

# Beitrag zur Schotteranalyse

---

VON DER  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN  
HOCHSCHULE IN ZÜRICH  
ZUR ERLANGUNG  
DER WÜRDE EINES DOKTORS DER  
NATURWISSENSCHAFTEN  
GENEHMIGTE  
PROMOTIONSARBEIT  
VORGELEGT VON  
**THEODOR ZINGG**  
aus **Berg** (Thurgau)

Referent: Herr Prof. Dr. P. Niggli  
Korreferent: Herr Prof. Dr. C. Burri



ZÜRICH 1935  
Diss.-Druckerei A.-G. Gebr. Leemann & Co.  
Stockerstr. 64.

Sonderdruck aus  
„Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen“  
Band XV, 1935.

**IM ANDENKEN AN MEINEN  
LIEBEN VATER**

## Beitrag zur Schotteranalyse

### Die Schotteranalyse und ihre Anwendung auf die Glattalschotter

Von *Th. Zingg* in Zürich

#### INHALTSÜBERSICHT

	Seite
Einleitung . . . . .	40
Die Schotteranalyse im Allgemeinen . . . . .	40
A. Die Untersuchungsmethoden . . . . .	42
1. Die Probeentnahme und die Probemenge . . . . .	42
2. Methoden der Korngrössentrennung . . . . .	43
3. Die Geschiebegemische, deren Korngrössengliederung und Klassifikation . . . . .	44
4. Die graphische Darstellung der Korngemische . . . . .	49
5. Die Geröllform und deren Bestimmung . . . . .	52
6. Die Rundung und Abrollung der Gerölle . . . . .	56
7. Das spezifische Gewicht der Gerölle . . . . .	62
8. Die petrographische Schotteranalyse . . . . .	62
B. Ergebnisse . . . . .	66
1. Die Korngrössenverteilung . . . . .	66
2. Die Geröll- und Mineralformen . . . . .	81
3. Die Verteilung der Geröllformen . . . . .	84
4. Die Abrollung der Gerölle . . . . .	86
5. Zusammenfassung der Ergebnisse des gegenseitigen Einflusses von Korngrösse, Geröllform, Abrollung und vom Material . . . . .	90
6. Der Geschiebetransport und allgemeine geologische Bemerkungen . . . . .	92
C. Kurze Charakterisierung eines Einzelbeispiels: Die Schotter des Glattals . . . . .	101
1. Geologische Übersicht über das Glattal . . . . .	101
2. Die Probeentnahmestellen . . . . .	108
3. Die Schottermischungen: Hochterrasse, Niederterrasse, Nagelfluh . . . . .	109
4. Die Gesteinszusammensetzung der Glattalschotter . . . . .	111
5. Die Änderung der Zusammensetzung im Verlauf des Glattales . . . . .	116
6. Die Abhängigkeit der Zusammensetzung von der Korngrösse . . . . .	118
7. Die Abhängigkeit der Form vom Gesteinsmaterial . . . . .	120
8. Die Abrollung . . . . .	121
Zusammenfassung . . . . .	122
Tabellen . . . . .	124
Literaturverzeichnis . . . . .	133

## EINLEITUNG

Die vorliegende Arbeit soll gewisse Grundfragen der Schotteranalyse abklären helfen. Zu diesem Zwecke wurden zahlreiche Literaturangaben hinsichtlich neuer Darstellungsmöglichkeiten miteinander verglichen. Ausserdem erfolgte auch eine schotteranalytische Untersuchung im Schottergebiet des Glattals.

Ferner wurden Sandproben verschiedener Herkunft untersucht, denn es sollte die Frage der Schotteranalyse zusammen mit den übrigen Fragen der klastischen Sedimentbildung behandelt werden. Besonders die Frage der Formbezeichnung der Gerölle und der Sandkörner wurde an Hand vieler eigener, im Einzelnen hier nicht wiedergegebener Untersuchungen, abzuklären versucht.

Diese Arbeit wurde im Mineralogisch-Petrographischen Institut der E. T. H. unter Leitung von Herrn Prof. Dr. P. NIGGLI ausgeführt. Ich freue mich, hier Herrn Prof. Dr. P. NIGGLI danken zu können für die stete Anteilnahme an dieser Arbeit und für das Wohlwollen, das er mir während der ganzen Studienzeit entgegengebracht hat.

Die Fragen der Schotter- und Sandmischungen hinsichtlich ihrer Genese, der Abrollung und der Form haben allgemeine Bedeutung. In der Sedimentpetrographie wie in der Technik spielen die Schotter wie die Sandmischungen eine bedeutende Rolle. Es ist deshalb durchaus angebracht, einheitliche Darstellungsmethoden und Bezeichnungen einzuführen.

Die Abrollungs- und Formbestimmungen sind zur Kennzeichnung von klastischen Sedimenten ebenfalls von Bedeutung geworden. Auch hier ist eine einheitliche Untersuchungs- und Darstellungsmethode wünschenswert, ansonst Vergleiche verschiedener Arbeiten nicht gemacht werden können.

## DIE SCHOTTERANALYSE IM ALLGEMEINEN

Die Schotteranalyse muss über die Natur eines Schotters möglichst weitgehend Auskunft geben, also möglichst umfassend sein.

Die bisherigen Arbeiten zeigen, dass die Schotter meist getrennt, entweder nach technischen oder nach geologischen Gesichtspunkten behandelt wurden.

Die Arbeiten von technischer Seite versuchten vor allem Fragen des Geschiebetransports, der Abrollung etc. zu beantworten. Als Autoren derartiger Untersuchungen mögen hier genannt sein: E. FUGGER und K. KASTNER, F. v. HOCHENBURGER, F. SCHAFFERNAK, A. SCHOKLITSCH. Sehr umfassende Arbeiten besitzen wir von GILBERT. Gegenwärtig werden grossangelegte Versuche im Wasserbaulaboratorium der E. T. H. vorgenommen.

Die von den Geologen ausgeführten Arbeiten beschäftigen sich in erster Linie mit der Herkunft des Materials, der Zusammensetzung der Schotter, sowie mit den Lagerungsverhältnissen. In der Schweiz haben sich J. FRÜH, R. FREI und W. LIECHTI diesen Fragen angenommen. Ferner sind noch die Arbeiten von F. BERGEN, K. BODEN und F. ZEUNER zu nennen.

Die technischen Arbeiten sind im allgemeinen kritischer eingestellt als die geologischen; den letztern fehlt jedoch die scharfe Charakterisierung des Materials. So schreibt SCHAFFERNAK in seiner Arbeit selbst:

„In diesen ältern Arbeiten werden oft nur die wenig präzisen Bezeichnungen wie nussgross, faustgross usw. verwendet, und auch später ist man über die Angaben des Rauminhalts oder der verglichenen Korndurchmesser kaum hinausgegangen. Soll aus einer Versuchsarbeit aber auch späterhin noch Nutzen gezogen werden können, so ist auf eine möglichst eingehende und einheitliche Charakterisierung grosser Wert zu legen, und dabei zu beachten, dass ein Mehr in diesen Belangen nie ein Zuviel bedeutet.

Selbstverständlich gilt diese Richtschnur nur für Untersuchungen im Laboratorium. Für den Gebrauch in der Praxis muss die Charakterisierung und namentlich deren Bestimmung so vereinfacht werden können, dass sie nicht überflüssige Zeitaufwendungen verursacht.“

Dazu wäre lediglich zu bemerken, dass die aufgestellten Richtlinien nicht allein für Arbeiten im Laboratorium gültig sein sollten, sondern im gleichen Masse auch bei den schotteranalytischen Arbeiten im Felde. Dass diese Methoden zugleich praktisch und einfach in der Anwendung sein müssen, bleibt indes als eine wesentliche Forderung bestehen.

So muss auch von diesem Gesichtspunkt aus geologisch-petrographische und technische Fragestellung Hand in Hand arbeiten. Eine bereits ziemlich umfassende Arbeit dieser Art ist die von FUGGER und KASTNER, auf die mehrfach Bezug genommen wird.

Die Methode selbst soll dazu dienen, das Material zu charakterisieren und zugleich das genetische Problem (Ablagerung, Mechanismus des Transports, Abrollung und Abrieb etc.) einer Lösung entgegen zu führen.

Da ein natürlicher Schotter auch Korngrössen unter 2 mm aufweist, so schliesst die Schotteranalyse die Sandanalyse in sich. Diese wird zu einem Teil der Schotteranalyse. Allein die Sandanalyse wird meistens nach andern Methoden durchgeführt; handelt es sich dabei doch in der Regel nur noch um Einzelminerale und nicht mehr um Gesteinsfragmente. So muss man wenigstens darnach trachten,

Fragen allgemeiner Natur, die für die Sande und Schotter die gleichen sind, hier wie dort nach analogen Gesichtspunkten zu behandeln.

Zunächst sind die Untersuchungs- und Darstellungsmethoden einzeln zu besprechen. Hauptziel muss es sein, an Stelle der vieldeutigen qualitativen Begriffe möglichst eindeutige quantitative Angaben zu setzen. Dabei ist stets zu berücksichtigen, dass man es zu meist mit statistischen Grössen zu tun hat.

Ein ganz wesentlicher Fortschritt würde erzielt, wenn eine Vereinheitlichung in der Darstellungsform Platz greifen würde. Denn bis jetzt ist es kaum möglich, die zahlreichen sedimentpetrographischen Arbeiten miteinander zu vergleichen. Die diesbezüglichen Vorschläge werden deshalb besonders der Beachtung und Beurteilung empfohlen.

## **A. Untersuchungsmethoden**

### **1. DIE PROBEENTNAHME UND DIE PROBLEMENGE**

Die Brauchbarkeit der Schotter- wie der Sandanalyse hängt von der Probeentnahme und der Probemenge ab. Für eine jede Probe muss der ganze Korngrössenbereich gesammelt werden. Die meisten bisherigen Arbeiten beschränken sich auf ein bestimmtes Korngrössenintervall. Sie geben somit nur über einen gewissen Ausschnitt der genetischen Einheit Auskunft (FRÜH, FREI, LIECHTI, BODEN und andere).

Für eine zuverlässige, deutbare Schotteranalyse ist es unbedingt notwendig, dass die Probe einer wohldefinierten Schicht entstammt. Eine Probe darf also nicht Material verschiedener Schichten enthalten, eine Bedingung, die für gewisse rezente Sande nicht unschwer innezuhalten ist. Diese Forderung ist für die mechanische Analyse unter allen Umständen erforderlich.

Die Art der Probeentnahme richtet sich nach dem Grad der Verfestigung des Schotters.

Für lose Schotter empfiehlt es sich, ein festes Blechgefäss von bekanntem Inhalt in den Schotter einzutreiben. Um eindeutiges Material zu erhalten, ist es zweckmässig, vorerst die hangende Schicht zu entfernen.

Beilicht bis mässig verfestigten Schottern, die standfest sind, aber doch nicht als festes Konglomerat bezeichnet werden können, wird die zur Probeentnahme bestimmte Schicht untergraben und die ganze Probe zusammen in das Gefäss gebrochen. Diese Art der Gewinnung verhindert einen Sandverlust, wie er auf andere Weise leicht entstehen würde.

In festen Konglomeraten, Nagelfluh, können ganze Blöcke gewonnen werden, die nachträglich mit der nötigen Vorsicht in die einzelnen Komponenten zerlegt werden.

In jedem Fall schliesst die Probeentnahme auf diese Art eine subjektive Auswahl gewisser Gerölle aus. Sie gibt auch zugleich ein richtiges Bild der Kornverteilung.

Später soll gezeigt werden, dass für bestimmte Zwecke oft ein Korngrössenintervall genügt. Trotzdem muss zunächst alles gesammelt werden; die Ausscheidung darf erst später erfolgen.

Die *Probemenge* hat sich in erster Linie nach der Beschaffenheit des Materials zu richten.

Nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung lässt sich ungefähr ermitteln, welche Mengen bei gegebener Korngrösse nötig sind, um einwandfreie Resultate zu erhalten. In dieser Hinsicht sei auf die Arbeit von R. GRENGG (55) hingewiesen. Nach seiner Berechnungsart erhält man aber derart grosse Probemengen, dass sie oft für eine Schotteranalyse nicht in Frage kommen.

So würden zum Beispiel für einen Schotter mit Geröllen bis zu 5 cm Durchmesser — gleichartige Gerölle vorausgesetzt — ca. 2 m<sup>3</sup> Material benötigt. Die bisher durchgeführten Schotteranalysen haben gezeigt, dass mit weit geringern Mengen bereits gute vergleichbare Resultate erzielt werden können.

Für Schotter mit maximaler Korngrösse von 2 cm genügen 2—3 kg, je nach Mischung, vollständig. In dieser Menge sind meist ca. 300 Gerölle von über 15 mm Durchmesser vorhanden.

R. GRENGG (57) selbst gibt neuerdings für Schotter bis zu 18 mm Körnung minimal 3 kg Probemenge an, für Körnung von 8 cm 25 kg.

In der vorliegenden Arbeit wurden Probemengen bis zu 15 kg verwendet. Im allgemeinen wurden Korngrössen bis 7 cm zugelassen.

## 2. DIE METHODEN DER KORNGRÖSSENTRENNUNG

Um Schotter oder Sande in die einzelnen Komponenten zu zerlegen, sind je nach der Korngrösse Schublehre, Sieb und Schlämmanalyse, oder alle drei nebeneinander anzuwenden.

Am einfachsten und zugleich am rationellsten im Gebrauch ist das Sieb. Hinsichtlich der Arbeitsmethoden mit Sieb und deren Zuverlässigkeit verweise ich auf die Arbeit von GRENGG (57), woselbst noch weitere Literaturangaben zu finden sind.

Das Sieb genügt meistens bis zu den Korngrössen von 0,2 mm. Bei kleinern Korndurchmessern greift man gewöhnlich zur Schlämm-



analyse. Es erübrigt sich hier, auf diese Methoden einzugehen. Es sei auf die umfangreiche diesbezügliche Literatur verwiesen.

In der vorliegenden Arbeit wurde bis zu den Korngrössen von 15 mm die Schublehre verwendet. Dies geschah deshalb, weil die Messungen zugleich zur Bestimmung der Form dienten. An anderer Stelle wird darüber ausführlich berichtet.

Es standen mir Lochsiebe mit folgenden Lochdurchmessern zur Verfügung: 10, 8, 4, 2, 1,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  mm. Die kleinern Korngrössen wurden mit dem Schlämmapparat nach KOPECKY getrennt, zunächst noch mit den Fraktionen:

0,1 — 0,25 mm  
0,05 — 0,1 mm  
0,01 — 0,05 mm  
< 0,01 mm

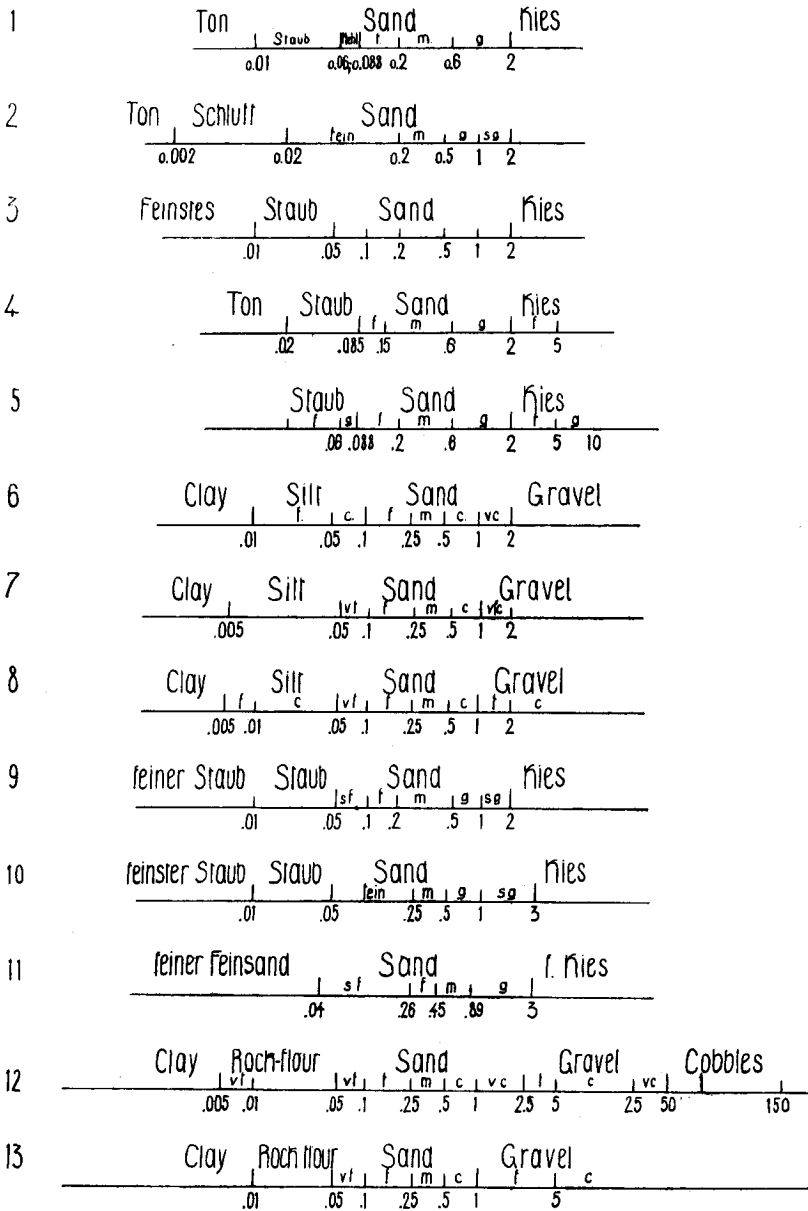
### 3. DIE GESCHIEBEGEMISCHE, DEREN KORNGRÖSSENGLIEDERUNG UND KLASSIFIKATION

Ein Schotter wird zunächst meist nach der Korngrösse seiner Bestandteile charakterisiert. Nach der Korngrösse richtet sich auch die Namengebung. Die Abgrenzung und die Benennung der einzelnen Intervalle wird jedoch ganz verschieden gehandhabt.

Die Abgrenzung der einzelnen Korngrössenklassen erfolgt durch die Autoren teils willkürlich, teils nach physikalischen Gesichtspunkten. Bei allen Klassifikationen fällt das Hauptgewicht auf die feinen Fraktionen. Es dürfte dies zum guten Teil daher rühren, dass viele solcher Untersuchungen von bodenkundlicher Seite in Angriff genommen wurden. Erst in relativ junger Zeit hat sich auch die Sedimentpetrographie dem gesamten Fragenkomplex zugewandt.

Ich möchte hier nicht auf die vielen Vorschläge einzeln eingehen. Eine diesbezügliche Zusammenstellung zeigt die Figur 1 und 2.

Die gebräuchlichste Korngrösseneinteilung dürfte die von UDDEN (145) sein. Sie wird besonders in den angelsächsischen Ländern viel benutzt. Sehr häufig findet anderseits die Klassifikation nach den Vorschlägen des Bureau of Soils (1912) Anwendung. Für die Zukunft sollte das von ATTERBERG (4) aufgestellte Schema in der abgeänderten Form von FISCHER-NIGGLI verwendet werden. Die in dieser Arbeit näher begründete Klassifikation stützt sich einerseits auf physikalische Eigenschaften der Sedimente, anderseits umfasst sie eine gleichwertige Stufung der Intervalle unter möglichster Wahrung der physikalischen Grenzen.



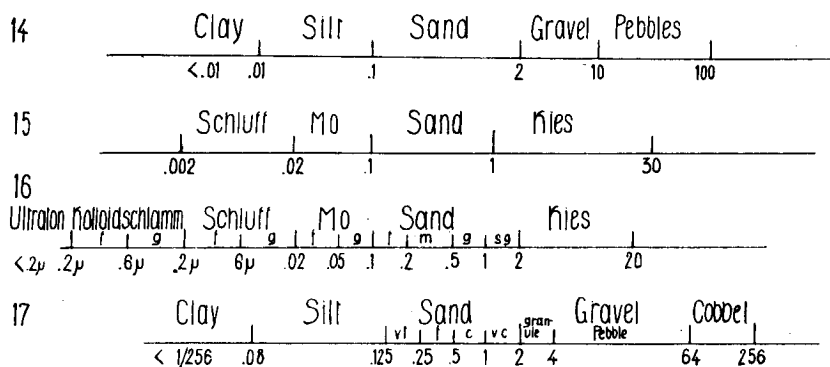


Fig. 1. Unsystematische Intervallbildungen.

1. UDLUFT 1932, 2. STINY 1922, 3. Preuss. geol. Landesanstalt, 4. WETZEL 1931, 5. Deutsche Industrie Norm 1931, 6. BAKER 1920, 7. U. S. Bureau of Soils 1906, 8. DILLER 1902, 9. KEILHAK 1908, 10. ORTH 1875, 11. THOULET, 12. GRABAU 1913, 13. Water Supply New York 1929, 14. HOLMES 1923, 15. PFEIFFER und DIENEMANN 1928, 16. TERZAGHI 1925, 17. WENTWORTH 1922.

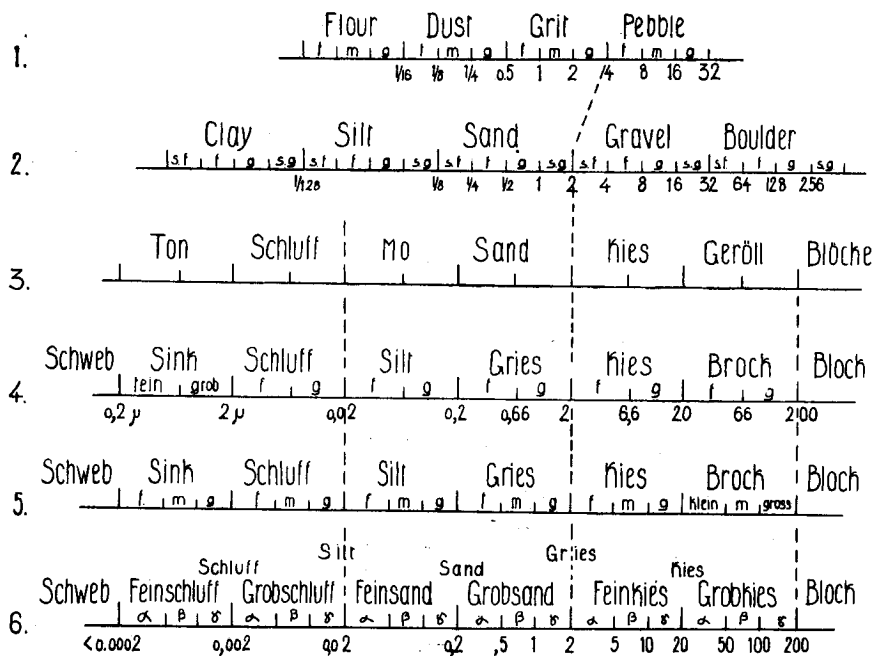


Fig. 2. Systematische Intervallbildungen.

1. American Foundation Comitty 1920, 2. UDDEN 1914, 3. ATTERBERG 1905, 4. FISCHER 1933, 5. FISCHER, 6. NIGOLI 1934.

Die Gruppierung nach ATTERBERG stützt sich in erster Linie auf die Erscheinung der Kapillarität. Die Kapillarität in einem Schotter wird durch die kleinen Korngrößen bestimmt. Ideal aufbereitete Schotter, das heisst solche mit nur gleicher Korngrösse, besitzen bei einem Korndurchmesser von 5 mm an aufwärts keine eigentliche Kapillarität mehr.

Die Resultate ATTERBERGS sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Kapillare Steighöhe des Wassers in mm

Korndurchmesser	in 24 Std.	in 48 Std.
5 — 2 mm	22	—
2 — 1	54	60
1 — 0,5	115	123
0,5 — 0,2	214	230
0,2 — 0,1	376	396
0,1 — 0,05	530	574
0,05 — 0,02	1153	1360
0,02 — 0,01	485	922
0,01 — 0,005	285	—
0,005 — 0,002	143	—
0,002 — 0,001	55	—

Nach ATTERBERG bestehen bei Sanden vier Grenzen physikalischer Art, die die Gruppierung von Kornklassen zulassen. Bei 2 mm liegt die Grenze der praktisch bedeutsamen Kapillarität. Die Sande von 0,5—0,2 mm lassen Wasser rasch durchsickern. Sande von 0,2—0,1 mm halten das Wasser lange Zeit zurück. Es besteht deshalb ungefähr bei 0,2 mm eine Grenze zwischen durchlässigen und wasserhaltenden Sanden.

Bei 0,02 mm ist die Grenze der Koagulierbarkeit der feinen Sande in Salzwasser (ATTERBERG (4)). Unter 0,02 mm kann bereits BROWNSCHE Bewegung festgestellt werden. Weitere wichtige Grenzen werden vielleicht die Röntgenanalysen vermitteln.

KÖLBL (74) hat neuerdings darauf hingewiesen, dass noch andere Grenzen physikalischer Art bestehen. Er verwendet für seine Untersuchungen die Sinkgeschwindigkeit der einzelnen Korngrößenklassen. Er fasst diejenigen Korngruppen zusammen, die gemeinsam sedimentieren. Er sagt ferner mit vollem Recht, dass die Kenntnis der natürlichen Gruppen, deren Trennung durch die Aufbereitung erfolgt, der Grenzen der Gruppen zueinander, sowie deren Bildungsfaktoren für die sedimentpetrographischen Arbeiten dringende Voraussetzung sind.

Die Korngrössenstufen von ATTERBERG und KÖLBL stimmen miteinander überein, obwohl sie von verschiedenen Gesichtspunkten aus festgesetzt worden sind.

Die Sinkgeschwindigkeit aller Körner unter 0,02 mm ist so gering, dass sich diese Körner hinsichtlich der Sedimentation nahezu gleich verhalten.

Anderseits verhält sich die Gruppe 0,02—0,2 praktisch gleich.

Für äolische Sedimente liegen die Verhältnisse folgendermassen: Die Körner kleiner als 0,05 mm verhalten sich in Bezug auf die Sedimentation gleich. Von dieser Korngrösse an tritt eine plötzliche Zunahme der Sinkgeschwindigkeit ein und ab 0,2 mm nimmt die Sinkgeschwindigkeit annähernd linear zu.

Es besteht somit zwischen der Sinkgeschwindigkeit in Wasser und in Luft ein grosser Unterschied, der auch an Hand geeigneter Intervalle in natürlichen Sedimenten erkannt werden sollte.

Die Unterschiede der Sinkgeschwindigkeiten kommen in der Tabelle nach L. KÖLBL (74) zum Ausdruck.

Verhältnis der Sinkgeschwindigkeit in Wasser und Luft

Korngrösse	0,06	0,2	2,0 mm
Wasser	1	10	80
Luft	1	5	10

Eine weitere Art der Gruppeneinteilung haben FUGGER und KASTNER (48) verwendet, die auch jetzt noch für gewisse Arbeiten in Wasserbaulaboratorien gebräuchlich ist. Es handelt sich um die Abgrenzung der Gruppen nach volumetrischen Gesichtspunkten. Die Gruppeneinteilung an und für sich ist willkürlich. Die beiden Autoren haben zudem innerhalb der gleichen Probe die Gruppierung nach verschiedenen Prinzipien durchgeführt.

Während die natürlichen Grenzen der Gruppen bis jetzt erst bei Korngrössen unter 2 mm nachgewiesen worden sind, fehlen sie für gröbere Sedimente. Hier ist die Intervallbildung bis zu einem gewissen Grad willkürlich, lehnt sich aber teils an die obigen Intervalle an. Die Gruppenbildung der verschiedenen Autoren ist den Figuren 1 und 2 zu entnehmen.

Für den Korngrössenbereich über 2 mm kommt das Intervall mit Vorteil zur Verwendung, das sich nach der jeweils vorkommenden Korngrösse richtet.

In dieser Hinsicht macht EHRENBARGER folgenden Vorschlag (30):

Grösse der maximalen Korndurchmesser	Stufenintervall in mm
bis 20	1
20 — 50	5
50 — 200	10
> 200	20

Diese Intervalle sind bisher in Wasserbaulaboratorien bei Schotteruntersuchungen mit Vorteil verwendet worden. Erst durch geeignete Wahl der Intervalle wird es auch hier möglich, physikalische und hydraulische Eigenschaften der Schotter zu erkennen (SCHÄFFER-NAK, SCHOKLITSCH, KURZMANN, EHRENBERGER und andere).

#### 4. DIE GRAPHISCHE UND ZAHLENMÄSSIGE DARSTELLUNG DER GESCHIEBEGEMISCHE UND DEREN KLASSIFIKATION

Zur allgemeinen Übersicht soll auf einige der gebräuchlichsten Darstellungsmethoden von Geschiebegemischen hingewiesen werden.

Wie bereits die Fragestellung in der Geschiebeanalyse verschieden ist, so sind auch in der Darstellungsart die technischen und geologischen Arbeiten auseinanderzuhalten.

Die gebräuchlichsten graphischen Darstellungen von Geschiebegemischen sind die folgenden:

Die Korndurchmesser werden auf der Abszisse im natürlichen Masstab abgetragen. Die Ordinate entspricht den Gewichtsprozenten. Die Korngrösse wie die Gewichtsprozente steigen vom Nullpunkt an aufwärts. (Im Gegensatz zu gewissen logar. Darstellungen.) Die Darstellung kann hierauf noch auf verschiedene Art erfolgen. R. EHRENBERGER (30) macht folgenden Vorschlag:

1. Die Masstäbe der Abszisse  $d$  (Körnung) und der Ordinate  $g$  (Gewichtsanteil) sind gleich, das heisst 100 Gewichtsprozenten entsprechen auf der Abszisse 100 Einheiten des Korndurchmessers. Diese Darstellung soll mit Darstellung A bezeichnet sein.

2. Die Mischungslinie wird in ein Quadrat einbeschrieben, also maximaler Korndurchmesser gleiche Länge wie  $g$ .

Diese letztere Darstellung benutzen SCHOKLITSCH und SCHÄFFER-NAK in ihren Arbeiten.

Handelt es sich um den Vergleich mehrerer Mischungslinien, so können entweder die Masseinheiten für

a) die Korndurchmesser  $d$ , Darstellung B,

b) die prozentualen Gewichtsanteile, Darstellung C, gleich gross gewählt werden. Im ersten Fall sind die Masseinheiten für die Gewichtsprozente, im letzteren für die Korndurchmesser verschieden.

Die Darstellung A entspricht eher den natürlichen Verhältnissen. Die Darstellung C dürfte dann geeignet sein, wenn es sich um die Wiedergabe verschiedener Korngemische mit gleichen maximalen Korngrössen handelt. In den übrigen Fällen verlieren die Darstellungen B und C an Lesbarkeit. Sie vermitteln hingegen ein anschauliches Bild des Kurvenverlaufs.

Von geologischer Seite wird ebenfalls vielfach die Summenlinie zur Darstellung von Korngemischen verwendet. Die Korngrössen werden aber meistens logarithmisch abgetragen.

Diese Darstellungsart hat sich eingebürgert, weil mit ihrer Hilfe grosse Kornbereiche erfasst werden können. Sie kommt deshalb bei Schlämmanalysen häufig zur Anwendung, speziell auch in bodenkundlichen Arbeiten.

In der amerikanischen Literatur über sedimentpetrographische Arbeiten wird in letzter Zeit fast immer die Häufigkeitskurve verwendet. Es werden dabei die Intervalle nach UDDEN (145) benutzt. KÖLBL (75) hat kürzlich gezeigt, dass gerade diese Darstellungsart ganz falsche Vorstellungen über die Korngemische vermitteln kann, da die Maxima von der Wahl des Intervalls abhängig sind. KÖLBL empfiehlt aus diesem Grunde ebenfalls die Benutzung der Summenlinie.

Ausser der graphischen Darstellung war man bestrebt, die Korngemische noch durch einfache Zahlenwerte zu charakterisieren. In dieser Hinsicht sind mancherlei Vorschläge gemacht worden, die aber nicht befriedigen.

Es sollen hier die bisher gebräuchlichsten Methoden der Bildung von Zahlenwerten zur Charakterisierung von Korngemischen erwähnt werden.

SCHOKLITSCH (120) hat in der Technik die Charakteristik „ $k$ “ eingeführt. Mit  $k$  bezeichnet er das Verhältnis der Flächen  $a/b$  in Figur 4.  $a$  und  $b$  bedeuten nach der Darstellung 2C die Flächenanteile am Quadrat. Der Wert  $k$  gibt ein erstes angenähertes Bild über die Kornverteilung. Als Index zu  $k$  setzt er noch die maximale Korngrösse. Nach dieser Methode sind viele Korngemische für Laboratoriumsversuche dargestellt worden.

In geologischen und sedimentpetrographischen Arbeiten kommt hauptsächlich die Berechnungsart nach BAKER zur Darstellung.

BAKER (5) verwendet die Summenlinie. Zur Bestimmung seiner charakteristischen Werte bestimmt er jene Fläche, die durch die Kurve, die Abszisse und die letzte Ordinate begrenzt ist. Die Ermittlung der Flächengrösse kann planimetrisch oder rechnerisch erfolgen. Dividiert man die erhaltene Fläche durch die 100 % entsprechende Ordinate, so erhält man ein flächengleiches Rechteck. Die der letzten Ordinate parallele Gegenseite trifft die Abszisse bei einem gewissen Korndurchmesser  $a$ . BAKER nennt „ $a$ “ den äquivalenten Korndurchmesser. Die Gerade  $a$ — $a$  in Figur 3 ent-

spricht dem ideal aufbereiteten Schotter. Die zugehörige Abszisse ist mit dem mittleren Korndurchmesser des Gemisches nicht identisch.

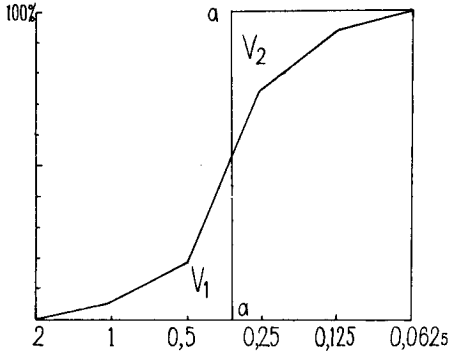


Fig. 3

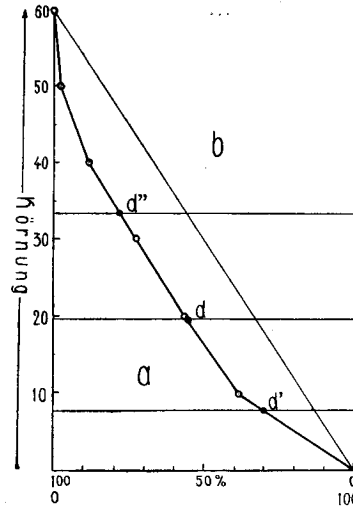


Fig. 4

Als zweite Grösse wählt BAKER den „grading factor g“. Er gibt die Abweichung der Summenlinie von der des ideal aufbereiteten Schotters mit dem Korndurchmesser a an.

$g$  ist gleich  $\frac{T-V}{T}$ , wobei  $T$  = der Fläche ist, die zur Bestimmung von  $a$  nötig war, und  $V$  = den Flächenstücken  $V_1 + V_2$  in Figur 3 entspricht.  $g$  kann unter diesen Umständen im günstigsten Fall gleich eins werden.

Eine weitere Methode zur Gewinnung von Zahlenwerten schlägt WENTWORTH (156) vor. Er geht bei seinen Bestimmungen von der Häufigkeitskurve aus, die, wie wir bereits gesehen haben, die Gemische sehr verschieden wiedergeben kann. Seine Berechnungsart ist zudem so umständlich, dass sie für praktische Zwecke nicht in Frage kommt.

Eine neue Berechnungsart hat NIGGLI (165) vorgeschlagen.

Was die Namengebung der einzelnen Fraktionen anbelangt, so ist diese aus den beigegebenen Figuren 1 und 2 ersichtlich. In Zukunft wird es auch hier zweckmässig sein, die Bezeichnungen nach dem Vorschlag NIGGLI zu verwenden.

Für die Namengebung von Korngemischen in ihrer Gesamtheit hat WENTWORTH (153) den hier angeführten Vorschlag gemacht:



gravel			80 %			gravel
gravel	> sand	> 10 %	others < 10 %			sandy gravel
sand	> gravel	> 10 %	" "			gravelly sand
sand		80 %				sand
sand	> silt	> 10 %	others < 10 %			silty sand
silt	> sand	> 10 %	" "			sandy silt
silt		80 %				silt
silt	> clay	> 10 %	others < 10 %			clayey sand
clay	> silt	> 10 %	" "			silty clay
clay		80 %				clay

Die Benennung der Korngemische beruht in dieser Zusammenstellung auf der gewichtsprozentischen Verteilung der einzelnen Korngrössenfraktionen und ist damit wiederum weitgehend von der Wahl der Intervalle abhängig.

Der Vorschlag NIGOLI stützt sich hingegen auf die Verteilung der mittleren Korndurchmesser und ist damit von der Bildung der Intervalle unabhängig.

Es werden die mittleren Korngrössen  $d$ ,  $d'$  und  $d''$  einer Mischung bestimmt. (Siehe Fig. 4.)  $d$  bedeutet den mittleren Korndurchmesser des Gesamtgemischs. Analog entsprechen  $d'$  und  $d''$  den mittleren Korndurchmessern der kleinen bzw. der grossen Korngrössenfraktion. Für die Bezeichnung der gesamten Mischung sind die Grössen  $d'$  und  $d''$  nötig. Denn je grösser die Differenz  $d'' - d'$  ist, umso grösser ist auch der Hauptkorngrössenbereich einer Mischung. Wird  $d'$  nahezu  $d''$ , so bedeutet das, dass fast nur eine Korngrösse vorherrscht, und dass demzufolge eine einfache Bezeichnung gewählt werden kann, da das Gemisch fast gleichkörnig ist.

## 5. DIE GERÖLLFORM UND DEREN BESTIMMUNG

Bei der Betrachtung eines jeden Schotters fällt die grosse Mannigfaltigkeit der Geröllformen auf.

Bisher sind schon verschiedene Versuche unternommen worden, die Geröllform auf einfache Art zu bestimmen. Allein eine befriedigende Lösung ist nicht gegeben worden.

Manche vorgeschlagenen Methoden scheitern daran, dass sie praktisch undurchführbar, oder weitgehend subjektiven Einflüssen der Beobachter unterworfen sind.

Die umfangreichste Arbeit über diesen Gegenstand verdanken wir FUGGER und KASTNER (48). Sie unterscheiden folgende Formenklassen:

	Knollen	(kugelähnliche Formen)
lange	Knollen	(Ellipsoide, Eiformen etc.)
	Platten	(Kreisscheiben)
lange	Platten	
dicke	Platten	

Diese Formen werden noch unterteilt in runde und eckige Formen. Die Ausdrücke rund und eckig sind unbestimmt und gelten nur als zusätzliche Bezeichnungen. Die einzelnen Formenklassen sind durch Übergänge miteinander verbunden. Trotzdem können sie mehr oder weniger gut ausgeschieden werden. Zweifel in der Zuordnung werden sich aber immer wieder einstellen.

SCHAFFERNAK (118) unterscheidet lediglich zwischen runden und flachen Geröllen. Für gewisse Zwecke ist es besser, statt „rund“ den Ausdruck kugelig zu setzen. In einem spätern Abschnitt wird gezeigt werden, dass diese einfache Gruppierung genügen kann.

GRENGG (56) hat versucht, die Form der Zuschlagstoffe für Beton zahlenmässig zu erfassen, indem er darauf hinweist, dass die Form der Zuschlagstoffe auf die Festigkeit des Betons einen Einfluss ausübt. Andererseits ist auch die Haltbarkeit des Strassenbelags von der Form der Schottergemengteile abhängig. Der Vorschlag von GRENGG lässt sich praktisch nicht durchführen und soll hier nicht näher erläutert werden.

Bei der Bearbeitung des vorliegenden Geröllmaterials der Hochterassenschotter des Glattals wurde eine einfache Klassifikation der Formen gefunden, die auch zahlenmässig einfach und praktisch durchführbar ist.

An Geröllen mit der Idealgestalt von dreiachsigen, gestreckten oder abgeplatteten Ellipsoiden sind drei senkrecht aufeinanderstehende Achsen vorhanden. Die grosse Achse entspricht dem grössten Durchmesser, die kleine dem kleinsten Durchmesser eines Gerölls. Dazwischen liegt ein mittlerer Durchmesser.

In den nachstehenden Ausführungen bedeutet a den grössten, b den mittleren und c den kleinsten Durchmesser eines Gerölls. Sind alle Durchmesser etwa gleich gross, so ist die Gestalt des Gerölls mehr oder weniger isometrisch, kugelig. Die Gestalt kann z. B. einer Kugel, einem Würfel oder Tetraeder entsprechen. Sind nur zwei Achsen ungefähr gleich gross, die dritte stark davon verschieden, so kann die Gestalt

- a) stengelig sein, wenn der eine Durchmesser gross ist,
- b) flach sein, wenn der eine Durchmesser klein ist.

Bei starker Abweichung aller drei Durchmesser voneinander ist ein Geröll sowohl stengelig als auch flach.

Wir haben demzufolge folgende vier Formen zu unterscheiden:

I. flach	fl.
II. kugelig	k.
III. stengelig	st.
IV. flachstengelig	flst.

Zu einer ersten nähern Charakterisierung eines Gerölls müssen also nur die drei Hauptachsen gemessen werden, wobei es zweckmässig ist, statt der absoluten Beträge die Achsenverhältnisse zu benutzen. Die Geröllgrösse wird dabei eliminiert und alle Korngrössen können hinsichtlich der Form miteinander verglichen werden.

Es lassen sich an Geröllen folgende Achsenverhältnisse festlegen, welche in erster Annäherung die Form bestimmen:

1. Das Achsenverhältnis  $b/a$  zeigt, ob ein Geröll isometrisch oder stengelig ist.
2. Das Achsenverhältnis  $c/b$  zeigt, ob ein Geröll flach ist.

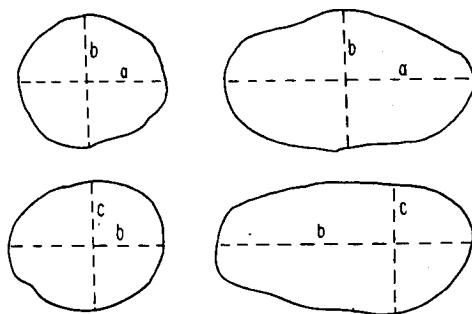


Fig. 5

Die gleiche Figur gilt auch für die Achsen  $b$  und  $c$ .

Da  $a > b > c$  ist, schwanken die Achsenverhältnisse zwischen den Werten 0 und 1.

Um die Grenzwerte der einzelnen Formentypen festzulegen, wurden ca. 300 Gerölle rein subjektiv in die vier Klassen eingeordnet und nachher mit der Schublehre gemessen und die Achsenverhältnisse ermittelt. Es ergab sich übereinstimmend für  $b/a$  wie für  $c/b$  ca.  $2/3$  (für  $c/b$  genau 0,64).

Dementsprechend kommen den vier Formen folgende Werte der Achsenverhältnisse zu:

I. $b/a > 2/3$	$c/b < 2/3$	flach fl.
II. $b/a > 2/3$	$c/b > 2/3$	kugelig k.
III. $b/a < 2/3$	$c/b > 2/3$	stengelig st.
IV. $b/a < 2/3$	$c/b < 2/3$	flachstengelig flst.

Die Formen lassen sich graphisch einfach nach Figur 7 darstellen.

Diese Klassifikation fordert, dass man drei Achsen, die annähernd senkrecht aufeinander stehen, wählen kann, so dass Maximal- und Minimalausdehnung in ihnen zur Geltung kommen. Es ist dies nach meinen Erfahrungen durchaus möglich.

Einige Spezialfälle mögen dies erläutern. In einem Quadrat entspricht die Seite dem kleinsten Durchmesser  $c$ , die Diagonale den Durchmessern  $b$  oder  $a$ .  $b/a$  oder  $c/b$  entspricht aber nicht der Symmetrie des Quadrats, weshalb in diesem Falle für  $c$  ebenfalls die Diagonale oder für  $b$  die Seite gewählt wird. Die Diagonalen und die Seiten für sich stehen aufeinander senkrecht.

Analog verhält es sich mit Rechtecken, wobei für  $a$  die grössere Seite und nicht die Diagonale gewählt wird.

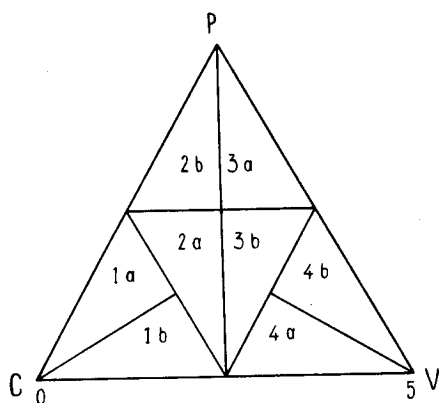


Fig. 6

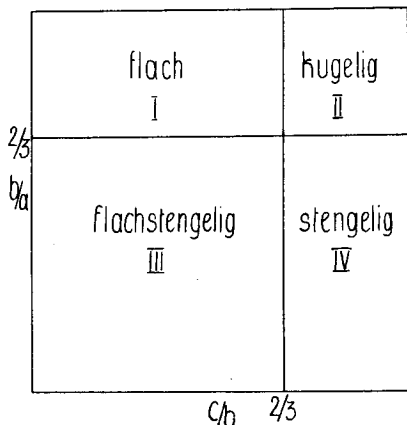


Fig. 7

In den folgenden Figuren sind einige häufig wiederkehrende Formen von Geröllquerschnitten mit den dazugehörigen Durchmessern gezeichnet, um zu zeigen, in welcher Weise die Messungen vorgenommen wurden (Fig. 8).

Das Typische an der Geröllform wird also in erster Linie nach dem Verhältnis der Korndurchmesser zueinander beurteilt. Man sagt dabei nur etwas über die *Hauptausdehnung* eines Gerölls aus, was hinsichtlich der grossen Mannigfaltigkeiten der Formen vorteilhaft ist. Die Abrollung und die Rundung werden dabei in keiner Weise berührt.

Bei der Untersuchung von Schottermaterial können die Durchmesser mit der Schublehre gemessen werden. Mit den gewonnenen Daten lassen sich die Einzelformen wie das Mittel aller Formen berechnen. In den meisten Fällen wird es genügen, die Zugehörigkeit zu einer der Formenklassen allein zu bestimmen. Die Zuordnung kann übrigens nach einiger Übung leicht und zuverlässig von blossen Auge vorgenommen werden. Kontrollversuche ergaben nur Fehler

bis zu 5 %. Der Fehler muss in Anbetracht der grossen Mannigfaltigkeit der Formen als klein bezeichnet werden.

Im Felde wie im Laboratorium haben sich diese Formklassen als zweckmässig erwiesen.

Wie später noch erwähnt wird, verhalten sich die flachen und die flachstengeligen Gerölle in mancher Beziehung ähnlich, ebenfalls die kugeligen und die stengeligen unter sich.

Sollen bei Untersuchungen nur diese Formen berücksichtigt werden, so können die Gerölle einzig mit Sieben in diese Kornklassen geschieden werden. Das Siebgut wird zuerst mit Lochsieben be-

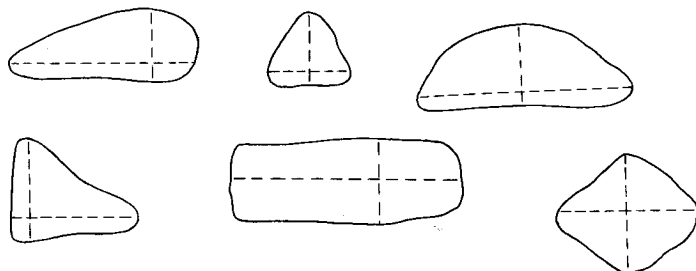


Fig. 8

handelt und darauf mit Schlitzsieben mit einer um einen Drittel schmälern Schlitzbreite als das vorhergehende Sieb. In dieser Weise lässt sich die gewünschte Flachheit der Gerölle beliebig variieren. Damit ist zugleich die Möglichkeit gegeben, Schotter oder Sande von bestimmter Form zu gewinnen.

Die Bestimmung der Mineralkörner, also der Fraktionen unter 2 mm Korndurchmesser, geschieht am zuverlässigsten unter dem Binokular. Die vier Formklassen lassen sich bis zu den Korngrössen von  $\frac{1}{4}$  mm ohne weiteres unterscheiden. Es ist aber zu sagen, dass jetzt die Trennung der Gruppen III und IV oft schwierig wird. Um deshalb diesen Unsicherheiten in der Zuordnung zu begegnen, ist es zweckmässig, diese Gruppen in eine einzige Gruppe der stengeligen Körner zusammenzufassen. Diese Vereinfachung rechtfertigt sich auch deshalb, weil die flachstengeligen Formen in diesen Korngrössenklassen kaum über 1—2 % der Gesamtheit ausmachen.

## 6. DIE RUNDUNG UND DIE ABROLLUNG DER GERÖLLE

Die Rundung und die Abrollung werden fast stets zu einer ersten Charakterisierung der Gerölle miteinbezogen. Allein der Begriff „rund“ wird in so verschiedener Bedeutung verwendet, dass es schwer

oder unmöglich ist, Vergleiche zwischen verschiedenen Arbeiten zu ziehen.

Der Begriff „rund“ bezieht sich in den nachfolgenden Ausführungen ausschliesslich auf die Krümmungsradien der Gerölle und Sandkörner.

Die Unterscheidung glazialer und fluviatiler Gerölle mit Hilfe der Rundung zeigt, wie wichtig dieses Merkmal für gewisse Fragen sein kann. Allein gerade in den entscheidenden Fällen versagen die qualitativen Aussagen. Es sei weiterhin auf die Schwierigkeit der Trennung zwischen fluviatilen und fluvioglazialen Schottern hingewiesen.

Um dieser Unsicherheit zu begegnen, wurde versucht, die Geröllform und speziell die Rundung zahlenmässig zu erfassen. In Wirklichkeit wurden übrigens die ersten zahlenmässigen Bestimmungen der Geröllform an Hand der Rundung vorgenommen.

WENTWORTH (154, 154 a) hat sich in erster Linie diesen Fragen angenommen und diesbezügliche Arbeiten weitergeführt. Er hat damit gleichzeitig die Anregung zu weiteren, ähnlichen Arbeiten gegeben.

Er misst an einem Geröll den kleinsten an einer entwickelten Fläche vor kommenden Radius  $r_1$ , und in gleicher Weise auch den grössten Radius  $r_2$ . Entwickelte Flächen nennt er solche, die allein durch Abrieb entstanden sind. Er schaltet somit bei seiner Methode Bruchflächen und Bruchkanten aus. Diese sind aber für die Geschiebformen ebenso wichtige Merkmale wie die andern Flächen. WENTWORTH benötigt ferner den mittleren Radius  $R$  eines Gerölls.  $R$  kann aus dem Volumen berechnet werden, wenn  $R$  den Radius einer inhaltsgleichen Kugel bedeutet.

Die Bestimmung von  $R$  mit Hilfe des Volumens ist für geschiebe-analytische Arbeiten unpraktisch, sie fordert viel zu viel Zeit. Ferner kommt diese Methode für die feinen Fraktionen nicht in Betracht.

Aus diesem Grunde gibt WENTWORTH ein zweites Verfahren an, um  $R$  zu bestimmen, das den praktischen Bedürfnissen einigermaßen Rechnung trägt.

WENTWORTH misst an einem Geröll die Länge  $D_1$ , die Breite  $D_2$  und die Dicke  $D_3$ . Diesen Grössen entsprechen unsere Werte  $a$ ,  $b$  und  $c$ .

$R$  lässt sich nach WENTWORTH mit genügender Genauigkeit nach der Formel

$$R = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{6} \quad \text{bzw.} \quad \frac{a + b + c}{6}$$

berechnen. Die Radien  $r_1$  und  $r_2$  misst er mit einem für diesen Zweck konstruierten Sphärometer. Die gefundenen Radien können direkt auf einer Skala abgelesen werden. Anfänglich benutzte er eine Scheibe, in dessen Rand Kerben von bestimmten Radien eingeschnitten waren.

Beide Verfahren haben den Nachteil, dass sie für die kleinen Korngrössen nicht in Frage kommen. Ferner bleibt die Methode subjektiv, da immer wieder gefühlsmässig entschieden werden muss, ob eine Fläche entwickelt ist oder nicht. Andererseits werden Gerölle mit entwickelter konkaver Oberfläche nicht erfasst.

Abgesehen von diesen Unzulänglichkeiten müssen an jedem Geröll noch die drei Hauptachsen gemessen und  $R$  daraus berechnet werden.

WENTWORTH bildet für die Gerölle die besonders charakteristischen Werte  $r_1/R$  und  $r_2/R$ .

$r_1/R$  bezeichnet er als „roundness ratio“ und  $r_2/R$  als „flatness ratio“. Diese Bezeichnungen entsprechen ungefähr unsern Ausdrücken kugelig und flach.

$r_1/R$  wird maximal gleich eins, und  $r_2/R$  schwankt zwischen eins und unendlich. Die Kugel besitzt als einziger Körper für beide Verhältnisse die Werte 1. Sie allein ist nach dem Vorschlag von WENTWORTH bestimmt. Bei allen übrigen Formen sagen diese Quotienten nur etwas über die Krümmungsradien und nichts über die Gestalt aus.

Er unterscheidet nach seinen Zusammenstellungen folgende Gerölltypen: Flussgerölle, glaziale Gerölle und Geschiebe und als Gruppe für sich, die Windkanter. Einzelne dieser Klassen lassen sich mit Hilfe der graphischen Darstellung auseinanderhalten. Am deutlichsten ist der Unterschied zwischen den Windkantern und den übrigen Geröllen, der aber auch ohne Messung sofort erkannt werden kann.

Die glazialen und fluvioglazialen und fluviatilen Gerölle können nicht ohne Willkür getrennt werden. Sie sind durch alle Übergänge miteinander verbunden.

Da aber diese Übergänge der Formen im Wesen der Entstehung begründet sind, wird auch mit keiner andern Methode eine scharfe Trennung möglich werden.

In einer spätern Arbeit, die das gleiche Thema behandelt, führt WENTWORTH (154 a) an Stelle von  $r_2/R$  den neuen Wert  $\frac{D_1 + D_2}{2 D_3}$  ein.

Damit bezeichnet er die Flachheit.

Bei näherer Betrachtung aber zeigt sich, dass dieser Quotient für diese Bezeichnung nicht zulässig ist, da die Flachheit vom grössten Durchmesser unabhängig ist. Flache und stengelige Gerölle können die gleichen Werte ergeben.

1927 macht Cox neue Vorschläge zur Bestimmung des Abrundungsgrades (28). Er sagt: „Der Abrundungsgrad wird durch jene Zahl ausgedrückt, die angibt, wievielmals grösser das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen, bzw. von Umfang zu Fläche, einer gegebenen Form zu der einer inhaltsgleichen Kugel, bzw. Kreises ist.“

Die Formel von Cox lautet:

$$k = \frac{\text{Fläche} \cdot 4 \pi}{(\text{Umfang})^2}$$

Dieser Ausdruck kann maximal gleich 1 werden (Kreis).

Die Bestimmung von  $k$  soll so ausgeführt werden, dass von einer Anzahl Körner oder Geröllen die Umrisse gezeichnet werden. Darauf wird mit Planimeter und Kurvimeter Fläche und Umfang ermittelt und  $k$  berechnet. Obwohl das Verfahren im Prinzip das einzig richtige ist, so ist doch an seine praktische Durchführung kaum zu denken.

WADELL (147) macht 1932 neue Vorschläge zur Bestimmung der Rundung und der Gestalt. Er geht von den gleichen Voraussetzungen aus wie Cox. WADELL bezeichnet als Formenwert das Verhältnis  $s/S$  die sog. „sphericity“.  $S$  bedeutet die Oberfläche eines Kornes und  $s$  die Oberfläche einer inhaltsgleichen Kugel. Er nennt diesen Quotient auch den „Grad der wahren Gestalt“.

Angaben über die Bestimmung von Oberfläche und Inhalt werden nicht gegeben.

WADELL ist der erste, der darauf hinweist, dass ein Geröll die maximale Rundung aufweisen kann ohne eine Kugel zu sein, ferner dass es kugelähnlich sein kann ohne gute Rundung erkennen zu lassen.

Die Rundung bestimmt WADELL an Querschnitten. Er bildet die Quotienten  $r/R$ , wobei  $R$  der maximale einbeschriebene Radius und  $r$  der Radius des Umkreises bedeutet.

Die totale Rundung ist dann  $= \frac{\sum (r/R)}{N}$ .  $N$  ist gleich der Zahl der gemessenen Radien.

Die Rundung und die „sphericity“ geben ein Bild der Geröllgestalt. Die Vorschläge von WADELL lassen sich jedoch praktisch ebenfalls schwer durchführen.

In neuerer Zeit hat SZADECZKY-KARDOSS (137) eine Methode ausgearbeitet, die die Abrollung und bis zu einem gewissen Grad auch die Rundung erfasst, und die äusserst einfach durchzuführen ist.

Der Abrollungsgrad soll nach SZADECZKY durch die prozentuale Verteilung konkaver, planer und konvexer Flächen an Geröllen und Körnern bestimmt werden. Der Abrollungsgrad ist von der Gestalt unabhängig, der Rundungsgrad dagegen ist von der Gestalt weitgehend abhängig.

Die Art der Bestimmung des Abrollungsgrades richtet sich nach der geforderten Genauigkeit und nach der Korngrösse. Bei genauer Bestimmung werden die Hauptschnittebenen gezeichnet. Die Hauptschnitte können entweder projiziert oder photographiert werden. Darauf wird der Anteil der verschiedenen Kurvenstücke an den einzelnen Schnitten mit einem Zyklometer (Kurvimeter) bestimmt. So erhält man z. B. für einen Kreis 100 % konvexe Flächenstücke, ebenso für eine Ellipse. Die Abrollung ist in beiden Fällen maximal. Die Werte von COX und WADELL sind aber für beide Kurven verschieden. Diese Methode kommt in erster Linie für die feinen Korngrössen in Betracht.

Für Gerölle hat SZADECZKY ein Instrument geschaffen, das gestattet, die Umrissse von Schnitten direkt auf das Papier zu übertragen.

Der grosse Vorteil seiner Methode beruht darin, dass sie über den gesamten Korngrössenbereich durchgeführt werden kann.

Die Abrollungsgrade können durch zwei, eventuell drei Zahlen ausgedrückt werden. Er bezeichnet mit



C	den	prozentualen	Anteil	der	konkaven	Flächen	(concavus)
V	"	"	"	"	konvexen	"	(convexus)
P	"	"	"	"	planen	"	(planus)

an Geröllen.

Die drei Werte lassen sich gut im Dreieck darstellen. Es können nach der Figur 6 sofort verschiedene Abrollungsgrade unterschieden werden.

Grad	0	C = 100 %	
1a		$C > (V + P)$	$P > V$
1b			$V > P$
2a		$(V + P) > C > V$	$(C + V) > P$
2b			$P > (C + P)$
3a		$(C + P) > V > C$	$P > (C + V)$
3b			$(C + V) > P$
4a		$V > (C + P)$	$C > P$
4b			$P > C$
5		V = 100 %	

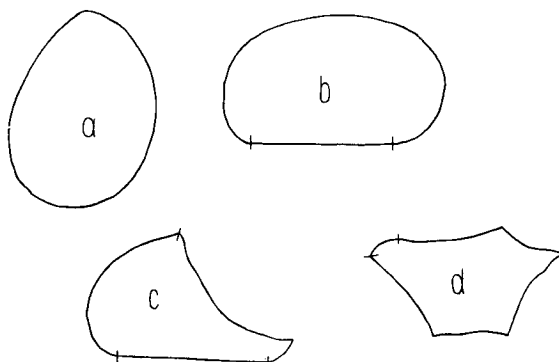


Fig. 9

SZADECZKY schlägt vor, bei Arbeiten im Felde und bei vielen Auszählungen diese Grade zu benutzen, zu notieren. Für Übersichts- und Vergleichszwecke dürfte es aber gerade vorteilhaft sein, statt der Abrollungsgrade gleich die Werte der einzelnen Flächenanteile in 1/10 anzugeben, z. B. C 2, P 2, V 6. Aus solchen Werten kann man einerseits die Mittelwerte der Abrollung und andererseits auch gleichzeitig den Anteil der verschiedenen Grade angeben.

In der vorliegenden Arbeit sind mehrere tausend Körner nach dieser Art bestimmt worden. Die vielen Untersuchungen haben die Brauchbarkeit dieser Methode vollauf bestätigt.

Einige Beispiele sollen zeigen, wie die Bestimmung von C P V an verschiedenen Formen durchgeführt wird (Fig. 9).

Fig. a weist rein konvexe Umgrenzung auf, also ist C 0, P 0, V 10. In Figur b sind plane und konvexe Umgrenzungsstücke vorhanden, die durch Teilstriche getrennt angegeben sind. In Zehnteln ausgedrückt ist C 0, P 3, V 7. In Figur c kommen die Umgrenzungen C, P und V vor. Die einzelnen Abschnitte sind durch die Querstriche markiert. Der Abrollungsgrad würde hier etwa lauten C 4, P 3, V 3. In Figur d ist nahezu die ganze Umgrenzung konkav. Nur die eine Ecke zeigt eine Abrollung. Der Abrollungsgrad lautet C 9, P 0, V 1.

Um etwas über die Zuverlässigkeit der Methode zu erfahren, wurde eine Reihe von Kontrollzählungen vorgenommen. Es hat sich herausgestellt, dass die Abweichungen zweier Zählungen derart klein sind und zwar hinsichtlich der Form wie der Abrollung, dass diese Methoden als bis jetzt einzig zuverlässig gelten können. Es genügt vollkommen, ca. 100 Körner auszuzählen. Der Fehler beträgt im Durchschnitt 1,5 % für die Abrollung und 2 bis 2,5 % für die Formbestimmung. Bei einer Auszählung von nur etwa 50 Körnern verdoppeln sich die Fehler. Eine Auszählung von 200 bis 400 Körnern zeigt keine kleineren Abweichungen als die Zählungen von 100 Körnern. Diese Tatsache weist darauf hin, dass die Variation in der Zusammensetzung ebenso gross ist wie die Unsicherheit in der Bestimmung von Form und Abrollung.

Hinsichtlich der graphischen Bestimmung und der subjektiven Abschätzung der verschiedenen Flächenanteile ergibt sich im ersten Fall ein etwas zu hoher Grad der Abrollung gegenüber der Schätzung. Der Unterschied ist aber gering und konstant, wie der Arbeit von SZADÉCKY zu entnehmen ist.

Es bestehen demnach zwei einfache und sichere Methoden, die Kornform und die Abrollung zu bestimmen. Die Methoden sind einfach sowohl im Laboratorium wie im Felde.

Gestalt und Abrollung sind völlig getrennt voneinander zu charakterisieren, da sie völlig unabhängig voneinander sind.

Neustens lehnt GUGGENMOOS (59) die Abrollungsbestimmungen von SZADÉCKY ab; sie benutzt wieder die bis jetzt meist gebräuchlichen Bezeichnungen und zwar

- I. extrem kantig und splittrig
- II. beginnende Kantenverrundung
- III. mittlere Verrundung
- IV. Kandenrundung
- V. Rundung.

Zu Vergleichszwecken benutzt sie den sog. Verrundungsfaktor, der durch den Quotienten  $\frac{IV + V}{I + II}$  gegeben ist. Sind die kantigen Körner in Vormacht, wobei die mittlere Gruppe III infolge der unsichern Zuordnung nicht berücksichtigt wird, so ist der Quotient kleiner als eins. Herrschen die runden Körner vor, so ist der Wert grösser als eins. Mit dieser Methode lassen sich freilich Vergleiche anstellen.

Wie aber in dieser Arbeit gezeigt wird, ist die Methode von SZADECZKY doch vorzuziehen, da sie durchaus einfach und völlig zuverlässig und nicht subjektiv ist und über die Rundung eindeutige Zahlenwerte liefert. Die Methode von SZADECZKY gibt bereits über den Rundungsgrad eines einzelnen Korns Aufschluss.

### 7. DAS SPEZIFISCHE GEWICHT DER GERÖLLE

Über das spezifische Gewicht der Gerölle sind in der Literatur viele Angaben gemacht worden, ohne dass bis jetzt Gesetzmässigkeiten innerhalb der Korngrössen oder von Fundort zu Fundort erkannt worden sind.

Allerdings weist R. v. HOCHENBURGER (64) darauf hin, dass mit der Verkleinerung der Körner eine Zunahme des Eigengewichts eintrete. Seine Angaben können indessen nicht überprüft werden. Es besteht die grosse Wahrscheinlichkeit, dass er nicht einheitliches Material untersuchte, wie SCHOKLITSCH (119) vermutet. Hinsichtlich der Geröllform scheinen ebenfalls keine bestimmten Änderungen im Verhalten des spezifischen Gewichts vorzuliegen. Dem vorhandenen Zahlenmaterial entsprechend hat es den Anschein, als sei das spezifische Gewicht der flachen Gerölle etwas geringer als das der kugeligen und stengeligen Gerölle.

Unterschiede des spezifischen Gewichts sind in erster Linie vom Material abhängig, und sollten deshalb an diesem erkannt werden. Über diese Fragen können nur Untersuchungen an rezenten Flüssen und im Laboratorium Klarheit schaffen.

Für ältere Schotter haben solche Untersuchungen keinen Wert. Viele Gerölle solcher Schotter sind verwittert und lassen demnach das ursprüngliche spezifische Gewicht nicht mehr erkennen.

Für Fragen des Geschiebetransports können jedoch derartige Untersuchungen wertvoll sein.

### 8. DIE PETROGRAPHISCHE SCHOTTERANALYSE

Die Ergebnisse der mechanischen Schotteranalyse können bis zu einem gewissen Grad über Bildungsbedingungen Auskunft geben.

Fragen regionaler und stratigraphischer Natur können nur mit Hilfe der petrographischen Analyse geklärt und eventuell gelöst werden.

Die Durchführung der petrographischen Analyse hat in qualitativer und quantitativer Hinsicht zu erfolgen.

Den Anstoss zu Geschiebeuntersuchungen überhaupt haben CHARPENTIER und GUYOT gegeben, die erkannten, dass die erratischen Blöcke des Mittellandes aus den Alpen stammen. Sie sind damit die Begründer der Eiszeittheorie geworden.

Wichtige schotteranalytische Arbeiten besitzen wir von folgenden Autoren: J. FRÜH, ESCHER-HESS, R. FREI, LIECHTI, BODEN, FUGGER und KASTNER, AHRENS, ZEUNER und andern.

Die qualitative petrographische Schotteranalyse ist wichtig, da mit ihrer Hilfe Strom- und Gletschergebiete gegeneinander abgegrenzt werden können. Sie kann ferner über stratigraphische Verhältnisse Auskunft geben. Die qualitative Schotteranalyse kann also als Untersuchungsmethode in der Paläogeographie dienen.

Schöne Beispiele sind die Arbeiten von AHRENS (2) und J. FRÜH (44).

Die meisten Arbeiten beschränken sich nicht allein auf qualitative Angaben, sondern erstrecken sich noch auf quantitative Bestimmungen, genau so wie in der modernen Sandanalyse die Mineralien bestimmt und ausgezählt werden.

Die quantitative petrographische Schotteranalyse kann nach zwei Gesichtspunkten durchgeführt werden:

1. Die Gesteinsarten werden in Prozenten der Gesamtzahl der vorkommenden Gerölle ausgedrückt.
2. Der Anteil der verschiedenen Gesteine wird in Gewichtsprozenten angegeben.

Bisher wurden fast ausschliesslich die Anzahlprozente verwendet (R. FREI, LIECHTI) (37, 85).

Die zweite Berechnungsart hat den Vorzug, unabhängig von der Korngrösse zu sein. Sie ist aber besonders bei den kleinen Korngrössen nicht gut durchführbar. Um hier brauchbare Resultate zu erhalten, müssen die kleinen Körner von allem Staub und anhaftendem Zement befreit werden. Die Mühe und der Zeitverlust stehen in keinem Verhältnis zu den gewonnenen Resultaten.

Wie die folgenden Ausführungen noch zeigen werden, ist die petrographische Zusammensetzung eines Schotters wesentlich von der Korngrösse abhängig. Unter diesen Bedingungen ist die erste Berechnungsmethode nur unter gewissen Einschränkungen gültig.

Diese Tatsache hat ZEUNER (161) in einer kürzlich erschienenen Arbeit scharf hervorgehoben.

Die kleinen Körner können die grossen an Zahl derart überwiegen, dass nach der Methode 1 nur die kleinen Körner zur Darstellung gelangen. Die Zählungen müssen aus diesem Grunde mit einem gewissen Gewicht versehen werden, damit auch die Zusammensetzung der groben Fraktionen zum Ausdruck kommt.

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass es günstig ist, die petrographische Zusammensetzung der einzelnen Korngrössenfraktionen miteinander zu vergleichen. Der Vergleich verschiedener Proben vereinfachte sich insofern noch, als sich herausstellte, dass die Korngrössen über 15 mm Korndurchmesser zusammengefasst werden können. Die Änderung in der Zusammensetzung tritt in erheblichem Masse erst unter dieser Korngrösse auf.

Bei richtiger Probeentnahme können deshalb Geröllzählungen allein schon gute Resultate liefern.

Für Vergleichszwecke können nicht alle Gesteine gesondert aufgeführt werden. Einzelne Gesteine müssen in natürliche Gruppen zusammengefasst werden. Diese Massnahme erleichtert die Übersicht der Zählungen, anderseits werden dadurch Unsicherheiten in der Gesteinsbestimmung auf ein Mindestmass gebracht. Bis jetzt hat sich bei uns die Gruppierung nach R. FREI (37) gut bewährt. In einer ersten Zusammenfassung werden die Gruppen der

1. „kristallinen Gesteine“ und der

2. Sedimentgesteine

unterschieden. Die weitere Gruppierung richtet sich nach den vorkommenden Gesteinen. Für das schweizerische Mittelland eignet sich wiederum die Gruppierung von R. FREI. Sie ist in der untenstehenden Tabelle wiedergegeben.

- |  |   |
|--|---|
| 1. Kristalline Gesteine                    | a) Eruptivgesteine<br>b) metamorphe Gesteine                                |
| 2. Karbonatgesteine                        | a) Kalke<br>b) Dolomite   |
| 3. Klastische Gesteine                     | a) Sandsteine (Tertiäre etc.)<br>b) Konglomerate (Verrucano)<br>c) Quarzite |
| 4. Einzelmineralien                        |   |
| 5. Radiolarite und unbestimmbare Gesteine. |   |

Der Vorteil in dieser Gruppierung liegt darin, dass sie den jeweiligen Verhältnissen angepasst werden kann.

Auf Grund der hier angeführten Tatsachen, der Änderung der Zusammensetzung mit der Korngrösse, der Notwendigkeit der Grup-

pierung der verschiedenen Gesteine, hat ZEUNER (161) eine neue Darstellung eingeführt. Er geht von der Tatsache aus, dass in einem Schotter die Quarze mit abnehmender Korngrösse und mit der Transportweite zunehmen. ZEUNER nimmt nun die Zahl der Quarze als Basis für seine weiteren Berechnungen. Die übrigen Gesteine rechnet er auf die Basis der Quarze um. Als Basis wählt er 10. So würde eine Schotterzusammensetzung von

- 5 kristallinen Gesteinen
- 10 Kalken,
- 5 klastischen Gesteinen

heissen, dass auf 10 Quarze 5 kristalline Gesteine, 10 Kalke und 5 klastische Gesteine kommen. Da aber die Quarze als Einzelmineral erst unter der Korngrösse von 10 mm in erheblicher Zahl auftreten, so eignet sich diese Darstellungsart nur für Korngemische unter 10 mm Durchmesser.

Sie wird sich aber für einzelne Sande zweifelsohne gut verwenden lassen. Andererseits kann auch nur das feine Material eines Schotters nach dieser Methode dargestellt werden, wie ZEUNER das selbst durchgeführt hat.

ZEUNER will mit seiner Methode nicht allein die Zusammensetzung, sondern vielmehr die Abhängigkeit der Zusammensetzung von der Transportweite und der Korngrösse bestimmen. Er betont, dass in ariden und polaren Klimazonen die Verwitterung fast ausschliesslich auf physikalische Art erfolgt. Die Gesteins- und Mineralfragmente bleiben deshalb in frischem Zustand erhalten. In humiden Klimazonen hingegen spielt die chemische Verwitterung die Hauptrolle. Lösliche und leicht verwitterbare Gesteine zerfallen, und verschwinden damit rasch aus dem Schotter. Dieser Zerfall kommt bei den kleinen Geröllen und beim Grobsand am deutlichsten in Erscheinung. In den erstgenannten Regionen wird deshalb z. B. Kalk bis zu den Sandfraktionen vorkommen, während in humiden Gebieten der Kalk aus den Sanden verschwindet und damit eine Anreicherung der unlöslichen und widerstandsfähigen Mineralien und Gesteine stattfindet.

Dieses Verhalten wird sich auch im Diagramm auswirken, wie ZEUNER in seiner Arbeit zu zeigen versucht hat.

Die ZEUNER'sche Methode ist sehr stark von der ursprünglichen Zusammensetzung eines Schotters abhängig und deshalb nicht immer mit gleichem Erfolg zu verwenden.

Die Bestimmung der Gesteine hat bei solchen Arbeiten in erster Linie makroskopisch zu erfolgen. Die mikroskopische Bestimmung

kommt für die qualitative Analyse in Betracht, wobei aber zu betonen ist, dass diese mikroskopische Identifizierung meist äusserst schwierig ist. Am schwierigsten gestaltet sich die Zuordnung und Bestimmung der Kalksteine, weshalb diese meistens zu einer grossen Gruppe zusammengefasst werden.

Wie die obigen Ausführungen dartun, geht die Schotteranalyse in die Sandanalyse über. Es ist hier nicht der Ort, über die Sandanalysen zu diskutieren. Auf einen Punkt allein möge indessen aufmerksam gemacht werden. In den meisten Arbeiten über Sande werden zumeist nur die schweren Mineralien untersucht. Es sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass auch die übrigen Mineralien gebührend berücksichtigt werden.

## **B. Ergebnisse**

### **1. DIE KORNGRÖSSENVERTEILUNG**

Alle mechanischen Analysen haben den Zweck, Auskunft über die Korngemische und deren Entstehung zu geben.

In der Literatur wird immer wieder auf Unterschiede im Verlauf von Mischungslinien hingewiesen. Mischungslinien verschiedener Sedimenttypen werden beschrieben. Ferner wird oft auf Grund der Summenlinie etwas über die Aufbereitung ausgesagt.

Es soll hier versucht werden, an Hand zahlreicher mechanischer Analysen zu zeigen, ob eine Unterscheidung der verschiedenen Sedimenttypen mit Hilfe der Summenlinie überhaupt möglich ist.

Es ist das Verdienst von SCHAFFERNAK (118) und SCHOKLITSCH (120), an Hand von Versuchen mit feinen Korngemischen verschiedene Ablagerungstypen festgestellt zu haben, die ganz bestimmten Sedimentationsbedingungen entsprechen.

Auf Grund dieser Versuche schlagen sie für praktische Zwecke folgende Mischungstypen vor:

1. idealste Aufbereitung (nur eine Korngrösse ist vorhanden),
2. wenig feines und viel grobes Material (Mischungskurve ist ein Viertelskreis),
3. ideale Mischung; jedes Korngrössenintervall ist gleich stark vertreten,
4. viel feines und wenig grobes Material (Viertelskreis).

Diese Versuche haben ergeben, dass nahezu alle natürlichen Sedimente Gemische der Mitteltypen von 3. und 4. darstellen. Dazu kommen allerdings noch Mischungstypen anderer Sedimente, die keinem der obigen Grundtypen entsprechen.

Ohne Rücksicht auf die natürlich vorkommenden Gemische können prinzipiell folgende Mischungskurven als Grundtypen gewählt werden:

1. idealste Aufbereitung,
2. idealste Mischung,
3. n-fach heterogenes (z. B. zweifach heterogenes) Gemisch.

Alle übrigen Mischungskurven sind Zwischenglieder irgendwelcher Art (siehe nebenstehende Figur 10).

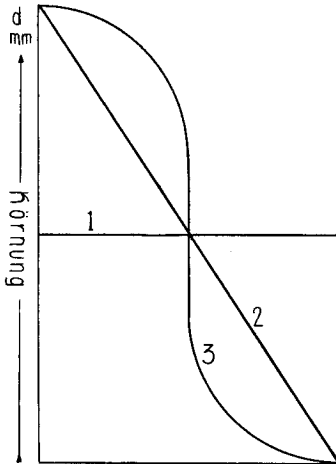


Fig. 10.

1. Ideale Aufbereitung, 2. Ideale Mischung, 3. Heterogen binäres Gemisch.

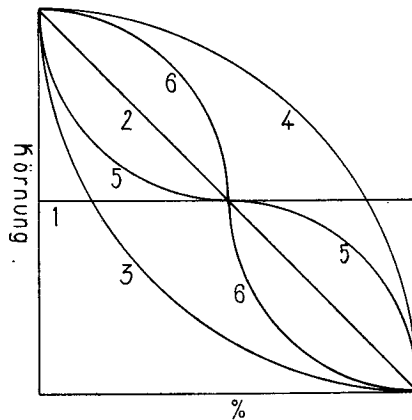


Fig. 11.

Die Zahlen beziehen sich auf den nachfolgenden Text.

Für Vergleichszwecke können folgende Typen hervorgehoben werden, die zu Vergleichen zur ersten Übersicht genannt werden können (Fig. 11):

- Typ 1. Die idealste Aufbereitung. Sie ist charakterisiert durch völlig gleiche Korngrösse aller Körner. In der Natur wird dieser Endzustand nie erreicht. Hier kann eine Korngrösse stark vorherrschen, während die andern Korngrössen mehr akzessorisch beigemischt sind.
- Typ 2. Die idealste Mischung. Jede Korngrösse ist gewichtsprozentisch gleich stark vertreten. In grober Annäherung kommen solche Mischungen auch in der Natur vor.
- Typ 3. Viel feines und wenig grobes Material (Viertelskreis). Die Mischung entspricht dem Mischungstyp 4 von SCHOKLITSCH. Analoge Korngemische sind in der Natur häufig.



- Typ 4. Viel grobes und wenig feines Korn (Viertelskreis). Die Mischung entspricht dem Mischungstyp 2 von SCHOKLITSCH. Diese Mischungen wurden bisher in der Natur nicht gefunden.
- Typ 5. Gute Aufbereitung. Eine mittlere Korngrösse herrscht vor. Die grossen und kleinen Korngrössen sind beigemischt. Der Mischungstyp der guten Aufbereitung kommt in der Natur häufig vor.
- Typ 6. Heterogene Mischung. Sie ist gekennzeichnet durch zwei oder mehrere deutlich in Erscheinung tretende Maxima. Entsprechende Gemische kommen in der Natur relativ selten vor. Glaziale Geschiebelehme und eventuell vulkanische Lockerprodukte weisen solche Mischungen der Korngrössen auf.

In den folgenden Ausführungen sollen die Geschiebegemische an Hand der verschiedenen bereits besprochenen Zahlenwerte und graphischen Darstellungen besprochen werden (siehe Tabelle 16 und Figur 11—15).

Einleitend muss bemerkt werden, dass für alle mechanischen Analysen  $d_{min.} = 0$  gewählt wurde. Es hat dies den Grund darin, dass einerseits die Angaben der minimalen Korngrössen oft fehlen, anderseits spielt für gröbere Sedimente die minimale Korngrösse bei der Berechnung der d-Werte keine Rolle. Als wichtigster Grund ist anzuführen, dass gerade die Anwesenheit oder das Fehlen der feinen und feinsten Korngrössen für das Schaubild der Mischungskurven von wesentlichem Einfluss sind.

Die d-Werte geben über die absolute Korngrösse in einem Sediment Auskunft. Sie variieren deshalb über den ganzen möglichen Korngrössenbereich. Nach der vorhandenen Korngrösse richtet sich auch die Klassifikation eines Sediments.

Die Benennung der Gemische erfolgt nach dem Vorschlag NIGGLI. Massgebend für die Bezeichnung des Gemisches sind die Werte  $d'$  und  $d''$ . Je mehr sich diese beiden Werte einander nähern, umso gleichkörniger ist das betreffende Sediment. In Bezug auf die Benennung hat das zur Folge, dass das Sediment nahezu nach einer bestimmten Korngrösse benannt werden kann, wie aus der Figur 12 deutlich zu erkennen ist.

Es zeigt sich nun, dass die natürlichen Gemische im wesentlichen auf ein Hauptkorngrössenintervall beschränkt sind, das heisst, dass die  $d'$ - und  $d''$ -Werte demselben Hauptkorngrössenintervall ange-

hören. An den natürlichen Gemischen lassen sich gewisse Gruppen unterscheiden.

**Glaziale Ablagerungen.** Geschiebelehme und Moränenmaterial haben stark voneinander abweichende  $d'$ -Werte. Feinstes bis

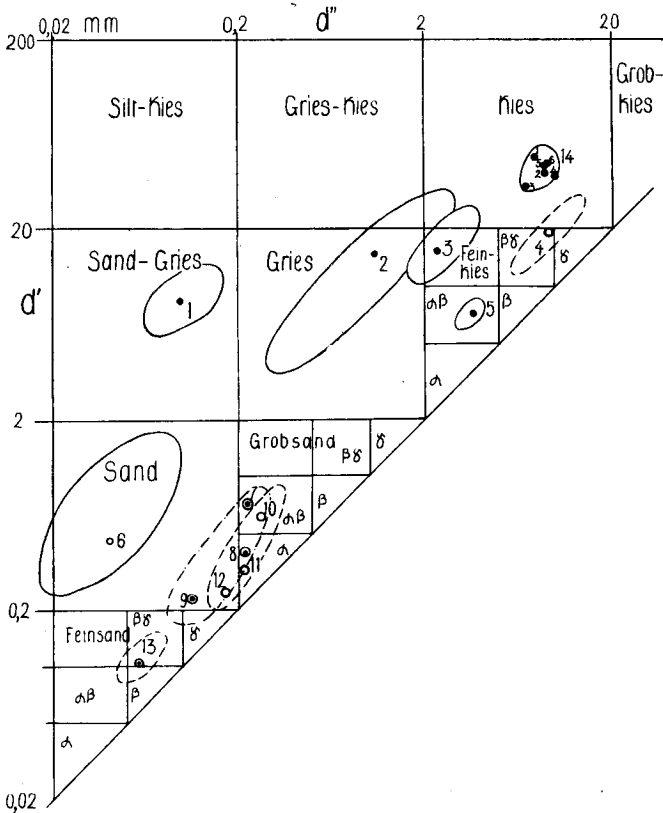


Fig. 12. Diagramm der  $d'$ - und  $d''$ -Werte.

1. Geschiebelehm (UDDEN), 2. Glazialer Terrassenkies (UDDEN), 3. Flusskies (UDDEN), 4. Strandskies (UDDEN), 5. Flusssole (UDDEN), 6. Sinkstoffe der Mur (STINY), 7. Dünen sand (UDDEN), 8. Dünen sand (GUGGENMOOS), 9. Dünen sand im Lee (UDDEN), 10. Strandsand (UDDEN), 11. Strandsand (PETTIJOHN), 12. Strandsand (MARSHALL), 13. Thanet Beds (BAKER), 14. Hochterrasse: 1. Gossau, 2. Aatal, 3. Dietlikon, 4. Opfikon, 5. Bülach, 6. Nussbaumen.

größtes Material ist vorhanden. Bei Blocklehm z. B. sind die feinsten Korngrößen vorherrschend neben relativ sehr grossen. In der Mittellage fehlen die mittleren Korngrößen weitgehend. Diese Sedimente entsprechen aus diesem Grunde heterogenen Gemischen. Alle diese glazialen Bildungen müssen mit Doppelnamen belegt werden,

z. B. Sand-Gries bis Silt-Sand. Bei solchen Sedimenten kann von einer guten Aufbereitung nicht gesprochen werden.

Andere Sedimente, die einen grossen Korngrössenbereich umfassen, sind die Schotter. Die Figur (12) zeigt, dass ausschliesslich Flussschotter hieher zu rechnen sind. Charakteristisch für die Flussschotter ist, im Gegensatz zu glazialen Schottern, dass der Feinsand stark zurücktritt. Dadurch wird der Korngrössenbereich  $d'—d''$  wesentlich eingeengt. Immerhin bleiben auch hier noch meist zwei Intervalle durch die  $d$ -Werte belegt. Bei den Flussschottern handelt es sich vorwiegend um Kies und Gries.

Die Schotter lassen indes bereits zwei Typen von Gemischen erkennen: 1. die oben genannten und 2. solche, in denen eine Korngrösse stark vorherrscht und feines Material, Sand, nahezu fehlt. Zu diesem Typus sind die Strandschotter zu zählen. Es handelt sich meist um Grobkies oder Feinkies, eventuell auch um Kies im Grenzgebiet von fein und grob. Aber auch in diesem Gebiet wird die Differenz von  $d''—d'$  nicht grösser als  $d'$  selbst sein.

Ähnliche bis gleiche Mischung zeigen Flussschotter, die der Sohle entnommen worden sind. Später wird noch näher darüber berichtet werden.

Die Strandschotter leiten zu den Strandsanden über. Die Gleichkörnigkeit bleibt dabei erhalten. Die Gleichkörnigkeit ist oft sehr stark ausgeprägt, so dass man von  $\alpha$ -Grobsand oder  $\gamma$ -Feinsand etc. sprechen kann.

Die  $d'$ -Werte typischer Strandsande scheinen nicht unter 0,1 mm zu liegen. Die Grenze liegt sogar eher bei 0,2 mm. Diese Grenze dürfte auf die Intensität der Brandung zurückzuführen sein, die alle feinern Korngrössen nicht zur Ablagerung gelangen lässt.

Wie die Figur und die Zahlenwerte dartun, fallen in die gleiche Region auch die Mischungen von äolischen Sedimenten, Dünenanden. Die obere Grenze der  $d''$ -Werte liegt hier etwa bei 0,3 mm. Die untere Grenze der  $d'$ -Werte liegt für die Dünenanden etwa bei 0,05 mm.

Auffallend ist, soweit mechanische Analysen von Sedimenten unter 2 mm Körnung berechnet wurden, dass die  $d$ -Werte fast stets in das gleiche Korngrössenintervall fallen mit Ausnahme etwa der Grenzwerte zwischen Fein- und Grobsand. Diese Erscheinung steht im Zusammenhang mit der Sedimentation der feinen Korngrössen.

Die  $d'$ - und  $d''$ -Werte der Mischungskurven von Sinkstoffen der Mur zeigen den Zusammenhang von Schotter und Sinkstoffen recht deutlich; denn es besteht hier nur hinsichtlich der Korngrösse ein

wesentlicher Unterschied, ein geringer Unterschied hingegen in Bezug auf die Mischung. Andererseits zeigt auch der Aufbereitungsindex der Sinkstoffe, dass diese nicht gut aufbereitet sind. Er ist mit dem Wert 8,5 noch grösser als der der gewöhnlichen Flussschotter.

### Die Darstellung der Korngemische im Dreieck (Fig. 13 a, b, c)

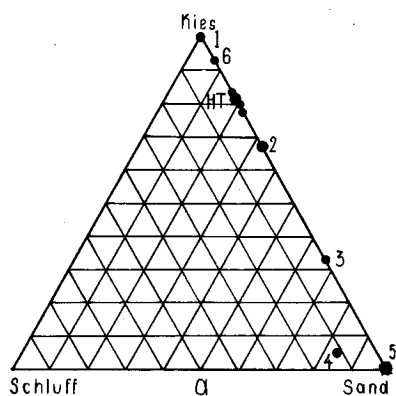


Fig. 13 a

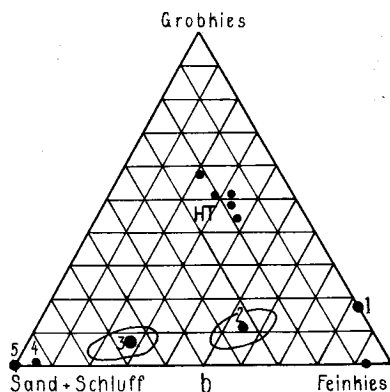


Fig. 13 b

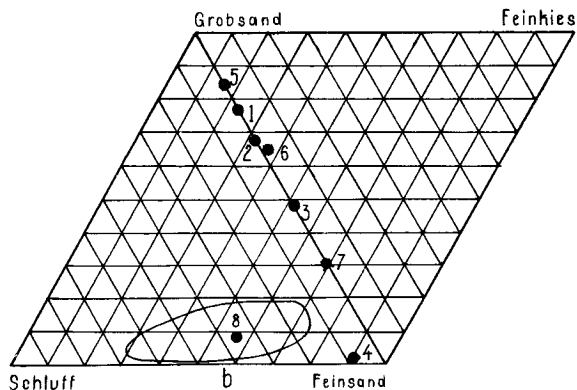


Fig. 13 c

Fig. 13.

- a, b: 1. Küstenschotter, 2. Flusskies, 3. Terrassenkies glazial, 4. Geschiebelehm, 5. Strand- und Dünenande, 6. Flusskies.
- c: 1. Strandsand (UDDEN), 2. Strandsand (PETTIJOHN), 3. Strandsand (MARSHALL), 4. Thanet Beds (BAKER), 5. Düne (GUGGENMOOS), 6. Düne (UDDEN), 7. Düne im Lee (UDDEN), 8. Sinkstoffe der Mur (STINY).

Die Darstellung kann je nach der vorhandenen Korngrösse verschieden erfolgen. Es können die einzelnen Intervalle wie folgt zusammengefasst werden:

1. Kies  $> 2$  mm, Sand 0,02—2 mm und feinstes Material können einander gegenübergestellt werden, oder
2. Grobkies-Feinkies-Sand + Schluff,
3. Grobsand-Feinsand-Schluff.

Für spezielle Zwecke können noch die  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -Fein- oder Grobsande und Kiese im Dreieck zur Darstellung gelangen.

Fasst man die Gewichtsprozente der hier aufgeführten Intervalle zusammen, so zeigt sich wieder die geringe Streuung in der Korngrösse. Einzig bei den glazialen Ablagerungen sind wesentliche Anteile der gewichtsprozentischen Fraktionen über mehrere Intervalle festzustellen. Die Gemische umfassen meist die Intervalle Schluff, Sand und Kies. Für Flussschotter kommen meist nur noch Kies und Sand in Frage.

Im Dreieck: Kies-Sand-Schluff kommt dies dadurch zum Ausdruck, dass einzig die glazialen Ablagerungen etwas ins Innere des Dreiecks fallen, während die Schotter (Fluss und Strand) praktisch auf die Gerade Kies  $\rightarrow$  Sand zu liegen kommen.

Das Dreieck Grobkies-Feinkies-Sand + Schluff kommt für die gleichen Sedimente in Betracht. Auch hier wird das innere Feld wenig belegt. Glaziale und fluviatile Schotter liegen zwischen S und Feinkies mit wechselndem Gehalt an Grobkies.

Strandschotter kommen nicht ins Innere zu liegen.

Für die Sande kommt das Dreieck Grobsand-Feinsand-Schluff und teils auch das Dreieck Feinkies-Grobsand-Feinsand zur Darstellung. Auch hier fällt wieder deutlich auf, dass alle berechneten Analysen geringe Streuung in der Korngrösse aufweisen. Die Kornverteilung beschränkt sich auf die Korngrössenintervalle Grobsand bis Feinsand. Dabei kommen nur geringe Beimengungen von Feinkies und Schluff vor.

Die Sinkstoffe zeigen im Dreieck Grobsand-Feinsand-Schluff praktisch die gleiche Lage wie die Flusskiese in ihrem entsprechenden Dreieck.

Die Thanet Beds von BAKER gehören bereits wieder einer neuen kleinern Gruppe von Sedimenten an.

Die äolischen und marinen bzw. Strandsande lassen sich in dieser Darstellung in keiner Weise auseinanderhalten.

Die bisher angeführten Darstellungen geben Auskunft über die durchschnittliche Korngrösse, und damit bis zu einem gewissen Grad auch über die Aufbereitung. Denn je kleiner die Differenz  $d'' - d'$  wird, umso besser ist die Aufbereitung. Damit im Zusammenhang steht natürlich die gewichtsprozentische Verteilung in den einzelnen

Korngrößenintervallen, wie sie in der Dreiecksprojektion zum Ausdruck kommt.

Um die Mischungstypen näher zu charakterisieren, bedürfen wir der Mischungslinien selbst, oder wenigstens der berechneten Zahlenwerte  $\delta$ ,  $\pi$ ,  $D$  etc. und des Index. Diese Zahlenwerte haben den Zweck, den Kurvenverlauf zu charakterisieren, und zwar in der Weise, dass sie etwas über die Abweichung der vorhandenen Mischungslinie von der der idealen Mischung aussagen.

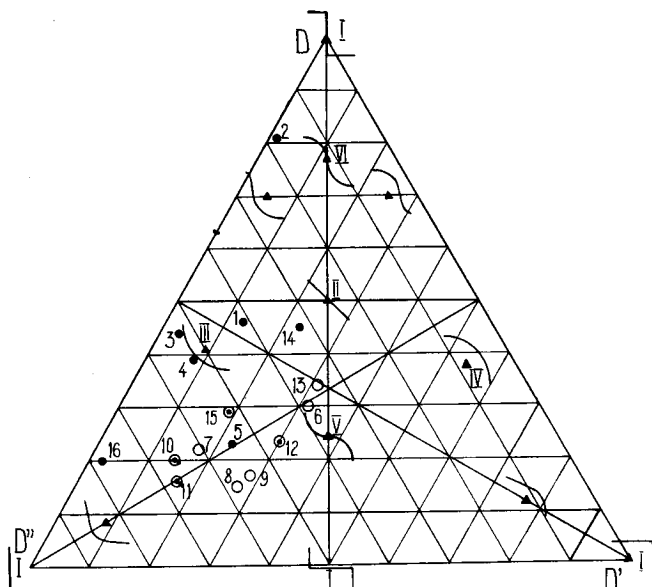


Fig. 14. Diagramm der  $D$ ,  $D'$  und  $D''$  Werte.

- |                                    |                                   |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| I. Ideale Aufbereitung (Typus 1)   | IV. Viertelskreis (Typus 4)       |
| II. Ideale Mischung (Typus 2)      | V. Gute Aufbereitung (Typus 5)    |
| III. Viertelskreis (Typus 3)       | VI. Heterogenes Gemisch (Typus 6) |
| 1. Mittel Hochterrasse             | 9. Strandsand (PETTIJOHN)         |
| 2. Geschiebelehm (UDDEN)           | 10. Dünensand (UDDEN)             |
| 3. Glazialer Terrassenkies (UDDEN) | 11. Dünensand im Lee (UDDEN)      |
| 4. Flusskies Yukon (UDDEN)         | 12. Dünensand (GUGGENMOOS)        |
| 5. Flusskies Yukon Sohle (UDDEN)   | 13. Thanet Beds (BAKER)           |
| 6. Strandschotter (UDDEN)          | 14. Tiefseesand (UDDEN)           |
| 7. Strandsand (UDDEN)              | 15. Vulkanische Asche (UDDEN)     |
| 8. Strandsand (MARSHALL)           | 16. Sinkstoffe der Mur (STINY)    |

Die Werte  $D$ ,  $D'$  und  $D''$  (Figur 14 und Tabelle 16)

$d_{\min}$  haben wir  $= 0$  gesetzt.  $D + D' + D''$  sei  $= 100$ . Im übrigen gilt (NIGGLI):

$$D \sim \frac{d'' - d'}{d_{\max}}, \quad D' \sim \frac{d'}{d_{\max}}, \quad D'' \sim \frac{d_{\max} - d''}{d_{\max}}.$$

Die Werte geben über den Kurvencharakter Auskunft, ohne etwas über den absoluten Kurvenverlauf auszusagen. Die Kurventypen können aber an Hand der Dreiecksdarstellung anschaulich wiedergegeben werden.

Zu diesem Zweck sollen die Hauptmischungstypen an Hand der D-Werte dargestellt werden. In Anlehnung an die natürlichen Gemische werden die folgenden Typen gewählt:

1. ideale Aufbereitung,
2. ideale Mischung,
3. Mischungstyp 3,
4. Mischungstyp 4,
5. gute Aufbereitung,
6. heterogenes Gemisch.

Die Schaubilder, die den einzelnen D-Werten entsprechen, sind in Figur 14 eingezeichnet. So würde z. B. dem Punkte 98 % D, 1 % D' und 1 % D'' eine Mischungskurve entsprechen, die nur minimale und maximale dem Korngemisch entsprechende Korngrößen aufweisen würde, also einem völlig heterogenen Gemisch entsprechen würde. Der Gegenpunkt D'' und D' ähnlich 50 %, D = 0 bedeutet eine Kurve nahezu idealster Aufbereitung mit der Korngrösse d.

Über weitere Punkte geben die einzelnen Kurven in der Dreiecksfigur selber Auskunft.

Typisch heterogene Gemische liegen über der Horizontalen, die durch den Punkt der idealen Mischung verläuft. Dieses Feld ist bis jetzt ausschliesslich von glazialen Sedimenten besetzt. Flussschotter gruppieren sich deutlich um Typ 3 und reichen in einzelnen Fällen bis ins heterogene Feld hinein (glazialer Terrassenkies von UDDEN).

In Küstenschottern herrscht eine mittlere Korngrösse vor, während die kleinen und groben Korngrößen ungefähr gleich stark beigemischt sind. Der Punkt für diese Schotter fällt deshalb in die Nähe der symmetrischen Mischungskurven.

Die Thanet Beds von BAKER fallen ebenfalls in nächste Nähe zu den Küstenschottern.

Die Sande. Sie gehören in dieser Darstellung alle einem grossen zusammenhängenden Felde an. Der Kurventyp entspricht einer guten Aufbereitung. Die kleinsten Korngrößen fehlen. Die grösseren Korngrößen sind teils erheblich grösser als den mittleren Korngrößen entspricht (Gruppierung der Punkte in Richtung D''). Dazu muss allerdings bemerkt werden, dass die Angaben über die maximalen Korngrößen meistens ganz ungenügend sind. Deshalb

können sich, je nach Wahl der maximalen Korngrößen, die Punkte auf der Geraden von  $D''$  nach ( $D$  50 %— $D'$  50 %) um 20 bis 30 % verschieben.

Eine Unterscheidung von Strand- und Dünenanden lässt sich auch mit diesen Methoden nicht durchführen. Es liegt dies wahrscheinlich weniger in der Darstellung begründet, als vielmehr in der Auswahl und in der Art der Probeentnahme des Materials, über welche in den Arbeiten höchst selten nähere Angaben gemacht werden.

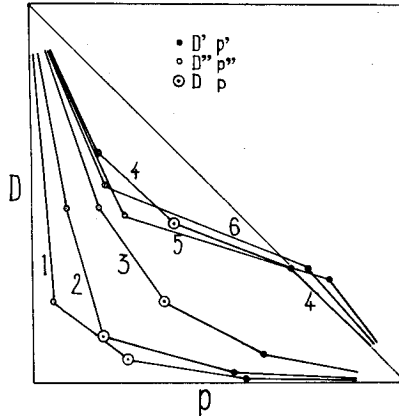


Fig. 15.

1. Schweb der Mur, 2. Glazialer Terrassenkies, 3. Flusskies, 4. Strandkies, 5. Strandsand, 6. Dünenand.

So stimmen z. B. die sorgfältig gesammelten Proben von MARSHALL und PETTJOHN gut bis nahezu vollkommen überein, während gleichzeitig die Strandsande von UDDEN erheblich davon abweichen.

Um es nochmals zu betonen: es müssen die Proben einer einzigen Schicht, die als Einheit sedimentiert worden ist, entnommen werden. Sobald auch Material hinzugefügt wird, das unter andern Bedingungen sedimentiert wurde, wird die Deutung erschwert und die mechanische Analyse wertlos.

Aus diesem Grunde ist es auch oft sehr schwierig, geeignetes Untersuchungsmaterial zu finden.

Mit Hilfe der  $D'$ -,  $D''$ - und der  $p'$ -,  $p''$ -Werte lässt sich noch eine weitere graphische Darstellung durchführen, die die Kurven in einfacher Form wiedergibt und unabhängig von der Korngröße ist. Auf diese Weise können die verschiedenen Kurventypen direkt miteinander verglichen werden. Die Werte werden in ein Quadrat einge-



zeichnet. Der Abszisse entsprechen die p-Werte (Gewichtsprozente), der Ordinate die D-Werte (Korngrössen). Mit dieser Darstellung wird einzig der Kurventyp wiedergegeben.

Aus der Fig. 15 ist zu entnehmen, dass sich die Mischungskurven von fluviatilen Schottern einem Kreisbogen nähern. Zum gleichen Schluss ist auch SCHOKLITSCH bei seinen Untersuchungen gelangt. Für die glazialen Schotter und Lehme ist zu sagen, dass hier das feine Material noch mehr überwiegt, und dass hier innerhalb der kleinen Korngrössen eine angenäherte ideale Aufbereitung erreicht wird. Bei den Dünen- und Strandsanden fehlen die kleinen Korngrössen. Eine mittlere Korngrösse herrscht vor, deren Grösse nach der feinen Fraktion hin tendiert. Die Kurven der beiden Sande (Sedimente) lassen sich auch hier nicht voneinander unterscheiden. Die beiden Sedimente können also an Hand der Mischungskurve nicht auseinandergehalten werden.

$$\text{Der Aufbereitungsindex } \alpha; \quad \alpha = \frac{3(d'' - d')}{d}$$

Er gibt über den Grad der Aufbereitung Auskunft. Je besser die Aufbereitung ist, umso kleiner wird der Index (minimal gleich eins bei üblicher Intervallbildung). Demzufolge haben die glazialen und fluviatilen Schotter einen hohen Aufbereitungsindex. Er steigt bei den glazialen Geschiebelehmern bis auf über 80. Für Schotter liegt er im allgemeinen zwischen 4 und 5. Strandschotter haben einen Index von 2, ebenso die Flusschotter von der Sohle. Strand- und Dünensande haben meist einen Aufbereitungsindex von 1,5 bis 2.

Die  $\delta$ -,  $\delta'$ -,  $\delta''$ - und  $\pi$ -,  $\pi'$ -,  $\pi''$ -Werte (Fig. 16a, b)

Die  $\delta$ -,  $\pi$ -Werte geben über die Abweichung einer Mischungskurve von der einer idealen Mischung Auskunft. Die Werte  $\delta$ ,  $\pi$  beziehen sich auf das Gesamtgemisch,  $\delta'$ ,  $\pi'$  auf die kleine Fraktion und die Werte  $\delta''$ ,  $\pi''$  auf die Fraktion der grossen Korngrössen.

Gemäss der Bestimmung von  $\delta$  als  $2d/d_{\max}$  (wenn  $d_{\min}$  als 0 angenommen wird) bezeichnet dieser Wert die Abweichung der vorhandenen mittleren Korngrösse von jener der idealen Mischung mit gleicher maximaler Korngrösse. Für das ideale Gemisch ist  $\delta = 1$ .

$\delta$  ist  $> 1$ , wenn  $d$  grösser als  $d_{\max}/2$  und  $< 1$ , wenn  $d < d_{\max}/2$  ist. Analog verhält sich der  $\pi$ -Wert.

$\pi$  ist  $> 1$ , wenn mehr als 50 % des Korngemischs an den Korngrössen 0— $d$  des Gesamtgemischs beteiligt sind, und  $< 1$ , wenn weniger als 50 % daran beteiligt sind.

Analog gelten die Werte  $\delta'$ ,  $\delta''$  und  $\pi'$ ,  $\pi''$  für die Kurvenabschnitte 0—d bzw. d— $d_{\max}$ .

Es soll hier zusammenfassend auf die Werte der Hauptgruppen und der natürlichen Mischungen hingewiesen werden (siehe auch Tabelle 15 und Figur 16 a, b).

Für die ideale Aufbereitung und die ideale Mischung sind alle Werte = 1.

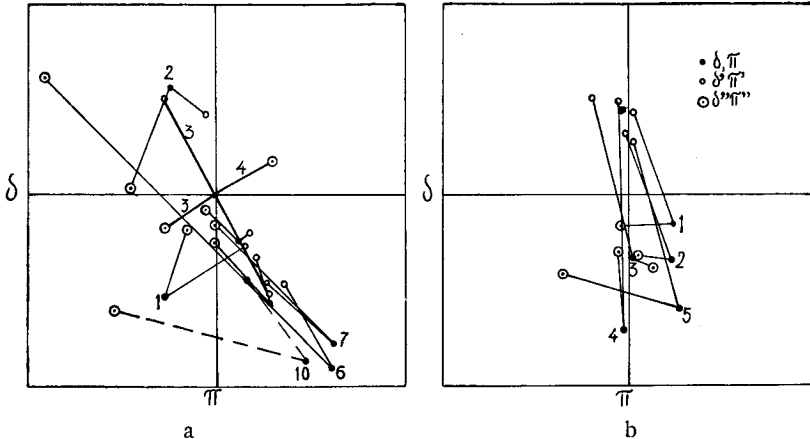


Fig. 16. Diagramm der  $\delta$ -,  $\delta'$ -,  $\delta''$ - und  $\pi$ -,  $\pi'$ -,  $\pi''$ -Werte

- a) 1. Typ 3, 2. Typ 4, 3. Typ 5, 4. Typ 6, 6. Geschiebelehm, 7. Terrassenkies, 8. Flusskies, 9. Hochterrasse, 10. Schweb der Mur.  
 b) 1. Strandkies, 2. Flusskies (Sohle), 3. Strandsand (MARSHALL), 4. Strandsand (PETTJOHN), 5. Strandsand (UDDEN).

Typ 3.  $\delta$  und  $\pi$  sind  $< 1$  ( $\delta = 0,46$ ,  $\pi = 0,72$ ),  $\delta'$ ,  $\delta''$  sind  $< 1$ , aber grösser als  $\delta$ . Auch innerhalb der Teilfraktionen ist  $d' < d/2$  und  $d'' < \frac{d + d_{\max}}{2}$ . Die ganze Mischungslinie liegt also unter

der der idealen Mischung. Innerhalb der feinen Fraktion überwiegen ebenfalls die feinen Fraktionen ( $\pi' > 1$ ).

Typ 4. Alle drei  $\delta$ -Werte sind  $> 1$ .  $d$ ,  $d'$ ,  $d''$  liegen innerhalb der grösseren Korngrössen ihrer zugehörigen Fraktionen. Die  $\pi$ -Werte sind  $< 1$ . Der gewichtsprozentische Anteil der Fraktionen ist stets unter 50 % bzw. unter 25 % der Teil-Fraktionen.

Typ 5. Die Mischungslinien sind symmetrisch,  $\delta, \pi$  sind demzufolge = 1.  $\delta'$  ist  $> 1$ , die mittlere Korngrösse der feinen Fraktion ist nach der mittleren Korngrösse  $d$  verschoben, das heisst, die feinen Korngrössen fehlen in grösserer Menge. Um-

gekehrt ist  $\delta'' < 1$ . Die mittlere Korngrösse der groben Fraktion liegt näher bei der von  $d$  als von  $d_{\max}$ . Es ist dies das natürliche Bild der guten Aufbereitung. Die Mischungskurve verläuft im feinen Teil des Gemischs über, im groben Teil unter der Summenlinie der idealen Mischung.

Typ 6. Heterogene Mischung. Die Kurve ist ebenfalls symmetrisch.  $\delta$  und  $\pi$  sind gleich 1.  $\delta'$  ist  $< 1$ , liegt näher bei  $d_0$  als bei  $d$ .  $\delta''$  ist  $> 1$ ,  $d''$  liegt näher bei  $d_{\max}$  als bei  $d$ .

Die natürlichen Gemische zeigen folgende Verhältnisse der  $\delta$ - und  $\pi$ -Werte:

In allen natürlichen Schottern und Sanden sind die  $\delta$ -Werte nahezu immer  $< 1$  und gleichzeitig auch kleiner als  $\delta'$  und  $\delta''$ . Das heisst, die mittlere Korngrösse  $d$  liegt immer innerhalb der Korngrössen  $d_0$  bis  $d_{\max}/2$ , also in der feinen Fraktion der idealen Mischung. Es beruht dies auf der Beimischung groben Materials, wenn auch oft in geringen Mengen.

Die Kurvenabschnitte  $d_0-d$  und  $d-d_{\max}$  nähern sich meist mehr der idealen Mischung als das Gesamtgemisch.

Es lassen sich auch an Hand dieser Werte die einzelnen Sedimente auseinanderhalten. Die glazialen Geschiebelehme zeigen stark voneinander abweichende  $\delta, \pi$ -Werte, wobei  $\delta$  sehr klein und  $\delta''$  sehr gross ist, also den Werten einer heterogenen Mischung entsprechen.

Schotter sind bereits bedeutend besser gemischt, wie aus der Tabelle und der Figur deutlich hervorgeht. Die Glattalschotter nähern sich bereits weitgehend der idealen Mischung.

$\delta, \delta', \delta''$  und  $\pi''$  sind bei fluviatilen Schottern fast immer  $< 1$  und  $\pi, \pi'$  meist  $> 1$ .

Die Strandschotter und die Strand- und Dünensande zeigen unter sich ähnliche Verhältnisse. Sie entsprechen allgemein einer guten Aufbereitung.  $\delta$  und  $\delta''$  sind stets  $< 1$  und  $\delta' > 1$ .  $\delta$  und  $\delta''$  sind immer ungefähr gleich gross. Die  $\pi$ -Werte sind variabel.  $\pi$  ist immerhin vorwiegend  $> 1$ . Der Hauptanteil des Gemischs entfällt auf die Korngrössen  $d_0-d$ . Die  $\pi$ -Werte schwanken um 1, tendieren aber eher nach Werten  $< 1$ . Die  $\pi''$ -Werte streuen stark.

Die  $\delta', \pi''$ -Werte zeigen, dass die feinen Anteile in der Fraktion  $d_0-d$  fast fehlen, während sie im Anteil  $d-d_{\max}$  vorherrschen.

Trotz verschiedenen Ablagerungsbedingungen resultieren unter gewissen Bedingungen die gleichen Mischungstypen. Sie können aber an Hand der Lagerung voneinander unterschieden werden.

Diesen Mischungstyp unter den fluviatilen Schottern hat SCHOK-LITSCH erstmals beschrieben.

Es können an einem fluviatilen Schotter folgende Mischungs- und Schichttypen erkannt werden:

1. Schichten mit ausgeprägter dachziegeliger Lagerung der Gerölle (die Mischung entspricht derjenigen der Strandschotter). Sand fehlt ganz. Die Gerölle sind in der grossen Mehrzahl flach.
2. Schichten, deren Kornverteilung eine gute Durchmischung vertragen. Die Mächtigkeit einer einzelnen Schicht kann bis zu mehreren Metern betragen. Die Mischung ist an jeder Stelle innerhalb einer Schicht die gleiche. Ihr gehören viele Schotter des schweizerischen Mittellandes an. Die Nagelfluhbänke und die Schotter, die während Hochwasserperioden abgelagert wurden, gehören ebenfalls hieher.
3. Deltaschichten. Analog den Deltaschichten sind die Anlandungsbänke in Flüssen (Kraftwerkstauwehren). Die Mischungskurve der gesamten Schicht entspricht der von Nr. 2.

Die Mischungskurven von Teilproben an verschiedenen Stellen einer Schicht sind verschieden. Es findet also innerhalb ein und derselben Schicht eine Saigerung statt.

In den Deltas fallen die Schichten bis zu 25° ein und werden deshalb meistens als Deltaschichten erkannt. Die Anlandungsbänke in Flussläufen zeigen die gleiche Struktur der Schotterschichten, liegen aber nur im natürlichen Gefälle des Flusses, sind also nahezu horizontal gelagert. Ihre Entstehung ist auf die gleichen Ursachen wie die der Deltaschichten zurückzuführen.

#### 1. Schichten mit dachziegeliger Lagerung

Diese so auffälligen Schichten sind wenig mächtig. Die Mächtigkeit ist in der Grössenordnung von einem Dezimeter. Meistens handelt es sich nur um ein bis zwei Geröllagen. Als Beispiel diene ein Thurschotter. Die Probe wurde einer Kiesbank in der Thur bei Ossingen an der Innenseite einer Serpentine entnommen. Die Schicht war etwa 8 cm mächtig. Die Entnahme erfolgte in einer Distanz von 3 m vom Niederwasserstand. Die Gerölle sind auffallend flach. Der Anteil von Sand ist verschwindend klein. Der geringe Anteil von Sand deutet darauf hin, dass dieser nachträglich ausgewaschen wurde. Die Kornverteilung ist deshalb nicht die primäre.

Es ist auffallend, wie wenig dieser Schichttyp in der Nagelfluh angetroffen wird. Die meisten Schichten scheinen vielmehr einer

jeweiligen Einheit zu entsprechen. Sekundäre Umlagerungen können hier allerdings die ursprüngliche Lagerung etwas verwischen.

Andererseits lässt aber die Schottermischung der Nagelfluh erkennen, dass es sich um einen typischen Flusschotter handelt.

## 2. Schichten, deren Kornverteilung eine gute Durchmischung verraten

Der Mischungstyp entspricht den normalen Flusschottern. In Figur 14 gibt Punkt III die Mischung wieder. Die Mischung entspricht unserm Grundtyp 3.

Ein Schotter mit dieser Mischung erscheint uns mehr oder weniger kompakt. Auch hier sind es noch die flachen Gerölle, die eine dachziegelige Lagerung erkennen lassen können. Eine typisch ausgeprägte Schichtung tritt hingegen nicht auf. Dieser Schottertyp ist weit verbreitet. Die Hauptmasse der im Mittelland vorkommenden Nagelfluh, viele diluviale Schotter, welche die Täler des Mittellandes erfüllen, gehören diesem Typus an.

Diese Charakteristik lässt erkennen, wie wichtig die feinen Korngrößen für den Massentransport sind. Später soll auf diese Erscheinung näher eingegangen werden.

Aus der genauen Charakteristik kann möglicherweise einmal ein Schluss auf die Sedimentationsbedingungen gezogen werden.

## 3. Schichten mit ausgeprägter Deltastruktur

Die Kornverteilung in den Deltaschichten ist erstmals von SCHOK-LITSCH (120) beschrieben worden. Die Kornverteilung ist nach der Figur 17 folgende:

An der Basis einer Schicht treten, wenn auch nicht überall deutlich erkennbar, sehr feine Sande auf, die von den Sanden der nächstfolgenden untern Schicht gut zu unterscheiden sind.

Diese feine Sandschicht wird überlagert von grobem Geröll mit wenig Sand oder ohne Sand als Zwischenmittel. Eine bevorzugte Lagerung einzelner Gerölle nach der Art einer Dachziegellagerung ist nicht zu erkennen. Die Korngrösse nimmt nach dem Hangenden hin ab. Der Anteil des Sandes steigt rasch an und grosse Gerölle verschwinden ganz.

Diese hier aufgeführten Schichten gehören einem Sedimentationszyklus an. Die Sedimentation der verschiedenen Korngrößen erfolgte zur selben Zeit.

Diese Struktur findet man nicht allein in Deltaschichten, sondern auch in Flusschottern im Bereich eines Staus. Die Deltas bilden innerhalb der Gruppe nur einen Spezialfall.

Untersucht man die Mischungsverhältnisse in verschiedenen Höhen einer Schicht, so ergibt sich ein Bild, wie die untenstehende Abbildung von SCHOKLITSCH (120) es zeigt. Es handelt sich dabei um die Darstellung der  $k$ -Werte (Fig. 18).

$k$  ist auf jede einzelne Schicht bezogen mit der darin vorkommenden maximalen Korngrösse. Ist in einer solchen Schicht die Sohlenpflasterung vorhanden, so nimmt der Wert  $k$  nochmals sprunghaft zu. Die Sohlenpflasterung kommt in dem Diagramm gut zum Ausdruck.

Die Entstehung des ganzen Schotterkomplexes ist so zu erklären, dass das grobe Geröll an der Vorderkante der auflandenden Bank die Böschung hinunterkollert, ähnlich wie bei einer Schutthalde, während Sand und Schlamm oben bleiben, indem sie durch eine hori-

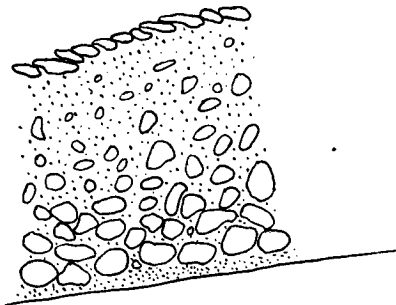


Fig. 17

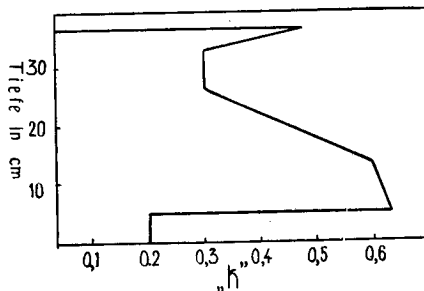


Fig. 18

zontale Wasserwalze obengehalten werden. Dadurch tritt eine Entmischung bzw. Aufbereitung des vom Flusse herantransportierten Geschiebes ein.

Die Deltaschichtung entsteht also durch Saigerung der normalen Schottermischung.

Bei diesem Sedimentationstyp können eine Reihe solcher Bänke kurz hintereinander nachfolgen, besonders bei Hochwasserfluten, die in Gelände mit geringerem Gefälle gelangen. AHLMANN (1) hat über diesen Vorgang näher berichtet und ihn meines Wissens erstmals beschrieben.

## 2. DIE GERÖLL- UND MINERALFORMEN

In allen natürlichen Schottern kommen flache, kugelige, stengelige und flachstengelige Gerölle vor. Ihre prozentuale Verteilung und die Formenwerte sind Veränderungen unterworfen.

Die flachen Gerölle. Die Beobachtungen haben ergeben, dass alle flachen Gerölle ihre primäre Ge-

stalt durch Zertrümmerung grösserer Gerölle erhalten. Häufig sind die Bruchstücke durch Schichtflächen bedingt. Oft sind es nur Splitter grosser Gerölle. Der Abrieb setzt am stärksten an den Flächen mit kleinem Krümmungsradius ein. Dadurch wird der grosse und mittlere Durchmesser kleiner, während der kleine sich ungefähr gleich bleibt. Das Geröll wird dickplattiger. Aus den bisherigen Messungen ist nicht ersichtlich, ob sich das Achsenverhältnis  $c/b$  einem bestimmten Grenzwert nähert. Bei den Messungen haben wir es mit der ganzen Mannigfaltigkeit der Gerölle zu tun und können den Werdegang eines einzelnen Gerölls nicht erkennen.

Die bis jetzt gemachten Beobachtungen sprechen dafür, dass flache Gerölle durch eigene Bewegung nicht flacher werden. Das Achsenverhältnis  $b/a$  nähert sich im Mittel den Werten 0,75 bis 0,7. Kreisscheiben werden selten gefunden.

Sehr flache Formen treten meistens nur unter den mittleren bis grossen Gerölln auf (Intervall 20—50 mm). Es handelt sich scheinbar meist um solche, die lange an der Sohle von Flüssen liegen bleiben und durch den über sie hinwegfegenden Sand und Schotter abgeschliffen werden.

Mangels Untersuchungsmaterial von Strandschottern können Angaben über jene Geröllformen derartiger Ablagerungen nicht gemacht werden.

Die kugeligen Gerölle. Die kugeligen Gerölle gehen einerseits aus der Zerstörung grosser Gerölle, anderseits aber auch durch Abrieb flacher und stengeliger Gerölle hervor. Niemals wird durch blossen Abrieb ein kugeliges Geröll in ein flaches übergeführt.

Die Werte der Achsenverhältnisse scheinen sich im Mittel einander zu nähern. Sie schwanken zwischen 0,8 und 0,75 für  $b/a$  wie für  $c/b$ , das letztere Verhältnis ist im allgemeinen etwas kleiner.

Hohe Formenwerte treten auch hier relativ selten auf. Kugeln sind äusserst selten unter den Geröllformen zu finden. Die Molasse-nagelfluh ist relativ reich an hohen Formenwerten. Die Dolomitgerölle zeichnen sich dadurch besonders aus.

Gerölle mit hohen Formenwerten treten meist in den mittleren Korngrössen von  $20 \pm 5$  mm auf.

Die Strandschotter scheinen nach vorliegenden Beobachtungen reicher an kugeligen Gerölln zu sein als Flussschotter.

Die stengeligen Gerölle. Es ist im allgemeinen zu wenig bekannt, dass die stengeligen Gerölle in Flussschottern rund 15—20 % aller Gerölle ausmachen. Sie treten in erheblicher Anzahl

erst unter 50 mm Korndurchmesser auf. Es ist dies zugleich jener Korngrössenbereich, in welchem die flachen Gerölle in maximaler Anzahl vertreten sind. Diese Tatsache weist darauf hin, wie die Beobachtungen selbst bestätigen, dass die stengeligen Gerölle durch Zertrümmerung der flachen entstehen. Bei der Mehrzahl der stengeligen Gerölle kann die Bruchfläche noch erkannt werden, während die übrige Oberfläche des Gerölls völlig abgerundet sein kann. Die Entwicklung der stengeligen Gerölle geht dahin, dass ihr kleiner Querschnitt immer mehr kreisförmig wird. An welcher Stelle des Gerölls der grösste Abrieb erfolgt, ist nicht sicher festzustellen. Der Abrieb hängt von der Bewegungsart des Gerölls ab, und darüber widersprechen sich die bis jetzt gemachten Beobachtungen vielfach. Die Bewegung erfolgt rollend teils um die Längsachse, teilweise aber auch um eine der kleinen Achsen. Im letzteren Fall wird das Geröll kugelig.

Treibholzstücke beweisen, dass der Abrieb an den Enden stark sein kann, indem jene poliert und abgeschliffen sind, während gleichzeitig die Rinde noch anhaftet. Bei der Ablagerung stellen sich die stengeligen Gerölle in Richtung der Strömung.

Das Achsenverhältnis  $b/a$  schwankt in weiten Grenzen. Es kommen Werte bis zu 0,2 vor.

Die flachstengeligen Gerölle kommen nur untergeordnet vor. Sie entstehen in analoger Weise wie die stengeligen Gerölle. Sie werden sehr leicht zerstört, weshalb sie so wenig vorkommen. Die meisten zeigen auch eine geringe Abrollung. Bei der Ablagerung stellen sie sich meistens quer zur Strömungsrichtung; sie verhalten sich in dieser Beziehung gleich wie die flachen Gerölle.

### Die Formen der Mineralien

An den Sand- bzw. den Mineralkörnern können die gleichen Formen ausgeschieden werden. Hier handelt es sich nur noch um eine Zuordnung zu den einzelnen Gruppen ohne Bestimmung der absoluten Formenwerte. Die Form ist bei den Mineralien mehr vom Material abhängig als bei den Geröllen. Allein auch hier ist die Abhängigkeit nicht so gross, wie man vermuten möchte. Es ist eine relativ kleine Anzahl von Mineralien, die mehr oder weniger immer wieder in gleicher Form vorkommen. Allgemein darf gesagt werden, dass ca. 80—90 % der Sandkörner kugelig sind.

**Die flachen Körner.** An erster Stelle müssen die Glimmer genannt werden. Sie kommen ausschliesslich als Blättchen vor. Sie bestimmen in einem Sand den Gehalt der flachen Formen. Feldspat,



Calcit und Quarz kommen unter den flachen Formen nicht selten vor. Bei letzterem handelt es sich um Splitter.

Die kugeligen Körner. Man darf ruhig behaupten, dass ausser den glimmerartigen alle Mineralien unter den kugeligen Formen vertreten sind.

Die stengeligen Körner. Es gibt eine Reihe von Mineralien, die in den Sanden oft stengelige Gestalt haben. Ein eindeutiges Kennzeichen ist aber auch hier die Form nicht. Hornblenden, Disthen, Rutil, Zirkon kommen meist mehr in stengeligen Formen vor.

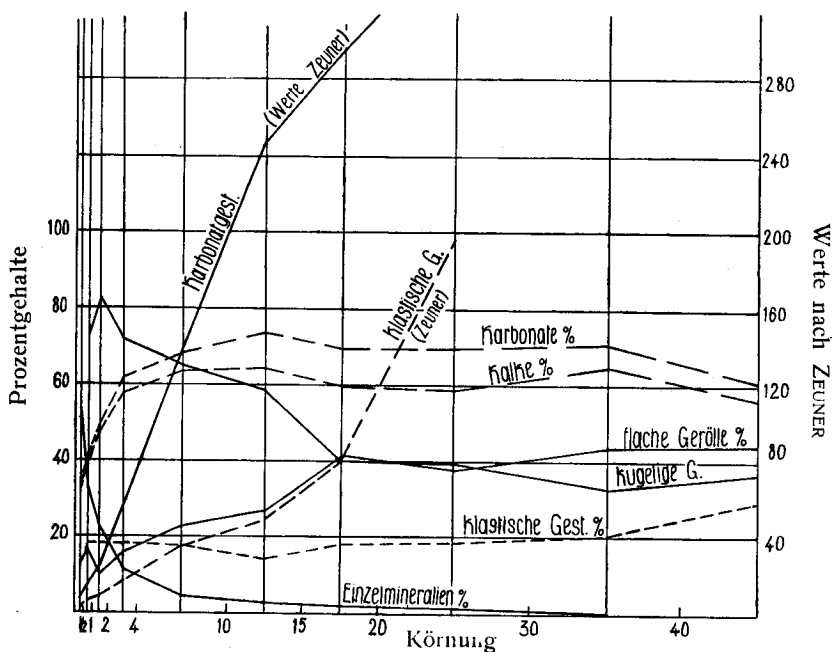


Fig. 19

### 3. DIE VERTEILUNG DER GERÖLLFORMEN

Die Verteilung der Kornformen richtet sich nach

1. der Korngrösse,
2. dem Material.

Kornform und Korngrösse. Nach der Tabelle 3 und 11 und der Figur 19 ist über die Kornform und die Korngrösse folgendes zu erkennen:

Mit abnehmender Korngrösse wächst die Zahl der kugeligen Gerölle, während die flachen gleichzeitig abnehmen. Die stengeligen Gerölle verhalten sich anfänglich mehr oder weniger indifferent und nehmen dann an Zahl

ebenfalls ab. Die Zu- und Abnahme der einzelnen Formen erfolgt nicht gleichmässig. Von der Körnung 15—20 mm an abwärts nehmen die kugeligen Gerölle sprunghaft zu und erreichen ihr Maximum schon bei der Körnung von 2 mm. Bei noch kleinern Körnern ist eine Gesetzmässigkeit nicht mehr zu erkennen. Unterhalb 1 mm Korngrösse kommen schon viele Einzelminerale vor, darunter auch Glimmerblättchen und Quarzsplitter, welche wieder eine Zunahme der flachen Komponenten bewirken.

Über der Körnung von 20 mm ist eine Gesetzmässigkeit nicht zu erkennen. Die flachen und die runden Gerölle machen durchschnittlich je 40 % der Geröllzahl aus. Bei den Flussschottern ist ein schwacher Überschuss der flachen Gerölle erkennbar. Ein kleines sekundäres Minimum der flachen Gerölle bei 20—30 mm ist nicht ohne weiteres zu verstehen. Auffallend ist nur, dass dieses bei allen Proben auftritt, wobei das Minimum nicht immer auf das gleiche Intervall fällt. Möglicherweise besteht ein Zusammenhang zwischen den grössten im Schotter vorkommenden Geröllen.

Kornform und Material. Die Ansichten über die Abhängigkeit der Geröllformen vom Material gehen noch weit auseinander. Dass eine solche Abhängigkeit besteht, liegt ausser allem Zweifel. Der Einfluss von Material auf die Kornform wird jedoch allgemein überschätzt. Diese Tatsache geht aus dem Zahlenmaterial von FUGGER und KASTNER deutlich hervor.

Das Verhältnis der knolligen zu den plattigen Geröllen zeigt folgende Tabelle nach FUGGER und KASTNER (48):

Tertiäres Konglomerat	99 : 1	Werfener Quarzsandstein	58 : 42
Ziegel	96 : 4	Kalktuff	58 : 42
Gosaukonglomerat	94 : 6	Kohle	56 : 44
Quartäres Konglomerat	90 : 10	Liaskalk	55 : 45
Hauptdolomit	86 : 14	Flyschmergel	54 : 46
Barmsteinkalk	83 : 17	Kössenerkalk	53 : 47
Flyschsandstein	81 : 19	Grünschiefer	52 : 48
Granit	74 : 26	Gosaukalk	50 : 50
Muscheldolomit	74 : 26	Muschelkalk	46 : 54
Schlacke	74 : 26	Hallstätterkalk	46 : 54
Quarz	73 : 27	Urkalk	44 : 56
Hornstein	69 : 31	Holz	43 : 57
Sil. Eisenerze	68 : 32	Glimmerschiefer	41 : 59
Tithonkalk	64 : 36	Phyllite	40 : 60
Raiblerdolomit	64 : 36	Sil. Kalkquarz	40 : 60
Wettersteinkalk	63 : 37	Kalkglimmerschiefer	37 : 63
Raiblerkalk	63 : 37	Neocomkalk	37 : 63
Wettersteindolomit	62 : 38	Werfenerschiefer	36 : 64
Dachsteinkalk	62 : 38	Silurkalk	35 : 65
Grünstein	60 : 40	Neocomsandstein	21 : 79
Tertiärer Sandstein	60 : 40		

Die Tabelle lässt erkennen, dass man bei einer Reihe der aufgeführten Gesteine andere Formen erwarten würde. Der hohe Prozentsatz knolliger Formen bei schiefrigen Gesteinen deutet auf die Zertrümmerung hin. Die Art des Transports hat einen wesentlichen Einfluss auf die Formbildung. Man ist vielleicht sogar berechtigt zu sagen, sie übe den entscheidenden Einfluss auf die Formen aus. Es geht dies unter anderm auch daraus hervor, dass Strandschotter mehr kugelige Gerölle enthalten als Flusschotter. Ferner weisen die Versuche in Trommelmühlen darauf hin (65, 91, 154).

Über die Abhängigkeit der Form der Sandkörner, speziell der Einzelminerale, ist im allgemeinen Kapitel die Rede gewesen.

#### 4. DIE ABROLLUNG DER GERÖLLE

Die frühern Darlegungen haben gezeigt, dass es möglich ist, statt der unbestimmten Ausdrücke kantig, rund, etc. feste Zahlenwerte zu setzen. Erst dadurch können Vergleiche verschiedener Sedimente quantitativ festgelegt werden.

Die Abrollungsgrade sind von der Korngrösse, dem Material und der Transportweite abhängig.

##### Die Abhängigkeit des Abrollungsgrades von der Korngrösse

Es ist allgemein bekannt, dass mit einer Korngrössenabnahme gleichzeitig eine Abnahme des Abrollungsgrades erfolgt. Die Tabellen 5—9 geben die Abrollungsgrade der verschiedenen Stationen wieder, gleichzeitig dargestellt in Abhängigkeit von der Korngrösse. Es handelt sich um Hochterrasse „HT“, Niederterrasse „NT“, den Schotter von Nussbaumen, Nagelfluh, Ngfl. und einen rezenten Thurschotter.

Für die Korngrössen von  $\frac{1}{4}$  mm—10 mm wurden je zweimal 100 Körner für eine Zählung verwendet. Für das Korngrössenintervall 10—15 mm bewegt sich die Zahl der ausgezählten Gerölle zwischen 100 und 200.

Jeder Schottertyp für sich lässt eine Gesetzmässigkeit erkennen, die darin besteht, dass mit Zunahme der Korngrösse eine Abnahme der C-Werte erfolgt. Für die Hochterrasse ergibt sich eine Abnahme von 30 auf 16 (Korngrössenintervall 20— $\frac{1}{4}$  mm), für die Niederterrasse für das gleiche Intervall von 36 auf 17. Für die Nagelfluh ist sogar eine Abnahme von 40 auf 9 zu beobachten.

Daraus ergibt sich, dass die konvexen Flächenanteile zunehmen müssen. Es nehmen aber auch die P-Werte zu. Bei gut gerollten Schottern überwiegt sogar P den Wert C (siehe die Tabelle für die Molassenagelfluh und den Thurschotter). Jeder Schotter lässt diese Angleichung der planen an die konvexen Flächen erkennen.

Über die speziellen Verhältnisse innerhalb der kleinen Korngrößen der Nagelfluh soll später die Rede sein.

Die Änderung des Abrollungsgrades innerhalb der Korngrößen bedingt, dass nur die einzelnen Kornklassen unter sich verglichen werden können. Allein die Übersichtlichkeit verlangt eine Gruppierung.

Die Abrollungsgrade der Körner über 15 mm bei verschiedenen Schottern nähern sich einander derart, dass Unterschiede nicht mit Sicherheit erkannt werden können. Wie die Tabelle lehrt, treten die merkbaren Unterschiede in den kleinen Körnungen auf. Besonders die glazialen und fluviogalzialen Schotter bzw. Sande lassen sich noch voneinander trennen. Es können etwa folgende Gruppen zusammengefasst werden:

1.  $\frac{1}{4}$  bis 1 mm.

2. 1 bis 4 bzw. 5 mm.

Die Korngröße von 4 (5) bis 10 mm ist für derartige Zwecke bereits etwas unsicher.

Für das Glattal ergibt sich folgendes:

Korngröße		HT			NT			Ngfl.		
		C	P	V	C	P	V	C	P	V
$\frac{1}{4}$ — 1 mm	1.	31	11	58	37	8	55	40	8	52
1 — 4 mm	2.	24	12	64	33	9	58	21	17	62
4 — 10		21	14	65	23	13	64	12	19	69

Nussbaumen, das mit der Hochterrasse nicht identisch ist, zeigt, abgesehen von den kleinen Unterschieden in der Zusammensetzung, die eine sichere Unterscheidung nicht zulassen, relativ stark abweichende Abrollungsgrade.

	C	P	V
1.	38	5	57
2.	25	9	66

Die Werte der Körnung  $> 10$  mm zeigen aber bereits keine Unterschiede mehr.

Klastische Sedimente verschiedener petrographischer Zusammensetzung können aber nicht ohne weiteres miteinander nach den Abrollungsgraden verglichen werden. Die Abrollung ist ebenfalls in bedeutendem Masse vom Material abhängig. Andererseits ist wieder die Geröllzusammensetzung von der Korngröße abhängig.

Für Körnungen über 4 mm kommen als Gerölle nur Gesteine in Frage; Einzel-Mineralien sind selten. Bei den kleinen Korngrössen kommen aber Mineralien als Gerölle vor. Im Intervall von  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$  mm sind sie schon mit ca. 50 % am Aufbau des Sandes beteiligt (HT). Unter den grossen Geröllen wird man es deshalb mit dem Abrollungsgrad der Gesteine zu tun haben, bei den Sanden hingegen in erster Linie mit dem Abrollungsgrad von Mineralien. Da sich sowohl verschiedene Gesteine als auch Mineralien in Bezug auf das Abrollungsvermögen verschieden verhalten, ist es zweckmässig, ein festes Vergleichsmaterial zu verwenden.

Bei den Gesteinen lässt sich kaum eine überall vorhandene Gesteinsart finden, welche als Eichkörper für die Bestimmung der Abrollung dienen kann, weshalb wir hier auf die Mittelwerte der ganzen Probe angewiesen bleiben.

Hinsichtlich der Sande liegen die Verhältnisse bedeutend günstiger. Quarz dürfte in nahezu allen Sanden vorkommen. Es empfiehlt sich deshalb, die Abrollungsgrade auf die Quarze zu beziehen, ohne aber die Mittelwerte aller Körner zu vernachlässigen. Quarz hat zudem den Vorteil, dass er leicht erkannt werden kann. Er tritt immer mit muscheligem Bruch auf ohne kristallographische Umgrenzung (höchst selten im Gegensatz etwa zu Augiten und Hornblenden und vor allem den Glimmern).

Fassen wir wieder die beiden Gruppen 1.  $\frac{1}{4}$  mm—1 mm und 2. 1 mm—4 mm zusammen, so ergeben sich für die Schotter bzw. Sande des Glattals folgende Abrollungswerte für die Quarze:

	HT			NT			Ngfl.			Benken, Glassand			Nussbaumen		
1.	38	10	52	49	4	47	50	3	47	47	44	49	38	6	56
2.	30	7	63	44	7	49	40	6	54	42	3	55	35	6	59

Die Abrollungsgrade lassen diese Bildungen wieder auseinanderhalten, wobei Nussbaumen wieder die Mittelstellung einnimmt, die sich vorhin schon gezeigt hat. Der Unterschied zwischen HT und NT kommt bei den Quarzen allein noch besser zum Ausdruck.

Zur Klärung der eigenartigen Verhältnisse in der Nagelfluh, in welcher die grossen Gerölle (teils schon über 2 mm) hohen Abrollungsgrad zeigen, während die Sande sehr geringe Abrollung erkennen lassen, bedarf es weiterer Untersuchungen. Auch die Glassande von Benken zeigen diese geringe Abrollung, die aber doch etwas grösser als bei der Nagelfluh ist. Es soll aber darauf hingewiesen werden, dass in der untersuchten Nagelfluh 80—90 % Kalke und Dolomite auftreten, die für die Abrollung des feinen Sandes wegen ihrer geringen Härte nicht in Frage kommen. Versuche über

ähnliche Fragen wurden von MARSHAL (91, 92) durchgeführt und bestätigen diese Ansicht.

Es mögen an dieser Stelle noch die Abrollungsgrade anderer Sedimente angeführt werden, die zeigen, dass diese Methode Unterschiede leicht erkennen lässt.

Gletscher- bzw. Moränensande und Gerölle zeigen eine sehr geringe Abrollung. Als Beispiel liegen glaziale Sande aus NE-Grönland vor. Die Sande wurden von Dr. E. WEGMANN 1932/1933 gesammelt und sind z. Z. Gegenstand näherer Untersuchungen. Die Abrollungswerte der untersuchten Proben von Strömsnes und Renbugten lauten im Mittel C 70, P 8, V 22 (Korngrösse  $\frac{1}{4}$ —1 mm). Unter diesen Verhältnissen ist ein Wassertransport ausgeschlossen.

Strandsande der gleichen Gegend zeigen hingegen bereits starke Zunahme der Abrollung. C sinkt auf 55, P beträgt 12 und V 33.

Im Gegensatz zu diesen glazialen Sanden zeigen die äolischen Sande bedeutend grössere Abrollungsgrade. Als Beispiele liegen Sande aus der lybischen Wüste und der Sahara vor. Die Proben stammen aus der geologischen Sammlung der E. T. H. und wurden mir von Herrn Prof. Dr. A. JEANNET zur Benützung überlassen, wofür ich Herrn Prof. JEANNET an dieser Stelle herzlich danke.

Die Abrollungsgrade lauten:

	C	P	V
$\frac{1}{4}$ — 1 mm	25	9	66
1 — 2 mm	13	5	82

Die Abrollung ist weiterhin von der Transportweite abhängig. Die Mittelwerte für alle Gerölle wie die für die Quarze allein zeigen dies für die Schotter des Glattals deutlich (Tabelle 9).

Die Änderung des Abrollungsgrades erfolgt im gleichen Sinn wie die mit zunehmender Korngrösse. Damit wird der Satz von FUGGER und KASTNER bestätigt, der sagt: „Mit zunehmender Transportweite geht die Rundung auf immer kleinere Korngrössen über.“

Die Änderung der Abrollung ist bereits auf kleine Distanz wahrnehmbar. Als Beispiel mögen die Stationen Bülach (Moräne) und Eglisau erwähnt werden, die ca. 3 km auseinander liegen. Die Abrollungswerte dieser beiden Stationen sind von der der HT deutlich verschieden, können aber unter sich mit voller Sicherheit als zusammengehörig erkannt werden.

Der Schotter von Nussbaumen fällt wiederum deutlich heraus. Für die Quarze allein ist die Abhängigkeit ebenfalls, wenn auch nicht so deutlich, erkennbar.

Nach der Tabelle zeigt sich, dass zwei benachbarte Stationen nahezu übereinstimmende Werte der Abrollung besitzen. Je weiter die Stationen voneinander entfernt sind, umso grösser werden auch die Abweichungen der Abrollungsgrade untereinander. In einem genügend dichten Netz von Stationen können aber die zugehörigen Werte mit voller Sicherheit erkannt werden. Die Abweichung zweier Zählungen verschiedener Proben aus einer Kiesgrube sind von der gleichen Grössenordnung wie von zwei Zählungen einer Probe allein, also mit einem Fehler von ca. 1,5 % belastet. Das zeigt, dass die Abrollung innerhalb eines Sediments ausserordentlich gleichförmig ist und aus diesem Grunde als sicheres Kennzeichen bewertet werden darf und kann.

##### 5. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DES GEGENSEITIGEN EINFLUSSES VON KORNGRÖSSE, GERÖLLFORM, ABROLLUNG UND VOM MATERIAL

In jedem Schotter ist primär das Gesteinsmaterial vorhanden, das die Gerölle bildet.

Mit dem Gerölltransport findet eine Auswahl des Materials nach der Festigkeit, der Verwitterbarkeit und der Löslichkeit statt. Nur widerstandsfähige Gesteine werden Gerölle liefern, die lange Zeit bestehen können. Bei den Gesteinen ist weniger die Härte, als die Zähigkeit dafür massgebend, ob es ein Geröll bilden kann, das beständig ist. Aus diesem Grunde werden brüchige und sonst leicht zerstörbare Gesteine flussabwärts rasch aus dem Schotter verschwinden.

Die Änderung der Zusammensetzung mit der Korngrösse ist die natürliche Folge der Zerstörung der Gesteine und ihrer Zerlegung in die Einzelminerale. Je feiner ein Sand wird, umso mehr Einzelminerale treten auf.

Die Zerstörung der Gerölle kann mechanisch oder chemisch oder durch beide Prozesse vor sich gehen. In ariden und polaren Klimagebieten findet meist nur mechanische Zerstörung statt, so dass der ursprüngliche Chemismus und Zustand der Körner erhalten bleibt. In humiden, tropischen und feuchtwarmen Klimaten ist die chemische Verwitterung der Gesteine von wesentlicher Bedeutung.

ZEUNER (161) will, wie früher gesagt wurde, an Hand der Zusammensetzung auf die frühern Klimate schliessen können. Bei genauer Kenntnis der Einzugsgebiete können seine Vermutungen und Überlegungen etwelche Gültigkeit besitzen.

Die Geröllform ist nur in geringem Masse vom Material abhängig. Die Gesteinstextur kann die Geröllform in erster Linie beeinflussen. Schieferige Gesteine haben die Tendenz, flache Gerölle zu bilden. Allein da die flachen Gerölle zerbrechen und kugelige Gerölle liefern, ist es verständlich, weshalb der Einfluss des Materials nicht so deutlich in Erscheinung tritt.

Flache Gerölle kommen vor allem in den Flusschottern vor. In Strandschottern treten sie nach den allgemeinen Beobachtungen mehr untergeordnet auf. Die stark verschiedene Häufigkeit im Auftreten ist auf die Bildungsweise der flachen Gerölle zurückzuführen. Die Geröllformen sind in erster Linie auf die Geschiebebewegung zurückzuführen.

In jedem Fluss ist die Bewegung des Wassers gleichsinnig gerichtet. Am Strande hingegen erfolgt die Bewegung in Richtung und Gegenrichtung. Es findet ein Hin- und Herrollen statt. An allen Strandwällen kann diese wechselseitige Bewegung der Geschiebe beobachtet werden. Die grundsätzlich andere Bewegungsart in Flussläufen und am Strande wird durch die Versuche in Trommelmühlen bestätigt. In Trommelmühlen sind bis jetzt von massigen Gesteinen noch nie flache Gerölle erzeugt worden (MARSHAL (92), HOFFGON (65), WENTWORTH) (154). Die Frage der Entstehung der flachen Gerölle bleibt daher noch ungelöst.

SCHOKLITSCH (119) hat eine Versuchseinrichtung geschaffen, die vielleicht gestatten würde, diese Frage auf experimentellem Wege zu lösen.

Der Abrollungsgrad ist abhängig in erster Linie vom Material, sodann vom zurückgelegten Weg, von der Korngrösse und der Bewegungsart und dem transportierenden Medium. Der Abrollungsgrad von Gesteinen und Einzelmineralien muss gesondert behandelt werden.

Die Gesteine. Je feinkörniger ein Gestein ist, umso höher kann der Abrollungsgrad sein. Weiche Gesteine erhalten den vollkommenen Abrollungsgrad bei gleichem zurückgelegten Weg wie harte Gesteine. Die grobklastischen Gesteine weisen immer einen geringen Abrollungsgrad auf. Feinkörnige Sandsteine zeigen meist einen hohen Abrollungsgrad. Diese Unterschiede kommen bei den kleinen Geröllen deutlicher zum Ausdruck. Unter 1 mm sind nur noch die Kalke gut gerollt.

Die Mineralien. Der Abrollungsgrad der Mineralien hängt in erster Linie von der Spaltbarkeit ab. Ausser der Spaltbarkeit spielen die Härte und die Sprödigkeit eine Rolle.



Calcitkörner sind meist trotz der ausgezeichneten Spaltbarkeit gut gerundet. Es ist dies eine Folge der relativ geringen Härte. Glimmer tritt immer in Form von Blättchen auf und kann zur Bestimmung der Abrollung nicht verwendet werden.

Die Quarze sind zur Bestimmung des Abrollungsgrades am besten geeignet. Sie besitzen muscheligen Bruch ohne Bevorzugung einer gewissen ausgezeichneten Richtung. Viele Augite und Hornblenden sind in Spaltstücken vorhanden und geben auch kein richtiges Bild des Abrollungsgrades von Mineralien bezw. von Sanden. Sie weisen allgemein einen zu hohen Prozentsatz an planen Flächen auf.

Über die Abhängigkeit der Abrollung von der Kornform kann aus den gewonnenen Untersuchungen kein sicherer Schluss gezogen werden. Nach den Angaben von FUGGER und KASTNER soll ein deutlicher Unterschied zwischen kugeligen und flachen Körnern erkennbar sein.

Die Abrollung ist stark vom transportierenden Medium abhängig. Es steht ohne Zweifel fest, dass äolische Sande die beste Abrollung erkennen lassen. Die meisten Körner, die im Wasser transportiert worden sind, sind weniger gut gerollt.

Der höhere Abrollungsgrad von marinen und Strandsanden rührt sehr wahrscheinlich von der Mitwirkung des Windes her. Ein Teil der Strandsande steht in enger Verknüpfung mit Dünensanden und bildet meist Flugsand. Sandtreiben an flachen Küsten kann häufig beobachtet werden.

Die starken Unterschiede in der Abrollung sind die Folgen der stark verschiedenen Dichten von Luft und Wasser. In der Luft treten bedeutend grössere Transportgeschwindigkeiten auf als in Wasser. Der Transport setzt auch erst bei grosser Geschwindigkeit ein. Die Berührung von Korn zu Korn ist eine direkte ohne hinderndes Medium. Im Wasser findet der Transport einerseits bei geringern Geschwindigkeiten statt, zudem ist infolge der grossen Dichte und Reibung im Medium die Intensität des Zusammenstosses zweier Körner weit geringer als in der Luft.

## 6. DER GESCHIEBETRANSPORT UND ALLGEMEINE GEOLOGISCHE BEMERKUNGEN

Es ist hier nicht der Ort, die ganze Frage der Geschiebebewegung zu behandeln. Die bis jetzt vorhandene Literatur über diesen Gegenstand ist derart umfangreich, dass es eine Arbeit für sich wäre, die Entwicklung der Ansichten über die Geschiebebewegung zu ver-

folgen. Es sollen deshalb nur einige, im engern Sinne geologische Fragestellungen behandelt werden.

Die sich noch oft widersprechenden Beobachtungen über die Geschiebebewegung können dahin zusammengefasst werden, dass feststeht:

Ein Fluss transportiert seine Last teils suspendiert in Form der Sinkstoffe, teils als Geschiebe an der Sohle oder wenig über der Sohle des Flusses.

Die Hauptmasse der Geschiebe wird während der Hochwasser, und zwar zu Beginn der Hochwasser weggeführt.

Eine scharfe Grenze zwischen Sinkstoffen und Geschiebe besteht nicht, da nahezu alle Korngrössen suspendiert fortbewegt werden können. Grosse Geschwindigkeit oder hohes spezifisches Gewicht des Wassers (Schlammflüsse) vermögen vorübergehend fast alle Korngrössen zu befördern. Sinkstofftransport allein kann nahezu bei jeder Fliessgeschwindigkeit erfolgen. Eine allgemeine Grenzschiebekraft gibt es aus diesem Grunde nicht, da der Fluss zu jeder Zeit im Stande ist, eine gewisse Menge von Sinkstoffen oder Geschiebe zu fördern. Von einer Grenzschiebekraft kann nur in dem Sinne gesprochen werden, als eine gewisse Grenzgeschwindigkeit (Durchfluss) erreicht werden muss, bis der Transport eines bestimmten ruhenden Geschiebes beginnt. Diese kritische Geschwindigkeit wird Grenzgeschwindigkeit genannt, bezw. Grenzschiebekraft, das heisst die Schiebekraft, die gerade ausreicht, um den Transport zu ermöglichen.

Angaben über die Grenzgeschwindigkeiten, bei denen Gerölle eben fortbewegt, eingeworfene noch fortgenommen werden, sind in grosser Zahl vorhanden. Die angegebenen Werte schwanken aber in weiten Grenzen. Über nähere Angaben wie Kornform, Sohlenbeschaffenheit ist bislang kaum die Rede. Die Diskrepanzen zeigen, dass auch hier nähere Angaben über Kornform, Grösse, spezifisches Gewicht, Sohlenbeschaffenheit unerlässlich sind, um sich ein genaues Bild zu machen und die Daten vergleichen zu können.

Die vorliegenden Beobachtungen können dahin zusammengefasst werden, dass die Gerölle bei einer gewissen Geschwindigkeit zu vibrieren beginnen. Sie behalten die Vibration bei bis zu der Geschwindigkeit des Wassers, bei der das Geröll in die eigentliche Bewegung gerät. Diese letztere Geschwindigkeit beträgt nach SCHAFFERNAK (115) ca. das Doppelte von derjenigen, bei der die Gerölle in vibrierende Bewegung versetzt werden. Schon in Bewegung befindliche Gerölle werden bei einer Geschwindigkeit fortbewegt, die

ca. 30 % grösser ist als diejenige, bei der die Gerölle zu vibrieren beginnen.

Den Untersuchungen von SCHAFFERNAK ist ferner zu entnehmen, dass von einer Korngrösse an, hier 30 mm, keine wesentliche Steigerung der Sohlengeschwindigkeit mehr nötig ist, um auch grössere Geschiebestücke fortzubewegen. Diese Annahme gilt bei Verwendung von Mischungstyp 3. Andererseits ist nach seinen Untersuchungen auch ersichtlich, dass sich flache und kugelige Gerölle verschieden verhalten.

Während zur Erregung und Fortbewegung der flachen Gerölle grössere Geschwindigkeiten nötig sind als für kugelige, liegen bei den schon in Bewegung befindlichen Geröllen die Verhältnisse umgekehrt.

SCHAFFERNAK (115) berichtet über die Bewegung folgendes: „Mit allmählicher Steigerung der Sohlengeschwindigkeit werden die Geschiebestücke, seien sie flach oder rund, zuerst in einen pendelnden und vibrierenden Zustand mit zunehmender Heftigkeit versetzt und hierauf plötzlich abgetrieben. Man gewinnt den Eindruck, als ob die Geschiebestücke immer leichter würden, um dann wie gewichtslose Körper weggetragen zu werden. Dieser Vorgang trat später bei den eigentlichen Geschiebeversuchen noch mehr in Erscheinung, wobei man überdies erkennen konnte, dass nach Überwinden dieses Grenzzustandes das Geschiebe wie eine breiartige Masse abfloss, und nicht wie immer vermutet wird, die einzelnen Stücke in grossen Sätzen flussab eilen.“

Diese Beobachtung, andere unterstützen sie, zeigt, dass der wesentlich in Betracht kommende Geschiebetrieb als breiige Masse von Geröllen sehr verschiedener Korndurchmesser erfolgt. Was bei Mittel- und Niederwasser noch transportiert wird, entspricht einer Entmischung des im Flussbett vorhandenen Schotter. Aus jenem nachträglichen Abtransport des feinen Materials, des feinen Kieses und Sandes, resultiert die Sohlenpflasterung.

Analoge Beobachtungen und Vermutungen werden unterstützt durch die Versuche und durch die Charakteristik des Geschiebes selber. Wenn auch den Laboratoriumsversuchen eine absolute Gültigkeit in diesen Fragen nicht zukommt, so geben sie doch Auskunft über das prinzipielle Verhalten der Schotter. Die diesbezüglichen Versuche von SCHAFFERNAK (115) haben ergeben, dass derjenige Schotter bevorzugt wird, der bei einer minimalen Geschwindigkeit des Wassers den vollen Geschiebetrieb ergibt, so dass bei einer auch

nur geringen Zunahme der Geschwindigkeit, sofort die im Schotter vorkommenden grössten Gerölle mitbewegt werden.

Die Charakteristik eines solchen Schotters entspricht dem Mischungstyp 3. Bei dieser Mischung werden innerhalb einer Geschwindigkeitsänderung von  $10\text{--}20\text{ cmsec}^{-1}$  alle Gerölle von  $0\text{--}50\text{ mm}$  transportiert.

Die gleichen Resultate wurden auch mit natürlichen Flussschottern erreicht.

Für die ideale Aufbereitung beträgt die Geschwindigkeit für ein Korn von  $50\text{ mm}$  das 2-fache wie für ein Korn von  $10\text{ mm}$ , dabei sind die Ergebnisse noch stark streuend.

Für den natürlichen Schottertyp gelten die oben angeführten Bemerkungen. Der natürliche Schotter entspricht annähernd dem Mischungstyp 3.

Die Charakteristik der für den Geschiebetrieb günstigen Schotter entspricht weitgehend derjenigen für die Sinkstoffe in einem Fluss. Es ist deshalb die Annahme berechtigt, und die oben angeführten Beobachtungen scheinen sie zu bestätigen, dass der wirksame Geschiebetransport nach Art der Sinkstoffe erfolgt.

W. SCHMIDT (118) kommt in seiner grundlegenden Arbeit über den „Massenaustausch in freier Luft und verwandten Erscheinungen“ zu den gleichen Schlussfolgerungen.

Es findet also während dem Transport eine starke Durchmischung der Wassermenge mit dem Geschiebe statt, deren feines Material bis an die Oberfläche des Stromes bzw. des Gerinnes verteilt vorkommt, während die Geschiebe mehr in Sohlnähe transportiert werden. Die Suspension wird unterstützt durch die Erhöhung des spezifischen Gewichts des Wassers bei dessen vollständiger Durchtränkung mit Sand und Schlamm.

Dadurch wird auch die Sinkgeschwindigkeit der einzelnen Teilchen vermindert, und die Viskosität wird vergrössert.

Darüber gibt die von COLLET (24) aufgestellte Tabelle Auskunft. Die in der nachstehenden Tabelle angeführten Zahlen bedeuten die Fallzeiten in Sekunden bei einer Fallhöhe von einem Meter.

Abhängigkeit der Sinkgeschwindigkeit von der Dichte des trüben Wassers (nach COLLET)

Ø	Dichte	0,999	1,003	1,064	1,100	1,150
0,36		3,8	3,8	4	4,4	6,2
0,18		6,0	6,0	6	7,6	11,2
0,068		11,2	11,6	13	15,4	21,2
0,043		16,8	17,3	19,3	22,3	31,8

Ø	Dichte	0,999	1,003	1,064	1,100	1,150
0,035		20,0	21,0	24,0	29,6	50,0
0,029		23,0	24,2	28,2	37,1	69,0
0,027		25,0	27,3	32,2	50,0	89,0
0,018		42,0	46,4	60,0	90,0	160
0,017		43,0	50,0	67	101	178
0,013		64	76	102	154	266
0,011		100	119	160	225	420
0,008		180	208	265	382	
0,006		275	314	394	530	
0,005		390	440			

Betrachtet man die Korngrößenverteilung der Anteile 0—1 mm, so zeigt sich ein Bild, das gleichermassen geeignet ist, Hinweise auf die Geschiebebewegung und den Saigerungsvorgang zu liefern.

Allen Schottern gemeinsam ist die Armut am Anteil der Korngrößen von 0—0,2 mm. Die Charakteristik dieser Korngrößenklasse für sich entspricht jener der Sinkstoffe, der Flusstrübe.

Die Absatzbedingung der Sinkstoffe ist derart, dass bestimmte Korngruppen miteinander sedimentieren. In diesen Sedimenten herrschen nach KÖBL gewisse Korngruppen gegenüber andern vor, wie schon an früherer Stelle hervorgehoben wurde.

Die Mischungslinien geben also Auskunft über den Sedimentationsvorgang. Die Anwendung der Schlüsse hat aber mit einiger Vorsicht zu geschehen. Es bedarf noch vieler Versuche, um diese Fragen abzuklären.

Nach den obigen Gesichtspunkten liessen sich folgende Gruppen von Sedimenten nach ihrer Bildungsweise unterscheiden:

Natürliche Mischungen, bei momentaner Sedimentation des gesamten transportierten Materials: Schotter und Flussande, Schutt von Schlammflächen.

#### Entmischungen:

Sohlenpflasterungen,  
ausgeblasene Wüstensande.

#### Saigerung:

Schotter mit Deltastruktur,  
Wüstensande, vulkanische Tuffe.

Bei Strandschottern bzw. Sedimenten finden Entmischung und Saigerung gleichzeitig statt.

Unter Entmischung verstehe ich hier die Umänderung, das Auswaschen eines bereits bestehenden Sediments. Die Saigerung hingegen findet während der Sedimentation statt.

Die Charakteristik allein genügt nicht, mit Sicherheit Unterscheidungen vorzunehmen, andere Kennzeichen müssen noch zu Hilfe gezogen werden. Abrollung und Korngrösse sind ebenfalls massgebend.

Die klastischen marinen und limnischen Sedimente sollen hier nicht näher behandelt werden. Ich verweise auf die vorzügliche Arbeit von MARSHALL „Beach sands and gravels“ (92). In Form eines Überblicks seien nur einige Punkte erwähnt.

Durch die grundsätzlich andere Bewegungsart des Wassers längs der Küste gegenüber derjenigen in Flüssen ist auch ein anderer Sedimenttypus zu erwarten. Die Bewegung des Wassers erfolgt nicht in einer Richtung, sondern sie erfolgt periodisch in Richtung und Gegenrichtung. Das Rückfliessen ist nach den gemachten Beobachtungen intensiver, es erfolgt in Richtung des Gefälls und der Schwerkraft.

Durch die wechselseitige Bewegung wird der Schotter am Strande aufbereitet. Es findet eine Saigerung im vorigen Sinne statt. Diese geht in einer vom Wasserstand bestimmten Zone von statten. Der Schotter wird teils als Strandwall angehäuft und wird durch die Brandung bearbeitet. Es findet eine weitgehende Entmischung statt, indem das feine Material auf der Abrasionsfläche mehr und mehr seewärts transportiert wird. Dieser Prozess kann durch Küstenströmungen stark beeinträchtigt werden. In diesem Falle finden starke Küstenversetzungen statt (Adria, Ostsee).

Diese Beobachtungen werden durch die Charakteristik vollauf bestätigt.

Die Kenntnis der Geschiebebewegung hat ganz allgemein grundlegende Bedeutung für Geologie und Morphologie.

Die Fragen über Flusserosion und Aufschotterung stehen im engsten Zusammenhang mit der Geschiebebewegung. Die Ansichten über die Tiefenerosion in Flüssen haben sich weitgehend nach der Kenntnis der Transportmechanik des Geschiebes zu richten. Über die Kenntnis der Transportmechanik des Geschiebes sind wir aber noch wenig und ungenügend unterrichtet.

Jeder Fluss führt Fracht mit sich. Die Körnung der mitgeführten Stoffe richtet sich nach der Schleppkraft des Flusses und nach dem zurückgelegten Weg des Geschiebes.

Tiefenerosion in einem Fluss kann nur stattfinden, wenn

1. ein Teil des Untergrundes, die feste Sohle, freiliegt, oder
2. wenn die ganze Geschiebemasse, die bewegliche Sohle, über die feste hingeleitet.

Im ersten Fall ist die Erosionstätigkeit partiell, das heisst nur auf kleine Strecken beschränkt, im letzteren Fall kann sie auf grössern Strecken gleichzeitig stattfinden.

Im ersten Fall ist Tiefenerosion des Flusses praktisch jederzeit möglich, da auch das Wasser ohne Sink- und Schwebstoff erodieren kann. Starke Erosion wird aber nur bei starkem und vollem Geschiebetrieb erfolgen können, also bei beweglicher Sohle. Es wird vielfach noch bestritten, dass die ganze Sohle als breiige Masse abfliessen kann. SCHAFFERNAK und SINGER haben diese Tatsache im natürlichen Fluss und im Laboratorium nachgewiesen.

Dazu ist zu bemerken, dass die Sohle natürlicherweise nicht in partiellen parallelen Schichten fliessen muss, wie meistens als Argument gegen die Beweglichkeit der Sohle angeführt wird, sondern eine begonnene Bewegung greift immer tiefer. Mit andern Worten: es findet zuerst eine Erosion der beweglichen Sohle statt. Wichtig aber bleibt doch, dass als Endergebnis die ganze Sohle, die gesamte Geschiebemasse in Bewegung ist.

Der Grund, warum diese Anschauung bestritten wird, liegt darin, dass in den meisten Versuchen — ausser denen von SCHAFFERNAK (115) — Schotter idealer Aufbereitung ohne feines Material verwendet wurden. Aber gerade der Sand und Schlamm ist für den Geschiebetrieb von ausschlaggebender Bedeutung (Du Bois und SCHOKLITSCH).

Die allgemeinen Beobachtungen über die Erosion und den Geschiebetransport in der Natur fordern diese Beweglichkeit der Sohle.

Die intensivste Erosion kann denn auch immer bei Hochwasserperioden beobachtet werden. SINGER scheint den Beweis erbracht zu haben, dass während Hochwasserperioden die ganze Sohle in Bewegung ist (126). Bei seinen Untersuchungen hat sich ergeben, dass eine Peilstange bei geringen Geschwindigkeiten ohne nennenswerten Geschiebetrieb nicht in die Sohle eindringt. Je stärker aber der Geschiebetrieb zur Geltung kommt, umso tiefer liess sich die Peilstange ohne grosse Mühe in den Schotter eintreiben.

Nach dieser Beobachtung und Erfahrung zu schliessen, müssen wir annehmen, dass die Sohle, wenn auch nur im Stromstrich, in ihrer ganzen Mächtigkeit abfliessen kann.

Damit kann auch die starke Erosion, die immer wieder beobachtet wird, erklärt werden.

Das Auftreten von natürlichen Mischungen bei der Mehrzahl der Schotter ist auf diese Weise ebenfalls ohne weiteres zu verstehen. Flussschotter, in denen das feine Material fehlt, weisen deshalb sicher auf sekundäre Umlagerungen hin.

Ob die Gesamterosion nach den ersten Bedingungen oder in Hochwasserperioden vor sich geht, muss für jeden einzelnen Fall für sich entschieden werden. Meiner Meinung nach findet die Haupterosion zur Zeit der Hochwasserperioden statt.

Was die Aufschotterung anbetrifft, so ist diese für die Geologie und Morphologie ebenso bedeutungsvoll wie die Erosion. Es sei hiebei nur an die ausgedehnten Schotterfluren im Alpenvorland erinnert.

Die wirklichen Ursachen dieser Aufschotterung sind uns noch unbekannt. Die Aufschotterung ist von verschiedenen Bedingungen abhängig, die wir in Rechnung stellen können.

Die Schleppkraft eines Flusses ist, wie wir gesehen haben, von einer Reihe Faktoren, die wir hier nicht näher berücksichtigen können, abhängig. Es seien genannt das Gefälle, die Wassertiefe, das spezifische Gewicht des Wassers und des Geschiebes.

Für die Aufschotterung kommen in erster Linie in Frage: Gefällsänderungen im Sinne einer Verkleinerung, ferner eine Verminderung der Wassertiefe.

Für die Gefällsänderungen kommt eine Hebung der Erosionsbasis, oder eine Senkung des Quellgebiets, der Alpen, oder eine grossräumige Bewegung, eine Verbiegung (Schaubewegung) in Frage.

Die Verminderung der Wassertiefe kann von klimatischen Ursachen und von der Verwilderung des Flusses herrühren.

Was die Gefällsverminderung anbetrifft, so sind in jüngster Zeit Verbiegungen festgestellt worden. Sie befinden sich aber in der Alpenzone, also nicht mehr im Bereich der Schotterfluren des Alpenvorlandes. Diluviale Krustenbewegungen im Gebiete des heutigen nördlichen Mittellandes sind bis jetzt nicht mit Sicherheit nachge-



wiesen worden. Eine Änderung der Gefällsverhältnisse durch tektonische Bewegungen kommt also kaum in Frage. Sicher ist hingegen, dass eine Tieferlegung der Erosionsbasis des Rheins in diluvialer Zeit stattgefunden hat. Sie bewirkte die verschiedenen Talbildungsperioden.

Zur Erklärung bleibt also noch die Verminderung der Wassertiefe. Über die Veränderungen des Klimas zur Diluvialzeit liegt eine reiche Literatur vor. Eine Verminderung der Wassertiefe durch klimatische Einflüsse kommt wohl gar nicht in Frage, denn die grossen Schottermengen verlangen nicht geringe Wassermengen, sondern grosse.

Die Verminderung der Wassertiefe kann jedoch auf eine Art erfolgen, wie sie heute noch an rezenten Flüssen auftritt.

Im Oberlauf ist der Fluss im allgemeinen an sein Bett gebunden. Die Schleppkraft ist größer als es die Menge zugeführten Geschiebes verlangt. Der Fluss erodiert, tieft sein Bett ein.

Im Mittellauf und völlig im Unterlauf ist die Transportkraft kleiner als der Menge zugeführten Geschiebes entspricht. Der Fluss erhöht sein Bett, er tritt über die Ufer und verwildert. Es entspricht das dem Naturzustand eines jeden Gebirgsflusses, der in die Ebene austritt. Diese Zerteilung in einzelne Arme entspricht zugleich der Verminderung der Wassertiefe und damit einer neuen Abnahme der Schleppkraft, die schon durch die Gefällsabnahme eine Verminderung erfahren hat.

Der Grossteil der Geschiebefracht wird gerade bei Hochwassern rasch abgesetzt. Die Aufschotterung ihrerseits bewirkt selbst wieder eine Verminderung des Gefälles, so dass diese immer weiter flussaufwärts greift.

Die meisten Mischungskurven der Vorlandschotter zeigen die schon oft erwähnte Form. Dadurch wird es wahrscheinlich gemacht, dass die Hauptmasse der Geschiebemengen des Mittellandes und der Nagelfluh zur Zeit von Hochwasserfluten abgelagert worden sind.

Dass daneben gleichwohl noch Ablagerungen anderer Art vorkommen können, zeigen die rezenten verwilderten Flüsse. Es findet innerhalb der aufgeschütteten Schotter Erosion, neue Aufschüttung und Umlagerung statt, ohne aber das Gesamtbild der Akkumulationsperiode zu verwischen, denn dazu müsste ja die ganze Schottermächtigkeit umgelagert werden.

Heute noch finden alljährlich Hochwasserfluten statt, die in gefestigten Flussbetten abfliessen. Trotzdem kommt es immer wieder

zu Aufschüttungen. Es sei nur an die grosse Überschwemmung des Rheins in Liechtenstein erinnert.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass gerade zur Zeit des Rückzugs der grossen diluvialen Gletscher Hochwasserperioden häufiger vorkamen, und damit die Aufschotterung des Vorlandes intensiver war als zu Zeiten mit geringer Wasserführung. In diesem Zusammenhang muss auch erwähnt werden, dass die Rückzugsperioden grosser Gletscher Gletscherseen freien Abzug verschaffen, wodurch grosse Mengen Schotter mit grossen Korngrössen weit ins Vorland transportiert werden können. Auch in unsern Schottern sind Anhaltspunkte derartiger Hochwasserkatastrophen wahrzunehmen.

Aufschotterung im Stau von Flüssen konnte im Glattal lokal beobachtet werden, ohne dass diesen Ablagerungen eine wesentliche Bedeutung zukäme.

Klar liegen die Verhältnisse bei Anlandungen in Seen.

## **C. Kurze Charakterisierung eines Einzelbeispiels: Die Schotter des Glattals**

### **1. GEOLOGISCHE ÜBERSICHT ÜBER DAS GLATTAL**

Das Glattal nimmt unter den Tälern des schweizerischen Mittellandes eine Sonderstellung ein, die sich in verschiedener Hinsicht kund gibt. J. FRÜH (47) bezeichnet es treffend als ein morphologisches Unikum unter den schweizerischen Landschaften.

Das Glattal setzt — nach morphologischen Gesichtspunkten beurteilt — im Süden, an der Wasserscheide gegen das Zürichseetal unmittelbar mit einer Breite von 7,5 km ein und erstreckt sich in NW Richtung bis an den Rhein. Es liegt ganz innerhalb der flachliegenden Molasse. Von den Voralpen ist es durch das ca. 120 m tiefer liegende Zürichseetal getrennt. Die Wasserscheide verläuft in einer Höhe von 520—550 m unbestimmt west-ostwärts. Sie erstreckt sich von der Passhöhe Oetwil-Männedorf über Adletshausen, Burg bei Bubikon, Herschmettlen nach Hinwil. Sie fällt annähernd mit der flachen Molasseantiklinale zusammen.

Das Glattal senkt sich von dieser Firstlinie bis zum Rhein bei einer Distanz von 42 km um 200 m. Dieser Höhenunterschied wird von der Aa und der Glatt, die das Tal zur Hauptsache entwässern, in zwei ausgeprägten Stufen überwunden. Die eine Stufe findet sich wenig nördlich der Wasserscheide gegen das obere Zürichseetal. Sie fällt morphologisch besonders in der Gegend von Ottikon-Grüningen auf. Im Zusammenhang mit der Stufe treten Wasserfälle auf, die in erster Linie an Nagelfluhbänke gebunden sind. Der westliche Teil des Glattals senkt sich auf eine Distanz von 4 km um 60 m. Der östliche Teil des Tales behält seine Höhe bis gegen Pfäffikon-Fehraltorf, woselbst es durch die Kempt entwässert wird.

Die letztere durchbricht den Sattel zwischen Brüttener Höhe und Kyburg. Der Pfäffikersee entsendet seinen Abfluß nach dem Greifensee. Die zweite

Gefällsstufe setzt südlich Bülach ein (410 m) und endigt mit der Einmündung der Glatt in den Rhein (340 m).

Die Glatt, und südlich des Greifensees die Mönchaltorfer Aa, halten sich vorzugsweise auf der linken Talseite, worauf an anderer Stelle noch hingewiesen werden soll.

Das Glattal nimmt — nach morphologischen Gesichtspunkten beurteilt — in seinem ganzen Verlauf keine neuen Täler auf, und die Glatt erhält nur von einigen kleineren Bächen etwas Zuzug. Vielmehr fällt auf, dass vom Glattal eine Reihe Täler ausstrahlen, deren Entwässerung heute infolge Moränenabdämmungen der Glatt zufließen. Im obern Tal schwenkt das Kempttal gegen die Töss ab. Im untern Glattal schwenken Furttal, Wehntal, ursprünglich vielleicht noch das Bachsertälchen, das Tal von Windlach sowie das Trockental Bülach-Kreuzstrasse-Eglisau vom Stammthal ab. In dieser Beziehung finden wir im schweizerischen Mittelland kein anderes Tal mit annähernd den gleichen Verhältnissen.

Das heutige Entwässerungsnetz steht im Widerspruch mit der weiträumigen Talanlage. Es besteht deshalb die Ansicht, die übrigens sicher feststeht, dass das Glattal seines ursprünglichen Stammflusses beraubt wurde.

Wann und unter welchen Bedingungen diese Flussverlegung erfolgte, ist trotz der weitgehenden Kenntnisse über das Glattal noch nicht sicher gestellt. Die ganze Frage wird unentschieden bleiben, solange die glazialen und interglazialen Ablagerungen und Bildungsbedingungen nicht völlig bekannt sind. Gerade hier im Glattal sind diese Bildungen stark verbreitet.

Es zeigte sich in den letzten Jahren, dass im schweizerischen Mittelland mit dem Schema der vier Eiszeiten von PENCK und BRÜCKNER nicht überall alles erklärt werden kann. Ferner zeigen die neuern Untersuchungen, dass in der Erkenntnis der Genese unserer Täler in vieler Hinsicht noch manche Lücke besteht. Speziell gilt das auch vom Glattal und dem mit ihm im engsten Zusammenhang stehenden Zürichseetal.

Das Glattal ist eingesenkt zwischen die Molasserücken Pfannenstiel-Zürichberg - Käferberg - Altberg - Lägern E-Ende und Stadlerberg einerseits und die Molassehöhen der Allmannkette, Brüttenerhöhe und dem Dettenberg anderseits.

Mit Ausnahme etwa der Talstrecke Kloten-Bülach fehlt dem Glattal ein einheitlich ausgebildeter Talboden.

Die morphologische Gestaltung ist vollständig abhängig vom geologischen Bau. In der Gegend der Wasserscheide steht Molasse an. Nagelfluhbänke treten nur noch vereinzelt auf. Die Nagelfluh nimmt im Raume des Glattals von Osten nach Westen an Mächtigkeit und Zahl der einzelnen Bänke ab.

Das Tal der Mönchaltorfer Aa ist ganz in die Molasse eingesenkt. Die Talhänge des linken Greifenseeufers werden von mächtigen Moränen begleitet. Sie sind vielfach als Blockwälle ausgebildet (Fällanden). Auf der rechten Talseite ist die Molasse bis zum Städtchen Greifensee aufgeschlossen (Herschmettlen, Gossau, Riedikon, Greifensee).

Mit Ausnahme des noch zur Einheit des Glattal zu rechnenden Kempttals schneidet die Glatt vom Ausfluss aus dem Greifensee bis an den Rhein die Molasse nirgends an. Die höhern seitlichen Talhänge bestehen alle aus Molasse

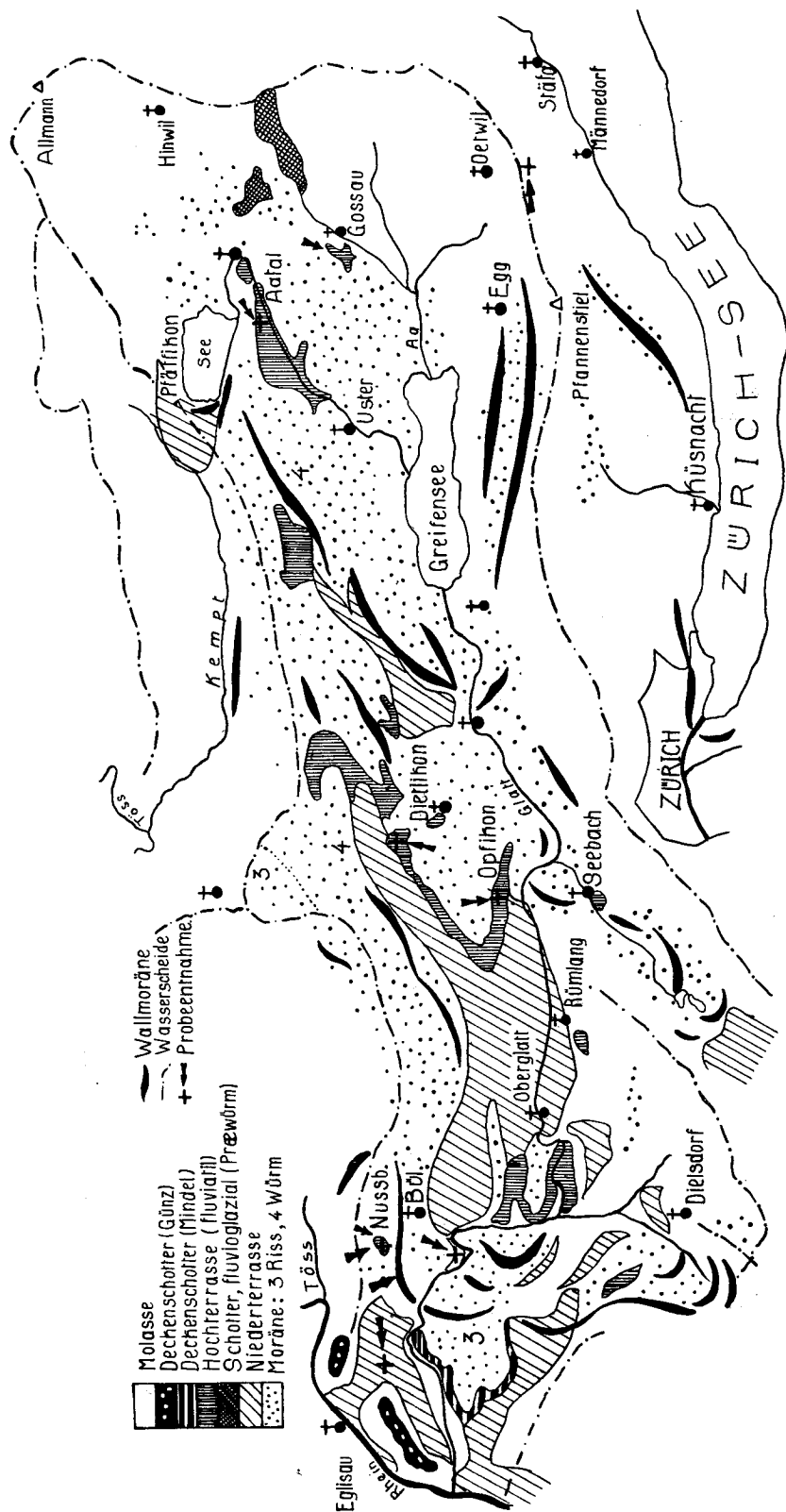


Fig. 20. Geologische Übersichtskarte des Glattals. Nach Zusammenstellung von H. Suter und eigenen Beobachtungen.

mit ihrer in der Mächtigkeit wechselnden Moränendecke. Im untern Glattal tritt in der Zone der nach E ausstreichenden Lägerantiklinale und in den nördlich daran anschliessenden Gehängen Vindobon und Burdigalien zu Tage. Ausser der oben erwähnten Molasserippe von Gossau - Greifensee, die wahrscheinlich die westliche Kante einer grossen Terrasse darstellt, tritt sie auch weiter talabwärts als Inseln aus den diluvialen Schottern. In einer Kiesgrube bei Rieden - Wallisellen wurde Molassesandstein erschlossen, während sonst das ganze Plateau von Dietlikon - Wallisellen - Opfikon - Kloten aus Hochterrasse besteht.

Ein weiteres Molassevorkommen befindet sich bei Seeb (Winkel-Bachenhölach), das gleichsam als Insel aus den umgebenden Schottern ragt.

Zwischen Glattbrugg - Seebach und Rümlang erscheint ein Molassesporn, der das heutige Glatt- und Furttal voneinander trennt.

Die Molasse bildet einen nach NW ziehenden flachen Rücken. Südlich der Bahnlinie Oberglatt - Dielsdorf sticht marine Molasse aus (Muschelsandstein). Eine weitere, durch jüngere Moränen stark überdeckte Insel bildet der Hörberg (476 m) östlich von Neerach. Nördlich des Hörbergs tritt Molasse am Strassberg zu Tage.

Der Grossteil des Glattals, mit Ausnahme des Mönchaltorfer Teilstücks, ist mit Ablagerungen diluvialen Alters erfüllt. Im überwiegenden Maße sind es Schotter, welche die tiefe ehemalige Talrinne erfüllen. An Mächtigkeit untergeordnet, aber in grosser Ausdehnung und für die Morphologie von ausschlaggebender Bedeutung sind die Moränen.

Auf die Schotter ist man schon frühzeitig aufmerksam geworden. Im letzten Jahrhundert war es vor allem ARN. ESCHER v. d. LINTH, der im Zusammenhang mit dem Vorkommen der Schieferkohlen darauf hingewiesen hat. Im untern Glattal sind sie von DU PASQUIER eingehend bearbeitet worden (98). Seither sind eine ganze Reihe Arbeiten erschienen, die sich mit den alten Schottern beschäftigen. Es sind in erster Linie folgende Autoren zu nennen: PENCK und BRÜCKNER (100), HUG (68, 70 und 71) und BODENBURG-HELLMUND (14) mit ihrer monographischen Arbeit über die Drumlinlandschaft, die sich auch eingehend mit den Aatalschottern beschäftigt.

Die Verhältnisse der Schieferkohlen von Dürnten und Wetzikon sind in den Beiträgen zur Geol. Karte der Schweiz, Geotechn. Serie, dargestellt worden.

ALB. HEIM hat in seiner Geologie der Schweiz eine zusammenfassende Darstellung gegeben (62).

A. PENCK (101, 102, 103) und neuerdings A. WEBER (150, 151) haben sich den alten Glattalschottern wieder zugewandt; trotzdem bleibt immer noch manche Frage offen.

Die Hochterrassenschotter des Glattals setzen östlich Herschmettlen (Fuchsbühl) unmittelbar ein, und erreichen schon nach 1,5 km eine Mächtigkeit von über 20 m. Dem äusseren Ansehen nach ist es ein an der Oberfläche gut verkitteter Schotter. Die in diesem Schotter angelegten Kiesgruben sind deshalb aufgelassen. Der Schotter läßt sich östlich des Molasserandes Herschmettlen-Gossau bis nördlich dieser Ortschaft verfolgen, wo er in einer Reihe grossangelegter Kiesgruben vorzüglich aufgeschlossen ist. Er ist hier als typischer Deltaschotter entwickelt. Die einzelnen Kiesbänke fallen mit ca. 15—20°

nach NW ein. Der Schotter wird in der Grube Krährüti von mächtigen Sandlagern überdeckt. Sogenannte Übergusschichten sind keine vorhanden.

In einzelnen Kiesbänken sind die Gerölle mit einer tiefroten Verwitterungskruste überzogen. Der Schotter ist der Grösse der Gruben entsprechend sehr standfest. Die Wände sind über 12 m hoch. Der Schotter ist nur ganz lokal und in der Nähe der Oberfläche zu Nagelfluh verkittet.

Das nächste Vorkommen tritt in der Breite bei Bertschikon zu Tage. Östlich vom Rebacker bei Sulzbach wurde im Herbst 1931 unter einer Moränendecke der gleiche Schotter erbohrt (Grundwasserfassung).

In grosser Ausdehnung wird er erst im Aatal wieder sichtbar. Hier bildet er bis 30 m hohe Wände mit Höhlenbildungen. In verschiedenen Kiesgruben wird er ausgebeutet. Bei der Station Aatal ist er links und rechts der Talseite sehr schön aufgeschlossen. Der Schotter ist stark verkittet. Der Abbau erfolgt mittelst Kompressoren. Sprengungen sind immer wieder nötig. Der Schotter ist horizontal gelagert mit deutlicher, wenn auch nicht ausgeprägter Schichtung.

Talabwärts sticht er immer wieder an Steilhängen als stark verkitteter Schotter unter dem Rasen hervor (Freudwil, Gutenswil, Volketswil).

Der Hochterrassenschotter nimmt in dem mit Wallmoränen überdeckten Plateau von Wangen-Tagelswangen grössere Ausdehnung an. Er ist meist gut geschichtet und gut verkittet. An Steilhängen hat er zu Höhlenbildungen Veranlassung gegeben. Er ist hier einer der besten Grundwasserträger des Glattals.

Die Rinnenschotter, die bis dahin sichtbar an die Talflanken gebunden waren, treten nunmehr im Tal selber auf. Sie bilden das Plateau von Dietlikon-Wallisellen - Opfikon - Kloten.

An der Oberfläche ist der Schotter meist stark verkittet. In einzelnen Partien einer einheitlichen Höhe sind sehr feine Sande bis Tone eingelagert. Die Schichtung ist überall, wenn auch nicht deutlich vorhanden. Die Schotter werden in einer Anzahl grosser Kiesgruben ausgebeutet.

Ein isoliertes Vorkommen bilden die Schotter, die den Schulhaushügel von Seebach aufbauen. Die grossen Gruben sind der starken Bebauung wegen fast aufgelassen. In der Grube nördlich des Bahnhofs Seebach sind an der Basis der Grube Schotter mit lehmiger Zwischenmasse zu beobachten. Auf der Nordseite des Hügels treten in einzelnen Lagen sehr grobe Schotter auf. Es sind darin hin und wieder gekritzte Geschiebe gefunden worden.

600 m NW von Rümlang wird gut verkitteter Schotter in zwei Gruben ausgebeutet. In der nördlichen Grube wird die Molasseunterlage angefahren. Der Schotter keilt bergwärts auf kurze Distanz aus. Er liegt direkt ohne Moränenzwischenlagerung der Molasse auf.

In Oberglatt, in der Nähe der südlichen Glattbrücke wird ein wenig verkitteter Schotter im Liegenden der Würmmoräne ausgebeutet. Die Grube ist teilweise schon zusammengefallen.

Ausgedehnte Vorkommen sind von Bülach an talabwärts aufgeschlossen, teils in Gruben, teils an den Steilhängen des jungen Glattdurchbruchs. Der Schotter wird stellenweise von Moränen des Würmmaximalstadiums überlagert. Einzelne dieser Vorkommen werden noch verschieden gedeutet, da immer noch die Höhenlage und etwa noch das äussere Aussehen als maßgebend be-

trachtet werden. Die Schottervorkommnisse auf der linken Talseite bei Neerach und am Eingang ins Bachsertal sind noch wenig untersucht. Sie gehören aber mit grosser Wahrscheinlichkeit der Hochterrasse an.

Bei Brüttisellen ist man bei 40 m Tiefe noch nicht auf die Molasse gestossen. In jüngerer Zeit sind im obern Glattal eine Reihe von Bohrungen ausgeführt worden, die in ihrem Liegenden überall die Hochterrasse erreichten und teils bis auf die Molasse vorgetrieben wurden. Alle diese Bohrungen finden sich auch auf der rechten Talseite. Vor Jahren ist bei Stettbach-Schwamendingen auf der linken Talseite eine Bohrung in der Hochterrasse vorgenommen worden.

Erst bei Zweidlen schneidet die heutige Glatt die Molasse an.

Die jungen Ablagerungen im Glattal, besonders die jungen Schotter und Moränen sind besser zu erkennen und bieten keine Schwierigkeit hinsichtlich ihrer Zuordnung. Im obern Glattal handelt es sich um die mächtigen und ausgedehnten Ablagerungen von Moränen, die wir in Form der Drumlins finden. J. FRÜH und BODENBURG-HELLMUND haben diese Landschaft eingehend beschrieben. Typische Moränenkränze durchqueren das Tal bei Volketswil-Gfenn-Dübendorf (Zürichstadium). Im untern Glattal befinden sich Endmoränen bei Oberglatt und dem Höhragen, sowie nördlich von Bülach (Würm-Maximum).

Die Seitenmoränen sind vielfach sehr stark entwickelt. Besonders erwähnenswert sind die Wälle mit den Blockschwärmen von Fällanden. Auf der andern Talseite sind Seitenmoränen von Gutenswil bis gegen Volketswil zu verfolgen. Etwas unbestimmter im Verlauf sind die Seitenmoränen des Plateaus von Wangen bis Illnau. Über Nürensdorf bis Bachenbülach und den Dettenberg ziehen sich Wälle, mehr oder weniger zusammenhängend, hin.

Niederterrassenschotter sind in ihrer Verbreitung untergeordnet. Echte Niederterrasse findet sich erst ausserhalb des Endmoränenkranzes von Bülach. Im südlich davon gelegenen Teil des Tales handelt es sich um Teilfelder, um Rückzugsschotter. Es sind das die Felder von Bassersdorf-Kloten, Glattbrugg-Rümlang und die leichte Niederterrassendecke von Dübendorf. Das letztere Feld ist noch bis nach Gutenswil den Seitenmoränen entlang zu verfolgen.

Im Kempttal zieht sich ein kleines Schotterfeld, der Niederterrasse angehörig, von Pfäffikon bis gegen Illnau (Tal).

Grosse Teile des Glattales sind in den letzten Jahrzehnten entwässert worden. Das grösste noch zusammenhängende Sumpfgebiet liegt zwischen Kloten-Rümlang und Oberglatt-Bachenbülach.

### Die Aatalschotter (Hochterrassenschotter im Sinne MÜHLBERGS) des Glattals

Obwohl die Hochterrassenschotter, wie sie im Glattal vorkommen, schon von vielen Autoren untersucht wurden, sind sie in neuerer Zeit abermals Gegenstand der Untersuchung geworden.

Die Schüler von ALB. HEIM, besonders HUG und BODENBURG-HELLMUND (14) sehen in den Hochterrassenschottern das zeitliche Äquivalent der Risseiszeit. In jüngerer Zeit ist von A. PENCK (101—103)

und A. WEBER (150, 151) gezeigt worden, dass die Hochterrassenschotter des Glattals zwei verschiedenen Systemen zugeordnet werden müssen. Damit muss man also im Glattal mit fünf Schotter-systemen rechnen. In neuester Zeit will J. HUG in der Unterteilung noch weiter gehen. Auch P. BECK befürwortet die Neugliederung (9).

Diese verschiedenen Auffassungen über unsere im Alpenvorland liegenden Schotter zeigen recht deutlich, wie unsicher das System der diluvialen Stratigraphie noch ist. Ferner zeigen die Arbeiten, dass das System der von PENCK und BRÜCKNER aufgestellten vier Eiszeiten nicht auf das ganze Alpengebiet anwendbar ist. Die Unsicherheit in der diluvialen Stratigraphie wird solange bestehen bleiben, bis einmal neue zuverlässigere Untersuchungsmethoden gefunden worden sind.

Zu verschiedenen Fehlschlüssen haben die Bestimmungen der Auflagerungsflächen, bzw. deren Höhenlage geführt. Massgebend ist in erster Linie die ursprüngliche Oberkante des Schotters. Die Oberfläche einer Aufschotterungsebene, und solche kommen bei der glazialen Stratigraphie in Frage, liegt, von geringen, für die Parallelisierung unwesentlichen Höhendifferenzen abgesehen, innerhalb einer Ebene. Die Unterlage ist vollkommen unabhängig von der Oberfläche des Schotters. Die verschiedenen Höhenlagen der Schotterbasis bedingen ja gerade die wechselnde Schottermächtigkeit. An manchen Orten sind derartige Schotterprofile zu beobachten. Sie sind auch durch Bohrungen festgestellt worden.

Die Auflagerungsverhältnisse haben im Glattal zu voneinander abweichenden Auffassungen der Zugehörigkeit der einzelnen Schotterkomplexe geführt.

Andererseits ist bei lokalen Ablagerungen die Oberkante auch nicht stichhaltig für die Einordnung innerhalb anderer verbreiteter Vorkommen.

Ganz allgemein ist auch hier zu betonen, dass Erkenntnisse, die an einem Orte ihre Gültigkeit besitzen, anderwärts nicht unbedingt richtig sein müssen.

Die neuen Untersuchungen zeigen, dass jedes Teilgebiet der Vergletscherung seine eigene geologische Geschichte erkennen lässt. Aus diesem Grunde könnte die Glazialgeologie durch genaue Kenntnis der heutigen Vergletscherung des Nordens nur gewinnen.

Im Folgenden sollen die Hochterrassenschotter des Glattals in Bezug auf die Ablagerungsbedingungen und die petrographische Zusammensetzung untersucht werden.



## 2. DIE PROBEENTNAHMESTELLEN

Die Entnahmestellen sind so ausgewählt worden, dass wirkliche Schichteneinheiten erfasst werden konnten. Aus diesem Grunde sind alle Proben in Kiesgruben gewonnen worden. Hier sind die Schotter frisch und nicht von sekundären Einschwemmungen verunreinigt, wie dies an Steilufern von Flüssen häufig der Fall ist. Für gewisse prinzipielle Untersuchungen musste diesem Umstand Rechnung getragen werden. Die Probestellen sind über das ganze Glattal verteilt. Die Hauptproben wurden den Hochterrassenschottern entnommen. Zum Vergleich sind dann noch Niederterrassenschotter und Nagelfluh beigezogen worden.

Gossau. Die Proben stammen aus typischen Deltaschottern. Die Mächtigkeit der betreffenden Bank betrug 80 cm. Der gleichen Schicht wurden zwei Proben entnommen, die dem feinen und dem groben Anteil entsprechen. Die Deltastruktur kommt nicht allein in der ganzen Grube zum Ausdruck, sondern auch in der einzelnen Schicht. Deltastruktur des ganzen Schichtverbandes bedingt auch Deltastruktur der einzelnen Schicht.

Die Kiesgruben von Gossau sind in einem ca. 25 m mächtigen Delta der Hochterrasse angelegt. Die Flussrichtung kommt von SE her. Die Schotter sind als Aatalschotter bezeichnet worden, sind also den Hochterrassenschottern im Sinne MÜHLBERGS gleichzustellen.

Die Ablagerungsbedingungen sind hier gut rekonstruierbar.

Aatal. Die Proben stammen aus der höchstgelegenen Grube auf der rechten Talseite bei der SBB-Station Aatal. Der Schotter ist (wenn auch nicht sehr deutlich) geschichtet. Auch die dachziegelige Lagerung ist nur undeutlich zu erkennen. Der Schotter ist sporadisch sehr stark verkittet, so dass der Abbau mit Kompressoren erfolgen muss.

Dietlikon. Der Schichttyp entspricht dem von Aatal. Der Schotter ist im allgemeinen besser geschichtet. Die Schotterlagen liegen horizontal. In diesem Schotter sind sehr grosse Gruben aufgeschlossen, die den Bau bis zu 25 m Tiefe aufschliessen. Die Schotter sind wenig verkittet, besitzen aber doch eine grosse Standfestigkeit. In ihren untern Lagen erscheint eine tonige Zwischenschicht, die sich über einige Kilometer Erstreckung nachweisen lässt. Es handelt sich hier vielleicht um eine Seeschlammablagerung. Dem Schotter sind drei Proben entnommen worden.

Opfikon. Die Kiesgruben sind im gleichen Schotterkomplex angelegt wie die von Dietlikon. Dem ersten äusseren Aussehen nach sieht der Schotter etwas moränenartig aus. Zwei über m<sup>3</sup> grosse

Blöcke sind in ihm eingeschlossen. Sie liegen in der Höhe der Schlammbank von Dietlikon. Das feine gelbe Zwischenmaterial ist nicht von Moränen-Natur, wie es auf den ersten Anblick scheinen mag, sondern Calcizement, der den Schotter teils sehr fest verkittet. Diese Schotterpartie wird von HUG als Moräneneinlagerung gedeutet. Blöcke solcher Größe können aber auch auf andere Weise an Ort und Stelle gelangt sein als durch Annahme eines Gletschervorstosses während einer neuen selbständigen Eiszeit (HUG und BECK).

Bülach. Die Kiesgrube, der unsere Probe entnommen wurde, liegt am Steilhang zwischen Bülach und Hochfelden auf dem rechten Glattufer. Der Schotter ist sehr gut geschichtet. Er wird überlagert von Niederterrasse und Moränen.

Nussbaumen. Das Schottervorkommen von Nussbaumen liegt ca. 40 m über der Talsohle eingesenkt in eine Mulde des Dettenberges. Der Schotter macht hinsichtlich der Lagerung einen verworrenen Eindruck. Doch konnte die Probe einer genügend gut erkennbaren Schicht entnommen werden. Der Schotter ist nicht mehr der Hochterrasse gleichzusetzen. Er gehört einem andern Schotter-system an. WEBER stellt ihn zur „Hohen Terrasse“ seines Systems, während unsere Hochterrasse seiner Mittelterrasse zugeordnet werden muss.

Bülach Hardwald. Östlich der Strasse nach Eglisau ist im Hardwald in einer Endmoräne eine Grube angelegt, der die vorliegende Probe entnommen wurde.

Glattfelden. Niederterrasse. Die Kiesgrube ist in der Niederterrasse 1,2 km nördlich der Station Glattfelden hart an der Hauptstrasse angelegt. Der Schotter ist gut geschichtet und ist auffallend grobkörnig.

Molassengelfluh wurde der Grube des Stäfner-Türli zwischen Männedorf und Oetwil entnommen.

Thurbelossingen. Es wurden Proben der typischen Sohlenpflasterung entnommen. Die Entnahmestelle liegt an der Innenseite einer Serpentine, ca. 3 m vom Mittelwasserstand entfernt. Die oberste Schicht ist ausgesprochen dachziegelig gelagert. Feines Material fehlt.

### 3. DIE SCHOTTERMISCHUNGEN HOCHTERRASSE

Die gewonnenen Proben entsprechen den typischen Hochterrassenschottern des Glattales.

Wie die Tabelle dartut, schwanken die Mischungen nur innerhalb kleiner Grenzen, wodurch ebenfalls die grosse Einheitlichkeit der Ablagerung zum Ausdruck kommt. Die Mischung kann als typischer Flusschotter charakterisiert werden.

Die Probe von Gossau kann nicht in die Mittelwertsbildung einbezogen werden, da die gewonnene Probe nicht dem Mittelwert der ganzen Schicht entspricht. Für die übrigen Proben schwanken die Werte  $p$  zwischen 57 und 53,  $p'$  36—30,  $p''$  20—22.  $D$  liegt zwischen 53 und 43,  $D'$  zwischen 15 und 13 und  $D''$  zwischen 45 und 34.

Der Anteil des Sandes und Feinkieses macht in allen Proben über 40 % der Gesamtkorngrössen aus. Der Sand nimmt durchschnittlich mit über 20 % am Aufbau der Schotter teil. Diese Mengen Sand und Feinkies sind die Ursache, dass die dachziegelige Lagerung nicht zum Ausdruck kommt. Andererseits geben diese Sandmassen dem Schotter das kompakte Aussehen. Aus der Mischung der Hochterrasse ersieht man, dass die feinen Korngrössen im Schotter eine wesentliche Rolle spielen, die vor allem beim Geschiebetransport in Erscheinung tritt. Die selten vorkommenden dachziegeligen Lagerungen zeigen, dass wir es hier nicht mit normalen Flussbetten zu tun haben, in welchen die Schotter abgelagert wurden; denn in allen rezenten Flussbetten können die dachziegeligen Lagerungen der Schotter beobachtet werden.

Es handelt sich hier um typische Schotter, die während Hochwasserperioden und infolge von Verwilderung der Flussläufe abgelagert worden sind. Die an verschiedenen Stellen in der Hochterrasse vorkommenden groben Schotter und schlammigen Zwischenlagerungen sowie die sand- und schluffreichen Partien rühren nicht von neuen Eiszeiten her, sondern von Hochwasserfluten, wie sie zur Zeit des Gletscherrückzugs entstehen können.

Die Abrollungsverhältnisse der Sande lassen in diesen Zonen keinen glazialen Einfluss erkennen. Er müsste, wie die Niederterrasse zeigt, sicher festgestellt werden können (siehe Tabelle über die Abrollungsgrade).

#### DIE NIEDERTERRASSE

Die Probe von Bülach entstammt dem sogenannten Übergangskegel von Moräne in Schotter. Die Probe von Eglisau kann infolge der grossen Korngrössen nicht als Beispiel der Schottermischung der Niederterrasse herangezogen werden, da für die entsprechenden Korngrössen nicht genug Material vorliegt.

Die Probe von Bülach ist nicht wesentlich von der Hochterrasse verschieden. Sand und speziell Feinsand ist mehr vorhanden als in den gewöhnlichen Hochterrassenschottern. Wie wir aber gesehen haben, genügt eine Anreicherung von Sand nicht, um einen Schotter als glazial zu bezeichnen. Die Abrollungsverhältnisse erst geben eindeutige Auskunft.

Zur Unterscheidung von fluviatilen und glazialen Schottern genügt also die Mischungslinie bzw. die mechanische Analyse allein nicht.

#### DIE MOLASSENAGELFLUH

Für unsere Zwecke wurde eine Nagelfluh verwendet, die sich einerseits gut in die einzelnen Komponenten zerlegen liess, und die anderseits auch als Beispiel für die Zusammensetzung eines tertiären Schotters aus der gleichen Gegend von Hochterrassen verwendet werden konnte.

Das besondere Verhalten der Nagelfluh macht sich darin geltend, dass sie immer mit scharfer Grenze in die Mergel oder Sandsteine eingelagert ist. Übergänge in der Vertikalen können meines Wissens in der subalpinen Nagelfluh nicht beobachtet werden. Ferner ist sehr auffallend, dass innerhalb einer Nagelfluhbank eine Schichtung selten auftritt. Dachziegelige Lagerung zum Beispiel ist in der Nagelfluh selten zu beobachten. Die Ursache liegt wohl zum Teil auch darin, dass sekundäre Umlagerungen stattgefunden haben, die solche Lagerungen zerstörten.

Die mechanische Analyse zeigt eine Mischungskurve der Nagelfluh, die einem Kreisbogen fast identisch ist. Rezente Schotter, die im Stromstrich entnommen werden, zeigen die gleiche Mischung. Es handelt sich demnach bei dieser Nagelfluh wohl sicher um eine fluviatile Bildung und nicht um eine Deltaablagerung. Die Ablagerung erfolgte unter ähnlichen Bedingungen wie die der diluvialen Schotter des Alpenvorlandes.

#### 4. DIE GESTEINSZUSAMMENSETZUNG DER GLATTALSCHOTTER

Die Tabelle 12 der Gesteinszusammensetzung zeigt, dass die Karbonatgesteine mit ca. 60—70 %, die klastischen Gesteine mit ca. 20 % und die kristallinen Gesteine mit etwa 6 % am Aufbau des Schotters beteiligt sind. Der Rest entfällt auf Radiolarite, Einzelminerale sowie unbestimmbare Gesteine.

Die Bestimmung der Gesteine erfolgte makroskopisch. Typische Vergleichsgesteine standen leider nicht zur Verfügung. Es war deshalb oft schwierig, ein Gestein richtig einzuordnen.

**Die kristallinen Gesteine.** Die Hochterrassenschotter des Glattales zeichnen sich durch Armut an kristallinen Gesteinen aus. Die Herkunft dieser Gerölle ist selten mit Sicherheit zu bestimmen. Die kristallinen Gesteine finden sich unter den kleinen Geröllen häufiger. **Granite** sind selten. Es handelt sich meistens um rote Granite, die aus der Molassenagelfluh stammen. Sie sind stets stark verwittert. Die feinkörnigen Varietäten scheinen vorzuherrschen. Mit einiger Sicherheit konnten nur Albula- und Juliergranite lokalisiert werden.

**Diorite** sind selten. Sie zeigen damit ein ähnliches Verhalten wie im Deckenschotter nach den Zählungen von FREI.

In der Niederterrasse des Glattals scheinen sie eher etwas häufiger vorzukommen. Gabbros sind vereinzelt gefunden worden und stimmen mit solchen des Oberhalbsteins überein.

**Quarzporphyre** sind unter den kristallinen Gesteinen am häufigsten zu finden. Sie sehen denen des Kärpfgebiets sehr ähnlich. Rötliche Quarzporphyre scheinen aus der Nagelfluh zu stammen. Sie finden sich hauptsächlich unter den kleinen Geröllen.

**Melaphyre** kommen in allen Proben vor. Kärpfmelaphyre sind häufig zu erkennen. Die grünen Melaphyre scheinen vorzuherrschen. In etwa gleicher Zahl wie die Melaphyre kommen auch Ophiolite und Grünschiefer vor.

Die Hochterrasse ist auffallend arm an kristallinen Schiefen. Unter diesen sind die **Amphibolite** mit über 70 % vertreten. Sie sind für kein besonderes Gebiet charakteristisch (Granatamphibolit Dietlikon).

**Sericitschiefer** und **Phyllite** sind äusserst selten. Sie gehören nur den kleinen Korngrössen an.

**Die Karbonatgesteine.** Die Herkunft der Karbonatgesteine ist noch schwieriger festzustellen als die der kristallinen Gesteine. Sie sind über das ganze Alpengebiet verbreitet und vielfach ähnlich ausgebildet. In den kleinen Handstücken, die die Gerölle darstellen, sind Faziesunterschiede schwer oder gar nicht zu erkennen.

Die dunklen Kalke überwiegen die hellen. Es sind meist reine graue bis schwarze Kalke, die alle Übergänge zu Kieselkalken zeigen. Sie entstammen grösstenteils den helvetischen Decken. Die Kieselkalke stammen wohl grösstenteils aus dem Flysch.

Ein wesentlicher Anteil der Kalke stammt aus sekundärer Lagerstätte, d. h. aus der Molassenagelfluh. Diese Gerölle sind an der stärkern Verwitterung und an den typischen Oberflächen zu erkennen. Die Verwitterung der Gerölle im Innern ist abhängig von der Form. Gerölle, die auf primärer Lagerstätte im Schotter liegen, zeigen diese Erscheinung nicht oder nur sehr undeutlich. Die Deckenschotter stehen in dieser Beziehung den Molasseschottern näher. Eine grosse Zahl von Geröllen zeigen die typischen Eindrücke, und können deshalb eindeutig als umgelagerte Gerölle erkannt werden.

Einen nicht unerheblichen Anteil nehmen die hellen, grauen bis gelblichen Kalke ein. Sie können mit Schratten- und Seewerkalk identifiziert werden. Viele hellen Kalke sind aus der Molasse umgelagert. Unter diesen sind solche, die dem Biancone entsprechen können.

Liasbreccien sind vereinzelt gefunden worden. Die Echinodermenbreccien machen unter den Karbonatgesteinen immer einen gewissen, wenn auch wechselnden Prozentsatz aus. Viele davon sind eisenschüssig. Sie entstammen wohl hauptsächlich dem Dogger. Unter den ausgezählten Geröllen befanden sich auch einige, die dem Blegiolith nicht unähnlich sind.

Nebst den Kalken nehmen die Dolomite und dolomitischen Kalke im obern Glattal starken Anteil am Aufbau des Schotters. Die Dolomite stammen fast alle aus der Nagelfluh. Es sind graue bis weisse und sandige Dolomite. Sie entsprechen dem Typus des Hauptdolomits, der mit feinen Calcitadern durchzogen ist. Sie sind äusserst brüchig und zerfallen leicht.

Die Dolomite treten in grössern Mengen nur im obern Glattal auf. Talwärts verschwinden sie rasch fast ganz aus dem Schotter. Vereinzelt sind auch rote Dolomite gefunden worden, wie solche von der Schamserdecke bekannt sind. Die letzteren sind sehr frisch und wahrscheinlich ohne vorherige Umlagerung direkt in die Hochterrasse gelangt.

Rötliche Süsswasserkalke konnten in den Schottern von Aatal und Gossau beobachtet werden. Süsswasserkalke, die diesen Geröllen völlig entsprechen, stehen wenige Kilometer südlich der obigen Gruben an.

Verschiedene eigenartige Kalke, ähnlich Liasfleckenergeln, konnten mangels an Vergleichsmaterial nicht bestimmt werden. Unter den Geröllen in den Gruben Gossau und Aatal kommen auch eine Reihe „Schneggliande“ vor, wie sie heute noch am Greifensee gefunden werden. Sie bestätigen damit das Vorhanden-

sein eines Sees in dieser Gegend. Andere Anhaltspunkte bieten die Kohlenlager der nähern Umgebung.

Ferner findet man in den Gruben Gossau und Aatal sog. *Rillensteine*, die ebenfalls auf das Vorhandensein eines Sees hindeuten. Im Greifensee sind solche auch heute recht häufig zu finden.

Die *Molassesandsteine* kommen in allen Proben in wechselnder Menge vor. Es handelt sich meist um Gesteine, die in nächster Nähe anstehen. Unter den übrigen sind solche vom Bolliger- oder Bächertypus zu finden. Die letzteren sind auch widerstandsfähiger gegen die Abrollung. Sie bilden mehrfach grosse Gerölle.

*Molassemergel*. Sie sind unter den Geröllen hin und wieder beobachtet worden. Sie treten namentlich dort auf, wo der Schotter an die Molassehänge angelagert ist. Es handelt sich in allen Fällen nur um lokale Einschwemmungen.

Nicht allzu selten sind Gerölle, aus *Nagelfluh* bestehend, gefunden worden.

*Alpine Sandsteine*. Unter den alpinen Sandsteinen sind die *Flyschsandsteine* am stärksten beteiligt. Ihr Habitus variiert stark. Die typischen fleckigen *Taveyannasandsteine* sind von mir in der Hochterrasse des Glattals nur selten gefunden worden, häufiger aber in der Niederterrasse. Mehr vereinzelt sind folgende Sandsteine zu finden: *Gaultsandstein*, identisch mit solchen der Säntisdecke, *Buntsandsteine* aus dem Bündnerland, *Melsersandsteine*.

Die Hochterrassenschotter des Glattals sind auffallend arm an *Sernifiten*, bezw. *Verrucano*. Er bildet nur kleine Gerölle. Im untern Glattal treten diese Gerölle fast ganz zurück. In der Probe von Nussbaumen handelt es sich um lokale Einschwemmung aus Rissmoränen.

Etwas reicher an *Verrucano* sind die Niederterrassenschotter. Noch reicher an *Sernifiten* sind die Moränen selbst. Es ist sogar auffallend, wie reich an *Sernifiten* die Moränen des Glattals sind. Es deutet dies auch darauf hin, dass die *Verrucanogesteine*, speziell die *Sernifite*, für den Geschiebetransport nicht widerstandsfähig sind.

Unter den klastischen Gesteinen sind die *Quarzite* stark vertreten. Es handelt sich meistens um gelbe bis eisenschüssige Quarzite. Dunkle lauchgrüne „*Ölquarzite*“ aus dem Flysch fehlen in keiner Probe. Diese Quarzite sind besonders unter den kleinen Geröllen vertreten.

Eine letzte Gruppe von Geröllen bilden die *Radiolarite*. Sie stammen alle aus der Molassenagelfluh.

Eine besondere Geröllgruppe bilden die *Einzelmineralien*. Sie nehmen am Aufbau eines jeden diluvialen Schotters teil. Als Einzelmineralien kommen hauptsächlich *Quarze* und *Calcite* in Betracht. Sie sind schon bei Korngrössen von 10 mm mit ca. 2 % vorhanden. Die grossen Einzelmineralgerölle sind häufig plattig, die kleinen aber durchweg kugelig, solange es sich nicht um Feinsande handelt, in denen viel *Glimmer* vorkommt.

Zum Vergleich mit der Hochterrasse wurden noch Niederterrassenschotter untersucht. Sie stammen aus dem Feld nördlich der Moräne von Bülach. Andererseits wurde auch Nagelfluh als Vertreter von miocänen Schottern untersucht. Moräne wie Niederterrasse von Bülach enthalten die gleichen Gesteine wie die Hochterrasse. Die Verteilung ist ebenfalls nahezu die gleiche. Ein anderes Bild der Zusammensetzung ist ja tatsächlich nicht zu erwarten; denn die Einzugsgebiete der beiden Schotter stimmen überein und zudem stammt ein grosser Teil der Gerölle der Niederterrasse aus der Hochterrasse.

Bei der Nagelfluh handelt es sich um eine Kalk-Dolomitnagelfluh. Das vorkommende Kristallin ist hauptsächlich durch Quarzporphyre vertreten. Von den übrigen Gesteinen sind nur die Radiolarite von etwelcher Bedeutung. In der hier erwähnten Nagelfluh sind häufig rote Quarze vorhanden, die aus dem ostalpinen Gebiet stammen dürften.

Die Gesteine des Rheingebiets sind in der Hochterrasse wenig verbreitet. Die Ablagerungen der Würmeiszeit sind im Vergleich reicher und mannigfaltiger an Rheingesteinen. Die während mehrerer Jahre gemachten Beobachtungen über das Glazial des Glattals scheinen dies zu bestätigen.

Dieses Verhalten kann leicht dadurch erklärt werden, dass die rein glazialen Ablagerungen weniger an natürliche Gefällsverhältnisse gebunden sind als fluviatile Ablagerungen. Das Material der Niederterrasse ist bis weit in das Mittelland hinaus durch das Eis herbeigeschafft worden. Zur Zeit der Bildung der Hochterrasse lag der Eisrand am Alpenrand und vielleicht sogar innerhalb der Alpentäler. Für den Transport des Materials konnten nur Flüsse in Betracht kommen. Die glazialen Einflüsse in der Hochterrasse sind also höchstens am Ausgang der grossen Alpentäler oder deren nächster Umgebung zu verfolgen. An folgenden Orten sind sicher glaziale Einflüsse bei der Ablagerung der Hochterrasse festgestellt worden: Kaltbrunn, Eschenbach und Buchberg (JEANNET) (8). Die genannten Stellen sind mir zu wenig bekannt, als dass ich mich näher über jene Vorkommen äussern könnte. Die Abrollungsgrade der Sande von



Gossau deuten indessen auf den nahen Eisrand hin (Tabelle der Abrollungsgrade 7 und 9).

### Die quantitative Gesteinszusammensetzung der Hochterrasse

Die qualitative Gesteinszusammensetzung der Schotter allein kann die Frage der Altersunterschiede verschiedener Schotter nicht unter allen Umständen bestimmen. Ob hier die quantitative Schotteranalyse diese Fragen lösen kann, sollen die nachstehenden Ausführungen zeigen.

Für die Zählungen wurden alle Korngrößen von  $\frac{1}{4}$  mm aufwärts benutzt. Für das Intervall 15—50 mm werden die Anzahl- und Gewichtsprozent ermittelt. Beide Angaben können von Wichtigkeit sein, da verschiedene Gesteine der Menge nach, nicht aber dem Gewicht nach, stark hervortreten können, weil sie nur kleine Gerölle bilden.

Ferner kann aus solchen Zusammenstellungen auf die Abrollung innerhalb einzelner Flusstrecken geschlossen werden. Diese Annahme dürfte aber vorherhand nur für rezente Flüsse Geltung besitzen. Die Zusammenstellungen lassen deutlich erkennen, dass der Schotter im Verlauf des Tales gewissen Veränderungen unterworfen ist, so dass weit voneinander entfernte Proben des gleichen Schotters nicht dasselbe Bild ergeben müssen. A. WEBER (150) hat in seiner Arbeit bereits darauf hingewiesen.

#### 5. DIE ÄNDERUNG DER ZUSAMMENSETZUNG IM VERLAUFE DES GLATTALS (Tabellen 10, 12, 13)

Die Darstellung der Gesteinszusammensetzung der Schotter erfolgt einerseits nach Angaben in Prozenten, anderseits nach der Methode ZEUNER.

Über die Angaben der Gewichts- und Anzahlprozent ist zu sagen, dass im Glattal innerhalb der Korngrößen von 15—50 mm die Unterschiede klein sind. Sie treten nur bei einzelnen Gesteinen auf, z. B. den Quarziten. In den folgenden Ausführungen wird es sich aus diesem Grunde immer um die Anzahlprozent handeln.

Es ist zweifelhaft, ob sich die Methode ZEUNER für die diluvialen Schotter des Alpenvorlandes in ihrer gegenwärtigen Form bewährt. Die Transportweite ist noch zu gering, als dass sich eine deutliche Anreicherung der Quarze geltend machen würde.

Die kristallinen Gesteine sind mit ca. 5—6 % am Aufbau des Schotters beteiligt. Innerhalb dieser Gruppe ist die Variabili-

tät der Gesteine so gross, dass die Gruppe als Einheit verglichen werden muss. Für einzelne Gesteine stehen zu wenig Zählungen zur Verfügung, um daraus sichere Schlüsse ziehen zu können. Die kristallinen Gerölle zeigen im Verlauf des Glattals keine nennenswerte Änderung.

Die Karbonatgesteine. Die Kalke nehmen mit 60—70 % am Aufbau des Schotters teil. Auch innerhalb der Kalke besteht eine grosse Mannigfaltigkeit. Eine eindeutige Änderung lässt sich auch hier noch nicht feststellen. Es besteht die Tendenz, dass die Kalke talabwärts etwas abnehmen.

Die Dolomite zeigen im Verlauf des Tales eine deutliche Änderung in der Häufigkeit. Sie sind im obern Glattal bis zu 15 % vertreten und nehmen bis nach Bülach auf 2 % ab. Die Dolomite in der Hochterrasse sind fast alle aus der Molassenagelfluh umgelagert worden. Sie sind sandig und zerfallen sehr leicht. Im untern Glattal bilden sie nur noch kleine Gerölle. Der Gehalt an Dolomitgeröllen überhaupt bleibt auf die mittleren und kleinen Korngrössen beschränkt (siehe auch die Tabelle 10).

Gegenteilig hierzu scheinen die Verhältnisse in der Nagelfluh zu liegen. Hier sind die Dolomite mit über 50 % vertreten. Ihr Verhalten mit der Transportweite ist in der Molasse noch nicht untersucht worden. Die Zählungen von ESCHER-HESS (33) ergeben eine geringe Abnahme der Dolomite mit der Entfernung vom Alpenrand. Es muss an dieser Stelle betont werden, dass die beiden Schotter, die Hochterrasse und die Nagelfluh der Molasse, nicht direkt miteinander verglichen werden können. Immerhin zeigt sich, dass die Tendenzen in der Änderung der Zusammensetzung die gleichen sind. Die absoluten Beträge der Änderung sind ein Charakteristikum der betreffenden Schotter. Die Tendenzen hingegen geben Auskunft über Gesetzmässigkeiten der Geröllbildung.

Die Gruppe der Karbonate als Ganzes zeigt im Verlauf des Tales eine deutliche Abnahme, die hauptsächlich auf die Dolomite zurückzuführen ist.

Die klastischen Gesteine. In dieser Gruppe können einige Gesteine für sich behandelt werden.

Die Molassesandsteine, die in der Hochterrasse vorkommen, zeigen kein besonderes Verhalten. Es handelt sich meistens um lokale Einschwemmungen. Sie können aber das Gesamtbild der Zusammensetzung wesentlich ändern. Besonders deutlich kommt die Einschwemmung von Molassesandsteinen in der Probe von Nussbaumen zum Ausdruck.

Die alpinen Sandsteine und die Quarzite verhalten sich untereinander ähnlich. Sie können deshalb gemeinsam behandelt werden. Die alpinen Sandsteine und die Quarzite bestimmen im allgemeinen das Verhalten der ganzen Gruppe der klastischen Gesteine. Diese nimmt vom obern Glattal bis Bülach von 20 % auf 30 % zu. Dabei ist bemerkenswert, dass die Quarzite dem Gewicht nach mehr zunehmen als nach Anzahl. Das heisst die Quarzite werden im untern Glattal gegenüber den andern Geröllen grösser.

Die Verrucanogesteine verhalten sich in dieser Gruppe ähnlich wie die Dolomite unter den Karbonatgesteinen. Sie verschwinden rasch aus dem Schotter. Die Zunahme in Nussbaumen ist auf lokale Einschwemmung zurückzuführen. Auffallend ist die geringe Beteiligung der Verrucanoarten mit nur 3 %.

Die Einzelmineralien spielen in diesem Korngrössenintervall noch keine grosse Rolle. Doch ist hier schon mit der Transportweite eine geringe Zunahme zu verzeichnen. Der Gehalt an Einzelmineralien steigt von Gossau mit 27 % bis Bülach auf 40 %.

Die Gesteinszählungen der Hochterrasse von Zweidlen von R. FREI lassen sich gut in die dieser Arbeit einfügen.

#### Die Gesteinszusammensetzung der Niederterrasse des untern Glattales (Tabelle 10 und 13)

Zum Vergleich mit der Hochterrasse sollen die Niederterrassenschotter von Bülach dienen.

Die Zählungen lassen keine deutlichen Unterschiede erkennen. Die Niederterrasse ist fast völlig frei von Dolomit, darin gleicht sie der Hochterrasse des untern Glattals vollkommen.

Innerhalb der klastischen Gesteine tritt eine Anreicherung der Verrucanoarten hervor, die auch in den grossen Korngrössen beobachtet werden kann.

Hinsichtlich der Zusammensetzung kann keine grosse Verschiedenheit erwartet werden, da viele Gerölle aus der Hochterrasse umgelagert worden sind.

Die Einzelmineralien sind in geringerm Masse vertreten. Der Unterschied von etwa 10 % ist vor allem auf die nahe Lieferungsquelle zurückzuführen.

#### 6. DIE ABHÄNGIGKEIT DER ZUSAMMENSETZUNG VON DER KORNGRÖSSE (Tabelle 10—13)

Für das Glattal lässt sich folgendes feststellen: Von einer mittleren petrographischen Zusammensetzung kann erst von jener Korn-

grösse an gesprochen werden, bei der sich die Zusammensetzung nicht mehr mit der Korngrösse ändert. Bei der Hochterrasse wie bei der Niederterrasse hat sich diese Grenze etwa bei 15 mm eingestellt.

Von dieser Korngrösse an abwärts nehmen die Mineralien stark zu.

Die kristallinen Gesteine scheinen von der Änderung der Korngrösse wenig abhängig zu sein. Unterhalb 15 mm treten gewisse Schwierigkeiten in der Zuordnung der einzelnen kristallinen Gesteine auf. So können im Feld Verrucanoarten und gewisse Gneise nicht immer mit Sicherheit unterschieden werden. Die Fehler, die bei dieser Zuordnung entstehen, sind indessen gering in Anbetracht der kleinen Menge dieser Gesteine.

Die Kalk e. Sie nehmen von den grossen Geröllen bis zu etwa 15 mm zu, wo sie das absolute Maximum bilden, um nachher rasch zurückzutreten. Wie aus der Kurve zu entnehmen ist, beginnt bei den Kalken die wesentliche Zerstörung bei etwas kleinerer Korngrösse als es dem Mittel für alle Gesteine entspricht.

Die Dolomite. Das Auftreten der Dolomite ist ebenfalls nicht auf eine bestimmte Korngrösse beschränkt. Eine solche Auslese tritt erst im Verlauf des Transportes auf.

Die Beobachtungen, die an der Hochterrasse gemacht werden können, finden sich auch bei andern Schottern bestätigt. Sie scheinen Allgemeingültigkeit zu besitzen (FREISE, FUGGER und KASTNER).

Die klastischen Gesteine. Es müssen wiederum die einzelnen Gesteine gesondert behandelt werden. Allgemein gilt, dass mit zunehmender Korngrösse auch die klastischen Gerölle an Zahl zunehmen. Sie erreichen ihr absolutes Maximum bei den grossen Korngrössen.

Die Quarzite sind mit durchschnittlich 8 % am Geröllbestand beteiligt. Sie nehmen mit abnehmender Korngrösse nicht so rasch ab wie der Gesamtsumme der klastischen Gesteine entspricht. Während ihr Anteil bei den Korngrössen von über 20 mm ein Drittel ausmacht, steigt dieses Verhältnis bei der Körnung von 2—4 mm auf die Hälfte. Sie werden also weniger zerstört als die übrigen klastischen Gesteine.

Die Sandsteine sind der Menge nach ungefähr gleich stark vertreten wie die Quarzite. Allein ihr Verhalten lässt sich nicht so deutlich erkennen. Es liegt dies in der sehr verschiedenen Beschaffenheit der Sandsteine begründet. Die feinkörnigen Flyschsandsteine sind den Quarziten ungefähr gleich zu stellen. Die übrigen Sandsteine sind, mit Ausnahme der wenigen Buntsandsteine, leicht zerstörbar.

Sie kommen in grösserer Anzahl erst über 20 mm vor. Unter dieser Korngrösse zerfallen sie leicht in die einzelnen Komponenten. Ähnlich diesen Sandsteinen verhalten sich die Konglomerate.

Es wird damit eine Tatsache bestätigt, die auch an andern Schottern erkannt worden ist, nämlich die, dass die klastischen Gesteine, darunter vorwiegend die Sandsteine und die Konglomerate, zur Geröllbildung wenig geeignet sind. Sie werden rasch zu Sand zerrieben. Moränen z. B. sind reicher an Sandsteinen und Konglomeraten als die entsprechenden Schotter.

FREISE (40, 41) sagt an Hand seiner Versuche folgendes: „Je grobkörniger ein Gestein ist (Sedimente und kristalline Gesteine), umso rascher fällt es der Zerstörung durch fliessendes Wasser anheim“. Nach seinen Untersuchungen treten auch Altersunterschiede auf. Sie können nicht als allgemeingültig angesehen werden, bestehen aber doch weitgehend zu Recht. FREISE stellt den Satz auf: Je älter ein Gestein, umso widerstandsfähiger ist es gegen Abrieb und Zerstörung. Diese Anschauung scheint sich auch hier bis zu einem gewissen Grade zu bestätigen. Die alpinen Buntsandsteine sind widerstandsfähiger als die entsprechenden gleichkörnigen Flyschsandsteine, diese widerstandsfähiger als entsprechende Molassesandsteine.

Die Einzelminerale nehmen mit abnehmender Korngrösse rasch zu. Die Zunahme der Zahl der Minerale drückt sich erst unter 2 mm in vollem Masse aus. Nach der Darstellung von ZEUNER macht sich aber der Anstieg schon von 15 mm an stark bemerkbar. Er beginnt somit zugleich mit dem Anstieg der kugelförmigen Gerölle.

Der starke Einsatz der Einzelminerale erfolgt bei den an klastischen Gesteinen reichen Schottern rascher als bei reinen Kalkschottern. Die Molassenagelfluh des Zürcher Oberlandes kann hierfür als gutes Beispiel dienen. Die Summe der Minerale erreicht im allgemeinen bei  $\frac{1}{4}$  mm bereits die Hälfte aller Sandkörner.

Für die Niederterrasse bei Bülach gelten die gleichen Beziehungen.

## 7. DIE ABHÄNGIGKEIT DER FORM VOM GESTEINSMATERIAL

Im Abschnitt über die Geröllform wurde schon darauf hingewiesen, dass dem Material für die Form des Gerölls nicht die Bedeutung zukommt, wie man allgemein glaubt.

Über die kristallinen Gerölle kann hier nichts gesagt werden, da sie zu variabel sind und von einer Gesteinsart nicht genügend Gerölle gesammelt werden konnten. Die Tendenz der kristallinen Gerölle geht eher nach „kugelig“. Die wenigen metamorphen Gesteine, die in den Schottern des Glattals gefunden werden, zeigen hin und

wieder flache Formen. Eine allgemeine Regel lässt sich nicht angeben.

Über die Kalke lässt sich ebenfalls nicht sehr viel aussagen, wie auch nach der Tabelle von FUGGER zu ersehen ist (Seite 85). Die meisten flachen Gerölle gehören den Kalken an. Besonders sandige Kalke sind dadurch ausgezeichnet. Im übrigen sind die Kalke in Bezug auf die Formen ausserordentlich variabel.

Die Dolomite sind fast ausschliesslich kugelig entwickelt. Flache Dolomitgerölle sind äusserst selten, und es handelt sich dabei stets um frische Bruchstücke.

Die Gerölle von klastischen Gesteinen sind in ihrer Gesamtheit mehr kugelig entwickelt. Die flachen Formen kommen unter den Sandsteinen vor. Die Quarzite sind mehr kugelig, wenn auch flache Formen nicht ganz fehlen.

Hinsichtlich der Änderung der Formen mit der Transportweite und dem Material kann hier im Glattal nichts Bestimmtes gesagt werden. Die Talstrecke ist für derartige Bestimmungen zu kurz.

#### 8. DIE ABROLLUNG (Siehe auch Tabellen 5 - 9)

Die Abrollung der Gerölle und Sandkörner der Glattalschotter lassen die allgemein gültigen Gesetzmässigkeiten erkennen. Ausserdem ist hervorzuheben, dass mit ihrer Hilfe die verschiedenen Schotter getrennt werden können. Hinsichtlich der Abhängigkeit der Abrollungsgrade von der Korngrösse verweise ich auf Abschnitt B 3, Seite 84 ff.

Alle untersuchten Korngrössen der Hochterrasse zeigen einen relativ hohen Abrollungsgrad.  $V$  ist stets grösser als  $C + P$ . Diese Beziehung gilt nicht allein für alle Körner im Mittel, sondern auch für die Quarze allein. Dadurch kommt auch der Unterschied gegenüber der Niederterrasse zum Ausdruck.

Die Abrollungsverhältnisse sind im obern und untern Glattal verschieden. Der Abrollungsgrad nimmt talabwärts zu. Die Zunahme ist merkwürdigerweise nicht in erster Linie auf die  $V$ -Werte beschränkt, sondern kommt vielmehr in  $P$  und  $C$  zum Ausdruck. So nimmt für die Quarze  $P$  von Gossau mit 6 bis nach Bülach auf 17 zu, und  $C$  nimmt gleichzeitig von 43 auf 31 ab.

Die Abrollungsgrade der Hochterrasse des obern Glattals nähern sich jenen der Niederterrasse des untern Glattals, wobei aber die Niederterrasse immer noch kleinere Abrollungsgrade aufweist.

Die Station Aatal sollte, was die Abrollung und auch die Zusammensetzung anbelangt, die höhern Werte der Abrollung besitzen

als das südlicher gelegene Gossau. Die vorliegenden Abweichungen lassen sich aber leicht erklären. Aatal liegt näher der rechten Tal-seite als Gossau. Es weist auch mehr Dolomitgerölle auf als Gossau. Die Dolomite stammen fast ausschliesslich aus der Nagelfluh. Es handelt sich hier hauptsächlich um Einschwemmungen aus der Nagelfluh. Wie wir aber bereits gesehen haben, sind die Abrollungsgrade der feinen Körner der Nagelfluh geringer als die der Hochterrasse. Diejenigen der grossen Körner (also über 4 mm) zeigen in der Nagelfluh wieder höhere Abrollungsgrade. Diese Unterschiede treten auch in der Hochterrasse von Aatal deutlich in Erscheinung.

Die nebenstehende Zusammenstellung gibt über die Verhältnisse Auskunft.

	Abrollungsgrade der Kalke.					
	1/2 — 1 mm			4 — 10 mm		
Gossau	23	9	68	19	13	68
Aatal	<b>27</b>	10	<b>63</b>	<b>15</b>	13	<b>72</b>
Dietlikon	24	16	60	19	14	67

Einen wesentlich grössern Unterschied der Abrollungsverhältnisse zeigt die Hochterrasse von Bülach mit dem benachbarten Schotter von Nussbaumen. Die Tabellen lassen mit aller Deutlichkeit die Unterschiede erkennen. Zusammen mit den Unterschieden in der Zusammensetzung kann dieser Schotter mit völliger Sicherheit von der eigentlichen Hochterrasse getrennt werden. A. WEBER (150, 151) rechnet diesen Schotter zu seiner „Hohen Terrasse“, während unsere Hochterrassenschotter der Mittleren Terrasse zuzuzählen sind.

Wesentlich ist hier, dass diese Schotter wirklich zwei verschiedenen Schottersystemen angehören.

Die Niederterrasse zeigt gegenüber der Hochterrasse kleinere Werte der Abrollung, allerdings sind die Abrollungsgrade ganz wesentlich höher als die von typischen glazialen Sedimenten. Es handelt sich hier offenbar mehr um fluvioglaziale Schotter und Sande, als um eigentliches Moränenmaterial.

Sehr deutlich kommt auf die geringe Entfernung Bülach-Hard bis Eglisau die kleine, aber doch deutlich ersichtliche Zunahme des Abrollungsgrades in Erscheinung.

#### ZUSAMMENFASSUNG

1. Allgemeiner Teil. Die vorhandene und immer zahlreicher werdende Literatur über die Schotteranalyse zeigt, dass ihr immer mehr Bedeutung zukommt.

Die Untersuchungsmethoden und die Darstellung sind noch nicht endgültig ausgebaut. Eine einheitliche Darstellung fehlte bisher.

Es wird in dieser Arbeit eine Berechnungs- und Darstellungsmethode eingeführt, die einfach und für viele Zwecke geeignet ist. Die vorkommenden Mischungstypen können rasch erkannt und mit einfachen Zahlenwerten miteinander verglichen werden.

In der Natur treten im wesentlichen drei Mischungstypen auf:

1. Flusschottertyp. Er entspricht einer relativ homogenen Mischung. Die Mischungslinie ist kreisförmig, besitzt also keinen Tangentenwendepunkt.

2. Strandschottertyp. Ausbildung eines Hauptmaximums. Die Mischungskurve hat einen Tangentenwendepunkt.

3. Heterogene Mischungen treten in der Natur nur selten auf.

Im Flusschotter können verschiedene Ablagerungsstrukturen erkannt werden:

- a) kompakte Struktur,
- b) Deltastruktur,
- c) dachziegelige Lagerung.

Hinsichtlich der Wahl der Korngrössenintervalle kommen nur

- 1. gleiche Intervalle oder
- 2. sich gesetzmässig ändernde Intervalle in Frage, wobei dasjenige von UDDEN am geeignetsten erscheint. Neu wird die Intervallsbildung von FISCHER-NIGGLI vorgeschlagen, die sich auf physikalische Grenzen der Intervalle stützt, zudem gesetzmässig und auch hinsichtlich der Klassifikation einfach ist.

### Die Geröllform, Geröllgestalt

Die Geröllgestalt kann auf einfache Art bestimmt werden. Es werden folgende Typen auseinandergehalten: flache (I), kugelige (II), stengelige (III) und flachstengelige (IV) Gerölle. Diese Formen können bis zu den Korngrössen von 0,1 mm leicht erkannt werden.

Die Kornform ist in erster Linie von der Korngrösse und der Bewegungsart abhängig.

Der Abrollungsgrad. Der Abrollungsgrad, wie er von SZADEZCKY vorgeschlagen wurde, ist ausserordentlich leicht zu bestimmen. Er ist ein sehr zuverlässiges Merkmal von Sanden und eignet sich aus diesem Grunde ausgezeichnet als Unterscheidungsmerkmal verschiedener Sande und Schotter.



Mit Hilfe der Abrollungsgrade können äolische und Fluss- bzw. marine Sande, welche die gleiche Mischungskurve zeigen, auseinandergehalten werden.

Der Abrollungsgrad ist weitgehend abhängig vom Material, der Korngrösse und dem zurückgelegten Weg der Gerölle. Dadurch können Strömungsrichtungen erkannt werden.

### Die Schotter des Glattals

Die Schottermischungen lassen erkennen, dass die Hochterrassenschotter einer einheitlichen Aufschotterungsperiode angehören. Die Aufschotterung ist infolge der Verwilderung der Alpenflüsse eingetreten. Krustenbewegungen und Klimaschwankungen sind für die Aufschotterung keine notwendigen Faktoren. Diese ist vielmehr die natürliche Folge des Naturzustandes eines Flusses.

Die Niederterrasse ist in dieser Beziehung von der Hochterrasse nicht zu unterscheiden.

Die Hochterrasse und die Niederterrasse können auf Grund der Abrollungsgrade der feinen Fraktionen gut getrennt werden. Die petrographische Zusammensetzung lässt eine sichere Unterscheidung nicht zu.

Für Vergleichszwecke lassen sich die Korngrössen über 15 mm zusammenfassen. Die Änderung der Zusammensetzung innerhalb dieser Korngrössen ist zu vernachlässigen.

An Hand der Schotteranalyse können im Glattal die Hochterrassenschotter von jenen der Niederterrasse getrennt werden. Ferner kommt auch durch die Schotteranalyse eindeutig zum Ausdruck, dass der Schotter von Nussbaumen einem andern Schotter-system angehört als die Hochterrasse.

### TABELLEN

TABELLE 1

#### Mischungsverhältnisse der Hochterrassenschotter des Glattals

mm Ø	Gossau	Aatal	Dietlikon	Opfikon	Bülach	Nussbaumen
70—80	5,9					
60—70	5,9	3,6		1,6	5,1	
50—60	9,3	3,9	2,1	11,8		14,0
40—50	17,8	11,7	8,8	11,6	11,2	11,0
30—40	11,9	16,9	14,7	9,5	16,8	10,2
20—30	7,9	15,4	18,5	15,7	11,1	14,2
10—20	5,8	16,4	17,3	15,0	19,2	18,2
0—10	35,5	32,1	38,6	34,8	36,6	32,4

mm Ø	Gossau	Aatal	Dietlikon	Opfikon	Bülach	Nussbaumen
75—80	3,0					
70—75	2,9					
65—70	—					
60—65	5,9	3,6		1,6	5,1	
55—60	3,0	—	1,5	8,1		8,6
50—55	6,3	3,9	0,6	3,7		5,4
45—50	8,5	4,2	2,2	5,6	4,8	5,4
40—45	9,3	7,5	6,6	6,0	6,4	5,6
35—40	6,6	5,6	6,8	3,4	8,0	3,5
30—35	5,3	11,3	7,9	6,1	8,8	6,7
25—30	4,2	7,2	8,2	7,8	3,6	7,3
20—25	3,7	8,2	10,3	7,9	7,5	6,9
15—20	2,5	7,2	8,8	7,3	10,1	9,2
10—15	3,3	9,2	8,5	7,7	9,1	9,0
5—10	8,2	9,4	12,3	10,0	11,8	9,4
0—5	27,3	22,7	26,3	24,8	24,8	23,0
64—128	8,3					
32—64	40,3	31,6	22,4	30,1	29,6	24,1
16—32	12,3	25,7	28,7	25,7	22,7	23,3
8—16	6,9	14,4	13,5	13,4	15,8	13,9
4—8	6,5	7,5	11,5	8,0	9,5	7,4
2—4	4,5	5,2	6,4	2,8	4,8	4,1
1—2	4,3	6,4	5,1	1,2	5,6	3,1
0—1	16,9	9,2	12,4	18,8	12,0	14,1

TABELLE 2

Die D- und d- sowie die p-Werte der HT des Glattals  
und von Nussbaumen

1 entspricht dem Intervall von 5 zu 5 mm

2 entspricht dem Intervall von 10 zu 10 mm

3 entspricht dem Intervall nach Udden.

	k	d	d'	d''	p	p'	p''	D	D'	D''
Gossau	1. 0,55	28,3	7,8	47,5	47,8	31,9	74,6	43	17	40
	2. 0,60	30,2	7,7	47,8	48,0	27,7	91,6	34	19	37
	3. 0,27	27,8	7,3	46,8	48,2	31,1	70,0	44	11	45
Aatal	1. 0,54	22,8	8,8	38,6	53,1	29,8	79,2	36	21	43
	2. 0,51	23,6	9,6	40,4	54,6	30,8	81,3	35	24	41
	3. 0,59	23,9	7,4	44,1	55,4	27,2	80,4	37	17	46
Dietlikon	1. 0,46	18,9	7,0	32,8	54,0	31,2	78,8	36	22	42
	2. 0,48	19,4	7,9	33,4	54,9	30,5	79,4	34	23	43
	3. 0,46	20,3	7,9	36,5	56,6	35,1	80,8	34	22	44
Opfikon	1. 0,57	23,6	8,6	42,8	56,2	32,0	78,4	35	20	45
	2. 0,52	24,0	10,5	38,0	51,1	35,5	73,1	35	28	37
	3. 0,56	22,9	8,3	38,6	51,8	32,5	76,1	38	21	41
Bülach HT	1. 0,50	21,6	9,6	37,6	57,2	35,7	79,9	32	26	42
	2. 0,45	21,7	8,8	39,3	57,7	32,2	82,6	33	22	45
	3. 0,55	22,4	9,6	37,4	56,8	35,6	79,3	34	26	40
Nussbaumen	1. 0,65	23,8	9,1	44,0	55,8	30,8	79,5	33	20	47
	2. 0,67	24,2	10,2	42,7	56,5	32,7	78,0	33	24	43
	3. 0,61	24,3	8,8	43,0	54,7	30,1	77,7	36	21	43
Bülach M.	0,62	26,9	9,8	58,4	53,9			29	17	54
Thur	0,92	28,8	18,3	43,0	57,4			24	43	33

TABELLE 3

Verteilung der Kornformen nach Korngrösse und  
Stationen

mm	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	4	10	15	20	30	40	50	60	
Gossau			17	11	19	24	36	41	30	40	33	100	
Aatal			14	8	16	16	17	42	36	46	55		
Dietlikon	14	18	12	18	29	22	52	41	41	50			Form I „flach“
Opfikon			9	11	22	38	45	53	59	27	40		
Bülach HT	16	26	11	15	18	28	41	28	33	50			
Nussbaumen			16	11	16	29	24	31	40	43	50		
Bülach Mor.	14	15	11	15	22	26	44	45	44	13	44		
Eglisau			16	11	12	21	28	44	40	48	31	77	
Gossau			73	80	70	64	52	46	48	33	38		
Aatal			78	85	71	58	72	36	41	23	35		
Dietlikon	74	72	83	70	59	65	35	39	44	32			Form II „kugelig“
Opfikon			87	74	66	42	29	20	5	46	20		
Bülach HT	72	64	83	73	70	59	43	49	42	20			
Nussbaumen			75	84	74	62	64	58	45	52	50		
Bülach Mor.	76	77	80	77	66	62	42	36	37	75	33		
Eglisau			75	79	77	67	59	37	48	42	56	15	
Gossau			10	9	11	12	12	13	22	27	29		
Aatal			8	7	13	16	11	22	23	31	10		
Dietlikon	12	10	5	12	12	13	13	20	15	18			Form IV + III „flach- und rundstengelig“
Opfikon			4	15	12	20	26	27	36	27	40		
Bülach HT	12	10	6	12	12	13	16	23	25	30			
Nussbaumen			9	5	10	9	12	11	15	5	—		
Bülach Mor.	10	8	9	8	12	12	14	19	19	12	23		
Eglisau			9	7	11	12	13	19	12	10	13	8	

TABELLE 4

Mittel der Kornformverteilung in der  
Hochterrasse

Form I	15	18	10	16	23	27	42	38	44	44
Form II	73	73	84	72	65	59	41	40	33	37
Form III + IV	12	9	6	12	12	14	17	22	23	23

Mittel der Kornformverteilung in der  
Niederterrasse

Form I	14	16	12	14	21	27	44	43	46	24	61
Form II	76	76	80	77	67	61	40	42	40	64	24
Form III + IV	10	8	8	9	12	12	16	15	14	12	15

TABELLE 5

Die Abrollungsgrade der Kalke in Abhängigkeit  
von der Korngrösse und der Transportweite

mm	$\frac{1}{4}-\frac{1}{2}$			$\frac{1}{2}-1$			1-2			2-4			4-10		
	C	P	V	C	P	V	C	P	V	C	P	V	C	P	V
Gossau				23	9	68	23	10	67	17	16	67	19	13	68
Aatal				27	10	63	21	10	69	20	9	71	15	13	72
Dietlikon	23	15	62	24	16	60	24	13	63	18	14	68	19	14	67
Bülach HT	20	10	70	18	21	61	18	20	62	17	18	65	15	19	66
Nussbaumen				30	6	64	24	8	68	20	10	70	22	15	63
Bülach Mor.	32	6	62	32	7	61	32	9	59	29	9	62	20	16	64
Eglisau				28	10	62	23	12	65	24	12	64	20	13	67
Mittel HT	21	13	66	23	14	61	22	13	65	18	14	68	17	15	68
Mittel NT	32	6	62	30	8	62	28	10	62	26	11	63	20	14	66

TABELLE 6

Die Abrollungsgrade in Abhängigkeit von der  
Korngrösse

mm Ø	Gossau			Aatal			Dietlikon			Bülach			Nussbaumen		
$\frac{1}{4}-\frac{1}{2}$							30	14	56	30	9	61			
$\frac{1}{2}-1$	33	8	59	36	7	57	28	11	61	26	18	56	38	7	57
1-2	29	8	63	28	7	65	26	12	62	23	18	59	27	8	65
2-4	22	11	67	24	11	65	23	12	65	18	17	65	24	9	67
4-10	22	12	66	17	13	70	23	12	65	18	17	65	23	16	61
10-15				16	14	70	16	14	70	16	13	71	18	13	69
15-20				16	14	70	16	11	73	16	14	70			
	Bülach M			Eglisau											
$\frac{1}{4}-\frac{1}{2}$	36	9	55												
$\frac{1}{2}-1$	37	7	56	37	9	54									
1-2	37	7	56	31	9	60									
2-4	36	7	57	31	11	58									
4-10	23	13	63	22	12	66									
10-15	20	12	68	17	11	72									

TABELLE 7

Abhängigkeit des Abrollungsgrades von der  
Korngrösse und der Transportweite

mm	$\frac{1}{4}-\frac{1}{2}$			$\frac{1}{2}-1$			1-2			2-4			4-10			10-15		
	C	P	V	C	P	V	C	P	V	C	P	V	C	P	V	C	P	V
Gossau				33	8	59	29	8	63	22	11	67	22	12	66			
Aatal				36	7	57	28	7	65	23	11	65	17	13	70	16	14	70
Dietlikon	30	14	56	28	11	61	26	12	62	23	12	65	23	12	65	16	14	70
Bülach HT	30	9	61	26	18	56	23	18	59	18	17	65	18	17	65	16	13	71
Nussbaumen				38	5	57	27	8	65	24	9	67	23	16	61	18	13	69
Bülach Mor.	36	9	55	37	7	56	37	7	56	36	7	57	23	13	63	20	12	68
Eglisau				37	9	54	31	9	60	31	11	58	22	12	66	17	11	72

TABELLE 8

Mittelwerte des Abrollungsgrades für die Hochterrasse und die Moräne und Niederterrasse, sowie für Nagelfluh und Thurschotter

mm Ø	HT			NT			Ngfl.			Thursch.		
	C	P	V	C	P	V	C	P	V	C	P	V
0,25—0,5	30	12	58	36	9	55	40	8	52			
0,5 — 1	32	10	58	37	8	55	39	9	52			
1 — 2	27	11	62	34	8	58	25	15	60			
2 — 4	22	12	66	33	9	58	17	18	65			
4 —10	21	14	65	23	13	64	12	19	69	9	17	74
10 —15	16	14	70	18	12	70	13	15	72	9	16	75
15 —20	16	13	71	18	13	71	11	17	72	11	15	74
20 —30	15	13	72	18	9	73	9	15	76	12	12	76

TABELLE 9

Abrollungswerte der Quarze für sich

mm	$\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$			$\frac{1}{2}$ —1			1—2			2—4			4—10		
Gossau				43	6	51	34	3	63	28	6	66	30	8	62
Aatal				45	4	51	31	5	64	23	10	67	(50)		(50)
Dietlikon	35	14	51	35	12	53	32	9	59	33	5	62	20	10	70
Bülach	36	9	55	31	17	52	30	10	60	30	7	63	29	10	61
Nussbaumen				38	6	56	35	6	59	34	6	60	39	8	53
Bülach Mor.	52	4	44	47	5	48	46	5	49	45	6	49	38	14	48
Eglisau				47	4	49	45	6	49	39	9	52	40	6	54

TABELLE 10

Abhängigkeit der petrographischen Zusammensetzung von Korngrösse und Transportweite

Kristalline Gesteine												Quarzite											
mm	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	4	10	15	20	30	40	50	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	4	10	15	20	30	40		
G.			3	7	4	3	7	9	9	3	12			16	9	9	7	6	4	7	—	8	
A.			5	5	4	7	5	5	4	5	5			14	11	8	6	3	9	5	9	5	
D.	2	2	1	2	7	5	5	4	8	5		4	6	4	9	8	4	11	8	10	23		
O.			3	4	4	2	4	5	—	—				6	6	6	3	7	4	—	9		
B.HT	1	2	3	3	5	5	7	9	3	10		5	16	14	10	7	9	9	15	14	10		
N.			4	5	7	5	6	8	3	5	10			13	18	9	4	8	11	9	14	20	
B.Mor.	1	4	6	2	6	6	6	8	7	—		26	18	5	10	8	14	10	9	—	13		
E.			5	4	3	2	3	7	3	7	—			9	10	12	8	12	10	9	4	13	

Kalke												Verrucano											
mm	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	4	10	15	20	30	40	50	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	4	10	15	20	30	40		
G.			45	40	54	66	54	63	41	60	58			0	2	2	2	4	2	6	3	4	
A.			36	44	49	54	55	50	58	60	55			1	1	2	2	4	3	3	—	5	
D.	29	44	57	61	70	66	62	64	67	59		0	1	1	3	4	5	2	4	3	9		
O.			49	62	71	75	65	71	82	64				6	7	6	5	—	4	—	—		
B.HT	33	34	52	63	69	73	60	60	58	50		1	—	1	2	3	—	—	—	—	—		
N.			28	37	47	64	63	51	63	57	50			—	1	1	3	2	3	2	4	—	
B.Mor.	29	49	56	58	65	65	64	59	81	62		—	—	1	1	3	2	3	2	4	—		
E.			41	53	56	69	69	63	66	67	63			—	—	2	1	+	3	6	3	—	

Dolomite												Summe der klastischen Gesteine											
mm	1/4	1/2	1	2	4	10	15	20	30	40	50	1/4	1/2	1	2	4	10	15	20	30	40		
G.			1	3	9	8	16	15	25	13	—			21	24	20	16	17	8	16	17	25	
A.			1	5	11	16	18	16	18	14	—			24	25	22	17	13	17	15	19	10	
D.	—	1	—	—	—	1	5	4	7	—	5	10	11	13	19	17	16	25	23	24	32		
O.				1	—	1	3	5	2	4	—				18	21	21	13	24	18	14	18	
B.HT	—	1	—	—	—	1	3	8	3	—	—	9	20	16	15	18	16	20	25	33	40		
N.			1	—	4	2	4	1	2	—	—			30	34	25	20	21	37	19	33	30	
B.Mor.	—	—	—	—	1	—	+	—	1	—	—	27	22	16	20	25	23	25	21	4	38		
E.			2	1	2	2	+	—	—	—	—			14	20	24	19	21	26	26	20	38	
Summe der Karbonatgesteine												Summe der Einzelminerale											
G.			46	43	63	74	70	78	66	73	58			27	22	10	6	4	4	—	—	—	
A.			37	49	60	70	73	66	76	74	55			30	16	9	3	3	2	2	1	—	
D.	29		45	57	61	71	71	66	71	67	64	53	39	26	15	3	3	3	3	1			
O.				50	62	72	78	70	73	86	64				25	10	5	3	—	2	—		
B.HT	33		35	52	63	70	76	68	63	58	50	55	40	28	18	8	2	3	2	—			
N.			29	37	51	66	67	52	65	57	50			30	18	14	6	3	3	2	—		
B.Mor.	29		49	56	59	65	66	64	60	81	62	41	21	19	10	7	6	1	1	—			
E.			43	54	58	71	70	63	66	67	63			36	18	10	6	5	2	1	—		

G. = Gossau, A. = Aatal, D. = Dietlikon, O. = Opfikon, B. = Bülach,  
N. = Nussbaumen, E. = Eglisau.

TABELLE 13

Petrographische Zusammensetzung der Glattal-  
schotter, dargestellt nach der Methode ZEUNER

Gossau									Aatal						
mm	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	4	10	15	20	$\frac{1}{2}$	1	2	4	10	15	20
Krist. Gest.			1	3	4	5	18	23	2	3	4	23	17	25	20
Karb. Gest.			17	20	63	123	175	195	12	31	67	234	243	330	380
Klast. Gest.			8	11	20	27	42	20	8	16	25	57	43	85	75
Quarzite			6	4	9	12	10	10	5	7	9	20	13	45	25
Σ Nicht-Min.			27	35	90	157	240	240	23	53	102	324	324	490	490

Dietlikon									Opfikon					
Krist. Gest.	0,4	1	0,5	1	10	23	30	30	1	4	8	7	25	
Karb. Gest.	5	12	22	41	237	237	220	237	20	62	144	260	390	
Klast. Gest.	2	3	5	13	57	53	83	77	7	21	42	43	65	
Quarzite	1	2	2	6	27	13	37	27	2	6	12	10	20	
Σ Nicht-Min.	9	15	28	57	324	324	324	324	30	90	190	324	490	

Bülach HT									Nussbaumen						
Krist. Gest.	0,2	0,5	1	2	6	25	23	45	1	3	5	8	20	27	15
Karb. Gest.	6	9	19	35	88	380	227	315	10	21	36	110	223	174	325
Klast. Gest.	2	5	6	8	23	80	67	125	10	19	18	33	70	124	95
Quarzite	1	4	5	6	9	45	30	75	4	10	6	7	27	37	45
Σ Nicht-Min.	8	15	26	46	116	490	324	490	23	46	61	157	324	324	490

Bülach Mor.									Eglisau					
Krist. Gest.	0,2	2	3	2	9	10	60		1	2	3	3	6	35
Karb. Gest.	7	23	29	59	93	110	640		12	30	58	118	140	315
Klast. Gest.	7	10	8	20	36	38	250		4	11	24	32	42	130
Quarzite	1	9	3	10	12	23	100		3	6	12	13	20	50
Σ Nicht-Min.	14	38	43	90	133	157	990		18	46	90	157	190	490

TABELLE 11

## Verteilung der Formen innerhalb der Gesteine und Stationen

	Gossau			Aatal			Dieltikon			Opfikon			Büsch H			Nussbaumen			Büsch M			Eglisau		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Kristallin	29	50	15	53	37	5	44	31	6	13	50	37	38	48	14	14	78	8	53	40	7	38	50	12
Kalke	38	42	9	48	31	14	48	35	9	52	21	7	39	37	12	38	51	6	44	37	12	48	41	6
Dolomite	23	50	23	46	39	12	33	58	9	55	33	12	35	53	6	100	—	—	—	—	100	100	—	—
Σ Karbonate	35	44	12	47	29	14	47	36	9	52	22	7	39	39	12	40	49	6	44	37	12	49	40	6
Molassesandst.	67	33	—	20	20	40	—	50	50	100	—	—	100	—	—	63	37	—	100	—	—	50	50	—
Alpine Sandst.	33	33	17	47	70	13	41	50	3	55	25	15	38	38	14	33	62	5	32	53	—	35	41	24
Quarzte	38	50	12	27	43	27	37	57	6	18	45	18	24	64	9	27	58	15	45	45	10	47	33	20
Nagelfluh etc.	—	100	—	40	40	20	40	40	20	40	20	—	60	40	—	—	—	—	33	67	—	50	50	—
Verrucano	33	34	33	18	55	18	33	50	17	—	—	—	—	—	—	33	67	—	—	—	—	43	57	—
Σ Klastische G.	38	42	17	30	42	23	38	52	6	46	28	13	37	48	10	38	56	6	38	50	8	40	42	16
Radiolarite	50	50	—	40	60	—	20	80	—	—	—	—	—	100	—	—	33	67	—	67	—	33	34	—
Quarze etc.	29	42	—	29	43	21	27	64	9	50	50	—	18	82	—	29	64	7	44	44	12	—	100	—
Unbestimmt	—	—	—	33	56	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	75	25	—	—	—	—
Gesamtsumme	35	44	13	44	36	15	43	42	8	49	25	9	37	47	9	36	54	7	43	40	11	45	42	8

Korngrößen 15—50 mm

TABELLE 12

## Petrographische Zusammensetzung des Schotterers, Anzahl- und Gewichtsprozent für das Korngrößenintervall 15—50 mm

	Gossau		Aatal		Dieltikon		Opfikon		Büsch HT		Nussbaumen		Büsch M		Eglisau	
	a	g	a	g	a	g	a	g	a	g	a	g	a	g	a	g
Kristallin	8,5	10,5	5,0	5,5	4,7	5,0	4,0	3,0	7,0	6,0	6,0	6,5	7,0	8,5	4,5	3,0
Kalke	60,0	56,0	55,0	55,0	63,0	65,0	69,0	68,0	60,0	59,0	55,0	55,5	63,5	61,0	67,0	71,5
Dolomite	10,0	10,5	16,0	17,5	4,5	3,5	5,0	4,0	5,0	2,0	2,0	1,0	0,5	0,2	0,5	1,5
Σ Karbonate	70,0	62,0	71,0	72,5	67,5	68,5	74,0	72,0	65,0	61,0	57,0	56,5	64,0	61,5	67,0	73,0
Molassesandst.	1,5	3,5	1,2	1,6	0,9	0,8	2,0	1,0	1,5	1,5	7,0	6,0	0,5	0,1	1,0	0,4
Alpine Sandst.	3,0	5,0	3,8	3,7	8,5	7,0	10,0	10,0	9,5	13,0	9,0	5,0	8,5	8,4	9,0	13,0
Quarzte	4,0	7,8	7,5	7,5	10,0	11,7	5,5	5,5	11,0	14,0	11,0	14,0	9,0	11,2	8,0	5,5
Verrucano	3,0	3,9	2,3	2,5	2,9	3,3	—	—	—	—	3,0	3,0	3,1	3,7	3,7	1,8
Σ Klast. Gest.	14,5	21,0	16,0	16,0	24,0	24,0	19,0	18,5	23,5	30,0	30,0	28,0	22,0	25,5	24,0	21,5
Radiolarite	2,5	2,5	2,5	2,2	0,7	0,2	1,5	5,5	0,5	1,0	1,0	1,4	1,3	1,1	3,0	1,8
Mineralien	4,3	4,0	3,5	3,2	2,9	2,2	1,5	1,0	4,0	2,0	6,0	7,6	4,0	2,7	1,0	0,6

In dieser Tabelle sind nur die Hauptgruppen näher aufgeführt worden, die im Text näher besprochen werden. Die restlichen Gesteine, die die Gesamtsumme auf 100 % ergänzen würden, sind derart mannigfaltig, dass sie für eine weitere Bearbeitung der zu geringen Anzahl wegen nicht in Frage kommen.

TABELLE 14

Mittelwerte der petrographischen Zusammensetzung der HT für die einzelnen Korngrößenintervalle

## a) Mittel für die Hochterrasse

mm	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	4	10	15	20	30
Kristalline Gest.	2	3	4	3	5	5	6	6	4
Kalke	31	40	48	58	64	65	60	59	65
Dolomite	—	1	2	4	5	9	10	11	6
Summe Karb. Gest.	31	41	50	62	69	74	70	70	71
Quarzite	4	13	9	8	7	5	8	8	7
Verrucano	+	+	2	3	3	4	2	3	1
Summe Klast. Gest.	10	19	19	19	18	15	19	19	21
Mineralien	54	34	23	12	5	3	2	2	—

## b) Mittel für die Niederterrasse

Kristalline Gest.	1	5	5	3	4	5	7	6	7
Kalke	30	45	55	57	67	67	64	63	74
Dolomite	—	1	+	2	1	1	—	+	—
Summe Karb. Gest.	30	46	55	59	68	68	64	63	74
Quarzite	26	14	8	11	8	13	10	9	2
Verrucano	—	—	+	2	2	1	3	4	4
Summe Klast. Gest.	27	18	18	22	22	22	26	24	12
Mineralien	41	29	19	10	7	6	2	1	—

TABELLE 15

Mittelwerte der petrographischen Zusammensetzung nach der Methode von ZEUNER

## a) Hochterrasse

mm	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	4	10	15	20	30
Kristalline Gest.	0,4	1	2	3	10	17	25	30	
Kalke	6	12	21	48	128	217	250	295	
Dolomite	—	0,3	1	4	10	30	42	55	
Summe Karb. Gest.	6	12	22	52	138	247	292	350	
Quarzite	1	4	4	7	14	17	33	40	
Verrucano	+	+	1	2	6	13	8	15	
Summe Klast. Gest.	2	6	8	16	36	50	79	95	
Summe Nicht-Min.	8	19	34	74	190	323	408	490	

## b) Niederterrasse

mm	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	4	10	15	20	
Kristalline Gest.	0,3	2	3	3	6	8	35		
Kalke	7	16	29	57	96	112	320		
Dolomite	—	0,3	+	2	1	2	—		
Summe Karb. Gest.	7	16	29	59	97	114	320		
Quarzite	6	5	4	11	11	22	50		
Verrucano	—	—	+	2	3	2	15		
Summe Klast. Gest.	7	6	9	22	32	37	130		
Summe Nicht-Min.	14	25	43	90	133	157	490		



TABELLE 16

Mittelwerte der verschiedenen charakteristischen Zahlenwerte für die Mischungslinien.

Zahlen geben die Anzahl der berechneten Analysen an	d	d'	d''	p	p'	p''	D	D'	D''	δ	π	δ'	π'	δ''	π''	Index α	Schluff	Fein-Sand	Grob-Sand	Fein-Kies	Grob-Kies	
Ideale Mischung																						
Bis d <sub>max</sub> 10	1/2 d <sub>max</sub> 2,34	1/4 d <sub>max</sub> 0,85	3/4 d <sub>max</sub> 5,0	50	25	25	50	25	25	1	1	1	1	1	1	3						
" 10	7,75	5,4	9,2	64	36	15	41	9	50	0,46	0,72	0,72	1,13	0,81	0,83	5,3						
" 10	5,0	3,8	6,2	37	17	42	38	54	8	1,55	0,74	1,40	0,92	1,03	0,54	1,9						
" 10	5,0	1,2	8,8	50	18	18	24	38	38	1	1	1,52	0,72	0,82	0,72	1,4						
" 10	5,0			50	32	32	76	12	12	1	1	0,48	1,28	1,17	1,28	4,6						
Gossau	28,3	7,8	47,5	48	32	25	50	9	41	0,71	0,96	0,55	1,34	0,88	0,96	4,2		5,2	16,1	20,0	58,7	K*)
Aatal	22,6	8,8	38,6	53	30	21	46	13	41	0,68	1,06	0,78	1,13	0,99	0,89	4,0		2,7	12,9	32,9	51,5	"
Diehlkon	18,9	7,0	32,8	54	31	21	43	12	45	0,63	1,08	0,74	1,15	0,83	0,91	4,1		5,1	12,4	38,4	44,1	"
Optikon	23,6	8,6	42,8	56	32	22	53	13	34	1,04	1,12	0,73	1,14	0,98	1,00	4,3		4,5	12,5	29,8	50,2	"
Bütsch	21,6	9,6	37,6	57	36	20	43	15	42	0,66	1,14	0,89	1,27	0,88	0,99	3,9		3,3	14,3	38,2	44,2	"
(Nussbaumen)	23,8	9,1	44,0	56	31	20	58	15	27	0,79	1,12	0,76	1,11	1,05	0,91	4,4		4,1	13,1	33,4	49,4	"
3 Glazialer Geschiebelehm (Udden)	0,48	0,098	8,33	81	55	0,3	81	1	18	0,08	1,62	0,54	1,35	1,59	0,07	76	12,8	61,5	20,5	5,2		SG
4 Glazialer Terrassenkies (Udden)	4,0	1,07	15,5	81	46	9	44	3	53	0,23	1,61	0,56	1,13	0,86	0,99	11,1		9,9	56,4	27,5	6,2	G
3 Flussskies Yukon (Udden)	7,0	2,3	15,0	64	38	18	39	8	53	0,43	1,27	0,67	1,20	0,77	0,98	5,5						Fk
2 Flussskies Sohle? (Udden)	5,3	3,5	7,1	60	30	21	23	22	55	0,65	1,22	1,33	0,98	0,68	1,04	2,1		3,0	30,0	55,2	11,8	Fk
3 Küstenschotter	13,5	9,8	19,4	61	31	18	30	31	39	0,84	1,23	1,45	1,01	0,83	0,95	2,2						Fk
5 Strandsand (Udden)	0,38	0,25	0,61	62	32	12	22	17	61	0,39	1,26	1,29	1,01	0,58	0,63	3,3						S
20 Strandsand (Marshall)	0,21	0,16	0,25	50	20	28	15	27	58	0,67	1,00	1,52	0,80	0,62	1,12	1,3		23,2	76,8	81,7	18,3	α-βGs
Neu Seeland																		48	52			
15 Strandsand (Pettijohn)	0,28	0,21	0,35	42	21	26	17	28	56	0,28	0,97	1,51	0,94	0,52	0,94	1,5		32,9	67,1			αGs
Lake Michigan																						
6 Düne (Udden)	0,35	0,22	0,72	68	41	8	20	14	66	0,40	1,36	1,30	1,21	0,54	0,58	1,4		33,3	65,5			Gs
10 Düne im Lee	0,165	0,110	0,230	55	24	21	16	16	68	0,45	1,10	1,31	0,89	0,49	0,74	2,2		69,9	30,1	1,2		S
4 Düne (Guggenmoos)	0,34	0,24	0,45	52	26	21	23	30	47	0,79	1,06	1,40	1,00	0,79	0,89	1,8		15,3	84,7			αGs
26 Thanet Beds (Baker)	0,085	0,056	0,110	50	18	22	32	31	37	0,60	0,95	1,28	0,75	0,80	0,83	1,9	8,9	90,3	0,8			α-βFs
Strandsand																						
Faerör } Guggen	0,67	9,47	0,98	61	25	19	34	31	35	0,89	1,22	1,40	0,82	0,90	0,97	2,3		0,4	99,6			βGs
Sylt } moos	0,41	0,29	0,57	57	26	15	28	29	43	0,82	1,14	1,41	0,91	0,81	0,70	2,0	0,6	2,5	90,9			βGs
29 Sinkstoffe Mur (Stiny)	0,14	0,04	0,44	74	43	6	20	2	78	0,14	1,48	0,57	1,16	0,41	0,46	8,5	14,0	22,3	56,6	7,1		S

\*) K = Kies, G = Gries, S = Sand, Gk = Grobkies, Fk = Feinkies, Gs = Grobsand, SG = Sand-Gries etc.

## LITERATURVERZEICHNIS

Das vorliegende Literaturverzeichnis erhebt nicht Anspruch auf Vollständigkeit. Über den Geschiebetransport sind viele kleinere Arbeiten und Mitteilungen erschienen, die zu der ganzen Frage nichts Neues beigetragen haben. Ferner sind mir eine Reihe von Arbeiten nicht zugänglich gewesen, die in andern Arbeiten erwähnt werden. An Hand der hier angegebenen Schriften wird es leicht sein, das Verzeichnis nach der einen oder andern Richtung zu ergänzen.

1. AHLMANN, H. W., Beitrag zur Kenntnis der Transportmechanik des Geschiebes. *Sveriges geol. Undersög. Arsb.* 8 (1914).
2. AHRENS, W., Die Trennung der Niederterrasse am Mittelrhein und Niederrhein in einen diluvialen und alluvialen Teil auf Grund der Geröllführung. *Z. dtsch. geol. Ges.* 82 (1930), 129—141.
3. ANDERSON G. E., Experiments on the rate of wear of sand grains. *J. Geol.* 34 (1926), 144—158.
4. ATTERBERG, A., Die rationelle Klassifikation der Sande und Kiese. *Chemiker Zeitung* No. 15 (1905).
5. BAKER, H. A., On the investigation of the mechanical constitution of loose arenaceous sediments by the method of elutriation, with special reference to the Thanet Beds of the S. Side of London Basin. *Geol. Mag.* 57 (1920), 321—332; 363—370; 411—420; 463—467.
6. BARRELL, J., Marine and terrestrial conglomerates. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 37 (1925), 279—341.
7. BARRETT, H., The grading of dune sand by wind. *Geol. Mag.* 67 (1930).
8. BAUMBERGER, E., GERBER, E., JEANNET, A., WEBER, J., Die diluvialen Schieferkohlen der Schweiz. *Beitr. geol. K. Schweiz. Geot. Ser.* 8 (1923).
9. BECK, P., Über das schweizerische und europäische Pliocän und Pleistocän. *Eclogae geol. Helvet.* 26 (1933).
10. BERGER, F., Diluviale Stratigraphie und Tektonik im Gebiete der oberen Neisse und der Steine. Mit einem Beitrag zur Schotteranalyse. *Jb. preuss. geol. L. A.* 52 (1931), 177—244.
11. BERZ, K. C., Petrographische-stratigraphische Studien im oberschwäbischen Molassegebiet. *J. Hefte Ver. vaterländ. Natk. Württemberg* 71 (1915), 276—343.
12. BODEN, K., Die Geröllführung der miocänen und oligocänen Molasseablagerungen im südbayerischen Alpenvorland zwischen Lech und Inn und ihre Bedeutung für die Gebirgsbildung. *Mitt. geogr. Ges. München* 28 (1925), 429—504.
13. — Beschaffenheit, Herkunft und Bedeutung des ostalpinen Molasseschutts. *Abh. geol. Landesunters. bayr. Oberbergamtes* (1931), 1—34.
14. BODENBURG-HELLMUND, H. W., Die Drumlinlandschaft zwischen Pfäffiker- und Greifensee. *Diss. Zürich* (1909). *Vierteljahrsschr. natf. Ges. Z.* (1909).
15. BÖRNER, M., *Kies- und Sandbuch*. Halle 1931.
16. BONNEY, Observations on the rounding of pebbles by alpine rivers. *Geol. Mag.* 5 (1888).
17. BRINKMANN, R., Über Kreuzschichtung im deutschen Buntsandsteinbecken. *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl.* (1931), 1—12.

18. BURRI, C., Sedimentpetrographische Untersuchungen an alpinen Flüssen.  
1. Die Sande des Tessin. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 9 (1930), 205—240.
19. CADISCH, J., Beitrag zur Entstehungsgeschichte der Nagelfluh. *Eclogae geol. Helvet.* 18 (1923), 222—227.
20. CAMPBELL, M. R., Geomorphic value of river gravel. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 40 (1929), 515—532.
21. CHALLINOS, J., The curve of stream erosion. *Geol. Mag.* 67 (1930), 61—67.
22. CHRISTEN, T., Die Geschiebeführung der Flussläufe. *Z. prakt. Geol.* 14 (1906), 5.
23. COLLET, L. W., Geschiebetransport in verschiedenen schweizerischen Flüssen. *Schweiz. Wasserwirtschaft* 7. Jg., Nr. 6—9 (1915).
24. — Sur la densité des alluvions. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.*, Bd. 50 (1915), 393.
25. — Le charriage des alluvions. *Ann. schweiz. Landeshydrogr.* (1916).
26. CORNELIUS, H. P., Beobachtungen über die Geröllführung der Molasse am Allgäuer Alpenrand. *Verh. geol. Bundesanst. Wien* Nr. 11, 12 (1923).
27. CORRENS, C. W., Grundsätzliches zur Darstellung der Korngrößenverteilung. *Zbl. Min. etc.* (1934), 321 ff.
28. COX, E. P., A method of assigning numerical and percentage value to the degree of roundness of sand grains. *J. Paläont.* 1 (1927/1928), 179—183.
29. DONAT, J., Über Sohlenangriff und Geschiebetrieb. *Die Wasserwirtschaft* (1929), 471.
30. EHRENBERGER, R., Zur Frage der Kennzeichnung von Flussgeschieben. *Die Wasserwirtschaft* (1931), 283.
31. — Direkte Geschiebemessungen an der Donau bei Wien und die bisherigen Ergebnisse. *Die Wasserwirtschaft* (1931), H. 34.
32. ENGELS, H., Untersuchungen über die Bettausbildung gerader oder schwach gekrümmter Flussstrecken mit beweglicher Sohle. *Z. Bauwesen* (1905).
33. ESCHER-HESS, C., Über einige Vorkommnisse der oligocänen und miocänen Molasse und Nagelfluh der östlichen Schweiz. *Orell Füssli Zü.* (1907).
34. FISCHER, G., Gedanken zur Gesteinssystematik. *Jb. preuss. geol. L. A.* 54 (1933), 553—584.
35. FRAAS, E., Entstehung des Bodensees. *Schr. Ver. Geschichte Bodensee u. Umgeb.* H. 42 (1913).
36. FREI, R., Zur Kenntnis des ostschweizerischen Deckenschotter. *Eclogae geol. Helvet.* 11 (1912).
37. — Monographie des schweizerischen Deckenschotter. *Beitr. geol. K. Schweiz.* Nf. 37. 1. (1912).
38. — Geologische Untersuchungen zwischen Sempachersee und oberem Zürichsee. *Beitr. geol. K. Schweiz.* Nf. 45. 1. (1914).
39. FREISE, FR., Beobachtungen über den Schweb einiger Flüsse des brasilianischen Staates Rio de Janeiro. *Z. Geomorphologie*, Bd. 5 (1930), 241—244.
40. — Untersuchungen von Mineralien auf die Abnutzbarkeit bei Verfrachtung im Wasser. *Tschermak Min. Petr. Mitt.* 41 (1931), 1—7.
41. — Untersuchungen von Gesteinen auf die Abnutzbarkeit bei Verfrachtung im Wasser. *Tschermak Min. Petr. Mitt.* 42 (1932).

42. FRIEDRICH WILH., Gewässerkunde. 11. Geschiebe. Literaturübersicht über die Jahre 1907—1930. Geographisches Jb. (1931), 1—50.
43. FROHNMEYER, O., Untersuchung der Sedimentführung in Flüssen. Petermanns Mitt. 1916.
44. FRÜH, J., Beiträge zur Kenntnis der Nagelfluh der Schweiz. Denkschr. schweiz. natf. Ges. 30 (1888).
45. — Die Drumlinlandschaft mit spezieller Berücksichtigung des alpinen Vorlandes. Ber. Tätigkeit St. Gall. natf. Ges. (1894/95), 325—396.
46. — Zur Morphologie des untern Thurgau. Mitt. thurg. natf. Ges., Heft 17 (1906).
47. — Zur Morphologie des Zürcheroberlandes. Festschr. Heim. Vierteljahrsschr. natf. Ges. Zü. (1919).
48. FUGGER, E. und KASTNER K., Die Geschiebe des Donaugebiets. 1. Die Geschiebe der Salzach. Donaustudien III. Mitt. k. k. geogr. Ges. Wien, 38 (1895).
49. GILBERT, G. K., The transportation of debris by running water. U. S. geol. Surv. Wash. Prof. Paper 86 (1914).
50. GOGARTEN, E., Über alpine Randseen und Erosionsterrassen. Petermanns Mitt. Erg. H. 165 (1910).
51. GRABAU, A. W., Principles of stratigraphy. London (1913).
52. — Problems of interpretation of sedimentary rocks. Bull. Geol. Soc. Amer. 28 (1917).
53. GREGORY, H. E., Note on the shape of pebbles. Amer. J. Sc. (4), 39 (1915), 300—304.
54. — The formation and distribution of fluvial and marine gravels. Amer. J. Sc. 39 (1915), 487—508.
55. GRENGG, R., Über ziffernmässiges Erfassen von Gefügeeigenschaften der Gesteine. Tscherma's Min. Petr. Mitt. 38 (1925), 479—493.
56. — Die Darstellung der Körnerformen und der Kornverteilung loser Massen sowie Gesetzmässigkeiten beim Werden von Schottern und Sanden. Z. Geschiebeforschung 3 (1927), 13 S.
57. — Über die Bewertung von natürlichen Gesteinen für bautechnische Zwecke. Abh. prakt. Geol. Bergwirtschaftslehre 15 (1928) (Halle an der Saale).
58. GRUNER, H. E., Studien in der Schweiz über Geschiebebewegung in Gewässern. Die Wasserwirtschaft (1931), 76.
59. GUGGENMOOS, THER., Über die Korngrösse und Kornformverteilung von Sanden verschiedener geologischer Entstehung. N. Jb. Min. etc. Abt. B., 72 (1934), 429—487.
60. GUTZWILLER, A., Geologische Beschreibung der Molasse und der jüngeren Ablagerungen. Beitr. geol. K. Schweiz, L. 14 (1877).
61. HEIM, ALB., Die Entstehung der alpinen Randseen. Vierteljahrsschr. natf. Ges. Zürich (1894).
62. — Geologie der Schweiz. Bd. 1 (1916).
63. HETTNER, A., Die Arbeit des fließenden Wassers. Geographische Z. (1910).
64. HOCHENBURGER V., F., Über Geschiebebewegung und Eintiefung fließender Gewässer. Leipzig (1886).
65. HOFFMANN, H., Abgekürzte Verfahren zur mechanischen Prüfung von Strassenbausteinen. Steinbruch und Sandgrube (1930), H. 12.

66. HÖRNES, R., Gerölle und Geschiebe. Verh. k. k. geol. Bundesanst. (1911).
67. HOLMES, A., Petrographic methods and calculations. London Murby (1920).
68. HUG, J., Geologie der nördlichen Teile des Kantons Zürich und der angrenzenden Landschaften. Beitr. Geol. K. Schweiz NF. 15 (1907).
69. — Die letzte Eiszeit in der Umgebung von Zürich. Festschr. natf. Ges. Zürich (1917), 125—142.
70. — Die Grundwasservorkommnisse der Schweiz. Ann. schweiz. Landeshydrographie III (1918).
71. HUG, J. und BEILICK, A., Die Grundwasserverhältnisse des Kantons Zürich. Beitr. Geol. Schweiz. Geot. Ser. Hydrol. 1 (1934).
72. JENTZSCH, A., Das Profil der Ufersande in Seen. Abh. preuss. geol. L.-A. 78 (1918).
73. JOHANNSEN, A. A., A planimeter method for the determination of the percentage composition of rocks. J. Geol. 27 (1919), 276—285.
74. KÖLBL, L., Über die Aufbereitung fluviatiler und äolischer Sedimente. Tschermaks Min. Petr. Mitt. 41 (1931), 129—143.
75. — Über die Körnung des Löss. Zbl. Min. etc. Abt. A (1934), 173—181.
76. KOZENY, J., Über die mechanische Wirkung des fließenden Wassers auf feste Körper. Die Wasserwirtschaft (1929), 346.
77. KRAFF, PH., Die Geschichte des Rheins. Schr. Ver. Geschichte Bodensees (1901).
78. — Die Schwemmstoffführung des Rheins und anderer Gewässer. Öster. Wochenschr. öffentl. Baudienst (1919).
79. KRAUS, E., Sedimentationsrhythmus im Molassetrog des bayrischen Allgäu. Abh. natf. Ges. Danzig I (1923).
80. KRUMBEIN, W. C., A history of the principles and methods of mechanical analysis. J. Sedimentary Petrogr. 2 (1932). [Viel Lit., vor allem amerikanische.]
81. KUMM, A., Über die Bildungsweise der Konglomerate des Buntsandsteins. Z. dtsh. geol. Ges. 80 (1928), 46—63.
82. KURZMANN, S., Beobachtungen über die Geschiebeführung. Diss. München (1919).
83. LONDON, E. R., An analysis of beach pebbles abrasion and transportation. J. Geol. 38 (1930), 437—446.
84. LEPPIK, E., Untersuchungsmethoden der Sinkstoffe und des Geschiebes und deren Vereinheitlichung. Die Wasserwirtschaft (1931), 84; 102; 129.
85. LIECHTI, W., Geologische Untersuchungen der Molassenagelfluhregion zwischen Emme und Ilfis. Beitr. geol. K. Schweiz. NF. 61 (1928). Diss. Bern.
86. LÖWE, F., Über die Bewegung von Geröllen in fließendem Wasser (Bespprechung der Arbeit von Gilbert). Z. Ges. Erdkunde. Berlin (1922), 243.
87. LUDWIG, A., Flussgeröll, Molasseproblem und Alpenfaltung. Jb. S.A.C. 45.
88. — Aus dem ostschweizerischen Molassegebiet. Jb. St. Gall. natf. Ges. 62 (1926).
89. — Die Entstehung des Rheintals und des Bodensees. Jb. St. Gall. natf. Ges. (1926).

90. LUDWIG, A., Aus dem ostschweizerischen Molassegebiet. Jb. St. Gall. natf. Ges. 62 (1926) 81—100.
91. MARSHALL, P., The wearing of beach gravels. Transactions of the New Zealand Inst. 58 (1928), 507—532.
92. — Beach gravels and sands. Trans. Proc. New Zealand Inst. 60 (1929—1930), 324—365.
93. MAYER, K., Natürliche, gleichmässige und practische Classification der Sediment-Gebilde. Zürich, Höhr (1874).
94. MISER, H. D., Shapes of stream pebbles in San Juan Country Utah. J. Wash. Acad. Sc. 17 (1927), 270—271.
95. MÜHLBERG, F., Die scheinbare Bewegung der Kiesbänke in den Flussbetten. Mitt. aarg. nat. Ges. (1898), 50—63.
96. MÜLLER, H., Über die quantitative mineralogische Zusammensetzung tertiärer Sande im Untergrund von Hamburg und Umgebung. Zbl. Min. etc. Abt. A (1931), 278—296.
97. NEVIN, C. and TRAINER, D., Laboratory studies in delta building. Bull. Geol. Soc. Amer. 38 (1927).
98. DU PASQUIER, L., Über die fluvioglacialen Ablagerungen der Nordschweiz. Beitr. Geol. K. Schweiz. Nf. 1 (1891).
99. PENCK ALBR., Morphologie der Erdoberfläche. Stuttgart 1894.
100. PENCK und BRÜCKNER, Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig 1909.
101. PENCK, A., Glaziale Krustenbewegungen. Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. 24. Math. Kl. (1922).
102. — Die letzten Krustenbewegungen in den Alpen. Geol. Föreningens Stockholm Förh. (1922).
103. — Die Terrassen des Isartales in den Alpen. Ablagerungen und Schichtstörungen der letzten Interglazialzeit in den nördlichen Alpen. Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Math.-phys. Kl. 19, 20 (1922).
104. PETTIJOHN, F. J., Petrography of the beach sands of southern Lake Michigan. J. Geol. 39 (1931), 432 ff.
105. QUIRING, H., Über die tektonischen Grundlagen der Flussterrassenbildung. Z. dtsh. geol. Ges. 78, Monats-Ber. (1926), 156.
106. REABURN and MILNER, H. B., Alluvial prospecting. London Murby 1927.
107. REED, R. D., Recent sands of California. J. Geol. 38 (1930), 223—245.
108. REHBOCK, TH., Abfluss, Bettbildung und Energiehaushalt der Wasserläufe. Petermanns Mitt. (1927).
109. — Abflussvorgänge in Wasserläufen unter Berücksichtigung von Wasserwalzen, Geschiebebewegung, Auflandung und Erosion. Z. dtsh. geol. Ges. 81 (1929), 268 ff.
110. — Bettbildung, Abfluss und Geschiebebewegung bei Wasserläufen. Z. dtsh. geol. Ges. (1930).
111. RICHTER, Der Wert der Sedimentpetrographie. Steinbruch und Sandgrube. (1928), 567—171.
112. ROLLIER, L., Die Entstehung der Molasse auf der Nordseite der Alpen. Vierteljahrsschr. natf. Ges. Zürich 49 (1904), 159—170.
113. RUBEY, W. W., Lithologic studies of fine-grained upper cretaceous sedimentary rocks of the Black-Hill Region. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 165 A (1930), S. 23.

114. SARDESON, F. W., Characteristics of a corrosion conglomerate. Bull. Geol. Soc. Amer. 25 (1914).
115. SCHAFFERNAK, F., Neue Grundlagen zur Berechnung der Geschiebeführung der Flussläufe. Wien 1922.
116. SCHMIDLE, W., Zur Kenntnis der Molasse und der Tektonik am nordwestlichen Bodensee. Z. dtsh. geol. Ges. Abh. 63 (1911), 522.
117. — Die Geschichte der geologischen Erforschung des Bodensees. Bad. geolog. Abh. 3 (1931), H. 1 u. 2.
118. SCHMIDT, W., Der Massenaustausch in freier Luft und verwandte Erscheinungen. Probleme der kosmischen Physik VII (1925). Herausg. Jansen und Schwassmann.
119. SCHOKLITSCH, A., Über Schleppkraft und Geschiebebewegung. Leipzig 1914.
120. — Geschiebebewegung in Flüssen und Stauwerken. Wien, Springer, 1926.
121. — Stauraumverlandung und Kolkabwehr. Wien, Springer, 1935.
122. SCHREYER, J., Die Einwirkung eines Stauwehres auf einen geschiebeführenden Fluss. Die Bautechnik (1931), 748—757.
123. SCHULZ, W., Entstehung und Fortbewegung der Geschiebe. Schweiz. Wasserwirtschaft (1911), 256—258.
124. — Geschiebe der fliessenden Gewässer. Wasserwirtschaftl. Rundschau. 8. Jg. (1915).
125. SHERZER, W. H., Criteria for the recognition of various types of sand grains. Bull. Geol. Soc. Amer. 21 (1910).
126. SINGER, M., Das Rechnen mit Geschiebemengen. Z. Gewässerkunde. 9.
127. SOERGEL, W., Die Gliederung und absolute Zeitrechnung des Eiszeitalters. Fortschr. Geol. H. 123 (1925).
128. — Die Ursachen der diluvialen Aufschotterung und Erosion. Fortschr. Geol. (1921). Ref.: N. Jb. II (1922), 180.
129. STERNBERG, H., Untersuchungen über das Längenprofil und Querprofil der geschiebeführenden Flüsse (Formel für Abtrieb). Z. Bauwesen (1875), 483.
130. STINY, J., Schlammförderung und Geschiebeführung des Raabflusses. Mitt. Geogr. Ges. Wien (1920).
131. — Die ostalpinen Eiszeitschotterfluren. Zbl. Min. etc. (1923).
132. — Der Schweb der Mur. Z. Geomorphologie. 1 (1925), 49.
133. STRELE, G., Die Geschiebequelle der Bäche und Flüsse. Schweiz. Bauzeitg. H. 18/19 (1932).
134. STUMPF, W., Über das Wachsen des Rheindeltas im Bodensee. Veröffentl. Amtes Wasserwirtschaft (1923).
135. SUCHIER, Die Bewegung der Geschiebe des Oberrheins. Dtsche Bauztg. Nr. 56 (1883).
136. SZADECKY-KARDOSS, E., v., Flusschotteranalyse und Abtragungsgebiet. Ref.: N. Jb. Min. etc. II H. 4 (1933).
137. — Die Bestimmung des Abrollungsgrades. Zbl. Min. Abt. B Nr. 7 (1933).
138. TESTER, A. C., The maesurement of shapes of rock partikles. J. Sedimentary Petrogr. 1 (1931).
139. TEUSCHER, E., Methodisches zur quantitativen Strukturanalyse körniger Gesteine. Tschermak Min. Petr. Mitt. 44 (1933).

140. TIEDEMANN, B., Über das Wandern des Sandes im Küstenraum des Samlandes. Z. Bauwesen, H. 80 (1930), 44 S. Mitt. preuss. Versuchsanst. Wasserbau, H. 5 (1930).
141. TROLL, K., Die jungglazialen Schotterfluren im Umkreis der deutschen Alpen, ihre Oberflächengestalt, ihre Vegetation und ihr Landschaftscharakter. Forschg. dtsh. Landes- u. Volkskde. 24 (1933), 159—256.
142. TROWBRIDGE, A. C. and MORTIMORE, M. E., Correlation of oil sands by sedimentary analysis. Economic Geol. 20 (1925), 405—423.
143. TRÜMPENER, Sand und Kies. Berlin 1930.
144. TWENHOFEL, W. H., Treatise on sedimentation. 2nd ed. London 1932.
145. UDDEN, J. A., Mechanical composition of clastic sediments. Bull. Geol. Soc. Amer. 25 (1914).
146. VERSUCHSANSTALT FÜR WASSERBAU, Wasserführung, Sinkstoffführung und Schlammablagerung des alten Rheins. Mitt. Eidg. Amt Wasserwirtschaft. Nr. 31 (1932).
147. WADELL, H., Volume, shape and roundness of rock particles. J. Geol. 40 (1932), 443—451.
148. — Sphericity and roundness of rock particles. J. Geol. 41 (1933).
149. WAGNER, G., Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte (mit besonderer Berücksichtigung Süddeutschlands). F. Rau, Oehringen 1931.
150. WEBER, A., Die Glazialgeologie des Tösstales und ihre Beziehungen zur Diluvialgeschichte der Nordostschweiz. Diss. E. T. H. Zürich 1928.
151. — Zur Glazialgeologie des Glattals. Eclogae geol. Helvet. 27 (1934).
152. WENTWORTH Ch., A laboratory and field study of cobble abrasion. J. Geol. 27 (1919), 507—521.
153. — A scale of grade and class terms for clastic sediments. J. Geol. 30 (1922), 377—392.
154. — The shape of pebbles. U. S. Geol. Surv. Bull. 730 C (1922), 91—114.
- 154a. — The shapes of beach pebbles. U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 131 C (1922).
155. — The accuracy of mechanical analysis. Amer. J. Sc. (5) 13 (1927), 399—408.
156. — Method of mechanical analysis of sediments. Univ. Iowa studies. Nat. hist. 11 nr. 11 (1926).
157. — Method of computing mechanical composition types in sediments. Bull. Geol. Soc. Amer. (1929), 771—790.
158. WETZEL, W., Sedimentpetrographie. Fortschr. Min. Petr. 8 (1923), 101—198. Reich an Lit.-Angaben.
159. WIESENER, H., Studien an Sanden des niederösterreichischen Marchfeldes. Tschermak Min. Petr. Mitt. 40 (1930), 303—324.
160. WINKLER, A., Zur Deutung der Geröllzusammensetzung der inneralpinen Inntalmolasse. Zbl. Min. etc. Abt. B (1928), 359—362.
161. ZEUNER, F., Die Schotteranalyse. Ein Verfahren zur Untersuchung der Genese von Flussschottern. Geol. Rundschau 24 (1933), 65—104.
162. ZIEGLER, V., Factors influencing the rounding of sand grains. J. Geol. 19 (1911).
163. ZINGO, TH., Erläuterungen zu Atlasblatt 7 Geol. K. Schweiz. Blätter: Mönchaltorf, Hinwil, Wädenswil und Rapperswil. Geol. Kommiss. S. N. G. 1934.



*Nachtrag.*

- 164. STAUB, R., Grundzüge und Probleme alpiner Morphologie. Denkschr. schweiz. natf. Ges. 69 (1934).
- 165. NIGGLI, P., Die Charakterisierung der klastischen Sedimente nach der Kornzusammensetzung. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 15 (1935) 31.

Eingegangen: 18. März 1935.

## **Lebenslauf**

Ich — Zingg Theodor — von Berg (Thurgau) wurde am 24. Mai 1905 als Sohn des Ernst Zingg, Gewerbelehrer, in Winterthur geboren. Dasselbst besuchte ich die Primarschule. Nach der Übersiedelung meiner Eltern nach Zürich besuchte ich das kantonale Gymnasium und vom Herbst 1922 an die Oberrealschule des freien Gymnasiums in Zürich. Nach der Maturität trat ich 1925 in die Abteilung für Naturwissenschaften an der E. T. H. ein, woselbst ich 1929 das Diplom erwarb. In der folgenden Zeit war ich mit der Ausarbeitung der Promotionsarbeit beschäftigt. Frühling 1930 bis Sommer 1932 war ich Hilfsassistent bei Herrn Prof. Niggli.

1. August 1932 bis 1. September 1933 war ich im Auftrage der meteorologischen Kommission der S. N. G. Leiter der Polarstation (Bergstation Snaefellsjökull) in Island. Seit der Rückkehr im November 1933 war ich wieder mit der Promotionsarbeit und der Bearbeitung der wissenschaftlichen Ergebnisse der Expedition beschäftigt. Juni 1934 bis März 1935 war ich Assistent bei Herrn Prof. Niggli, seither bin ich Assistent an der Eidg. Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich.