 248, 252,  
 258, 260, 436  
 Pragg-Jenaz 116, 129  
 Pratteln 114, 256, 364  
 Prättigau 115  
 Praz Jean **411**  
 Predora 260  
 Prêles 257  
 Preonzo 121, 235, 258  
 Prioratskirche 185, 188  
 Promontogno 115, 116, 232,  
 233, 248, 252, 258  
 Pruntrut 348  
 PTT-Museum Bern 187  
 Puntaiglas 411  
 Puschlav 116, 234, 242, 260, 437  
 Puzastag 260

## Q

Quaibrücke Zürich 181  
 Quinten 274, 261, 262

## R

Rafz 42, 50, 126  
 Rafzerfeld 119, 126, 133, 135,  
**135-137**  
 Ragaz 180, 190, **191**, 262  
 Ragisch 260  
 Ramosch 116  
 Ramsen 119  
 Rances 257  
 Randa 21, 124  
 Randen 119, 187  
 Rapperswil BE 42, 49, 56, 460  
 Raron VS 77  
 Räterichsboden 241  
 Rathaus  
 Lausanne 193  
 Zürich 185



- Ravensburg (D) 185  
 Reazzino 259  
 Reclère 256  
 Regensdorf 126  
 Reiat SH 91, 92  
 Reibigen 113  
 Reichenau 115, 129, 135, **148–150**  
 Reichenburg 119  
 Reieten 133  
 Reigoldswil 256  
 Rein da Sumvitg Rabius 115  
 Rekingen 2, 304, **312–314**, 326  
 Rempen 119  
 Remüs 258  
 Rengloch 185, 257  
 Rengishalde 74  
 Reppischtal 415  
 Reuchenette 187, 256, 257, 304, **319**  
 Reuenthal 348  
 Reuss 124, 273, 313, 386  
   -delta 122  
   -tal 125, 198, 241, 274  
 Reutigen 262  
 Rhäzüns 150  
 Rhein 2, 111, 115, 120, 182, 189, 241, 242, 273, 310, 313, 386  
   -brücke Basel 198  
   -ebene 114, 365, 369  
   -graben 357  
   -fall 135, 272, 410  
   -tal 242, 274  
 Rheinau 126, 135, 288, 289  
 Rheinfelden 182, 358, 359, 365, 366, 367, 369  
 Rheinheim (D) 367  
 Rheinwald 233  
 Rhone 114, 115, 123, 124, 195, 241, 242, 245, 273, 310, 386, 412  
   -ebene 123, 124  
   -mündung 124, 322  
   -tal 123, 179, 189, 204, 242, 245, 273, 274, 349, 413  
 Riburg 198, 356, 358, 359, 364, 365, 366, 369  
 Richensee 199, 200  
 Richterswil 126, 139  
 Ricken 376  
 Rickenbach 126  
 Ried 127  
 Riedhof 415  
 Riehen 182, 256  
 Riga 203  
 Riggisberg 201  
 Rigi 8, 232  
 Ringgenberg 249, 253, 274, 262  
 Riniken 414  
 Rinikon 256  
 Risibuck 73  
 Risleten 118  
 Ritorto 259  
 Riveo 208, 238, 239, 249, 253, 259  
 Riviera 121, 172, 235, 237, 239  
 Roche 189, **193**, 261, 304, **322**, 326, 351, 353  
 Rochers de Naye 195  
 Roches 256, 362  
 Rocourt 256  
 Rodenberg 51  
 Rodersdorf 256  
 Rodi 81, 235, 237  
 Rodig 127  
 Roggenburg 256  
 Roggwil 49  
 Rom (I) 195  
 Romainmôtier 190  
 Romandie 195  
 Rombach 116  
 Ronco 121  
 Rondez JU 77  
 Root–Rooterberg 231, 248, 252  
 Rootenberg 185, 209, 257  
 Rorbas 71  
 Rorschach 177, 185, 229, 231, 257  
 Röschenz 256  
 Rossberg 232  
 Rossinière 261  
 Rotes Haus 364  
 Rothacker/Olten 256  
 Rothenbrunnen 150  
 Rothenfluh 256  
 Rotzloch 78, 262, 264, 274  
   -schlucht 353  
 Rougemont 261  
 Rovana 121, 170, 239  
 Rovانات 238  
 Rovéréaz 361  
 Roveredo 91  
 Rübenen, in der 353  
 Rubigen 114, 127  
 Rüdlingen 119, 135  
 Ruefswil 129  
 Rüegsauschachen 114  
 Rufi 415  
 Ruine Grasburg 284  
 Rumendingen 128  
 Rümikon 256  
 Rümlingen 256  
 Rünenberg 256  
 Rungser Rüfi 21  
 Russin 115  
 Rüti 126, 258  
 Rütifeld 133  
 Rütihof 132  
 Rütligruppe 192  
 Rüttenen 277  
 Rutigen 318  
  
**S**  
 S-charl 407, **411**  
 Saane 114  
   -gebiet 231, 349  
   -tal 262  
 Saanen 204, 261, 262  
   -land 202  
 Saas 429  
   -Fee 260  
   -tal 202, 260, 428  
 Sachseln 118, 190, 380  
 Safnern 114, 128  
 Saicourt 256  
 Saignelégier 256  
 Saillon 189, 194, **195**, 245, 261, 262  
 Salanfe 407, 412  
 Salem (D) 185  
 Salez 120  
 Salgesch 133  
 Salins (F) 363  
 Salorino 121, 241, 262  
 Salouf 116  
 Salvan 204, 244, 249, 253, 260, 414  
 Salzberg 359  
 Samaden 202  
 Sambughe 259  
 Samnaun 116  
 San  
   Antonio 234, 259  
   Bernardino 234, 258  
   Carlo 249, 253  
   Nicolao 197  
   Vittore 259  
   Vittorio 200  
   Zeno (I) 180  
 Sandfluh 184  
 Säntismassiv 18  
 Sargans 135, 190, 191, 406, 409, 428  
 Sarine 114, 128, 129  
 Sarnersee OW 22  
 Sass Grand GR 96  
 Satigny 115  
 Savigny 122, 132  
 Savonnière (F) 181  
 Saxon 204  
 Scex Rouge 323  
 Schachental 256  
 Schachlete 227, 228, 272  
 Schaffhausen 119, 135, 177, 182, 185, 187, 188, 257, 272, 311, 443  
 Schafisheim 127  
 Schams 233  
 Schanfigg 116  
 Schänis 177, 415  
 Schattig Wichel 434  
 Scherbadung 428  
 Scherzberg 256  
 Scheulte 116  
 Schiers 116, 129  
 Schinznach 45, 57, 204, 256  
   Dorf 24, 204  
   Bad 256  
 Schlattingen 71  
 Schleithelm 182, 256  
 Schlettli 129  
 Schleuis 115  
 Schlieren 126  
 Schloss  
   Chillon 195  
   Grandson 27  
   von Vullierens 195  
   Vufflens 27  
 Schlossbergtunnel 376  
 Schlosskirche Valeria 204  
 Schlosswil 199  
 Schluein 129  
 Schmerikon 183, 257  
 Schmorrasgrat 410  
 Schnottwil 179, 185  
 Schnür 274  
 Schollberg 209  
 Schöllenen Schlucht 376  
 Schönenbach 132  
 Schönenwerd 436  
 Schraubach 116, 129  
 Schuls 261  
 Schupfart 256  
 Schüpfen 48, 49  
 Schurtannen 139  
 Schwaderloch 260  
 Schwägalp 112  
 Schwarzenbach 120  
 Schwarzenburg 113  
 Schwarzer Turm 185  
 Schwarzhäusern BE 120  
 Schwarzsee 242  
 Schwarzwald (D) 181  
 Schwarzwaldalp 262  
 Schwarzwasser 113  
 Schweizerhalle 358, 359, 364, 365, 366, 369  
 Schwibogen 262  
 Schwyz 119, 262, 316, 443  
 Scortaseo 260  
 Sedrun 115, 412, 434, 436  
 Seebach ZH 71  
 Seebi 256  
 Seeland 112, 113, 114, 128  
 Seelisberg 376  
 Seerücken 51, 258  
 Seewen 272, 262  
 Seeztal 274, 261  
 Seiry 231, 248, 252, 258  
 Selva 198, 234, 242, 260, 436  
   -Secca 259  
 Sembrancher 204, 245, 262, **411**  
 Sementina 259, 412  
 Semione (Matasco) 259  
 Sense 129  
 Sent 116, 258  
 Seon 111  
 Séprais 256  
 Serpiano 412  
 Servion 258  
 Sevelen 79, 274, 262  
 Sevgein 115  
 Siblingen 42, 46, 256  
 Siders 354  
 Sierre 124, 133, 262  
 Siggenthal 2, 300, 304, **313**, 314  
 Signau 114  
 Sigriswilergrat 191  
 Sihl 124  
   -brugg 124, 126  
   -see 79  
   -tal 139  
 Silberberg bei Davos 407, **411**  
 Silbersboden 128  
 Silenen 190, 261, 434  
 Sils 115, 116, 258  
   Maria 412

Silseralp 258  
 Simmengebiet 349  
 Simmental (Burgfluh) 261  
 Simplon 376, 414  
   -strasse 412  
   -tunnel 349, 438  
 Sins 397  
 Sion 124, 414  
   -Courmayeur 244  
 Sissach 256  
 Sitten 204, 354  
 Sitter 112  
 Soglio 233, 248, 252  
 Soladino 239  
 Solenberg 119  
 Solothurn 119, 177, 179, 180,  
   187, 188, 191, 195, 204, 290,  
   309, 348, 443, 464  
 Someo 208, 238  
 Sommerloch 422, 428  
 Sonceboz 257  
 Sonnenberg 415  
 Sonvico 260  
 Sopraceneri 121, 197, 198  
 Soriolo 238  
 Sorne 116  
 Sorte 259  
 Sottoceneri 121, 199  
 Souboz 256  
 Soulce 256  
 Sous-Vent 195, 245, 273  
 Soyhières 256  
 Spalantor 286  
 Spiez 202, 261, 437  
 Splügen 233  
   -passhöhe 258  
 St-Aubin 117, 257  
 St-Blaise 117, 177, 188, 257, 320  
 St-Cergue 188, 257  
 St-Croix 79, 187, 256  
 St-George 257  
 St-Imier 180, 188, 256, 257  
 St-Imier-Les-Bois 256  
 St-Léonard 81, 244, 249, 253,  
   261  
 St-Maurice 123, 183, 193, 245,  
   249, 253, 262, 305  
 St-Nazaire (F) 179  
 St-Pierre 193  
 St-Prex VD 78  
 St-Triphon 179, 180, **189-191**,  
   245, 261, 273  
 St-Ursanne 77, 78, 187, 256,  
   304, 322, 330, 332, 333  
 St. Gallen 120, 181, 183, 185,  
   191, 195, 197, 233, 286, 392,  
   443  
 St. Georgen 257  
 St. Gotthard 428  
 St. Jakob 353  
 St. Johann 188  
 St. Margrethen 183, 185, 248,  
   252, 257  
 St. Moritz 258  
 St. Niklaus 260  
 St. Oswald 183  
 St. Pantaleon 256

St. Peter GR 116  
 St. Peter NW 204  
 St. Urban 27  
 St. Ursen 179, 187, 191, 195  
 St. Verenhügel/ Solothurn 256  
 Staad 185, 231  
 Stadlerberge 125  
 Stadthaus St. Gallen 195  
 Staffelbach 111, 127, 258  
 Staffelegg 256  
 Stammerberg 125  
 Stampa 258  
 Stans 179, 190, 261  
 Stanserhorn 349, 351, 353  
 Stansstad 272  
 Starkenbach 262  
 Starlera 410  
 Staufen 127  
 Stein am Rhein 119  
 Steinacher 127, 133  
 Steinen 199  
 Steinenkreuz 71, 73  
 Steingrueben 272  
 Steinigand 113  
 Steinlimi-/Steingletscher 113  
 Steinmaur 126, 187, 227, 272  
 Stöckalp 190  
 Stockalperpalast 198, 202  
 Stockeren 184  
 Stockhorn 428  
 Stoffelhalde 81  
 Strada 116  
 Strassberg 125  
 Strassburg 27  
 Stuls 258  
 Subinger-Wald 119  
 Südalpen 274, 275  
 Südranden 119, 410  
 Südschweiz 235  
 Südtessin 195, 240, 412  
 Südtirol 220  
 Sufersensee 115  
 Sulz 256  
 Sur 116  
 Sur le Moulin 129, 322  
 Sursee 190  
 Surselva 433  
 Süs 260  
 Susch 282, 284  
 Susten  
   -joch 260  
   -pass 412  
   -strasse 259

## T

Tafeljura 111, 271, 348, 358, 365  
 Tägerhard 127  
 Tal-Winkel-Hof 133  
 Talent 145  
 Taminatal 120  
 Tamins 148, 149, 260, 261  
 Tannen 257  
 Tannwald 128  
 Tanzboden 128  
 Tarasp 437

Tardis 129  
 Taspin **411**  
 Tatüren 242  
 Tavanasa 260  
 Tavannes 256  
 Tavannes-Court 257  
 Taverne 259  
 Tavetsch 198, 242, 419, 428,  
   433, 436  
 Tecknau 256  
 Tegerfelden 256  
 Tenniken 256, 257  
 Tenterenberg 46  
 Termen 203, 204  
 Tessin 121, 179, 189, 196, 197,  
   234, 235, 407, 427, 443  
 Tête de Sauquenil 322  
 Teufen 77, 183, 257  
   -Lochmüli 230, 248, 252  
 Thal 120  
 Thalgut 113  
 Thayngen 304, **311**, 312, 332  
 Thierstein 120  
 Thonon (F) 195  
 Thun 113, 128, 191, 203  
 Thunersee 112, 190, 191, 273,  
   274, 349, 351  
   -gebiet 199, 241  
 Thurgau 183, 443  
 Thurtal 120, 125, 126  
 Tiefencastel 116, **411**  
 Tinière 189, **195**  
 Tinizong/Tinzen 410, 429, 436  
 Titterten 256  
 Tödi 241  
 Toggenburg 120, 181, 201  
 Tösstal 126  
 Totalp (Davos) 260  
 Trachsellauenen **411**, 412  
 Trachselwald 114  
 Trachslau 132  
 Tramelan 256  
 Trasadingen 256  
 Travers 257  
 Treiten 128  
 Trentino (I) 179, 220  
 Trimmis 115  
 Trin 115  
 Trins 261  
 Trübbach 79, 190, 261  
 Trübtensee 425  
 Tubeode 128  
 Tubeloch 272  
 Tuffière 128  
 Tuggen 42, 53, 57, 119, 132  
 Tuleu 129  
 Tüllingen 257  
 Türliacher 127  
 Turtmann VS 81  
 Turtmanntal 411  
 Twann 257

## U

Überlingen (D) 185  
 Übeschi 257

Ueken 256  
 Üetliberg 53  
 Ufenau 257  
 Uitikon ZH 71  
 Ulm (D) 185  
 Ulrichen 242, 249  
 Universität  
   Bern 193  
   Zürich 181  
 Unterbilchen 257  
 Unterengadin 275, 260  
 Unterer Grindelwaldgletscher  
   262  
 Unterhasli 199  
 Unterhüsi 127  
 Unteriberg 119  
 Unterneuhaus 119  
 Unterrealta 115  
 Unterrindal 120  
 Unterschlatt 122  
 Unterseen 198  
 Unterterzen 261, 305, 326  
 Untertoggenburg 132  
 Untertorbrücke 200  
 Untervaz 115, 116, 129, 261,  
   262, 304, 310, 311  
 Unterwalden 204, 353  
 Unterwallis 124, 204, 273, 275,  
   349  
 Unterwasser 410  
 Urdorf 126  
 Uri 197, 198, 199, 436, 443  
 Urirotstock 8  
 Urmiberg 316  
 Urnäsch 112  
 Urner Reusstal 180, 274  
 Urnerloch 376  
 Urnersee 132  
 Ursera 411  
 Urseren 433  
 Urserental 122, 198, 242  
 Ursy 258  
 Uster 126, 133  
 Utteloo 127  
 Uttigen 112, 113  
 Uttins 257  
 Uznaberg 183, 257  
 Uznach 132, 415

## V

Vacallo 262  
 Vadura 261  
 Vaglio 260  
 Val  
   Blenio 81  
   Bondasca 260  
   Broglio 260  
   Cadlimo 79, 411  
   Calanca 91, 197, 238  
   Cama GR 74  
   Casatscha 438  
   Colla 412  
   d'Anniviers 411  
   d'Arbedo 429  
   de Bagnes 407, 414



- de la Tinière 261  
 de Rebolgin 429  
 de Ruz 129, 257  
 de Travers 46, 256, 413  
 d'Entremont 122, 123, 124, 414  
 d'Hérens 199, **411**  
 di Montogn 259  
 d'Illiez 245, 262, 424  
 d'Osoia 238, 259  
 Fedoz 438  
 Ferrera 407, 410  
 Ferret 122, 123, 260  
 Lavizzara 198  
 Malenco (I) 198  
 Mara 262  
 Medel 433  
 Milar 428  
 Morobbia 407  
 Muggio 262  
 Nalps 81  
 Peccia 225, 235, 238, 239, 240, 248, 253, 260, 261  
 Rondadura 81  
 Russein 259  
 Schmuér **411**  
 Sesia 411  
 Somvix 260  
 Spelunca 115  
 Sterla 410  
 Traversagna 429, 437  
 Tremola 259  
 Verzasca 197, 198, 238  
 Vigizzo 121  
 Zavràgia 261  
 Valangin-La Cernia 248, 252  
 Valle  
   di Bosco 260  
   di Campo 170, 198, 199, 239  
   di Ponte 428  
   Maggia 197, 198  
 Vallée du Nozon 321  
 Vallon 42, 50  
 Vallorbe 257  
 Vallorcine 260  
 Vals 233, 234, 248, 252, 258  
 Valsertal 234, 260  
 Vanit 429  
 Varese 275  
 Vättis 16, 191  
 Vaulion 179, 257  
 Vaumarcus 129, 189, 257  
 Vellerat 77  
 Vendlincourt 116, 256  
 Venoge 123, 320  
 Vereina 115, 376  
 Vergeletto 197, 235, 239  
 Vergeletttotal 239, 249, 253  
 Vermes 77, 256  
 Vermol 262  
 Vernayaz 260, 414  
 Vernier 305  
 Verona (I) 179, 180, 181, 196  
 Verscio 259  
 Verzasca 121, 236, 238  
 Verzascatal 238, 260, 433  
 Vesin FR 85  
 Vevey 179, 193, 195
- Viaduc des Gruyère 80  
 Vicques 256  
 Vierwaldstättersee 272, 316  
 Vigier 326  
 Vild 190  
 Villarbeney 128  
 Villarlod 231, 248, 252, 258  
 Villars 362, 363  
 Villarvolard 128  
 Villeneuve 123, 132, 191, 195, 261, 274  
 Villigen 256, 314  
 Villiger Geissberg 2, 314  
 Villnachern 257  
 Vils 261  
 Vindonissa 176, 187, 198  
 Vingelz 257  
 Vinschgau (I) 177  
 Vionnaz 261  
 Visp 245  
 Vispa 124, 244  
 Vispताल 198, 260  
 Vogesen 116, 357  
 Völkerbundspalast 187, 188  
 Volketswil 83, 84, 126, 133  
 Vollèges 204, 215, 245, 249, 253, 262  
 Vorberg 272  
 Vorderrhein (-tal) 148, 412 115, 129, 242, 274, 411, 413  
 Vouvry 261, 262, 305  
 Vullierens 195
- W**
- Waadt 185, 443  
 Waadtländer Jura 179  
 Wabern 258  
 Wagenburg 73, 77  
 Wägital 119, 198  
 Wägitaler Aa 119  
 Waldau 198  
 Waldenburg 256  
 Waldhaus-Grünenmatt 114  
 Waldhus 129  
 Wäldi 42, 51  
 Walensee 22, 135, 274  
 Walenstadt 190, 273, 261  
 Wallenried 50  
 Wallis 198, 200, 202, 204, 241, 245, 407, 443  
 Walliswil 128  
 Waltensburg 260  
 Wangen 113, 119, 126, 132  
   -tal 114  
 Wangs 261  
 Wannigletscher 428  
 Wasen 127  
 Washington (USA) 198  
 Wassen 180, 191, 198, 259  
 Wasseraamt 119  
 Wasserauen 112  
 Wasterkingen 125, 135, 136  
 Wauwil LU 77  
 Weesen 262  
 Wegenstetten 271, 256
- Weiach 14, 125, 126, 135, 133, 414  
 Weiacherfeld 135  
 Weinfeldten 121  
 Weinigen 122  
 Weinigen 93, 126  
 Weinland 126  
 Weissbrunn 355  
 Weisses Schloss 181  
 Weisstannental 413  
 Welschenrohr 42, 47, 256  
 Welttelegraphendenkmal 196  
 Wenslingen 256  
 Wermatswil 126  
 Westschweiz 193  
 Wettingen 71, 127, 198  
 Wetzikon 415  
 Wichtrach 114  
 Wiedlisbach 13  
 Wien (A) 191  
 Wienacht 257  
 Wiesen 116  
 Wiesendangen 126  
 Wiesental (D) 182  
 Wiggertal 112, 117, 143  
 Wil 120, 126, 133, 157  
 Wilchingen 119, 256, 448, 461  
 Wildegg 304, 309, **315**, 316, 326  
 Wildensbuch ZH 73, 77  
 Wilerfeld 120  
 Wilhalde 71, 73  
 Wimmis 128, 262  
 Windgälle 434  
 Windgällenhütte 435  
 Windisch 176  
 Windlacherfeld 126  
 Winterhorn 242  
 Winterthur 77, 126, 183, 184, 185, 258, 397  
 Wisen 256  
 Witterswil 256  
 Wittinsburg 256  
 Wittnau 256  
 Wohlen 199  
 Wolfgrubenacher 128  
 Wölflinswil 257  
 Wolhusen 117, 143  
 Wollerau 179, 185, 196, 257  
 Würenlingen 95, 256, 313  
 Würenlos 126, 176, 179, 185, 231, 258  
 Württemberg (D) 364  
 Wyhlen (D) 367  
 Wynau 128
- Y**
- Yverdon 174, 320  
   -Orbe **413**  
 Yvonand 258  
 Yvorne 178, 189, 192, 193, 262
- Z**
- Zalende 234, 248, 252  
 Zavràgia Zignau 115
- Zeglingen 256, 351, 354, **355**  
 Zeihen AG 42  
 Zeiningen 71, 73, 256  
 Zelgli 127, 133  
 Zell 117, **143–144**, 129, 415  
   Allmend 129, 142, 143  
   Briseck 142  
   Gettnau 135  
 Zeneggen 412  
 Zentralalpen 235  
 Zermatt 260, 411, 428, 429, 437, 438  
 Zerne 116, 258, 260  
 Zetzwil 111  
 Ziefen 256  
 Zihlkanal 319  
 Zingenstock 424, 435  
 Zofingen 190  
 Zuchthaus BE 191  
 Zutribistock GL 21  
 Zug 124, 139, 141, 183, 385, 443  
 Zugersee 183  
 Zullwil 256  
 Zumdorf 122, 259  
 Zunfthaus zur Meisen 183  
 Zürcher  
   Hauptbahnhof 278  
   Oberland 133  
   Unterland 126, 133  
   Weinland 126, 133  
   Ziegeleien 195  
 Zürich 125, 126, 177, 179, 180, 183, 184, 185, 187, 188, 191, 193, 194, 195, 196, 197, 213, 230, 281, 282, 284, 288, 289, 385, 397, 437, 443, 454  
   -berg 258  
   -Högg 125  
   -see 125, 185, 257  
 Zurzach 2, 135, 313, 357, 367  
 Zuzgen 256  
 Zweidlerhard 133  
 Zweilütschinen 190, 261  
 Zweisimmen 260, 261  
 Zwingen 256  
 Zwischbergen 412

## SACHREGISTER

- A**
- Aalenenschiefer 310  
 Aaregranit 180, 181, 197, 199, 200, 241, 435  
 Aarmassiv 15, 237, 241, 242, 245, 275, 412, 423, 425, 426, 433, 435  
 Aathal-Schotter 125  
 Abbau  
   Etappen-Visualisierung 461  
   Abbauplanung 450, 452, 457–463, 473  
   Abbauprojekt 456, 461  
   Fortschritt 473  
   Hauptuntersuchung 456  
   Pflichtenheft 456  
   Umweltauswirkungen 456  
   wichtigste gesetzliche Grundlagen 451  
 Abbau und Prüfung von Festgestein **205**  
 Abbauhammer 265  
 Abbaustellen  
   Folgenutzung 57  
 Abbauverfahren im Steinbruch 205–208  
   Abbaubänke 208  
   Abbaumethoden 207  
   Abbohren 206, 207  
   Abkeilen 207  
   Schlitzverfahren 207, 219  
   Schrämmen 206, 207  
   Seilsägen 206, 202, 217, 219  
 Abbinden des Gipses 341  
 Abbinderegler 304, 324  
 Abblättern 287, 293  
 Abbröckeln 286  
 Ablagerungen der Molasse 275  
 Abnutzung von Naturstein 225  
 Abplatzungen 212  
 Abrasivmittel 218  
 Abraumbeseitigung 205  
 Abriebfestigkeit 211  
 Absanden 221, 225, 285, 286, 287, 293  
 Abschabung 225  
 Abscherungsdecken 17  
 Abschuppen 281, 285  
 Abspalten vom Fels 219  
 Absplittern 281  
 Abwitterung 277  
 Acetylenflamme 216  
 Acrylharze 294  
 Acuminataschichten 271, 315, 316  
 Adlerhof-Gewölbe 358  
 Adsorptionsmittel 386  
 Aduladecke 234  
 Adular 421, 425, 434  
 Aerosole 280, 281
- Aeschynit 425  
 Aggregatformen, Salze 285  
 Aiguilles Rouges-Massiv 15, 275  
 aktivierte Oxide 324  
 Alabaster 179, **204**, 345, 347  
 Alaun 342  
 Albiemergel 41  
 Albitisierung 423  
 Albtalgranit 181  
 Algenkalkstein 180, 189  
 Algenmatten 287  
 Alit 301, 324  
 Alkali-Aggregat-Reaktion 165  
 Alkalikarbonate 285  
 alkalische Baustoffe 278, **285**  
 alkalische Salze 284, 290  
 Alkalisilikate 291, 293  
 Alpen, Geologie 15–19  
 Alpendurchstiche 376  
 Alpenkalk 254  
 Alpinsilber 215  
 Alpentransversale 375, 376, 401  
 alpine Orogenese 15  
 alpine Sandsteine, Brekzien und Konglomerate 274  
 alpine Zerrklüfte 420  
   Mineralien **421**, 426  
 alpine Kalksteine und Marmore 189–190  
 alpine Sandsteine 272  
 AlpTransit 373, 376, 380, 382, 401  
 altägyptische Denkmäler 290  
 Altäre 179  
 Altarkreuze 433  
 Altbauten 276, 277  
 alte Eidgenossenschaft 179  
 Altenryfstein 188  
 Altern von Naturstein 225  
 alternative Abfallbrennstoffe  
   Altholz 304, 313  
   Altreifen 304  
   Trockenklärschlamm 304, 313  
 Altglas 78, 374, 375, **400**, 401  
 Altkristallin 15, 234, 245  
 altquartäre fluvioglaziale Ablagerungen 107  
 Altsand 69  
 Altschotter 374, 375, 396, **397**, 398  
   Wiederverwertung 399  
 Aluminat 301, 324  
 Aluminatschmelze 303  
 Aluminiumelektrolyse 412  
 Alveolarverwitterung 279, 286, 287  
 Amdenermergel 310  
 Amdenerschichten 317  
 Amethyst 424  
 Amiant 434  
 Ammoniak 281  
 Ammonitico Rosso 310  
 Ammoniumsulfat 281  
 amorphe Kieselsäure 165  
 Amphibolite 275  
 Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (AGW) 398
- Andalusit 91  
 Anderer Gneis 233  
 Andeergranit 224, 232, **233**, 248, 252, 254  
 Andesit 255  
 Anhydrit 338, 339, 348  
   Anhydrit II 339  
   Anhydrit III 339, 341, 343  
   brekziöser Anhydrit 361  
   gebänderter Anhydrit 361  
   löslicher Anhydrit 339  
 Anhydritgruppe 348, 355, 357  
 Ankerdornausbruchversuch 211  
 Ankerit 434  
 Anorthit 35  
 Anschoppung 357  
 Antarcit 283  
 Anthrazit 328, 414  
 Antigoriodecke 235, 238  
 Antimon-Vererzungen **411**  
 AOX 395  
 Apatit 79, 432  
 Apatit-Biotit-Schiefer 79  
 Aphthitalit 283  
 Aplittgänge 421  
 Appenzeller Granit 231, 254  
 Appenzeller Sandstein 231  
 aquitane Molasse 49  
 Arbeitsgemeinschaft Lengenbach 431  
 Arcanit 283  
 archimedische Welle 31  
 Arietenkalk 44  
 Arsen 411  
 Arsenat-Adern 431  
 Arsensulfid-Vererzung Lengenbach 430, 435  
 Arvel 245  
 Arvel rose 191  
 Arzo  
   Brekzie 19  
   Kalke 240  
   Marmor 240, 249, 253  
 Asbest 412  
 Asbestkarton 412  
 Ashcroft-Sammlung 435  
 Asphalt 322, 413, 443  
 Asphalt  
   Betonbelag 389  
   Betondeckschichten 389  
   Betontragschichten 392  
   Fundationsschichten 389  
   Granulat 389, 390, 391  
 Asphaltmischgut 400  
 Association vaudoise des métiers de la pierre 216  
 Astrakanit 283  
 Atombrennstoffe 409  
 Atomgesetz 444  
 Atrazin 398  
 Ätzkalk 324  
 Aufbereitung  
   Hartgesteine 265  
   Hartschotter 266  
 Aufbereitungsversuche 382  
 Auffüllprojekt 456, 461  
 Auffüllungen 381
- Auflösungserscheinungen 287  
 Aufspalten 287  
 Ausbauasphalt 375, **387**, **388**  
 Ausbleichung 422  
 Ausblühungen 37, 284, 290  
 Ausbruch  
   Klassifikation 377  
   Material 375, **376**, 379  
   Methoden 377  
 Aushubmaterialien 375, **387**  
 Aussenklima 278  
 autochthone Massive 17, 421  
 autoklavgehärtete Baustoffe 83  
 Axendecke 234  
 Axinit 432  
 Azurit 407
- B**
- Bachablagerungen 102–103  
 Backenbrecher 265, 383  
 Backsteine 28, 29, 30  
 Backsteinfabrik Zürich 26  
 Badenerschichten 309, 319  
 Baggerschlitze 151  
 Bahn  
   2000 373  
   Gleise 397  
   Schotter 212, 268, 270, 296, 375  
   Schwellen 398  
 Bakterien 281  
 Bally-Museum 436  
 Balsthaler-Formation 319  
 Banatit-Monzonit 234  
 Bänderton 39, 41, 46, 53  
 Bandsägen 218  
 Barium 412  
 Barium-Adular 431  
 Barock 184, 190, 195, 196  
 Baryt 416  
 Basalt 255  
 basaltisches Glas 79  
 Basaltlava 255  
 Basiskarten 475  
 Bassanit 283  
 Baugips 339  
 Baustoffe  
   Abfälle 375, **387**  
   Schadstoffbelastung 394  
   Schutt 375, 376  
 Baubewilligungsverfahren 452, 453  
 Baurecht 441  
 Bausalze 210  
 Bausparten 220  
 Baustoffe 276  
 Baustoffindustrie 301  
 Bausubstanz 276  
 Bauwerke **276**  
 Bauxit 303, 308  
 Bazzit 434  
 Beckenbach-Ofen 332  
 Beckenton 39  
 Bedarfsnachweis 450, 458  
 Beilen 219  
 Bekrönungen 278



- Beläge 159, 287, 391  
 Belagsbau 212  
 Belagsbeton 381  
 Belagslieferwerk 390  
 Belit 301, 324, 325  
 Bentonit 13, 69, 70, **75**  
 Beregnung 226  
 Bergbau 207, 407, 409, 415, 441  
 Bergbauepochen 407  
 Bergeller Massiv 19, 427  
 Bergellergranit 200, 275  
 bergfreie Bodenschätze 441  
 Bergfreiheit 441  
 Berggesetz 441  
 Berggold 412  
 Bergkristall 424, 427, 436  
 Bergrecht **441**, 442, 446  
   Grundfragen **441**  
   Grundlagen **442–443**  
 Bergregal 441, 442  
 Bergsturz  
   Elm 203  
   Flims 115  
   Goldau 8  
   Randa 21  
   Zuetribistock 21  
 Bergsturzablagerung 102, 103  
 Bergsturzlandschaft Flims 148  
 Bergwerke 442  
 Beringen 76  
 Berner Münster 231  
 Berner/Freiburger Sandstein **231**  
 Bernersandstein 184, 223, **229**,  
   230, 248, 252, 278, 281, 286,  
   287 290  
 Bernharddecke 245  
 Bernhardin Quarzit 233, 234, 248,  
   252  
 Berninadecke 234  
 bernische Staatsbahnen 203  
 Beryll 433  
 Beryllsonnen 427  
 Besaziokalk 240  
 Beständigkeitsprüfungen 211  
 Besucherbergwerk 364, 406,  
   410, 415  
 Bethliskalk 273  
 Beton 159, 181, 301, 381  
 Beton  
   Abbruch 375, **387, 391**  
   Armierungen 278  
   Beläge 268  
   Eigenschaften 383  
   Granulat 391, 392  
   Norm 380  
   Recyclingmaterial 392  
   Zusätze 394  
   Zuschlag 267, 269, 381  
 Betriebspläne 473  
 Bevola 254  
 Bewilligungsgesuch 153  
 Bewilligungsverfahren 450  
   für Abbauvorhaben 452–457  
 Bex-Laubhorn-Decke 352  
 Biberschwanzziegel 27, 28, 31  
 Biedermeier 193  
 Biegezugfestigkeit 210, 252, 255  
 Bildhauerei 221  
 Bindemittel 306  
 Bindemittelindustrie 299  
 Binder  
   Bedarf 70  
   Giessereisande 71  
 Bindetone, alternative 76  
 biogene Beläge 281  
 biologische Verwitterung 280  
 Biotop 147, 462  
   in Ziegeleigruben 58  
 Birnenstorferschichten 309,  
   316, 319, 320  
 Bischofit 283  
 Bitumen 412, **413**, 443  
 Bitumen-Affinität 269  
 Bitumenbildung 412  
 Bitumenhaftung 271  
 bituminöse Planie 398  
 bituminöse Schiefer 413  
 Blagdenischichten 309, 316  
 Blähton 87  
   Fabrikationsschema 86  
 Blanket-Verfahren 369  
 blaue Mergel 46, 51  
 blauer Kalkstein 254  
 Blauseekalk 241  
 Blei 415  
 Blei-Zink-Vererzungen 406, **411**  
 Bleiglanz **411**  
 Bleiwatte 217  
 Bleu de grison 261  
 Blockigkeit 265  
 Blockorientierung 216  
 Blocktrenngeräte 217  
 Blockverarbeitung 215  
 Blockwurf 171  
 Blödit 283  
 Blutlaugensalz 370  
 Bodenfräse 389  
 Bodenschätze 3, 441  
 Bodenverbesserer 79  
 Bodiogranit 248, 252  
 Bohnerz 12, 13, 409, 410  
 Bohnerzabbau Jura 406  
 Bohren 219  
 Bohrgeräte 207, 213  
 Bohrlafette 206, 207  
 Bohrungen 151  
 Bollensteine 177  
 Bollinger Sandstein 181, 224,  
   230, 248, 252, 254  
 Boluston 39, 42, 47, 76, 91, 92, 410  
 Bonaduzer Schotter 148, 150  
 Bordsteine 221  
 Born-Engelberg-Antiklinale 318  
 Böschungssicherungen 270, **394**  
 Bossieren 93, 216  
 Botticino 181, 192  
 Boudinage 421  
 Boussingaultit 283  
 Branntkalk 299, 324, **326–333**,  
   327, 328, 331, 332, 347  
   Herstellungsprozess 328  
 Braunkohle 414, 415  
 Brech- und Sortieranlage 393  
 brèche de la Tinière 195  
 Brèche salifère 361  
 Brecher 31, 264  
 Brechgestein 205, 214  
   Qualitätsanforderungen 267  
 Brechkorn 161, 265  
 Brechschotter 207, 295  
 Brekzie 255, 274  
 Brennschwindung 51  
 Brennstoffe, mineralische 412  
 Brennverhalten 331  
 Brennzone 328  
 Brisischichten 275  
 Bristen 434  
 Britisches Museum 436  
 Broccatello 196, 262  
 Broccatello d'Arzo 180, 241,  
 Bröckel 293  
 Bröckelzerfall 287  
 Brodtbeck 306  
 Bromacil 398  
 Bruchboden 209  
 Bruchwand 209  
 Brucit 326  
 Brunnenbecken 179, 185, 187,  
   190, 191, 198, 199, 232, 277  
 Brunnenfiguren 188  
 Brusiogranit 234  
 Buchberger Sandstein 230, 248,  
   252, 254  
 Bundesamt für Bildung und Wis-  
   senschaft BBW 5  
 Bundesamt für Energiewirtschaft  
   BEW 413  
 Bundesamt für Landestopogra-  
   phie 475, 477  
 Bundesamt für Statistik 475, 477  
 Bundesamt für Umwelt, Wald  
   und Landschaft BUWAL 5  
 Bundesbahn Gesetz 445  
 Bundesberggesetz (D) 441  
 Bundesinventar der Landschaf-  
   ten und Naturdenkmäler 445  
 Bundesratsbeschluss  
   Geokommissionen 445  
 Bundesverfassung (BV) 442  
 Bündner Cementwerke AG  
   Untervaz (BCU) 311  
 Bündner Gneise 220  
 Bündner Gneise, Granite und  
   Serpentinite 233  
 Bündner Quarzit 233, 234  
 Bündnerschiefer 17, 261, 274, 310  
 Buntmarmor 179, 189, **191**  
 Buntmarmor von Arzo 240  
 Buntmetallagerstätten 409  
 Buntsandstein 182  
 Burgen 177, 222  
 Bürgenstock-Teildecke 317  
 Burgunder Flachziegel 27  
 Büro für Bergbau 407, 416  
 C  
 Cabochon 431  
 Calancagneise 238  
 Calancagranit 249, 253  
 Calanda-Beton AG 150  
 Calcaire roux 272, 321  
 Calcare di Moltrasio 241  
 Calcium-Silikat-Hydrate 83  
 Callovien-Tone 319, 320  
 Campasciogranit 234, 248, 252  
 Carraramarmor 179, 180  
 Castione nero 196, 239, 248  
 Castionegranit 224  
 Castionemarmor 239, 249, 253  
 CBR-Werte 269  
 CEM 303  
 Cement- und Kalkfabrik  
   Liesberg 326  
   Unterterzen 305, 326  
   Holderbank 326  
   Holderbank-Wildegge AG 305  
 Cementi 311  
 Cementwerke  
   Därligen AG 305  
   Vigier AG 326  
 CEN-Normen 212  
 Châble Rouge **192**  
 Chasseral-Antiklinale 319  
 Cheminées 179, 187, 190, 191,  
   192, 195, 196  
 Chemiegips 347  
 chemische Industrie 3  
 chemische Resistenz 223  
 chemische Verwitterung 279  
 Cheopspyramide **337**  
 Chips, Gesteinsbruchstücke 377  
 Chlor- und Fluorverbindungen  
   281  
 Chloride 285  
 Chlorit 33, 87, 385  
 Chrästel, Bergwerk 77  
 Chrom-Vererzungen **411**  
 Chromit 411  
 Chromitsand 400, 401  
 Ciba-Geigy AG 363  
 Cima Lunga 238  
   Cima Lunga Lappen 339  
 Cipolin  
   vert 245  
   vert moderne 195  
   vert rubanné 195  
   grand antique 194  
 Cipollin von Euböa 195  
 Claudius-Peters-Mahlrock-  
   nungsanlage 351  
 Combe du Pont 12  
 Comité Européen de Normalisa-  
   tion (CEN) 212  
 Commission on New Minerals  
   and Mineral Names (CNM)  
   431  
 Cordierit-Keramik 89  
 Couches Rouges 192, 310, 322,  
   326  
 Crenularisschichten 309  
 Crescianogranit 248, 252  
 Cristallinamarmor 238, 249, 253  
   colombo 224, 240  
   tigrato 240  
   virginio 240

- D**
- Dachbedeckung 245  
 Dachlaugung 367  
 Dachplatten 203, 222  
 Dachschiefer 202, 204  
 Dachziegel 30  
 Dachziegel, gestempelte 26  
 Dachziegelengoben 39  
 Dachziegelwerke 29  
 Dalle nacrée 271, 309, 319, 320  
 Dalles de Sembrancher 245, 249, 253  
 Dammschüttungen 269, 381  
 Darapskit 283  
 Datenbanken 469  
 Datenverarbeitung 469  
 Dazit 255  
 Deckenschotter 107, 111, 125  
 Deckschichten 159, 268  
 Degersheimer Kalknagelfluh 231  
 Dehn-Schwindvorgänge 279, 289  
 Dehydratation 338, 339  
 Delsberger Becken 410  
 Deltaablagerungen 102  
 Denkmäler **276, 277**  
   Denkmalerhaltung 211  
   Denkmalpflege 276, 277  
 Dentalkeramik 89  
 Deponien 96, 205  
 Deponiestandorte 57, 59  
 Deposition 280  
 Derrick 209, 230  
 Diabas 255  
 Diagenese 231  
 Diamantfräse 217  
 Diamantgatter 215  
 Diamantkreissäge 217  
 Diamantseil 206, 207, 217, 218, 233, 241  
 Diamantseilsäge 206, 219, 229  
 Diamikt 107  
 Diaspor 91  
 Dichtungstone 94–96  
 Diebold Schilling 177  
 digitale geologische Karte 475  
 Digitalisierung 471  
 Dihydrat 343  
 Dikalziumsilikat 301, 324  
 DIN-Normen 210, 483, 484, 486  
 Dinkelbergscholle 359  
 Dinosaurierspuren 228  
 Dionisotti 406  
 Diopsid 35  
 Diopsid-Hedenbergit 35  
 Diorit 255  
 Disthen 91, 418  
 Diuron 398  
 Diverticules 359  
 DOC 395  
 Doldenhorndecke 241  
 Dolinen 348  
 Dolomit 77, 255, 271, 283  
 Dolomite der südalpinen Trias 273  
 Doppelfalzziegel 28
- Doppelkniehebelbrecher 265  
 Dorato Argentato 215  
 Doret, J.F./Bildhauer 178–193, 195  
 Drainröhren 28, 31  
 Drehbohrer 207  
 Drehofen 299, 300, 303, 305, 324, 326, 328, 330  
 dreihäutig (Gneis) 238  
 Druckfestigkeit 210, 242, 252, 254, 255, 265  
 Druckfestigkeit (28-Tage-D.) 381  
 Drucklaugungsverfahren 369  
 Drusbergdecke 274, 318  
 Drusbergschichten 310, 311, 326  
 Dryer 343  
 Dufft 201  
 Dünge Zwecke, Gesteine für 79  
 Dünnschliff 212  
 Durchfeuchtung 282  
 Durchnässung 287
- E**
- E-Modul 255, 382, **394**  
 Ecailles subbriançonnaises 354  
 Echinodermenbrekzien 273, 275, 317  
 Echinodermenkalk 310  
 Edelbrechsand 379  
 Edelsplitt 379  
 Edelstein 427  
 Effingermergel 313, 326  
 Effingerschichten 309, 312, 314, 315, 316, 319, 320, 326  
 Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt 301  
 Einbauwassergehalt 270  
 Einblattsäge 219  
 Eindampfprozess 367, 369  
 Einschwingenbrecher 265  
 Einstrahlungswinkel 226  
 Eisen **409–410**  
 Eisenbibliothek 416  
 Eisenerz 303, 308, 406, 407  
   Eisenerzabbau Gonzen 406  
   Eisenerzbergwerke 407  
 Eisenhydroxide 35  
 Eisenoolith 409, 434  
 Eisenrosen 427, 434  
 eiszeitliche Stauschotter 105  
 Eital 355  
 Elastizitätsmodul 210  
 elektrische Leitfähigkeit 151  
 Elektrolytkupfer 411  
 elektronische Hilfsmittel 469  
 Elektroofen 410  
 Elektroofenschlacke 374, 375, **399**, 400, 401  
 elektroosmotische Verfahren 293  
 Elektroschmelzofen 77  
 Elggis-Scholle 332  
 Eluate 394, 396, 397  
 Elutionsdaten 395  
 Embrachersand 70, 73
- Emissionen 280  
 Energierohstoffe 3, 405, **412–415**  
 Engadiner Fenster 17  
 Engoben 28, 37, 47  
 Entfeuchtung von Mauerwerken 285  
 entkalkter Molassesand 72  
 Entsäuerung 329  
 Entschwefelung 347  
 eoalpine Metamorphose 429  
 Epidot 425  
 epitaxiale Aufwachsungen 423  
 Epoxidharze 294  
 Epsomit 280, 283  
 Erdfälle 348  
 Erdgas 412, 443  
 Erdöl 412, 443  
   Bohrungen Erdöl/Erdgas 413  
   Erdölexploration 441  
   Erdölkonkordat 443  
 Ereignishäufigkeit 289  
 Ereignisschichtung 104  
 Erhaltung von Naturstein **276**  
 Erhaltungsmassnahmen 293  
 Erlach, L. von 204  
 Err-Bernina-Decke 275  
 erratische Blöcke 21  
 Erschütterungen 278  
 erster Weltkrieg 181  
 Erze 3, **405**, 443  
   Erzbergbau 405  
   Erzbohnen 410  
   Erzlagerstätten **409–412**  
   Erzsteine 91  
   Erzsuche 407  
   Erzverhüttung 407  
   Erzvorkommen **405**, 429  
 Erzlehm 39  
 Erzegg-Planplatte 410  
 Escher-Wyss-Verdampfer 363, 364  
 Estrichgips 342  
 Etappengliederung  
   Rohstoffabbau 460  
 Eternit 412  
 Ettringit 283, 344  
 Ettringitbildung 165  
 Euro-Normen  
   Betonzuschlag 380  
   europäische EN Normen (Naturbaustein) 212, 213  
 Evaporite **337**, 359–370  
 Exploration 441  
 Exposition 223, 287
- F**
- Fabrique de Chaux de St. Ursanne S.A. 330  
 Fabrique de Ciment Portland S.A. 305  
 Fachverband für Sand & Kies (FSK) 153, 157  
 Fallkugel 265  
 Falotta-Erze 431  
 Faltenjura 12
- Falzziegel 29  
 Farbanstriche 394  
 Farben 291  
 Farbveränderungen 225  
 Fasen 219  
 Fasergips 345  
 Fassade, therm. Beanspruchung 226  
 Fassadenbau 211  
 Fassadenplatten 221  
 Faziesbereiche  
   proximal, distal 105  
 Feierabendziegel 26, 27  
 Feinanteilgehalt 165  
 Feinkalk 330  
   in Grobkeramik 37  
 Feinschliff 217  
 Feinwalzwerk 31  
 Felderschotter 113  
 Feldspat 33, 412  
 Felsabschlag 376  
 felsgebrochene Gesteinen 265  
 Fenster von Vättis 311  
 Ferrit 301, 324  
 Ferritschmelze 303  
 Festbeton 381  
 Festgestein, Abbau von **205–212**  
 Festigkeit 268  
 Festigungsmitteln 293  
 Festkörperreaktionen 35  
 Fettkohle 414  
 Feuchte 278  
 Feuerfestauskleidung 77  
 Feuerfest-Keramik 89  
 feuerfeste Tone 91  
 feuerfeste Werkstoffe 88  
 Feuerfestmaterialien 400  
 Feuerfeststeine 300  
 Fialen 278  
 Fibbia Habitus 427  
 Fiedler-Ofen 332  
 Filler 144, 269, 270, 383  
 Filtermaterialien 269  
 Filterpresse 305, 385  
 Findlinge 232  
   Findlingsblöcke 177, 190, 197  
   Findlingsgesteine 198  
   Findlingsgranit 179, 200  
 Firstziegel 31  
 Flachdachziegel, römisch 27  
 Flächenbearbeitung Natursteine 219  
 flachliegende Molasse 13  
 Flachziegel 29  
 Flammen 216, 219  
 Flechten 280, 287  
 Flockulierung 385  
 Flöz 377  
 Flugasche 299, 303, 306  
 Fluide Einschlüsse in Mineralien **423**  
 Flumroc 79  
 Fluorit 421, 432, 436  
 Fluorit-Oktaeder 432  
 Fluorverbindungen 281  
 Flüssigphase 301, 303  
 Flussspat 407



- Flutverfahren 292  
 fluviatile Ablagerungen 101  
 fluvioglaziale Ablagerungen 105  
 Flysch 310  
 Flyschsandstein 223, 225, **241**,  
 242, 274, 275  
 Flyschschiefer 202  
 Folgenutzung  
 von Abbaugebieten 460  
 Folgeschäden 293  
 Formationswasser 425  
 Formsand 69, 400  
 formwilde Blöcke 171, 270  
 formwilde Platten 215  
 Fräsasphalt 389  
 Fräse 217, 219  
 Frauenglas 345  
 Freiburger Sandstein 248, 252  
 Freigold 412  
 Freikalk 324, 325  
 Friktionstrommel 383  
 Frischbeton 383  
 Frost-Tausalzbeständigkeit 382  
 Frostbeanspruchung 226  
 Frostbeständigkeit 36, 212, 242  
 Frostdruck 225  
 Frostsprengung 279, 280  
 frühgotisches Taufbecken 185  
 Frühmittelalter 177  
 Fugengips 342  
 Fugenmörtel 279  
 Füllbeton **394**  
 Fuller-Kurve 162  
 Füllstoff 344  
 Fundationsmaterial 269  
 Fundationsschichten 269, **387**,  
 391, 392  
 Fundortgruppen, Mineralien 422  
 Funk, Bildhauer 179, 191, 193  
 Funkkommoden 193
- G**
- Gabbro 255  
 Gadolinit 425  
 Galerie des Vaux 363  
 gallorömische Zeit 176, 187,  
 199, 200  
 Gammastrahlen 210  
 Gammerschichten 274  
 Gangspalten 420  
 Gansinger Dolomit 228  
 Garantiana-Schichten 309  
 Garschella-Formation 79, 317  
 Gartenbau 220  
 Gas 280, **413**  
 Gasindikationen 413, 414  
 Gas-Blanket 367  
 Gasbypass 307  
 Gasflammkohle 414  
 Gattersäge 213, 215, 219, 232  
 Gault 79, 311, 317  
 Gebäckmodel 93  
 gebrannter Kalk 299  
 gebrochene Festgesteine 171,  
 265, 266
- gebrochene Gesteine  
 aus den Alpen 272  
 aus dem Jura 271  
 Kies und Sand 101  
 Verwendung 268  
 Gefüge 254  
 Gefügauflockerung 212, 293  
 Gegenmatrizen 344  
 Gehängelehm 39, 41, 53, 59, 95  
 Gehängeschutt 103  
 Gehlenit 35, 324, 325  
 Gehlenit-Äkermanit 35  
 Geissberger Granite 199  
 Geissbergsschichten 271, 309,  
 312, 314, 319  
 Gekröseegips 345  
 Geländemodellierung 473, 477  
 gelöschter Kalk 324  
 Geographische Informationssy-  
 steme (GIS) 469, **470**, 471  
 Geologierecht 446  
 Geologisch-tektonische Karte  
 der Schweiz 10  
 Geologische Landesuntersu-  
 chung 445  
 geologische Objekte 445  
 geologische Zeittabelle 11  
 Geometriedaten 470  
 Georadar 151  
 Georg Fischer AG 416  
 George-Washington-Denkmal  
 198  
 Geotechnische Karte der  
 Schweiz 109  
 Geothermie 413  
 Geotope 445, 463  
 Schutz 443, 445, 463–465  
 gesetzliche Grundlagen 464  
 Gerstenhübelkalk 315, 316  
 Gesetz von Ostwald-Freundlich  
 426  
 Gesetze  
 geol. Untersuchungen 443  
 Gesetzgebungshoheit 442  
 gesetzliche Grundlagen des  
 Bundes 443  
 Gestaltungspläne 473  
 Gesteinsarten, ausländische 181  
 gesteinsbildende Mineralien 428  
 Gesteinseigenschaften 222  
 Beständigkeit 223–225  
 Druckfestigkeit 381  
 Festigkeit 380  
 Härte 380  
 Porosität 211  
 Giessen von Metallen 67  
 Giessform 68  
 Giesstemperatur 70  
 Giesserei  
 Formstoff-Kreislauf 68  
 Formgrundstoffe 69–76  
 Formstoffe, Vorkommen 72  
 Kupolöfen 76, 77  
 Giessereisand 70, 71, 400, 401  
 Einheimische Vorkommen  
 71–74  
 Giltstein **198**, 242
- Gips 35, 280, 283, 299, 304, 324,  
 325, **337**, 351, 357, 412  
 α-Halbhydrat 340, 341  
 β-Halbhydrat 340, 341  
 Abbinden des Gipses 340  
 als Werkstein 347  
 Basisgips 338  
 Einbrandgips 351  
 gebrannter Gips 339  
 Gipsarten 339–348  
 Gewinnung 351  
 grobkörniger Gips 361  
 Hochbrandgips 345, 353  
 Karte der Abbaustellen 346  
 kristallographische Daten 340  
 natürlicher Gips 339, 345  
 physikalische Daten 340  
 Produktionszahlen 345  
 Rauchgasentschwefelungs-  
 Gips (REA-Gips) 347  
 synthetischer Rohgips 347  
 übergebrannter Gips 339  
 Verwendung 343–345  
 «warmer» Gips 339  
 wasserfreier Gips 338  
 Gipsbrei 341  
 Gipserde 345  
 Gipsfabrikation 339  
 Zweibrand-Verfahren 353  
 Gips in der Zementinsustrie 344  
 Gipsindustrie **339–355**  
 Gipskeuper 359  
 Gipskristalle 341  
 Gipskrusten 280, 281, 287, 292  
 Gipsnadelgewebe 341  
 Gipsplatten 342  
 Vollgipsplatten 343  
 Gipskartonplatten 344  
 Gipssand 345  
 Gipsspat 345  
 Gipsstein 204, 271, 339,  
 341, 345  
 Gipstektonik 349  
 Gipstreiben 165  
 Gipsunion AG 351, 354  
 Gipsvorkommen 346  
 im Jura 348–349  
 in den Alpen 349–351  
 GIS-Programme 473  
 Gisliflue-Antiklinale 315  
 Giswiler Klippen 349  
 Giulia 242  
 Gjuvsyenit 435  
 Glanzbraunkohle 415  
 Glarner Verrucano 234  
 Glarnerdecke 274, 332  
 Glarnerschiefer 202, **203**  
 Glas 78  
 Glaserit 283  
 Glasfasern 78  
 Glasgranulat 374, 400  
 Glasherstellung 78  
 Glashütte  
 Bülach 78  
 Moutier 77, 78  
 St-Prex 78  
 Wauwil 78
- Glasindustrie 77, 333  
 Glassand 77, 374  
 Glaubersalz 369  
 glaziale Ablagerungen 106  
 Gleichgewichtsfeuchte 282  
 Gleichgewichtshabitus 285  
 Gleichstrom-Gegenstrom-Re-  
 generativofen 328, 332  
 Gleisschotter 397  
 Gleissanierung 398  
 Glimmersand 41, 51, 72, 77  
 Glimmersandschüttung 42  
 Glimmerschiefer 255  
 Gneis 225, 233, 249, 253,  
 254, 255  
 Typ Verzasca dunkel 238  
 Typ Verzasca hell 238  
 Typus Calanca 238  
 Typus Legiuna 237  
 Typus Maggia 239  
 Typus Onsernone 239  
 Gneise  
 Leventina, Riviera 235  
 Bleniotal 237  
 Calancatal 237  
 Maggiatal 238  
 Oberwald 245  
 Vergelettal 239  
 Verzascatal 238  
 Goethit 35  
 Gold 407, **412**  
 Goldberg-Formation 321  
 Goldmünzen 412  
 Goldwiler Kieselkalk 249, 253  
 Goldwiler Platten 241  
 Gomser Serpentin/Speckstein  
 von Ulrichen 242  
 Gonzen 406  
 Görgeyt 283  
 Gotik 181  
 Gotthardbahn 180, 197, 198, 235  
 Gotthardgranit 241, 254  
 Gotthardmassiv 15, 237, 242,  
 412, 425, 429, 433  
 Gotthardmineralien 433  
 Gotthardserpentin 198, 242  
 Gotthardspeckstein von Chämle-  
 ten 242  
 Gotthardtunnel 180, 197, 200  
 Gouilles 124  
 Grabenfüllungen 269  
 Grabmonumente 179  
 Gradierwerk 363  
 Graffiti 291  
 Granalien 303, 305  
 Granat-Peridotit 429  
 Granit **197–198**, 198, **223**, 233,  
 225, 254, 255, 279  
 Granit  
 von Baveno 181  
 des Reuss- und Aaretales 241  
 granitähnliche Gesteine **223**  
 Graniteure 199  
 granitische Sandsteine **229**,  
 278, 280  
 der Unteren Süßwassermor-  
 ASSE 183

- Granito nero 239  
 Granodiorit 255  
 Granulierbarkeit 305  
 Granulometrie 385  
 Grauguss 73  
 Graupensand 72, 73, 91, 92  
 Grenzbitumenzone 76  
 Grenzwerte 395  
 Grès  
   d'Attalens 231, 254  
   de Corbières 254  
   de la Molière 185, 231, 248, 252  
   de Mathod 321  
   des carrières 245, 249, 253, 275  
 griechische Marmore 181  
 Grien 117, 119  
 Grimmelfingerschichten 73  
 Grimselgranit 241, 249, 253  
 Grimselgranodiorit 435  
 Grindelwaldnarmarmor 178, 193  
 Gris de Roche 178, 192, 193  
 Gris Suisse 193, 262  
 Grisigermergel 39, 48, 49  
 Grobkeramik 401  
 Grobkreiselsbrecher 265  
 Grobschliff 217  
 Groise 117  
 Grossblöcke 208  
 Grossbohrlochsprengungen 265  
 Grosssprengung 264  
 Grube (Steinbruch) 209  
 Grubenbruch 208  
 Grubengas 361, 363  
 Gruhalde 45  
 Grundeigene Bodenschätze 441  
 Grundeigentümerbergbau 441  
 Grundfeuchte 188  
   Grundfeuchtebereich 282, 283  
   Grundfeuchteschäden 292  
   Grundfeuchtezone 291  
 Grundmoränen 106, 107  
 Grundputz 343  
 Gründruckfestigkeit 69  
 Grünsandstein 274, 317  
 Guber Sandstein 220, 242, 249, 253  
 Guntliweiher Sandstein 230, 248, 252  
 Gurschengneis 432  
 Gwindel 424, 427
- H**
- Habitus 285  
 Habkerngranit **198**  
 Haftgips 342  
 Halbhydrat 343, 353  
 Halbnassverfahren 304  
 Halbtrockenverfahren 304  
 Halbware 424  
 Halit 283, 284, 285, 357  
 Halit-Ausblühung 284  
 Hämatit 35  
 Hämatiterz 409, 410  
 Handbearbeitung von Naturstein 216
- Handelsname, Natursteine 215, 252  
 Hangbruch 203, 209, 230  
 Hanglehm, pleistozän 72  
 Hangrutschungen 45  
 Hartbrand 331, 332, 333  
 harte Minerale 265  
 Hartgesteine 215, 265  
   Produktion 270  
 Hartschotter 380  
   Eigenschaften 266  
 Hartsplitt 268  
 Hartsteinbrüche der Schweiz 270  
 Haufwerk 205  
 Hauptdolomit 19, 240  
 Hauptmuschelkalk 174, 364  
   der Trias 271  
 Hauptrogenstein 77, 315, 316, 320  
   des Doggers 271  
 Hausteinfassaden 180  
 Hauterivestein 254  
 "HCB Siggenthal 313  
 Hegau  
   Phonolith 135  
   Vulkanismus 13  
   Vulkanite 135  
 Heilsteine 214  
 Heissaufbereitung 389  
 Heissmehl 303  
 Heissmischgut 392  
 Heissmischtragschichten 271  
 Heizpfannen 362  
 Helicidenmergel 309  
 Helicoidaldraht 207, 217  
 Helvetikum 17, 232, 234, 241, 273, 326, 332  
 helvetische Decken 309, 331  
 Hemihydrat 338, 339, 340, 341  
 Herbex 398  
 Herbizide 398  
 Herzziegel 29  
 Hexahydrat 283  
 Hieronymus von Erlach 193  
 Hinterfüllungen 381  
 Hinterrheinquarzit 233, 234  
 Hipparionsande 116, 117  
 historische Bausteine **175–204**  
 Hobeln 219  
 Hochbau 220  
 Hochbrand 353  
 Hochbrandgips 345  
 Hochdruckmetamorphose 429  
 Hochdruckreinigung 293  
 Hochflutsedimente 143  
 Hochfrequenzverfahren 293  
 Hochleistungskeramik 91  
 Hochofen 410  
 Hochofenschlacke 299, 303, 306  
 Höchstdruckwasserstrahl 218  
 Hochterrassenlehm 59  
 Hochterrassenschotter 21, 111, 218  
 Höhenschotter 113  
 Hohlraumgehalt 162  
 Holderbank Cement und Beton 326
- Holderbank Konzern ("HCB) 322  
 Holzderrick 209  
 Holzkeile 207  
 Homogenisiersilo 303  
 Homomyenmergel 316  
 Hornbuck-Schichten 309  
 Hüllbeton **394**  
 Humeralisschichten 309  
 Humusstoffe 165  
 Hunziker AG 332  
 Huppererde 13, 71, 72, 76, 84, 91  
 Huppersand 319  
 Hutchinsonit 430  
 Hydratanlage 329  
 Hydratation 282, 301, 325, 329  
 hydraulische Bindemittel 306  
 hydraulische Spreizylinder 207  
 hydraulischer Kalk 327, 299, 324  
   Produktionsstandorte 326  
 Hydrologie 445  
 Hydrolyse 294  
 Hydromagnesit 283–285  
 Hydrophobierung 291, 293  
 hydrothermal gehärtete Baustoffe 83–85  
 hydrothermale Alteration 421, 422  
 hydrothermale Härtung 82  
 hydrothermale Lösung 421, 423  
 hygrische Dehnung 211, 280  
   Dehn-Schwindvorgänge 279  
 hygroskopischer Austausch 278  
 Hypokaustsäulen 26
- I**
- Illit 45, 76, 87  
 Im-Loch-Hammer 207, 265  
 Imbrex 27  
 Immission 280  
 Import/Export min. Rohstoffe 415  
 Imprägnierungen 293, 294  
 Impressa-Mergel 309  
 Industrie- und Gewerbesalz 370  
 Industrieabfälle **399**  
 Industriegips 347–348  
 Industrieminerale 3, 405, 412  
 Industrierohgips 347  
 Inertstoffdeponie Ufhusen 96  
 Informationssysteme 469  
   Informationsebenen 471  
   Informationskarte 476  
 Inkohlungsgrad 414  
 Innenputz 343  
 Insektenmergel 87  
 Insubrische Linie 19, 239, 427  
 Inventar der mineralischen Rohstoffe der Schweiz 409  
 Ionenaustauschkapazität 33  
 Iragnagranit 248, 252  
 Irdengut 93  
 Isolationsmaterial 79  
 ISO-Normen 481, 486  
 Ittinger Schotter 122  
 Ivrea-Zone 19, 411
- J**
- jährlicher Festgesteinsabbau 214  
 Jordanit 430  
 Jungfrau, Kristallin 15  
 jungquartäre Schuttbildungen 103  
 Jungsteinzeit 176  
 Jura  
   Geologie 12–13  
   Faltung 357  
   Kalk 178, 180, 224, 227, 254, 271  
   Marmor 227  
   Quarzsand 70, 73  
 Jura-Cement-Fabriken 326  
   Wildeg (JCF) 315  
 Juracime SA 318, 320  
 Juragrien 381
- K**
- Kalicinit 283  
 Kalisalz 357  
 Kaliumferrocyanid 370  
 Kaliumtetraoxalat 217  
 Kalk  
   Brennen 328  
   Brenngrad 329  
   Löschen 328  
   Löschverhalten 329  
   weich gebrannter Kalk 329  
 Kalk von St-Triphon 232  
 Kalk- & Steinfabrik AG 332  
 Kalkbindung 222  
 Kalke 245, 271  
   der Kreide 272, 273  
   der Oberkreide 273  
   des oberen Malm 272  
   des unteren Malm 271  
 Kalke und Dolomite  
   Ostalpen 274  
   Präalpen, Penninikum 273  
   Helvetikum 273  
 Kalkfabrik  
   Netstal AG 77, 330, 331, **332**  
   Spühler AG 326  
   St. Ursanne S.A. **332**  
   Thayngen AG 332  
 Kalkherstellung 326  
 Kalkhydrat 299, 324, 326, **326–333**, 327, 329, 333  
   Herstellungsprozess 328  
 Kalkindustrie 299, **324–333**, 329  
 Kalkkrusten 287  
 Kalkmilch 329  
 Kalkmergel 324  
 Kalkprodukte 333  
   Branntkalk 324  
   gelöschter Kalk 324  
   hydraulischer Kalk 324  
   Kalkhydrat 324  
   Produktionsschema 327  
 Kalksandstein 83–85, 254, 334, 401  
   Produktionsschema 82



- Kalksättigung 307  
 Kalkschiefer 245  
 Kalkschlämme 293  
 Kalksilikatfels 224  
   von Castione 196, 239  
 Kalksilikatgneis 196, 239  
 Kalksinterwasser 294  
 Kalkstein **223**, 225, 227, 228, **241**, 254, 255, 279  
   hochprozentig 308  
   von Arzo 195, 196  
   von Collombey 196  
   von Hauteville (F) 181  
   von St. Triphon 178  
 Kalksteine  
   des Barremien 189  
   des Jura Gebirges 187–189  
   des Kimmeridgien 272  
   des Rauracien 187  
   des Sequaniens 187  
 Kalksteinmehl 333  
 Kalksteinprodukte 334  
 Kalktreiber 37  
 Kalktuff 174, 176, 181, **200**, 223, 232, 255  
 Kalzinierung 299, 303, 324, 326, 329, 331  
 Kalzit 283  
 Kalzitkruste 284  
 Kalziumaluminate 324  
 Kalziumaluminosilikat 325  
 Kalziumhydroxid 325  
 Kalziumkarbid 77  
 Kalziumsilikatphasen 301  
 Kammerfilterpressen 144  
 Kammertrockner 31  
 Kaolinit 33, 45, 76, 385  
 Kaplan Albin Furger 434  
 Karbon 414  
 Karbonate 33  
 karbonatische Kornbindung 223  
 Karbonatisierung 325, 326, 328  
 Karbonatit 308  
 Karolingische Ornamentplatte 177  
 Karten:  
   Energierohstoffe 414  
   geologisch-tektonische Karte der Schweiz 10  
   Giessereiformstoffe 72  
   Gipsverarbeitende Werke 346  
   Hartsteinbrüche 270  
   Kiesabbaustellen **130–131**  
   Salzproduktion 356  
   Steinbrüche (1993/96) 246, **250–251**  
   Vererzungen 408  
   Zement-/Kalkfabriken 304  
   Ziegeleien 32  
   Ziegelei Rohstoffe 40  
 Kartierung 473  
 Kartographie 473  
 Kataster 471  
 Kavernen 209  
 Kegelbrecher 383  
 Kehrichtschlacke 375, 400, 401  
 Keile 207  
 keltische Fazies 309  
 keramische Erzeugnisse 89  
   Spezialprodukte 46  
   Werkstoffe 88  
 Kernbinder 69  
 Kernenergie 443  
 Kernsand 69, 400  
 Kettenjura 12  
 Keuper 348  
   Mergel 31, 41, 44, 45  
   Sandstein 227, 228  
   Ton 76  
   Gipsgruben 347  
   Salz 359  
 Kies und Sand  
   Anforderungen und Normen 159–166  
   Chemische Eigenschaften 165–166  
   Genese 101–109  
   Geometrische Eigenschaften 159–163  
   Mangelsituation 99  
   Statistische Angaben 166–168  
   Transportbilanz 141  
 Kies-Entnahmestellen, ausgewählte Beispiele 135–147  
 Kiesabbau 151–157  
   Abbaubeschrieb 153  
   Abbaubewilligung 151  
   Anlagen und Abbau-methoden 155  
   geophysikalische Untersuchungsmethoden 151  
   Gesetzliche Grundlagen 153, 153–155  
   Planungskonzepte 111  
   Korngrößenbereiche 157  
   Landschaftsschutz 155  
   Lärmbelästigungen 154  
   Luftreinhaltung 155  
   Normen 159  
   Nutzungsansprüche 101, 111  
   Planung, Methoden **151–157**  
   Reserven 168  
   Rohstoffsituation in den Kantonen 111  
   Transportmittel 157  
 Kiesabbau Bioley-Orjulaz 146  
 Kiesabbaustellen  
   Karte wichtiger Abbaustellen 127, **130–131**  
 Kieselgele 294  
 Kieselige Krusten 281  
 Kieselkalk 241, 254, 272, 274  
 Kieselsäureester 291, 294  
 Kieserit 283  
 Kiesersatzmaterialien 376, 378  
 Kiesgewinnung  
   früher–heute 109  
 Kiesgruben 209  
 Kieskonzept 457  
 Kiesreserven  
   überlagernde Nutzungsansprüche 100  
   Verminderung abbaubarer Reserven 137  
 Kiessand 159, 374, 379  
   Fundationsschichten **387, 389**  
   Ersatz 399, 400  
 Kiesschlamm 41, 55, 144, 155, **384**  
   Verwertungsmöglichkeit 386  
   Zusammensetzung 385  
 Kiesverbrauch 166  
 Kiesvorkommen  
   Aargau 111–112  
   Appenzell 112  
   Basel 114  
   Freiburg 114  
   Genf 114–115  
   Glarus 115  
   Graubünden 115, 115–116  
   Jura 116–117  
   Luzern 117  
   Neuenburg 117  
   Nidwalden 117–118  
   Obwalden 118  
   Schaffhausen 118–119  
   Schwyz 119  
   Solothurn 119–120  
   St. Gallen 120–121  
   Tessin 121  
   Thurgau 121  
   Uri 122  
   Waadt 122–123  
   Wallis 123–124  
   Zug 124  
   Zürich 125  
 Kieswaschschlamm 63, 95, 144, 373, 375, **384**  
 Kippmuldenfahrzeuge 209  
 Kirchenbauten 177  
 Klassieranlagen  
   Giessereisande 72  
 klassifizierter Recycling-beton **393**  
 Klassizismus 179, 190, 195  
 Kleben 219  
 Kleber 81  
 Klebsand 319  
 Klettgau-Rinnenschotter 118  
 Klima 223  
 Klinker 299, 301, 344  
   Herstellung 303  
   Brennprozess 303  
   Kapazitäten 305  
   Minerale 303  
   Qualität 303  
 Klippendecke 310, 349, 353  
 Klosterziegeleien 27  
 Kluftbildungen 425  
   syntaxial, antitaxial 425  
 Kluftgeschehen 423  
 Kluftlösung 421, 423  
   Herkunft 425  
 Kluftminerale 421, 428  
 Kluftnebergesteine 421  
 Kluftsysteme 420  
 Knäppern 207  
 Knäppersprengungen 265  
 Knollenkalke 195  
 knollige Sandkalke 275  
 Knossos 27  
 Kobalt-Vererzungen **411**  
 Kochsalz 357  
 Koffer- und Planiermaterial 270  
 Koffermaterialien 270  
 Kohle 304, 412, 414, 443  
   mesozoisch, eoän 415  
   Molasse 415  
   Schieferkohlen 415  
 Kohlenasche 329  
 Kohlendioxid 281  
 Kohlenflözgas 414, 415  
 Kohlenwasserstoffe 281, 398, **413**, 443  
 Kollergang 31  
 Kommission für Technologie und Innovation (KTI) 401  
 Konfliktanalyse 471, 473  
 Konglomerat 255, 274  
 Konservierung 277  
 Koordinationsprinzip 450  
 Korallenkalk 193, 333  
 Korneigenschaften 161  
   Kornbindung 223, 225, 293, 294  
   Kornform 158, 212, 268  
   Korngefüge 222, 278, 293, 294  
   Korngrößenverteilung 159  
   Kornrundung 268  
   Kubizität 383  
 Korrekturstoffe 303, 308  
 Korrosionserscheinungen 287  
 Korund 217  
 Kreide 330  
   Kreidekalk 274  
   Kreidekalksteine 195  
 Kreissäge 216, 219  
 Kreuzbohrer 207  
 Krisenzeiten 415  
 Kristall  
   Formen 285  
   Kristallisationsdruck 226, 279  
   Kristallisationszyklen 283  
   Schleifer 433  
   Wachstum 280, 425  
 Kröneln 219  
 Krusten 281  
 Krustenbildung 287  
 kubische Körner 268  
 Kulturgüter 276  
 Kunstharz 70, 291, 293  
 Kunstmarmor 343  
 Kunststoffe 293, 294  
 Kupfer-Vererzungen 407, **411**  
 Kupolofen 76, 77  
 Kyanit 418  
  
**L**  
  
 La Plâtrière SA 351, 354  
 lagerhafte Gesteine 207, 216, 235  
 Lägermkalk 181, 187, **227**, 248, 252  
 Lägerstein 254  
 Lagerrisse 287  
 Lagerstätten 405  
 Lagerstättenbeschreibung 477

- Lamprophyre 421  
 Land-Informationssysteme 469  
 Landesausstellung 180, 407  
 Landeshydrologie und  
   -geologie 445  
 Landschaftsplanung 457–463,  
   471  
 Landschaftsveränderung 462  
 Längenänderung 279  
 Lansfordit 283  
 Lärmschutzwälle 381  
 Laserstrahlen 293  
 Laufener Kalk 187, 227, 228,  
   248, 252  
 Laugung (Salzlaugung)  
   Salz 357  
   Halle 363  
   Kaverne 367, 369  
   Technik 369  
 Laveggi 242  
 Lavezstein **198**, 242  
 Lavezsteinofen 199  
 Lavorgogranit 248, 252  
 Leca-Blähton 86, 318  
 Legiunagranit 248, 252  
 Leichtbaustoff 83  
 Leichtbaustoffe 386  
 Leimernkalkstein 309  
 Leinöl 70  
 Lepoloste 305  
 Lepontin 425  
 Letzschichten 309, 319  
 Leutschenbergantiklinale 355  
 Leventinadecke 235  
 Leventinagneis 235, 238  
   Typus Bodio 237  
   Typus Claro 235  
   Typus Cresciano 237  
   Typus Faido 237  
   Typus Iragna scuro 237  
   Typus Iragna-Lodrino 237  
   Typus Lavorgo 237  
 Lias des Mines 359, 361  
 Lias 240  
   supérieur spathique 273  
   Kalk 241  
   Kalke von Arzo 240  
 Lichtbogenofen 77  
 Lichtfrequenz 289  
 Liesbergsschichten 309  
 Liesberger Kalk **227**, 248, 252  
 Liesberger Kalkstein 224, 332  
 Limonit 35, 407  
 Linthdelta 115  
 Linthgletscher 179  
 Lithographie-Steine 81  
 Lithothamnienkalk 191  
 Illit 385  
 Loch-an-Loch-Bohren 207,  
   219, 229  
 Lockergestein 101, 151, 214  
 Lodrino, chiaro 258, 259  
 Lodrinogranit 224, 248, 252  
 Los Angeles  
   Versuch 268  
   Koeffizient 267, 268  
   Index 381
- Löschpfannen 330  
 Löss 21, 41, 53, 76  
 Lösslehm 37, 39, 41, 42, 53,  
   59, 95  
 Lösungsmittel 293  
 Luegibodenblock 198  
 Luftbilddauswertung 473  
 Luftfeuchtigkeit 292, 293  
 Lufthebeverfahren 369  
 Luftverschmutzung 276,  
   278, **280**
- M**
- Mäandrinaschichten 316  
 Macchiavecchia 196, 240,  
   241, 262,  
 Maderaner Habitus 427  
 Mägenwiler Muschelkalk  
   248, 252  
 Mägenwilerstein 254  
 Magerungskomponente 51  
 Magerungsminerale 36  
   aktive 33  
   passive 33  
 Magerungsmittel 401  
 Maggia  
   Maggia-Lappen 238, 239  
   Maggiagneis 237–239  
   Maggiagranit 249, 253  
 Magmatische Gesteine 215,  
   275  
 Magnesit 283  
 Magnetit 409, 410  
 Mailänderware 424, 433  
 Majolica 310  
 Makies AG 143  
 Makroorganismen 280  
 Malachit 407  
 Malenco-Körper 234  
 Malm 330, 331  
   Kalk 191, 273  
   Kalksteine 190  
   Karst 47  
 Mammutpumpe 369  
 Mandacher Verwerfung 314  
 Mangan **409–410**  
 Mangan- und Eisenlager-  
   stätten 428  
 Mangan-Erzlagerstätte  
   Falotta 429  
 Manganerz 406, 410  
 Manganoxide 436  
 Mangansilikate 429  
 Marbre  
   bâtard 188, 272, 321  
   chocolat 191  
   de Collombey 193  
   de Roche 193  
   de St-Triphon 190  
   d'Ervel 191  
   du Belpberg 190  
   du Grindelwald 193  
 Marchsteine 220  
 Marienglas 338, 345  
 Markasit 35
- Marmor **223**, 225, 255, 279  
   Cristallina colombo 224  
   mensarium nigrum 203  
   von Castione 196, 239, 280  
   von Merligen 191  
   von Richterswil 190  
   von Saillon 194  
   von Val Peccia 239, 240  
 Marmorgips 342  
 Marmorsorten 179  
 Marnes Bariolées 321  
 maschineller Vortrieb 376  
 Maschinenputzgips 343  
 Massenkalk 331  
 Massenkalkstein 312  
 Massenschüttgut 269  
 Massive 15  
 Materialbewirtschaftungs-  
   konzepte 376  
 Materialbilanz 383  
 Materialfeuchte 278  
 Materialrecycling 415  
 Matrizen 344  
 Mauer- und Pflastersteine 270  
 Mauerabbruch 375  
 Mauerstein 221, 293  
 Mauersteinherstellung 205  
 Mauerverband 293  
 Mauerwerk 277, 282  
 Mauerwerksmörtel 325  
 Maukturm 31  
 Meeresmolasse 229  
 Meersalz 357  
 Megalith 174  
 Mehl-Reibschalen 176  
 Mehrblattsäge 219  
 Mehrfachgatter 215  
 Melaphyr 135  
 Melsersandstein 274  
 Melsersstein 248, 252  
 Mendoladolomit 78, 273  
 Menhire 176  
 Mergel 39  
   des Albien 46  
 Meridekalk 310  
 Merligermarmor 191  
 Mesoccoquarzit 233  
 Mesozoische Dachschiefer des  
   Wallis 204  
 Metabasit 234  
 Metalle 405  
 Metallgehalte 409  
 Metallguss 69  
 metallische Erze 3  
 Metamorphe Gesteine 215,  
   222, 275  
   metamorphe Triasgesteine 196  
 Metamorphose 242, 425, 429  
 Meteorologie 445  
 Methan 361  
 Methylenblau-Adsorption 75  
 Methylenblautest 166  
 Methylzellulose 342  
 Migmatit 255  
 Migmatitgneis 245, 295  
 Mikro-Karsterscheinungen  
   279, 287
- Mikroorganismen 278, 280,  
   287, 289  
 Mikrowellen 210  
 Mikrozement 301  
 Mineralabbauphase 33  
 Mineralglasfasern 386  
 Mineralien  
   Bestimmungen 437  
   Börse 419, 434–436  
   erstmalig beschrieben aus der  
   Schweiz 428  
   Sammeler 419  
   Sammeltätigkeit, Handel, 433  
   Verarbeitung 433, 437  
 mineralische Bindemittel 301  
 Mineralische Rohstoffe in der  
   Schweiz, Übersichtswerke 4  
 Mineralkluft 421, 423  
   Erlen, Grimsel 420  
   Gerstenegg, Grimsel 420  
 Mineralneubildungsphase 33  
 Mineralparagenese 421  
 Mineralzersetzung 279  
 Mines et Salines de Bex 362, 363  
 Mirabilit 280, 283  
 Mischabbruch 374, **387**, **392**  
 Mischabbruchgranulat 393  
 Mischbett 303, 313  
 Mischfertiger 389  
 Mischkies 379  
 Mischsand 379  
 Mischzement 303  
 Mitholzer Kieselkalk 249, 253  
 Mittelalter 177, 199  
 Mittelbrand 329, 332, 333  
 mittelharte Minerale 265  
 Mittelland 13–15  
 mittelländische Molasse 13, 309  
 Mittelostalpin 19  
 Mixed-Layer-Ton 76  
 Möbelplatten 179, 190  
 Modul (Zementherstellung) 307  
 Molasse 13, 231, 275  
   alternat. Kiesmaterial 109  
   de Massonnens 248, 252  
   grise 183  
   rouge 275  
   Gesteine 229  
   Kohlen 414, 415  
   Mergel 31, 41, 313  
   Nagelfluh 107  
   Sand 70, 72, 77–78  
   Sandstein 287, 295  
   Sedimente 386  
 Molybdän-Vererzungen **411**  
 Molybdänit 411  
 Monogatter 215  
 Monolame 219  
 Mont Blanc-Granit 197  
 Mont Blanc-Massiv 15, 237  
 Monteforno 407  
 Montmorillonit 33, 75, 87, 385  
 Moränenlehm 39, 59  
 Morcles Decke 273  
 Morcles-Doldenhorndecke 245  
 Mörtel 159, 272, 285, 291, 293  
 Mörtelgips 342



- Mörtelwerke 330  
Mosaik-Platten 215  
Mühlsteine 177, 179, 185, 199  
Muldenziegel 29  
Mullit 89  
Mumienkalk 333  
Münsterbau 184  
Muotatalermarmor 262  
Muota-Reuss-Gletscher 139  
Murchisonae-Schichten 309  
Murgangablagerungen 102–104  
Mürtschendecke 273, 332  
Muschelkalk 185, 187, 223, 229, 231, 348  
Muschelkalkstein 176, 248, 252, 254  
der Molasse 185  
Muschelsandstein 229, 254  
Museen: BS, ZH, FR 431, 503  
Muskowit 430
- N**
- Nachbrecher 267  
Nagelfluh 101, 232, 254, 265  
wenig bis mässig zementiert 101, 107  
Schuttfächer 13  
als Kiesersatz 126  
Nagra 414  
Nahcolit 283  
Napfgebiet 103  
Napfnagelfluh 143  
Nassgussande 69  
Nassgussform 71  
Nasslöschen 330  
Nassofen 305  
Nassverfahren 304  
Nasswaschverfahren 347  
Naticaschichten 309  
Nationaler Energie-Forschungs-Fonds 413  
Nationalstrassengesetz 444  
Natrit 283, 285  
Natriumbentonit 75  
Natriumchlorid 357  
Natriumnitrat 292  
Natur- und Heimatschutz Gesetz NHG 444  
Naturanhydrit 343, 344  
Naturaufschluss 279  
Naturbaustein 171, 205, 214, 295  
Naturbausteine  
Abbau, Bearbeitung 212, 215, 218, 254  
Entwicklung, Aussichten 295  
schweizerische 213–247  
Industrie 181  
Ordner 215, 224  
Produkte 220–222  
technische Kennwerte 252  
Naturgips 345  
Naturhaushalt 457  
Naturpotential 457, 473  
Natursteinbrüche 209, 250–251
- Naturstein  
ausländische 295  
der Alpen 232–245  
des Jura 227–228  
des Mittellandes (Molasse) 229–232  
Gneise der Tessinertäler und des Calancatales 235–239  
Östliche Alpen 233–234  
Zentralalpen/Tessin 234–243  
Naturwerkstein 171  
Nausgrube 406  
NEAT 376, 401  
Negativplanung 457, 476  
Neolithikum 176  
Nephrit 436  
Nerineen 227, 228  
Nero Marquina 232  
Nesquehonit 283, 285  
Nesquehonitkruste 284  
Netstal AG 330  
Neuenburgerstein 188  
Neusand 69  
Neutralisierungsmittel 386  
nicht-regale Rohstoffe 443  
nichtklassifizierter Recycling-beton 393  
nichtmetallische Rohstoffe 3  
Nichtoxidkeramik 89  
Nickel-Vererzungen 411  
Niederterrassenschotter 21, 112, 126, 384  
Niesenschiefer 202, 203  
Nischenbruch 230, 231  
Nitrate 285  
Nitrobakterien 280, 283  
Nitrocalcit 283  
Nitrokalit 283, 285  
Nitromagnesit 283  
Nitronatrit 283, 284, 292  
Noir de St-Triphon 190, 245, 295  
Nordpenninikum 239  
Normen 210  
Kies & Sand 159–166  
Normen und Richtlinien 387  
Normenverzeichnis 212–222, 484  
Nummuliten 191  
Nummulitenkalk 79, 190  
Nutzungsbedingungen 223  
Nutzungskonflikte 458  
Nutzungsplan 453  
Nuvolato Zalende 248, 252
- O**
- Obelisk 277  
Oberaquitane Mergelzone 49  
Obere bunte Mergel 39, 45  
Obere Meeresmolasse (OMM) 13  
Obere Süswassermolasse (OSM) 13, 51, 312  
Oberflächenton 45  
Oberflächenverschleiss 211  
Oberhofener Sandstein 228
- Oberitalienische Marmore 179  
Obernkirchner-Sandstein 184  
Oberostalpin 19  
Objektdatenbanken 471  
Objektplanung 471  
Obligationenrecht 446  
Obtususton 39, 41, 44, 45, 87  
Öfen 198  
Ofenauskleidung 300  
Ofenplatten 203  
Ofenstein 184, 198, 242, 412  
Ofentyp 328  
Öhrlikalk 273, 309  
Öhrlimergel 310  
Öl 413  
Indikationen 414  
Ölschiefer 443  
Oligozäne Sandsteine der flachen Molasse 183  
Olivinsand 72, 74  
Onsernonegranit 249, 253  
oolithischer Kalkstein 333  
Opalinusschiefer 310  
Opalinuston 31, 39, 41, 43, 45–46, 76, 87, 94, 309, 319  
Opalit 76, 94, 95  
Operations-Research-Methoden 477  
Ophikalzit 255  
Ophiolithe 17  
Optimierungsverfahren 477  
Organismen 278  
Ornaten-Tone 309  
Orsalia-Serie 238, 239  
Ortsbeton 379, 382  
Ortsmischverfahren 387, 389  
Ostalpin 17–19, 232  
Ostermundigersandstein 254  
Quarzsand (Rhät) 73  
Oxalatkrusten 280  
Oxfordton 319, 320  
Oxidkeramik 89
- P**
- Packungsdichte 159, 161  
PAK 398  
Paläoböden 112  
Papierindustrie 3, 343  
Parautochthon 17  
Pargasit-Amphibolit 432  
Parkinsoni-Schichten 309  
Parsenstein 242  
Pater Flurin Maissen 433  
Pater Placidus a Spescha 433  
Patina 277  
Pechblende 413  
Pechkohle 415  
Pegmatit 412, 427, 428  
Pele's Haar 79  
Pellegrino Pellegrini 196  
Penninikum 17, 232, 421  
Penninische Decken 235  
penninische Wurzelzone 239  
Perlit 343  
Permafrostboden 150
- permische Vulkanite 19, 275  
Permokarbon 434  
Permokarbondrog 414  
Petrographie 215, 223  
Pfannenziegel 28, 29  
Pflastersteine 205, 212, 221, 265, 275  
Phantasienamen (Naturstein) 215  
Phenole 395  
Phonolith 135  
Phosphatrohgis 347  
Phosphoritknollen 79  
Phosphorsäureherstellung 347  
Phyllit 255  
Physikalische Verwitterung 279  
Piani di mosca 239  
Piccard-Kessel 363  
Picromerit 283  
Pierre jaune de Neuchâtel 179, 188, 189, 272, 295, 309, 320, 322  
Pietra ollare 242  
Pigmente 37  
Pillowlaven 429  
Pinitisierung 429  
Pinus 145  
Piodo di Crana-Zone 239  
pisolithisches Erz 409  
Pixel 471  
Planauflage 453  
Planerlassverfahren 452  
Integration UVP Kt. BE 454  
Integration UVP Kt. ZH 454  
Planimaterialien 270  
Planien 389  
Planumsschutzschichten 269  
Planungsablauf 459  
Planungsbehörde 453  
Planungshoheit 452  
Planungshorizont 457  
Planungsrecht 441  
Plasselb/Plasselber 242, 249, 253  
Plaster of Paris 342  
Plateauschotter 113  
Plateosaurier 45  
Plateosaurus engelhardti 44  
Plattenkalk 77, 186, 187, 271, 309, 312  
Plattenkalkstein 312  
Plattensandstein 182, 185, 229, 231, 276, 280, 286  
Plattigkeitsindex 381  
Pökelsalz 370  
Polieren 217, 219  
Polierbarkeit 217  
Polierwiderstand 268  
Polmengostollen 374  
Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) 398  
Polyesterharze 294  
Polygone 475  
Polygonsteine 220  
Polymerbeton 79, 80  
Polymergebundene Baustoffe 81  
Porenbeton 82, 83–85  
Porenlösungen 278  
Porenraum 226

- Porenwasser 225  
 Porosität 211, 255  
 Porphyre 220, 275  
 Portlandzementwerk  
   Olten (PCO) 318  
   Thayngen AG (PCWT) 311  
   Würenlingen-Siggenthal 313  
   Fabrik Laufen 305  
 Portlandien-Kalke 272  
 Portlandit 329  
 Portlandkalk 180, 188  
 Portlandzement 285, 299, 301,  
   303, 344  
 Portlandzementklinker 303  
 Portlandzementprodukte 278  
 Porzellan 89  
 Poschiavo Serpentininit 234  
 Potentialmessung 210  
 potentielle Abbaugelände 473  
 Prallbecher 383  
 Préalpes Medianes 274  
 Preiswerkit 432  
 Premixed plaster 343  
 Primär-Industrie 415  
 Primatol 398  
 Pro Naturstein 215, 224, 246  
 Produktionsstandorte  
   Ziegelindustrie 32  
 Prometryn 398  
 Prüfung von Festgestein **205**  
 Prüfungen an gebrochenem Fest-  
   gestein 212  
 Prüfverfahren 209  
 Prüfvorschriften 210  
 Pumpbarkeit (Beton) 325  
 Pumpbeton 379, 381  
 Puschlaver Granit 220  
 Puschlaverserpentininit 248, 252  
 Putz 339  
 Putzereistaub 400  
 Putzgips 342  
 Putzschädigungen 290  
 Puzzolan 303  
 Puzzolanzusätze 293  
 Pyrit 35, 432  
 Pyritabbrand 308  
 Pyrittreiber 37  
 Pyrrhotin 432
- Q**
- Quadermauerwerk 183  
 Quarry Scheduling Optimization  
   (QSO) 477  
 Quartäre Bildungen 21–22  
 Quartenschiefer 310  
 Quarz 33, 81, 412, 425  
 Quarz, Kluftmineral 423  
 Quarz-Feldspat-Sand 72  
 Quarzit 245, 249, 253, 255  
 Quarzit von St-Léonard 244  
 Quarzporphyr 255  
 Quarzsand 69, 70, 72, 116, 207,  
   303, 308  
 Quarzsand, siderolithisch 72,  
   73, 77
- Quarzsandstein 254  
 Quelltuff 284  
 Quellung 211, 255  
 Quellvorgänge 279  
 Quintnerkalk 190, 273, 310, 332
- R**
- Radar 210  
 Radarverfahren 151  
 Radiolarit 17, 410, 429  
 radiometrische Anomalien 413  
 Rafzerfeld 134–137  
   Kiesabbau 100  
   Schotter 134, 135  
 Ragazer Marmor 232, 262, 295  
 Ragazerstein 191, 262  
 Raiblerschichten 349  
 Rammsondierung 151  
 Randenerverwerfung 313  
 Randsteine 212, 221  
 Rasterdaten 471  
 Rauchgasentschwefelungs-Gips  
   (REA-Gips) 347  
 Rauchgasreinigung 334  
 rauchgrauer Kalk 364  
 Rauchquarz 424  
 Rauhwaacke 202, 349  
 raumbezogene Daten 469  
 raumbezogene Objekte 470  
 Raumgewicht 254  
 Raumklima 278, 289  
 Raumplanung 376  
 Raumplanungsgesetz (RPG) 444  
 Reaktivität 330  
 Realgar 430  
 Rechte  
   des Grundeigentümers 441  
   des Nutzungsinteressierten  
   441  
   des Staates 441  
 Rechtsgrundlagen für Geologen  
   446  
 Recycling  
   Beton 391, 393  
   Granulat **393**  
   -in-plant 389  
   Kies 391  
   Kiessand 389, 391  
   Mischgut 389  
 Reflexionsseismik 151  
 Refraktionsseismik 151  
 Regale 441  
 Regeldichte 212  
 Regenerationsprojekt 456, 461  
 Regenerativofen 328, 332  
 Regenwasser 287  
 Regionalklima 279  
 Regionalplanung 471  
 Reinigung, Naturstein 293  
 Reinquarzsand 70  
 Reinsole 369  
 Reischibe-Serie 273  
 Rekultivierung 137  
   wichtigste gesetzliche Grund-  
   lagen 451
- Rekultivierungsprojekt 456, 461  
 Renaissance 181, 188, 190  
 Renggeritone 309  
 Renovierung 276  
 Reprofiliermörtel 81  
 Reprofilierung 210  
 Ressourcenmanagement 471  
 Restaurieren 277  
 Restschotter 105, 106, 143  
 Reuchenette-Formation 272  
 Rhätton 76  
 Rhätsand 77  
 Rhein-Linth Gletscher 139  
 Rheinquarzit 233, 234, 248, 252  
 Rheinsalinen 363  
 Rhenocast 79  
 Rhodonit 436  
 Rhonetal 192  
 Rhyolith 220, 255  
 Richtplan 151  
 Richtplanung 471  
 Riffkalke des Malms 413  
 Ringgenberger Kalk 249, 253  
 Ringgenberger Kalkstein 241  
 Rinnenschotter 21  
 Rinnensysteme 135  
 Rippelmarken 231  
 Risse 212  
 Ritzhärte 223  
 Roc  
   de la Cernia 228, 248, 252  
   du Jura 188, 189  
   jaune 187  
   salé 361  
 Roche 306, 326  
   des Châtoillon-Serrone 319  
 Rock wool 79  
 Rofnagneis 233, 410  
 Rofnaporphyr 233  
 Rohasbest 412  
 Rohblöcke 215, 221  
 Rohdichte 252, 255  
 Roheisenherzeugung 406  
 Rohgips 339  
 Rohlinge 31  
 Rohmehlmühle 303  
 Rohsole 369  
 Rohsteinbunker 328  
 Rohstoffabbau  
   Planung 459  
   Projekt, Untersuchung 456  
   Vorgehenskonzept 458  
 Rohstoffbewirtschaftungspro-  
   gramm 313, 477  
   Blockmodell 477  
 Rohstoff  
   Exploration 443  
   Versorgung 457, 471  
   Versorgungskonzept 457,  
   459, 471  
   Vorkommen 408  
 Romankalk 325  
 Römer 176, 187, 188, 189, 201,  
   231  
 Römerzeit 183, 185, 198, 201  
   Ziegel 27  
 römische Bauweise 174
- Rootenstein 248, 252, 254  
 Rorschacher Sandstein 230, 248,  
   252  
 Rorschacherstein 185, 254  
 Rosenlaumarmor 193  
 Rosso 240  
   d'Arzo 241  
   venato 196  
   Verona 180, 181  
   vivo 241  
 Rostsprengung 279  
 Rotenbühlolomit 351  
 roter Ackerstein 179  
 Rotfärbung 279  
 Röttdolomit 273  
 Rotliegendesand 70, 73  
 Rotondogranit 425  
 Rouge  
   de Collombey 245  
   de Collonges 244, 249, 253  
   de Roche 193  
   du Rhône 195, 245, 249, 253  
   Incarnat 179  
   jaspé 178, 192, 193, 245  
   Suisse 193, 245  
 Rückbauverfahren 392  
 Rückgewinnung von Bau-  
   abfällen 373  
 Rückzugsschotter 126  
 Rühfischutt 102–103  
 Rühlwandausfachungen **394**  
 Rundflächen 265  
 Rundkies/-sand 379  
 Rundkorn 161  
 Rutil 430, 434
- S**
- Sachabfragen 475  
 Sachdaten 470, 471  
 Sägeblätter 218  
 Sägeblöcke 221, 232  
 Sägegatter 216  
 Sägen 219  
 Sagenitgitter 430  
 Sägerillen 217  
 Saline 357  
   Bex 362  
   Kaiseraugst 365  
   Rheinfelden 365  
   Riburg 365  
   Schweizerhalle 364, 365  
 Salle des Fêtes 364  
 Salle du Radium 360  
 Salz 407, 412, 443  
   Additive 370  
   Anwendungsgebiete 368  
   Kristallisation 289  
   Sorten 370  
   Verwendung 370  
 Salzanreicherungen 283  
 Salzausblühung 283, 284, 287  
 Salzbergwerke Bex 360  
 Salzbohrungen 356  
 Salzbrekzie 361  
 Salzdach 369



- Salze 225, 278, 279, 282  
 Salze in Mauerwerken 283, 284  
 Salzfels 361  
 Salzgärten 357  
 Salzgewinnung  
   Produktionsschema 366  
   Technik 367  
 Salzkissen 357  
 Salzkristalle 280  
 Salzlagerstätten 357–370  
 Salzlaugung 367  
 Salzlösung 281, 282  
 Salzproduktion  
   Bex 364  
   Schweizerhalle und Riburg 369  
 Salzquellen 362, 443  
 Salzregal 362  
 Salzsprengung 279, 280, 282, 285, 287  
 Salzsprengzyklen 283  
 Salzsteuer 362  
 Salzverwitterung 282  
 Salzvorkommen  
   am Hochrhein 364  
   in der Schweiz, Karte 356  
   Nutzung 362–367  
 sammelwürdige Mineralien 421  
 Sammler-Vereinigungen 435  
 Samson 188  
 Sand, kalthärtend 70  
 Sandäquivalent-Test 165  
 Sandaufbereitung 383  
 Sandausdehnungsfehler 71  
 Sandbunker 328  
 Sande der Brackwassermolasse 73  
 Sandgatter 215  
 Sandrückgewinnungsanlage 385  
 Sandsägen 219  
 Sandspachstein 254  
 Sandstein 223, 225, 228, 229, 242, 252, 254, 255  
 Sandstein von Mels 179  
 Sandsteine  
   der flachen Oberen Meeresmolasse 184  
   der subalpinen Oberen Meeresmolasse 185  
   der Trias 182  
   des Tertiärs 183  
 Sandstrahlverfahren 293  
 Sanidin 35  
 Sarkophage 177  
 Sättigungsgrad 222  
 Sättigungswert 211  
 Sauberkeitsschichten 394  
 Sauerkiesalze 217  
 Sauerstoffpflanze 207, 219  
 Säulentest 396, 399  
 Säulenversuche 395  
 Säureniederschläge 278  
 Sauriermuseum Frick 44  
 Sauro 413  
 Saussurit 429  
 Sauzei Schichten 309  
 SBB 268  
 SBB-Kraftwerk Amsteg 144  
 Schachtabbau 230  
 Schachtbruch 209  
 Schachtofen 301, 324, 326, 328, 330  
 Schaden  
   Schadenablauf 292  
   Entwicklung 289  
   Schadenformen 287, 293  
   Schadenfortschritt 290  
   Schadengeschehen 289  
   Situationen 288, 289, 291  
   Vorgänge 277  
 Schadstoffbelastung 394  
 Schadstoffe in Abfallstoffen 395  
 Schalen 289, 293  
 Schalenbank 187  
 Schalenbildung 286, 287, 288  
 Schall 210  
 Schallgeschwindigkeit 255  
 Schamotte 76, 89, 90  
 Schanzenbau 187  
 Scharrieren 216, 219  
 Schattwaldzone 351  
 Scheelit 410, 411  
 Schellenbrücke Schichten 464  
 Scherben 31  
 Schichtsilikatgehalt 381  
 Schiefer 202  
 Schieferkohlen 414, 415  
 Schiefermühle 203  
 Schiefertafeln 202  
 Schiesspulver 376  
 Schildkrötenkalk 464  
 Schilfsandstein 182, 228, 361  
 Schiltschichten 310  
 Schistes  
   lustrés 354  
   marno-micacés 275  
 Schlackenfunde 407  
 Schlammaufbereitungsanlage 383  
 Schlamm-trocknung 334  
 Schlammweiher 157  
 Schleiftechnik 217–219  
 Schlerndolomit 273  
 Schlicker 344  
 Schlierenflysch 242  
 Schlitzverfahren 207, 219  
 Schmelzwasserflüsse 105  
 Schmirgel 218  
 Schneidrollen 377  
 Schneidrollenabstand 379  
 Schotter 145, 159, 265, 270, 296, 379  
 Schotterbrüche 270  
 Schotterarten 267  
 Schottertragschichten 389  
 Schotterwerk 209, 266  
 schrämen 206, 207, 377  
 Schrämsäge 207  
 Schrattenkalk 78, 273, 309, 311, 317, 318  
 Schreibplatten 203  
 Schreibtäfel 202  
 Schroppen 265  
 Schürfen 441  
 Schurren 219  
 Schutterwagen 383  
 Schüttgut 381  
 Schutzanstrich 293, 294  
 Schutzbehandlung (Steine) 291  
 Schutzimprägnierung 294  
 Schutzrechte 446  
 schwäbisch-argovische Fazies 309  
 Schwachbrand 329  
 Schwalbenschwanzkristall 338  
 Schwammriffe 272  
 Schwarzbachschichten 309  
 schwarzer Tischmarmor 203  
 Schwarzmarmer 179, 189, 190, 204  
 Schwarzpulver 172, 234  
 Schwarzwald 15, 357  
 Schwebegaszyklonen 305  
 schwedische Granite 181  
 Schwefel 351, 416, 443  
 Schwefel-, Stickstoffoxide 281  
 Schwefelabgase 281  
   Schwefeldioxid 281  
   Schwefelsäure 281  
 Schweizer Marmor 225  
 Schweizer Strahler 437  
 Schweizerhalle 364  
 Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften 5, 445  
 Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für den Naturstein 215, 224, 246  
 Schweizerische Bundesbahnen SBB 396  
 Schweizerische Bundesverfassung (BV) 442  
 Schweizerische Geologische Dokumentationsstelle 416, 444  
 Schweizerische Geologische Kommission 3, 407, 445  
 Schweizerische Geophysikalische Kommission 445  
 Schweizerische Geotechnische Kommission 3, 407, 416, 445  
 Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA 213, 301, 373, 387  
 Schweizerische Naturforschende Gesellschaft 445  
 Schweizerische Normen (Naturbaustein) 212, 483, 484  
 Schweizerische Normenvereinigung SNV 213, 284  
 Schweizerische Rheinsalinen 365  
 Schweizerische Sodafabrik 367  
 Schweizerische Vereinigung der Strahler und Mineralien sammler 437  
 Schweizerischer Fachverband für Sand und Kies FSK 166  
 Schweizerisches Handels- und Landwirtschaftsdepartement 3  
 Schweizerisches Zivilgesetzbuch (ZGB) 442  
 Schwemmlern 39, 41, 53  
 Schwermetalle 395, 398  
 Schwermetallgehalte, Elektro- ofenschlacke 401  
 Schwert 207  
 Schwindverhalten 33, 382  
 Schwindvorgänge 279  
 Schwingsiebe 328  
 Sedimentationsanlage 385  
 Sedimentengesteine 215, 222  
 Seelaffe 231, 254, 258  
 Seelandschotter 113  
 Seeton 59, 95  
 Seewerkalk 273, 309, 311, 317  
 Seewerschichten 317  
 Seewerschiefer 311, 326  
 Seilsäge 206, 207, 217, 219  
 Seilsägeverfahren 195  
 Sekundärbaustoffe 373, 388  
 Sekundärbiotope 57, 462  
 sekundäre Mineralien 407, 428  
 Sekundärlandschaft 463  
 Sekundärrohstoffe 375  
   Ziegelindustrie 63  
 selektiver Abbau 57  
 Selenit 338, 345  
 Septarienton 39, 47–49, 76  
 Sequanienkalk 271  
 Serpentin 198, 233, 234, 242, 244, 255  
 Serpentin/Speckstein 249, 253  
 von Mompé-Medel 242  
 von Patschadauns 242  
 von Ulrichen 242  
 Serrone-Antiklinale 320  
 SIA 213, 301, 373, 387  
 Normen 481, 482, 484–486, 490  
 Sichelkalk 274  
 Sichtbacksteine 28, 29  
 Sickerschicht 269  
 Sickerwasserbelastungen 395  
 Siderit 434  
 Siderolithformation 71  
 Siderolithikum 409  
 siderolithische Tone 319  
 Siebkurve 159, 161, 212  
 Siebung 165  
 Siedesalz 357  
 Siedlungsabfall 376  
 Sikkativ 343  
 Silane 294  
 Silber 411  
 Silberberg 411  
 Silex 176, 308, 322, 323  
 Silicone 294  
 Silikatgesteinsmehl 79  
 silikatische Kornbindung 223  
 silikatische Sande 85  
 silikatkeramische Werkstoffe 89, 90  
 Silikatmodul 307  
 Siliziumkarbid 217  
 siliziumorganische Verbindungen 294  
 Sillimanit 91  
 Silvretadecke 275  
 Simanodecke 235, 237, 239  
 Sinterdolomit 77  
 Sinterkeramik 386  
 Sinterkrusten 281  
 Sinterung 299, 300, 303, 329  
 Sinterungsprozess 301

- Sinterungspunkt 324, 326  
 Smektit 76, 385  
 Società Anonima Cementi Saceba 305  
 Société des Chaux et Ciments de la Suisse Romande 305, 320, 322  
 Société des Ciments Portland de St-Maurice S.A. 305  
 Société Vaudoise des Mines et Salines de Bex 363  
 Sodafabrik 367  
 Soglioquarzit 232, 233, 234, 248, 252  
 Solbäder 365  
 Sole 361, 363, 367  
   Enthärtung 369  
   Gewinnung 367  
   Reservoir 369  
 Solothurnerkalk 187, 188, 227, 228, 248, 252  
 Solothurnerstein 180, 186, 187  
 Solungsfelder 365  
 Solvay-Konzern 367  
 Sonderkalke 331  
 Sondierschacht 151  
 Sondierung 151  
 Sonneneinstrahlung 226  
 Sowerbischichten 309  
 Sozialrecht 446  
 Spachtelgips 342  
 spacing (Schneidrollen) 379  
 Spalten 219  
 Spaltmaschine 227  
 Spaltplatten 215, 221  
 Spätbarock 179, 193  
 Spätgotik 202  
 Spätmittelalter 177  
 Speckstein 198, 222, 242, 244, 249, 253  
   vom Calmut 242  
   von Mompé-Medel 242  
   von Patschadauns 242  
 Sperrschicht 269  
 Spezialgipse 344, 345  
 Spezielle Gesteinsarten 198  
 Spezifische Wärme 255  
 Spezifisches Gewicht 254  
 Spiegelglanz 217  
 Spilit 135  
 Spiralschnecken 227, 228  
 Spitzen 216, 219  
 Splitt 159, 265, 268, 270, 379  
   Splittbeton 269, 379  
   Splittherstellung 264  
   Splittprodukte 380  
 Spoliensteine 177  
 Spreizkeile 206  
 Sprengausbruch 376  
 Sprengen 205, 206, 219  
 Sprenggut 265  
 Sprengschnüre 207  
 Sprengstoff 205, 207  
 Spritzbeton 379, 381, 383  
 St-Triphon-Marmor 254  
 St-Ursanne-Formation 309, 332  
 St. Margrether Sandstein 248, 252  
 St. Margretherstein 254  
 Stabigranulat 391  
 stabile Isotope 425  
 Stabilisierung, bituminös 389  
 Stabilisierungsmittel 386  
 Stabilitkalk 331, 334  
 Stadschiefer 317  
 Städtewachstum 179  
 Stahlerzeugung 374, 399  
 Stahlherstellung 306  
 Stahlveredlung 409  
 Stammdaten 476  
 Standard-Siebkurve 158  
 Standdenkmäler 277  
 Standortausscheidung 457  
 Standortnachweis 471  
 Stanserhorn 353  
 Statuen 277, 278  
 Stauschotter 107  
 Steatit 89  
 Steatitprodukte 91  
 Steinbett 389  
 Steinbrüche in der Schweiz (1993/96) 250-251, 252ff  
 Steinbruchindustrie 235  
 Steinbruchnischen 227  
 Steinbruchtypen 208, 209  
 Steine und Erden 3, 443  
 Steinenkreuz 73  
 Steinerergänzungsmörtel 210  
 Steinersatz 222  
 Steingut 89  
 Steinkonservierung 276, 291-296  
 Steinsalz 357  
 Steinwolle 79  
 Steinzeit 176  
 Steinzeug 89  
 Stellerit 432  
 Stellsteine 221  
 Stempelpressverfahren 31  
 Sternsieb 383  
 Stgir-Serie 421  
 Stichsägen 218  
 Stickstoffverbindungen 395  
 Stilbit 434  
 Stocken 216, 219  
 Stockernsandstein 254  
 Stoffgruppen (Sekundärrohstoffe) 375  
 Stollen, Stollenabbau 209  
 Stossfugen 279  
 Strahler 419, 433  
   Strahler-Vereinigungen 435  
   Strahlergewohnheiten 433  
   Strahlerpatente 437  
   Strahlerzentren der Schweiz 433  
 Strangpresse 31  
 Strassenaufbruch 375, 387, 389, 391  
 Strassenbau 220  
 Strassenbelag 394  
 Stratigraphische Profile  
   Jura 14  
   Molasse 14  
   Nordhelvetikum 16  
   Ostalpen 20  
   penninische Decken 18  
   Südalpen 20  
   Südhelvetikum 16  
 Streusand für Lokomotiven 73  
 Strona-Ceneri-Zone 19  
 Strossenkarten 477  
 Struktur 222  
 Stuckgips 341, 342  
 Stückkalk 324, 329, 333  
 Studiengesellschaft für die Nutzbarmachung schweizerischer Lagerstätten mineralischer Rohstoffe 407, 416  
 Stufen (Mineralstufen) 427  
 subalpine Molasse 13, 229  
 Subsidenz 359  
 Südalpen 19-22, 232, 427  
 Sulfataerosole 281  
 Sulfate 165, 395  
 Sulfatsalze 281  
 Sulfosalze 431  
 Summenparameter 395  
 Sumpfen, Sumpfhaus 31  
 Surettadecke 233  
 Süßwassermolasse 229  
 Swissmetro 376, 413  
 Swissspetrol Holding AG 443  
 Syenit 255  
 Sylvit 283  
 Synchisit 425  
 Syngenit 283  
 Synklinale von Hauterive -Enges 320  
 systematisierter Steinbruch 207, 208, 214
- T**
- Tabelle in Betrieb stehender Steinbrüche 1993/96 246, 250-251  
 Tachyhydrit 283  
 Tafeljura 12  
 Tagebau 265  
 Tageszyklen 289  
 Tagliablocchi 216, 217, 219  
 Talbodenlehm 59  
 Talk 412  
 Talkpulver 89  
 Tambodecke 233  
 Taraspit 437  
 Taufbecken 179  
 Tausalze 278  
 Tavetscher Zwischenmassiv 15, 242, 433  
 Taveyannaz Sandstein 135, 176  
 TBM-Rohmaterial 382  
 Technical Committee TC 212  
 Technische Eigenschaften von Gesteinen 255  
 Technische Kennwerte von Mauersteinen 246, 254  
 Technische Verordnung für Abfälle (TVA) 387, 399, 400  
 Technische Werte von schweizerischen Gesteinen 246  
 Tegula 27  
 Teilschnittmaschine (TSM) 376  
 Tektonik 232  
 Tektonite 332  
 Temperaturänderungen 226, 278, 280  
 Temperguss 73  
 Terrains à chailles 309  
 Tessin  
   Gneise 197, 220, 213, 224, 235  
   Granite 235, 254  
   Karte wichtiger Abbaustellen (Gneise) 236  
   Marmore 195-196, 213  
 Tethys 15, 17, 357  
 Tetrakalziumaluminatferrit 301  
 Teufener Sandstein 248, 252  
 Textur 222  
 Thaumazit 283  
 thematische Kartendarstellungen 475  
 Thenardit 283  
 thermische Belastung 226  
 thermische Dehn-Schwindvorgänge 223, 279  
 Thermokompressions-Verfahren 364, 369  
 Thermonatrit 283, 285  
 Thorium 412  
 Tiefbau 220  
 Tiefensteinergranit 181  
 Tiergarten 53  
 Tinzenit 436  
 Titanit 434, 436  
 Titrationswerte 330  
 Tobermorit 85  
 TOC 395  
 Ton 412  
   frühgeschichtlicher Abbau 39  
 Tonalit 255  
 Tondachziegel 28, 29, 37  
 Tonerdemodul 307  
 Tongruben  
   Bardonnex GE 54  
   Bois-Genoud, Crissier 50  
   Cheesleten 57  
   Frick 44  
   Gigenbuck 54  
   Grisigen 48  
   Helsighausen (TG) 52  
   Mettlen (TG) 52  
   Rafz ZH 50  
   Schüpfen 48  
   historische Entwicklung 39  
 Tonimporte 55  
 Tonlagerstätten  
   Evaluation, Abbau 55  
 Tonminerale 33, 36, 279  
 Tonschiefer 255  
   des Karbons 204  
   des Perms 310  
 Tonvorkommen  
   Besonderheiten 38  
   Umweltschutzmassnahmen 38  
   wirtschaftliche Aspekte 38  
 Tonwarenfabrik Laufen 49  
 Töpferwaren 93



- Topfherstellung 199  
 Topfkultur 242  
 Torf 143, 414, 415  
 Trachit 255  
 traditionelle Bindemittel 306  
 Tragschichten 268, 269, 391  
 Transportsalz 361  
 Travertin 255  
 Treiber 35, 37, 165  
 Tremolaserie 429  
 Trennmaschine 217  
 Trennmethoden 207  
 Triage 378  
 Triasdolomit 430, 435  
 Triassandsteine 225, 286  
 Trigonodusdolomit 77, 187, 271  
 Trikalziumaluminat 301  
 Trikalziumsilikat 301, 324  
 Trinkwasseraufbereitung 334  
 Trochitenkalk 271  
 trocken Löschen 329  
 Trockenklärschlamm 304, 313  
 Trockenrohichte 211  
 Trockenschwund 51, 255  
 Trockenverfahren 305  
 Trona 283, 285  
 Troskalk 273, 332  
 Tubuli 27  
 Tuft 201  
 Tugstein 201  
 Tunnelausbruchmaterial 296, 374, **376–384**, 401  
   Aufbereitung 382  
 Tunnelbaustrecken 296  
 Tunnelbauten 375  
 Tunnelbohrmaschine (TBM) 372, 376  
 Tunnelbrust 377  
 Tunnelofen 27, 31  
 Tunnelrockner 31  
 Twannbach-Formation 321
- U**
- Überbeton **394**  
 Überbrand 339  
 Überschwemmungsab-  
   lagerungen 102  
 Ultrabasilins 412  
 Ultrahelvetikum 17, 245, 349  
 ultrahelvetischer Flysch 242  
 Ultraschall 210  
 Umlagerungs-Schotter 114  
 Umweltbelastungen 456  
 Umweltrecht 446  
 Umweltschutzgesetz 375, 445  
 Umweltverträglichkeit 395  
 Umweltverträglichkeitsbericht 450, 456  
 Umweltverträglichkeitsprüfung  
   UVP 38, 151, 153, 441, 445, 450, 452, 453  
   Kanton Bern 455  
   Kanton Zürich 454  
   Pflicht 459  
 ungelöschter Kalk 324
- Unité de la Pierre Avoi 244  
 Unmassplatten 217, 221  
 untere Evaporite 360, 361  
 Untere Meeresmolasse (UMM) 13  
 Untere Süsswassermolasse (USM) 13, 230  
   Mergel 39  
   Mergel und Sandsteine 49–50  
 Unterlagsbeton **394**  
 Unterostalpin 19  
 Untertagebauten 375, 376, 441  
 Untertagespeicherung 369  
 Uran 412, **413**  
 Uranprospektion 413  
 Urgonkalk 189, 309  
 Urheberrechtsgesetz (URG) 446  
 Urner Mineralienfreund 437  
 Urnergranit 241, 249, 253, 254  
 Urserenzone 15  
 Uznaberger Sandstein 172
- V**
- Vakuumverdampfer 364  
 Valanginienkalk 241, 309  
 Valendiskalk 309  
 Valendismergel 310  
 Valser Gneis **234**, 248, 252  
 Valser Quarzit 234  
 Variansschichten 316, 320  
 Vektordaten 470  
 Verarbeitung von Naturbaustein 219  
 Verband Schweizerischer Hart-  
   steinbrüche 270  
 Verdampfer 370  
 Verdunstung 282  
 Verein Schweizerischer Zement-,  
   Kalk- und Gips-Fabrikanten 301  
 Vereinigte Schweizerische  
   Rheinsalinen AG 363, 365  
 Vereinigung der Urner Minerali-  
   enfreunde 437  
 Vereinigung Schweizerischer  
   Strassenfachleute VSS 373, **387**  
 Verenaschichten 309  
 Vererzungen 408  
 Verfahren (UVP) 453  
 Verfahren nach Böhme 211  
 Verfärbungen 37, 287  
 Verfassungsartikel 443  
 Vergipsung 225, 349  
 Verhüttung 406  
 Verkleidung, Naturstein 226  
 Verpackungsgläser 78  
 Verputzindustrie 334  
 Verputzmörtel 325  
 Verrucano 79, 179, 225, 233, **234**, 261, 274  
 Versalzung 285  
 Versatzsprengung 205, 227  
 Verschleiss 255  
 Verschleisssschicht 269, 292  
 Versorgungshorizont 458  
 Vert de Salvan 172, 244, 249, 253
- Vert des Glaciers 215  
 Vert d'Evolène 249, 253  
 Vertragsvereinbarung 446  
 Verursacherprinzip 450  
 Verwitterung 225, **276**, 287  
   von Bau- und Kunstwerken  
   aus Stein 278–279  
 Verwitterung durch Salze **282**  
   örtliche Fraktionierung 282  
   zeitliche Fraktionierung 282  
 Verwitterungsbeständigkeit 211, 253, 267  
 Verwitterungsbilder 289  
 Verwitterungsformen 289  
 Verwitterungslehm 72  
 Verwitterungsvorgänge 225, 279  
 Verzascagneise 238  
 Verzascagranit 249, 253, 254  
 Vibratorrinne 328  
 Vigier S.A. 326  
 Villigerformation 309  
 Viviser-Marmor 193  
 Vogesen 15  
 Vogesenschotter 116  
 Vollgipsplatten 343, 344  
 Vollschnitt-TBM 377  
 Volumenänderung 279  
 Von Roll AG 374  
 Vorbourgkalk 309  
 Vorbourgschichten 271  
 Vorbrecher 207, 264, 265  
 Vorlagesteine 270  
 Vorsorgeprinzip 450  
 Vortrieb,  
   konventionell 377  
   maschinell 376, 377  
   Methoden 376  
 Voruntersuchung 456  
 Vorversuche 380  
 Vorwärmeturm 303  
 Vorwärzzone 328  
 VSS-Normen 212, 484, 486  
 vulkanischer Tuff 13, 255  
 vulkanogener Ton 75, 76
- W**
- Waadtländer Marmore 192  
 Wachstumsdruck 280  
 Waldgesetz 445  
 Waldverordnung 445  
 Walliser Quarzit 172, 220, 245, 249, 253  
 Wallmoränen 107  
 Walzenbrecher 267  
 Wandbilder 276  
 Wanderroste 305  
 Wandmalereien 292  
 Wandtafeln 202  
 Wang-Formation 309  
 Wangenerschichten 227, 271, 309, 312, 314, 315, 319  
 Wangschichten 273  
 Wärme 210  
 Wärme-Leitzahl 255  
 Wärmedehnung 211, 255, 279, 280
- Wärmegradient 280  
 Wärmetauscherofen 305  
 Warven 53  
 Waschanlagen, Giessereisande 72  
 Waschgold 412  
 Wasser-Zement-Faktor (w/z) 382, 392  
 Wasseraufnahme 211, 222, 252, 254, 255  
 Wasserbaugesetz 444  
 Wasserglas 70, 278, 285, 290, 294  
 Wasserjet 207, 219  
 Wasserläufe 289  
 Wassersättigung 212, 226  
 Wasserwirtschaft 444  
 Wasserzementwert 382, 392  
 Weddellit 283  
 Weichbrand 331, 332  
 weiche Minerale 265  
 Weichkalk 255, 256  
 Weichsteine 215  
 weisses Urgonien 322  
 Weissfeinkalk 324, 329, 332  
 Weisskalk 324  
 Weisskalkhydrat 328, 332  
 Wellengebirge 357  
 Werkstücke 221  
 Werkvertrag 446  
 Westofen 333  
 Wetterexposition 278  
 Wetingerschichten 227, 272, 309, 319  
 Whewellit 283  
 Whisker-Habitus 284, 285  
 Wiederverwertung 375  
 Wildeggerformation 309  
 wilder Marmor 189  
 Wildhorndecke 241  
 Wilhelm Brodtbeck AG 305  
 Winddruck 226  
 Winderosion 279, 287  
 Windsog 226  
 Wirbeltiere, Fossilien 145  
 Wirtschaftsrecht 446  
 Wismut 411  
 Witterung 277, 278  
 Witterungsbeständigkeit 268, 277, 278  
 Wochenzyklen 289  
 wohlgeschichtete Kalke 81, 309  
 Wolfram-Vererzungen **411**  
 Wollastonit 35  
 Würfelkristalle 285  
 Württembergica Schichten 309
- X**
- Xenotim 425
- Z**
- Zahnen 216, 219  
 Zalende Nuvolato 234

- Zeller Schotter 142, 143
- Zement 299, 301, 304, 324, 386
  - Abbinden von 344
  - Herstellungsprozess 303
  - Mineralogie 301
- Zementationsmineral 422
- Zementdosierung 162
- Zementfabrik Zurlinden & Co. 315
- Zementfabriken
  - Standorte 304
- Zementherstellung 300, 302, 399
- Zementindustrie 299, **301**
  - Rohstoffe 307
- Zementleim 301, 382
- Zementmörtel 280, 285, 301
- Zementmühle 304
- Zementnormen 299, 301, 303
- Zementofen 300
- Zementproduktion 305
- Zementrohmischung 307
- Zementsteinschichten 307, 310, 332
- Zementwerke 301, 304, **311**
  - Rekingen 2
  - Reuchenette (Vigier SA) 319
  - Siggenthal 2
- zentraler Aaregranit 241, 422
- Zentralmassive 15, 232, 275
- Zentralmischverfahren 393
- Zepterkristall 427
- Zepterquarz 423, 424
- Zerkleinerungsfaktor 267
- Zerrkluft 421
- Zerrkluftmineraleien
  - als Sammelobjekte 427
  - alpine 426
- Zerstörung historischer Bausubstanz 225
- Zertrümmerungsgrad 165, 212, 267, 268
- Zertrümmerungsprüfung 165
- Ziegel 301
  - Mönchziegel 27
  - Nonnenziegel 27
- Ziegeleien **40**
  - Frick 55
  - Horw 49
  - Oberwil 53
  - Paradies 53
  - Rafz 39
  - Rapperswil 50
  - Tiergarten 53
- Ziegeleirohstoffe
  - Entstehung 43
  - gängige Untersuchungs-  
methoden 59
  - Minerale 33
  - qualitative Anforderungen 36
  - technologische Eigen-  
schaften 62
  - Vorkommen 42
- Ziegelindustrie
  - Abbaustandorte 40
  - Geschichte 27
- Ziegelindustrie Frick AG 42
  - Abbauvolumen 41
  - Rohstoffeigenschaften 59–63
  - Rohstoffmischungen
  - Qualitätsanforderungen 43
  - Rohstoffreserven 41
  - Rohstoffzusammensetzung  
59–63
  - Tendenzen, Entwicklung 63
- Ziegelpresse 344
- Zieglergewerbe 27
- Zigzag»-Zone 316
- Zinkblende **411**
- Zivilgesetzbuch (ZGB) 442
- Zone der roten Ziegeleitone 49
- Zone des Cols 352, 359
- Zone von Sion-Courmayeur 244
- Zopfmusterfluss 105
- Zuger Sandstein 254
- Zugerstein 183
- Zürcher Bausteine 280
- Zuschlagstoffe 3, 159
  - Anforderungen 166
  - für die Betonherstellung 379
- Zustandserfassung 277
- Zweibrand-Verfahren 353
- Zweiglimmergneis 235
- zweihäufig (Gneis) 235, 238
- Zweispitz 207, 229
- Zweitfeuerung 304
- Zyklonen 303, 305



Museen der Schweiz mit Erdwissenschaftlichen Sammlungen oder Ausstellungen

*Naturwissenschaftliche Museen*

*Geologie-Museen*

*Spezial-Museen*

*Regionalmuseen*

*Kleinere Museen mit Mineralien- und/oder Fossilienausstellung*

*Besucherbergwerk*

Fachverbände / Fachgesellschaften / Vereinigungen

Gönnerverzeichnis

*Amtsstellen*

*Baugewerbe*

*Chemie / Mineralindustrie*

*Geologische Büros*

*Gesellschaften / Vereine*

*Gips / Salz / Zement*

*Kies und Sand / Gebrochene Steine*

*Landschaftspflege / -planung*

*Natursteine*

*Prüfanstalten / Ingenieurunternehmungen / Beratungsbüros*

*Ziegelei / Tonwerke / Keramik*

*Weitere*

---

## MUSEEN DER SCHWEIZ MIT ERDWISSENSCHAFTLICHEN SAMMLUNGEN ODER AUSSTELLUNGEN

Zusammengestellt von Danielle Decrouez, Musée d'Histoire naturelle, Rue Malagnon 1, 1207 Genève  
und Edith Müller-Merz, Geo Office, Unterm Schellenberg, 4125 Riehen.  
Ergänzt von der Schweizerischen Geotechnischen Kommission.

### NATURWISSENSCHAFTLICHE MUSEEN

Aargauisches Naturmuseum	5000 Aarau	AG	062 822 29 48
Naturhistorisches Museum	3005 Bern	BE	031 350 71 11
Naturhistorisches Museum	3510 Konolfingen	BE	031 791 12 79
Naturhistorisches Museum	4001 Basel	BS	061 266 55 00
Musée d'Histoire naturelle Pérolles	1700 Fribourg	FR	026 300 90 40
Muséum d'Histoire naturelle	1211 Genève	GE	022 418 63 00
Naturwissenschaftliche Sammlungen	8750 Glarus	GL	055 640 21 20
Bündner Natur-Museum	7000 Chur	GR	081 252 15 58
Musée jurassien des sciences naturelles	2900 Porrentruy	JU	032 466 68 12
Natur-Museum Luzern	6003 Luzern	LU	041 228 54 11
Musée d'histoire naturelle	2300 La Chaux-de-Fonds	NE	032 913 39 76
Muséum d'Histoire naturelle	2000 Neuchâtel	NE	032 717 79 60
Naturwiss. Sammlung des Kollegiums St. Fidelis	6370 Stans	NW	041 618 74 66
Naturmuseum	9000 St. Gallen	SG	071 245 22 44
Naturmuseum	4600 Olten	SO	062 212 79 19
Naturmuseum Solothurn	4500 Solothurn	SO	032 622 70 21
Naturmuseum Luzernerhaus	8500 Frauenfeld	TG	052 724 26 43
Museo cantonale di storia naturale	6900 Lugano	TI	091 923 78 27
Musée cantonal d'histoire naturelle	1950 Sion	VS	027 606 47 31
Naturwissenschaftliche Sammlungen	8402 Winterthur	ZH	052 267 51 66

### GEOLOGIE-MUSEEN

Musée géologique cantonal, Palais de Rumine,	1005 Lausanne	VD	021 692 44 70
Geologisch-Mineralogische Ausstellung der ETH	8092 Zürich	ZH	01 632 37 87
Paläontologisches Museum der Universität Zürich	8006 Zürich	ZH	01 257 23 39

### SPEZIAL-MUSEEN

Sauriermuseum	5262 Frick	AG	062 871 28 28
Höhlenmuseum Waldhaus, Beatushöhlen	3800 Sandlauenen	BE	033 841 16 43
Schweizerisches Alpines Museum	3005 Bern	BE	031 351 04 34
Bergbaumuseum Schaubergwerk Silberberg	7270 Davos-Schmelzboden	GR	081 401 11 66
Museum alpin	7504 Pontresina	GR	081 842 72 73
Nationalparkhaus	7530 Zernezh	GR	081 856 13 78
Gletschergarten	6006 Luzern	LU	041 410 43 40
Gonzen Bergwerkmuseum	7320 Sargans	SG	081 723 12 17
Museum Stemmler	8200 Schaffhausen	SH	052 625 88 46



Gipsmuseum	8226 Schleithem-Oberwiesen	SH	052 680 13 47
Steinmuseum	4500 Solothurn	SO	032 625 81 61
Museum Bally-Prior	5012 Schönenwerd	SO	062 849 22 13
Musée Suisse du Sel	1860 Aigle	VD	024 466 17 59
Musée du Fer et du Chemin de Fer	1337 Vallorbe	VD	021 843 25 83
Alpines Museum	3920 Zermatt	VS	027 967 41 00
Sauriermuseum	8607 Aathal	ZH	01 932 14 68
Besucherbergwerk Käpfnach, Bergwerkverein Käpfnach	8810 Horgen	ZH	01 725 05 82

## REGIONALMUSEEN

Dorfmuseum	5256 Zeihen	AG	062 876 13 04
Museum	4800 Zofingen	AG	062 751 67 63
Heimatismuseum	9410 Heiden	AR	071 891 19 56
Heimatismuseum	3715 Adelboden	BE	033 673 80 80
Museum im alten Amthaus	4900 Langenthal	BE	062 922 71 81
Museum Laufental	4242 Laufen	BE	061 761 41 89
Musée Collège	2615 Sonvilier	BE	032 341 40 84
Dorfmuseum	3812 Wilderswil	BE	033 822 84 55
Heimatismuseum	4123 Allschwil	BL	061 481 55 62
Dorfmuseum	4431 Bennwil	BL	061 951 20 71
Altes Zeughaus, Kantonsmuseum Baselland	4410 Liestal	BL	061 925 59 86
Ortsmuseum	4132 MuttENZ	BL	061 461 81 82
Musée gruérien	1630 Bulle	FR	026 912 72 60
Heimatismuseum Schanfigg	7050 Arosa	GR	081 377 17 31
Klostermuseum	7180 Disentis	GR	081 947 51 45
Geologisches Regionalmuseum	7516 Maloja	GR	081 824 31 88
Dorfmuseum «La Truaisch»	7188 Sedrun-Tujetsch	GR	081 949 13 43
Museo	7605 Stampa	GR	081 822 17 16
Musée jurassien d'art et d'histoire	2800 Delémont	JU	032 422 80 77
Musée Hofgut, Löwenburg	2800 Delémont	JU	032 431 12 20
Musée	2105 Travers	NE	032 863 22 84
Mines d'asphalte et de la Presta	2105 Travers	NE	032 863 30 10
Museum	8873 Amden	SG	055 611 10 89
Gemeindemuseum «Rothus»	9463 Oberriet	SG	071 761 17 12
Drachenloch-Museum und Orstmuseum	7315 Vättis	SG	081 306 12 40
Ortsmuseum	8213 Neunkirch	SH	052 365 13 71
Museum zu Allerheiligen	8200 Schaffhausen	SH	052 625 43 96
Ortsmuseum	8226 Schleithem	SH	052 680 13 47
Ortsmuseum zur alten Schule	8217 Wilchingen	SH	052 681 39 91
Talmuseum Ursern	6490 Andermatt	UR	041 887 06 24
Musée d'Yverdon, Le Château	1400 Yverdon-les-Bains	VD	024 425 93 10
Regional Museum	3996 Binn	VS	027 971 45 45
Musée folklorique	1914 Isérables	VS	027 306 27 82
Musée de l'Hospice, Le Grand-Saint-Bernard	1946 Bourg-St. Pierre	VS	027 787 12 36

# **KLEINERE MUSEEN MIT MINERALIEN- UND/ODER FOSSILIENAUSSTELLUNG**

Kristallmuseum	3861 Guttannen	BE	033 973 12 91
Museo dei fossili, Monte San Giorgio	6866 Meride	TI	091 646 37 80
Museo di minerali e fossili	6714 Semione	TI	091 870 12 88
Urner Mineralien-Museum	6462 Seedorf	UR	041 870 44 80
Musée minéralogique, fossiles	1838 Rougemont	VD	026 925 83 33
Kristall-Museum	3981 Obergesteln	VS	027 973 18 36
Museum am Dorfplatz	9100 Herisau	AR	071 351 23 53
Museo Nazionale del San Gottardo	6781 San Gottardo	TI	091 869 15 25

# **BESUCHERBERGWERK**

Eisenbergwerk Gonzen	7320 Sargans	SG	081 723 12 17
Salines de Bex	1880 Bex	VD	024 463 24 62
Quarzsandbergwerk Chrästel bei Buchs (ZH)	8107 Buchs	ZH	01 844 17 50
Besucherbergwerk Käpfnach, Bergwerkverein Käpfnach	8810 Horgen	ZH	01 725 05 82
Mines d'asphalte et de la Presta	2105 Travers	NE	032 863 30 10



## FACHVERBÄNDE

Nachstehend ist eine Auswahl von Fachverbänden, Fachgesellschaften sowie von wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Vereinigungen zusammengestellt, deren Kontaktadressen im Zusammenhang mit der Thematik dieses Buches nützlich sein können.

– Arbeitsgemeinschaft Schweizer Keramiker (ASK), Holderhus	6206 Neuenkirch
– Association vaudoise des maîtres couvreurs, 2 av. Agassiz	1001 Lausanne
– Associazione Industrie dei Graniti marmi e Pietre naturali del Canton Ticino viale Portone 4	6500 Bellinzona
– Bund Schweizer Landschaftsarchitekten (BSLA), rue de Doubs 32	2300 La Chaux-de-Fonds
– Fédération romande de métiers de bâtiment, rue du Maupas 34	1004 Lausanne 9
– Fédération romande des marbriers, 2 av. Agassiz	1001 Lausanne
– Geologische Gesellschaft Zürich, c/o Z. Fejer, Zürichstr. 24	8122 Binz
– Gletschergarten Stiftung Amrein-Troller, Denkmalstr. 4	6006 Luzern
– Gruppe der Schweizerischen Bauindustrie (SBI), Limmatstr. 73	8023 Zürich
– Naturstein-Verband Schweiz, Schwarztörstr. 26	3007 Bern
– Pro Naturstein, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für den Naturstein, Schwarztörstr. 26	3007 Bern
– Schweizer Quartär-Gruppe (S-QUAT), c/o Ph. Schöneich, Institut de Géographie, Université de Lausanne, BFSH 2	1015 Lausanne
– Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften (SANW), Bärenplatz 2	3011 Bern
– Schweizerische Arbeitsgemeinsschaft für Steine und Erden (SASTE), c/o R. Kündig, ETH-Zentrum, Sonneggstr. 5	8092 Zürich
– Schweizerische Fachgruppe der Ingenieurgeologen (SFIG), c/o P. Haldimann, Bühlstr. 33	8700 Küsnacht
– Schweizerische Geologische Gesellschaft (SGG), c/o A. Strasser, Institut de Géologie, Université de Fribourg, Pérolles	1700 Fribourg
– Schweizerische Geologische Kommission, c/o H. Weissert, Geologisches Institut, ETH-Zentrum, Sonneggstr. 5	8092 Zürich
– Schweizerische Geotechnische Kommission, ETH-Zentrum, Sonneggstr. 5	8092 Zürich
– Schweizerische Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik (SGBF), ETH-Hönggerberg, Einsteinstr. 1-5	8093 Zürich
– Schweizerische Gesellschaft für historische Bergbauforschung, c/o E. Brun, Gräfenseestr. 2	8600 Dübendorf
– Schweizerische Gesellschaft für Hydrogeologie, c/o Geologisches Büro Matousek, Baumann & Niggli AG, Mäderstr. 8	5401 Baden
– Schweizerische Gesellschaft für Siedlungsentwicklung und Umwelt (GSU), Splügenstr. 10	8027 Zürich
– Schweizerische Mineralogische und Petrographische Gesellschaft (SMPG), c/o T. Armbruster, Labor für chemische und mineralogische Kristallographie, Universität Bern, Freiestr. 3	3012 Bern
– Schweizerische Stiftung für Landschaftsschutz und Landschaftspflege SL, Hirschengraben 11	3011 Bern
– Schweizerische Vereinigung beratender Ingenieure (ASIC), Schwarztörstr. 26	3007 Bern
– Schweizerische Vereinigung der Strahler, Mineralien- und Fossiliensammler (SVSM), Weidenweg 7	3608 Thun
– Schweizerische Vereinigung für Geothermie (SVG), c/o Büro Inter Prax, Dufourstr. 87	2502 Biel
– Schweizerischer Baumeisterverband (SBV), Weinbergstr. 49	8035 Zürich
– Schweizerischer Fachverband für Sand und Kies (FSK), Bubenbergrplatz 9	3011 Bern

– Schweizerischer Plattenverband (SPV), Altishoferstr. 40	6252 Dagmersellen
– Schweizerischer Verband der Betonwaren-Fabrikanten, Grabenstr. 32	6301 Zug
– Schweizerischer Verband der Geotextilfachleute (SVG), c/o EMPA, Lerchenfeldstr. 5	9014 St. Gallen
– Studiengesellschaft zur Nutzbarmachung Schweizerischer Lagerstätten, Mineralogisch-Petrographisches Institut, Universität Bern, Balzerstr. 1	3012 Bern
– Verband der Schweizerischen Keramischen Industrie (VSKI), Obstgartenstr. 28	8006 Zürich
– Verband des Schweizerischen Baumaterial-Handels (VSBH), Schmelzbergstr. 50	8044 Zürich
– Verband Schweizerischer Baustoffprüfer (VSB), c/o C. Hager, Spitalstr. 15B	5734 Reinach
– Verband Schweizerischer Bildhauer- und Steinmetzmeister (VSBS), Schwarztorstr. 26	3007 Bern
– Verband Schweizerischer Hafner-und Plattengeschäfte, Solothurnerstr. 236	4600 Olten
– Verband Schweizerischer Hartsteinbrüche, c/o M. Gerber, Geologisches Gutachtenbüro Ortschaftenstr. 3/3a	3043 Üttingen
– Verband Schweizerischer Kalksteinfabrikanten, c/o Bachmann Bautechnik, Hochstr. 16	8330 Pfäffikon
– Verband Schweizerischer Naturbaustein- und Pflastersteinproduzenten (VSNPP) c/o A. Kuster, Kantonsstr. 27	8807 Freienbach
– Verband Schweizerischer Pflästerermeister, c/o A. Seger, Kreuzareal 7	8180 Bülach
– Verband Schweizerischer Plattenhandelsgeschäfte (VSPH), Altishoferstr. 40	6252 Dagmersellen
– Verband Schweizerischer Plattenlegermeister (VSPL), Altishoferstr. 40	6252 Dagmersellen
– Verband Schweizerischer Transportbetonwerke (VSTB), Döttingerstr. 23	5301 Station Siggenthal
– Verband Schweizerischer Sprengfachleute (VSSF), c/o H. Steiger, Chilchenholzstr. 43	8614 Sulzbach
– Verband Schweizerischer Ziegelfabrikanten (VSZ), Obstgartenstr. 28	8006 Zürich
– Verein der Freunde des Bergbaus in Graubünden, c/o H. Krähenbühl, Edelweissweg 2	7270 Davos-Platz
– Verein Schweizerischer Zement-, Kalk- und Gips-Fabrikanten (VSZKGF), Beckenhofstr. 6	8006 Zürich
– Vereinigung Schweizerischer Bohrfirmen, Geuenseestr. 5	6210 Sursee
– Vereinigung Schweizerischer Hersteller von Mineralwolle-Hersteller (SWISSISOL), Nordstr. 220	8037 Zürich
– Vereinigung Schweizerischer Petroleumgeologen und -Ingenieure, c/o P. Leiner, Speerstr. 39	8805 Richterswil
– Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Seefeldstr. 9	8008 Zürich
– Vereinigung Schweizerischer Tiefbauunternehmer (VST), Weinbergstr. 49	8035 Zürich



**GÖNNERVERZEICHNIS**

Die Schweizerische Geotechnische Kommission bedankt sich ganz herzlich bei folgenden Firmen/Institutionen/Personen, die finanziell zur Realisierung des Buches beigetragen haben:

**AMTSSTELLEN**

Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern, 3011 Bern  
 Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich, 8090 Zürich  
 Amt für Umweltschutz St. Gallen, Abt. Wasser- und Energiewirtschaft, 9001 St. Gallen  
 Amt für Umweltschutz und Energie, Basel-Landschaft, 4410 Liestal  
 Amt für Umweltschutz und Wasserwirtschaft des Kantons Thurgau, 8500 Frauenfeld  
 Baudirektion des Kantons Zug, Amt für Umweltschutz, 6301 Zug  
 Baudirektion Uri, Direktionssekretariat, 6460 Altdorf  
 Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW), 3003 Bern  
 Bundesamt für Strassenbau, 3003 Bern  
 Departement für Erziehung und Kultur des Kantons Thurgau, 8500 Frauenfeld  
 Dipartimento del territorio, 6501 Bellinzona  
 Erziehungsdepartement des Kantons Aargau, 5001 Aarau  
 Erziehungsdepartement des Kantons Wallis, 1951 Sion  
 Erziehungsdepartement des Kantons Schaffhausen, 8201 Schaffhausen  
 Erziehungsdirektion des Kantons Zug, 6304 Zug  
 Kantonale Polizeidirektion Bern, Verwaltung Lotteriefonds, 3011 Bern  
 Kantonsgeologe Basel-Stadt, 4056 Basel  
 Regierungskanzlei des Kantons Glarus, 8750 Glarus  
 Wasser und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA), 3011 Bern

**BAUGEWERBE**

A. Käppeli's Söhne AG, 7006 Chur  
 AG Heinr. Hatt-Haller, Hoch- und Tiefbauunternehmung, 8022 Zürich  
 Baur + Cie AG, 8034 Zürich  
 Foralith AG, Bohr- und Bergbautechnik, 9202 Gossau  
 Grundag AG Gossau, 9202 Gossau  
 HG Commerciale, 8039 Zürich  
 Infra 2000 SA, Concepteur et constructeur de tous travaux souterrains, 2074 Marin  
 Ing. Greuter AG, 8128 Hochfelden  
 KIBAG, 8038 Zürich  
 Losinger Bau AG, 3114 Bern  
 MBT (Schweiz) AG, 8048 Zürich  
 SA Conrad Zschokke, 1211 Genève 6  
 Sika AG, 8048 Zürich  
 Stuag Management AG, 3001 Bern  
 Thut AG, Bauunternehmung, 7310 Bad Ragaz  
 Walter J. Heller AG, 3000 Bern 5

## CHEMIE / MINERALINDUSTRIE

Ciba-Geigy AG, 4058 Basel  
 CU Chemie Uetikon AG, 8707 Uetikon am See  
 Plüss-Staufer AG, 4665 Oftringen  
 Sihelco AG, 4127 Birsfelden

## GEOLOGISCHE BÜROS

Baugeologie und Geo-Bau-Labor, 7000 Chur  
 Centre et musée de spéléologie D. Masotti SA, 1955 Chamoson  
 CSD Colombi Schmutz Dorthe AG, Ingenieure Geologen Umweltspezialisten, 3007 Bern  
 Dr. A. Baumer, Ufficio di geologia, 6612 Ascona  
 Dr. E. Dedual, Büro für Technische Geologie, 7002 Chur  
 Dr. H. Jäckli AG, 8049 Zürich und 5400 Baden  
 Dr. T. Lardelli, Büro für Technische Geologie, 7002 Chur  
 Dr. von Moos AG, 8037 Zürich  
 Geoform, Geologische Beratungen und Studien AG, 8401 Winterthur  
 Geologisches Büro A. Rissi, 8031 Zürich  
 Geotest AG, 3052 Zollikofen  
 Gysi & Leoni, Ingenieurbüro für Geotechnik und Geologie, 8005 Zürich  
 Matousek, Baumann & Niggli AG, 5401 Baden  
 Moser + Blanc, Beratende Geologen, 8406 Winterthur  
 P. Dériaz, Géotechnique Appliquée, 1227 Carrouge  
 Rüeegger AG, 9013 St. Gallen  
 SC+P Sieber Cassina + Partner AG, 8004 Zürich

## GESELLSCHAFTEN / VEREINE

Pro Naturstein, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für den Naturstein, 3007 Bern  
 Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Steine und Erden (SASTE), 8092 Zürich  
 Schweizerische Fachgruppe der Ingenieurgeologen (SFIG), 8700 Küsnacht  
 Schweizerische Geologische Gesellschaft, 1700 Fribourg  
 Schweizerische Gesellschaft für historische Bergbauforschung (SGHB), 8600 Dübendorf  
 Schweizerischer Baumeisterverband (SBV), 8035 Zürich  
 Schweizerischer Fachverband für Sand und Kies (FSK), 3011 Bern  
 Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, 3001 Bern  
 Studiengesellschaft zur Nutzbarmachung schweizerischer Lagerstätten mineralischer Rohstoffe, 3012 Bern  
 Verband des Schweizerischen Baumaterial-Handels (VSBH), 8044 Zürich  
 Verband Schweizerischer Hartsteinbrüche, 3043 Üttlingen  
 Verein Schweizerischer Zement-, Kalk- und Gips-Fabrikanten (VSZKGF), 8006 Zürich  
 Verband Schweizerische Ziegel- und Steinfabrikantenindustrie (VSZS), 8035 Zürich



## **GIPS / SALZ / ZEMENT**

Gipsunion AG, 5113 Holderbank  
 HCB Holderbank Cement und Beton, 5301 Station Siggenthal  
 Jura-Cement-Fabriken, 5001 Aarau  
 Vereinigte Schweizerische Rheinsalinen AG, 4133 Pratteln 4

## **KIES UND SAND / GEBROCHENE STEINE**

AG Balmholz, Steinbrüche und Hartschotterwerke, 3800 Sundlauenen  
 Aktiengesellschaft Ernst Hablützel & Co., Kies- und Betonwerk, 8217 Wilchingen  
 Arnold & Co. AG, Sand- & Kieswerke, 6454 Flüelen  
 Eugène Bühler et fils SA, Sables et graviers, 2074 Marin  
 Famsa SA, Fabrique d'agglomérés Monthey SA, 1871 Choëx  
 Grob Kies AG Wattwil, 9620 Lichtensteig  
 HARD AG, 8604 Volketswil  
 Hartsteinwerk AG Kehrsiten, 6365 Kehrsiten NW  
 "HCB Concreta AG, 8050 Zürich  
 Iff AG, 4704 Niederbipp  
 KIBAG und Gruppengesellschaften Kies, 8038 Zürich  
 Kieshandels AG, 6144 Zell  
 Kies & Recycling AG, 8427 Rorbas  
 Kiestag, Kieswerk Steinigand AG, 3752 Wimmis  
 Kieswerk Bethlehem AG, 6313 Edlibach  
 Kieswerk Merz AG, 5412 Gebenstorf  
 Kieswerk Solenberg AG, 8200 Schaffhausen  
 Kieswerk Tägerhard AG, 5430 Wettingen  
 KWS Kies AG, 8174 Stadel bei Niederglatt  
 Losinger Sion SA, 1951 Sion  
 Sagrave SA, 1007 Lausanne  
 Sand AG Neuheim, 6345 Neuheim  
 Sebastian Müller AG, Kies- und Betonwerke, 6221 Rickenbach LU  
 SHB Steinbruch und Hartschotterwerk, Blausee-Mitholz AG, 3714 Frutigen 1  
 Sociétés de Recyclage de Matériaux Pierreux, SRMR, 1073 Savigny  
 STEINAG Hartstein- und Baustoffwerk, 6362 Rozloch NW  
 Steinbruch Zingel AG, 6423 Schwyz  
 Toggenburger AG, 8404 Winterthur  
 Weiacher Kies AG, 8187 Weiach

## **LANDSCHAFTSPFLEGE / -PLANUNG**

ASP Atelier Stern & Partner AG, 8049 Zürich  
 Institut für Landschaftspflege und Umweltschutz ILU Ottomar Lang AG, 8610 Uster  
 Zulauf + Partner, Landschaftsarchitekten BSLA, 5400 Baden

## NATURSTEINE

A. Conrad AG, Granitwerk, 7440 Andeer  
 A. Eisenegger, Natursteintische, 3005 Bern  
 Alfredo Polti, Industria del granito, 6537 Grono  
 Antonini SA, Graniti e marmi, 6532 Castione  
 Bärlocher, Steinbruch + Steinhauerei AG, 9422 Staad / Buchen  
 Bernasconi, Natursteine AG, 3018 Bern-Bümpliz  
 Christian Breitenstein AG, Natur- und Kunststeine, 6300 Zug  
 E. Salvisberg AG, Marmor- und Granitwerk, 3417 Rüegsau  
 Emil Fischer AG, Steinindustrie, 5605 Dottikon  
 Emilio Stecher AG, Granit- und Marmorwerk, 6037 Root  
 Eckardt Natursteine AG, 8034 Zürich  
 Eckardt & Hofmann, Naturstein-Bau AG, 8034 Zürich  
 Gebr. Müller AG, 8732 Neuhaus  
 J. & A. Kuster Steinbrüche AG Bäch, 8807 Freienbach  
 K. Messerli's Söhne AG, Steinhauergeschäft, 3600 Thun  
 Lägern Kalksteinbrüche AG, 8162 Steinmaur  
 Marmor- und Serpentinwerke AG, 7742 Poschiavo  
 Max Frei AG, Marmorwerk, 9443 Widnau  
 NEWROC AG, 4242 Laufen  
 Pedretti AG, Granit- und Marmorwerke, 8107 Buchs ZH  
 Schär & Trojahn AG, Natursteine, 3172 Niederwangen  
 Schiefertafelfabrik Frutigen AG, 3714 Frutigen 2  
 Schori-Maffioli, Natursteine AG, 9322 Egnach  
 Sigg Jürg, Natursteine, 8444 Henggart  
 STAG Steinbruch AG, 4622 Egerkingen  
 Steinbruch De Zanet Stein AG, c/o A. Pitsch AG, 7430 Thusis  
 Teufener Sandsteinbruch Lochmüli AG, 9100 Herisau  
 Toscano AG, Natursteinwerk, 7440 Andeer  
 U. Fausch, Bildhauer, 8820 Wädenswil  
 Vollenweider AG, 2540 Grenchen

## PRÜFANSTALTEN / INGENIEURUNTERNEHMUNGEN / BERATUNGSBÜROS

Andreas Steiger, Beratende Ingenieure, 6003 Luzern  
 Dr. Vollenweider AG, 8032 Zürich  
 IMP Bautest AG, Institut für Materialprüfung, 4617 Gunzgen SO  
 Ingenieurbüro Heierli AG, 8033 Zürich  
 Istituto Meccanica dei Materiali SA, 6916 Grancia  
 IUB Ingenieur-Unternehmung AG Bern, 3000 Bern 6  
 Keller & Stäheli AG, Bauingenieur- & Planungsbüro, 8500 Frauenfeld  
 Lombardi SA, Ingegneri Consulenti, 6648 Minusio  
 MC Mineral Consult AG, 8034 Zürich  
 P. Friedli, Büro für Geotechnik und Felsmechanik, 8008 Zürich



Petrattech, Baustoffe - Rohstoffe - Umwelt, 8045 Zürich  
 Solexperts AG, 8603 Schwerzenbach

#### **ZIEGELEI / TONWERKE / KERAMIK**

BTR Prébéton SA, 1023 Crissier  
 Freiburger Ziegelei in Düdingen AG, 3186 Düdingen  
 Keramik Laufen AG, 4242 Laufen  
 Morandi Frères SA, 1562 Corcelles-Payerne  
 Rössler AG, Tonwaren- und Porzellanfabrik, 3423 Ersigen  
 Schumacher & Co., Ziegelei Körbligen, 6038 Gisikon  
 Tonwarenfabrik Laufen AG, 4242 Laufen  
 Tonwerk Keller AG, 5070 Frick  
 Ziegelei Etzelkofen René Schachtler AG, 3306 Etzelkofen  
 Ziegelei Fisibach AG, 8435 Fisibach  
 Ziegelei Rehhag AG, 3018 Bern  
 Zürcher Ziegeleien Holding, 8045 Zürich  
 ZZ Ziegeleien, 8045 Zürich

#### **WEITERE**

Bank Leu AG, 8022 Zürich  
 Berner Alpenbahn-Gesellschaft, Bern-Lötschberg-Simplon, 3011 Bern  
 Ceric, centre d'études et de réalisations industrielles et commerciales, F-75008 Paris  
 Desair AG, Luftbildfotografie und Gletscherflüge, 8615 Wermatswil  
 Eisenbergwerk Gonzen AG, 7320 Sargans  
 Frau A. de Quervain, 8044 Zürich  
 Fräulein V. Jenny, 8700 Küsnacht  
 +GF+ Georg Fischer AG, 8201 Schaffhausen  
 GIPO AG, Recycling-, Brech-, Sieb-, Misch und Fördertechnik, 6462 Seedorf  
 Herr Dr. h.c. H. Steinmann, 8142 Uitikon-Waldegg  
 Nachdiplomkurs in angewandten Erdwissenschaften, 8092 Zürich  
 Nagra, Fachbereich Geologie, 5430 Wettingen  
 Nordostschweizerische Kraftwerke AG, 5401 Baden  
 Rieter-Werke Händle GmbH & Co. KG, D-78467 Konstanz  
 Robert-Sulzer-Forrer-Stiftung, 8404 Winterthur  
 Schweizerische Bankgesellschaft, 3001 Bern  
 Schweizerische Volksbank, 3011 Bern  
 Swissgas, Schweiz. Aktiengesellschaft für Erdgas, 8002 Zürich  
 Tamrock Bohrgeräte, c/o Ammann Tunneling AG, 4900 Langenthal  
 Tiefengaskonsortium, Swissspetrol/Sulzer, 8401 Winterthur (neu: 6373 Ennetbürgen)  
 Vontobel Druck AG, 8620 Wetzikon  
 Zürcher Kantonalbank, 8010 Zürich