

**Der Hauptdolomit als
Grundwasserspeicher in den Nördlichen Kalkalpen**

Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaften
(Dr. rer. nat.)

dem Fachbereich Geowissenschaften
der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von
Martin Fellehner
aus Marburg / Lahn

Marburg / Lahn 2003

Vom Fachbereich Geowissenschaften der
Philipps-Universität Marburg als Dissertation am angenommen.

Erstgutachter: Prof. Dr. H. Zankl

Zweitgutachter: Prof. Dr. W.-S. Vogler

Tag der mündlichen Prüfung am: 30.06.2004

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. H. Zankl, der mir die Möglichkeit gegeben hat, die hier vorliegende Arbeit zu erstellen und dessen Betreuung und Ratschläge mir immer wichtig gewesen sind.

Ich bedanke mich bei den Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Zankl, besonders Herrn Christian Kassebaum, für anregende Diskussionen und dafür, dass sie mir ein konstanter Anlaufpunkt gewesen sind.

Ich danke den Stadtwerken von Bad Reichenhall, besonders Herrn Aicher und Herrn Grinninger, für ihre tatkräftige Unterstützung bei den Geländearbeiten sowie für das zu Verfügung stellen von chemischen Analysen. Der oberen Wasserbehörde, besonders Herrn Dr. Wenger, danke ich für das zu Verfügung stellen chemischer Analysen.

Allen übrigen Freunden sowie meinen Kommilitonen und den Angestellten des Institutes für Geologie und Paläontologie, die Interesse an der Arbeit zeigten, möchte ich ebenfalls danken

Ich bedanke mich bei der Deutschen Forschungsgesellschaft, die diese Arbeit im Rahmen der Projekte ZA 22/42-1 und -2 gefördert hat.

Mein besonderer Dank gilt meiner Lebensgefährtin Tanja Rettberg für ihre Geduld und ihre Unterstützung.

Zusammenfassung

Der alpine Hauptdolomit wird aufgrund seiner großen Mächtigkeit, seiner Klüftung und seiner weiten Verbreitung für die Wasserversorgung aus Festgestein zunehmend interessanter. Um Einblicke in die Hydrogeologie des Hauptdolomites zu bekommen, wurde das Gebiet im Bereich der Trinkwassergewinnung „Listsee“ westlich von Bad Reichenhall struktureologisch untersucht. Es wurde ein Klimamodell erstellt um eine Grundwasserbilanz zu ermitteln, die den lokalen Gegebenheiten Rechnung trägt. Chemische Untersuchungen der Ionen und Isotopen dienen der Grundwassercharakterisierung. Die Auswertung von Pump- und Färbeversuchen geben Aufschluss über die Wege des Grundwassers im Hauptdolomit. Die Grundwasserwegsamkeit wird durch die Schichtlagerung und die anschließende struktureologische Überprägung bestimmt. Geländeuntersuchungen und die Auswertung von Luftbildern geben Aufschluss über die struktureologische Entwicklung des Gebietes: Es können drei jüngere Phasen der Strukturbildung beobachtet werden: In der ersten werden die Schichten zu einer Großmulde gefaltet, anschließend wird diese Muldenstruktur nach Osten aufgeschoben und zerschert. Die Muldenstruktur zeichnet mit der Lage der Schichten den Weg des Grundwassers vor und bestimmt das unterirdische Einzugsgebiet.

Im Gelände und in den Bohrungen können drei Klufttypen beobachtet werden: Großklüfte mit mehreren Dezimeter Kluftweite (= Klüfte 1. Ordnung), Klüfte mit einer Kluftweite von mehreren Zentimeter (= Klüfte 2. Ordnung) und Kleinstklüfte deren Kluftweiten unter einem Millimeter bleiben (= Klüfte 3. Ordnung). In den Brunnen fließt das Wasser aus den Klüften 1.Ordnung zu, wobei es in den Klüften 2. und 3. Ordnung gesammelt wird.

Mit einem höhenabhängigen Klimamodell werden die klimatologischen Parameter ermittelt, die für eine hydrogeologische Modellierung notwendig sind. Unter Hinzunahme von Vergleichsmessungen benachbarter Messstationen wird für das Untersuchungsgebiet ein höhenabhängiger Niederschlagsgradient bestimmt, und für die untersuchte Fläche ein Jahresgesamtniederschlag von 9,5 Mio. m³ berechnet.

Für die Evapotranspiration werden fünf verschiedene Berechnungsmethoden getestet und miteinander verglichen. Es zeigt sich, dass die Berechnung nach Blaney-Criddle (mit der Korrektur nach Schrödter) die besten Ergebnisse liefert. Demnach können bis zu 5,0 Mio. m³ pro Jahr verdunsten. Für die Grundwasserneubildung und den Oberflächenabfluss stehen daher 4,5 Mio. m³ pro Jahr zu Verfügung. Ein Oberflächenabfluss erfolgt nur nach Starkregenfällen an wenigen Tagen des Jahres, sowie bei verstärkter Schneeschmelze unter Föhnneinfluss. Der Oberflächenabfluss konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht ermittelt werden, da er zu unregelmäßig auftritt. .

Hydrochemische Untersuchungen der Ionen geben ein deutliches Bild der Grundwasserchemie des Hauptdolomites. Es wurden Vergleichsuntersuchungen aus den drei Brunnen „Listsee“, „Listwirt“ und „Listanger“ bei Bad Reichenhall sowie Referenzanalysen aus dem Hauptdolomit des Höllenbachtales bei Weißbach und dem Wettersteinkalk bei Inzell ausgewertet (vgl. Abb. 40 S. 69). Grundwasser aus einem Hauptdolomit-Einzugsgebiet weist ein Calcium:Magnesium Ionen-Verhältnis von 1:1 auf. Wettersteinkalk-Wasser ist als reines Karstwasser durch Calcium geprägt; es weist ein Calcium:Magnesium Ionen-Verhältnis von 2,5:1 auf. Die Brunnen im Listseegebiet fördern Mischwässer aus verschiedenen Einzugsgebieten mit Hauptdolomit bzw. Wettersteinkalk. Außerdem können Wässer aus den Raibler Schichten durch eine Sulfatkomponente, die die Leitfähigkeit deutlich erhöht, identifiziert werden.

Isotopen-Untersuchungen bringen Aufschluss über Herkunft und Alter des Grundwassers: Die Analyse der Tritium-Werte weist darauf hin, dass das Wasser im Listseegebiet vom Alter her ein Mischwasser über einen größeren Zeitraum hinweg darstellt. Die Sauerstoff-18 Analysen bestätigen, dass hier Wässer über mindestens zwei Jahre hinweg miteinander vermischt werden und zeigen, dass die Brunnen am Listsee unterschiedlich hoch gelegenen Einzugsgebiete haben.

Die Auswertung vorhandener Färbeversuche und Pumpversuche belegen die hydrodynamische Anisotropie der Grundwasserwegsamkeit im Hauptdolomit. Eingespeiste Farbstoffe tauchen gar nicht oder erst sehr spät in benachbarten Quellen auf. Über die Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes aus der Entnahmenmenge kann dieser Wert auf $6 \cdot 10^{-5}$ m/s und $1 \cdot 10^{-4}$ m/s eingegrenzt werden.

Die drei wichtigsten Kriterien für eine erfolgreiche Exploration von Grundwasser im Hauptdolomit sind eine junge strukturgeologische Überprägung des Hauptdolomit, eine ausreichende Mächtigkeit mit einer entsprechenden Ausdehnung des Einzugsgebietes sowie eine starke orographische Gliederung im Einzugsgebiet.

1. Einleitung	1
1.1 Arbeitsprogramm	3
1.2 Geographische Lage	4
1.3 Die Geologie westlich von Bad Reichenhall	5
1.3.1 Geologische Erforschungsgeschichte des Gebiets westlich Bad Reichenhall	6
1.3.2 Stratigraphie	7
1.3.2.1 Wettersteinkalk	7
1.3.2.2 Raibler Schichten	8
1.3.2.3 Hauptdolomit	9
1.3.2.4 Gosau-Konglomerat	10
1.3.2.5 Quartär	10
2. Strukturgeologie	11
2.1 Regionaltektonische Übersicht	11
2.2 Strukturgeologische Grundlagen für die Hydrogeologie im Hauptdolomit	14
2.2.1 Schichtlagerung	14
2.2.2 Lineare	15
2.2.3 Klüfte	17
2.2.3.1 Klüfte 1. Ordnung (Großklüfte)	17
2.2.3.2 Klüfte 2. Ordnung (Scherklüfte)	19
2.2.3.3 Klüfte 3. Ordnung (Kleinklüfte)	19
2.2.4 Hydrogeologische Relevanz des Kluftsystems	21
2.3 Strukturgeologische Entwicklung	22
2.3.1 Erste Phase	22
2.3.2 Zweite Phase	23
2.3.3 Dritte Phase	24
2.4 Zusammenfassung der tektonischen Grundlagen für die Trinkwassererschließung Listsee	26
3. Klimatologie und Grundwasserneubildung	27
3.1 Datengrundlage	27
3.2 Arbeitsmethoden	28

3.3	Klimatologische Parameter	30
3.3.1	Lufttemperatur	30
3.3.2	Luftfeuchtigkeit / Relative Feuchte	31
3.3.3	Niederschlag	31
3.3.4	Sonneneinstrahlung	33
3.3.5	Sättigungsdampfdruck	34
3.3.6	Sättigungsdefizit	34
3.3.7	Windverhältnisse	34
3.3.8	Evapotranspiration	35
3.3.8.1	Potentielle Evapotranspiration nach HAUDE [$ET_{P-HAUDE}$]	35
3.3.8.2	Potentielle Evapotranspiration nach Blaney-Criddle [ET_{P-BLAN}]	36
3.3.8.3	Potentielle Evapotranspiration nach PENMAN nach WENDLING [ET_{P-PEN}]	37
3.3.8.4	Potentielle Evapotranspiration nach MAKKINK	39
3.3.8.5	Reelle Evapotranspiration nach TURC [ET_{P-TURC}]	40
3.3.8.6	Zusammenfassung	41
3.4	Bedeutung der Topoklimatologie und der Grundwasser- neubildung	44
4.	Hydrochemie	45
4.1	Datengrundlage	45
4.2	Physikalisch-chemische Charakteristik der Wässer	47
4.3	Ionen	50
4.3.1	Quelle "Wasserloch" bei Inzell	52
4.3.2	Quelle "Höllenbach"	54
4.3.3	Brunnen Listsee	56
4.3.4	Brunnen Listwirt	58
4.3.5	Brunnen Listanger	60
4.3.6	Zusammenfassung	62
4.4	Isotope	65
4.4.1	Datengrundlage	65
4.4.2	Wasserstoff-3 / Tritium	66
4.4.3	Interpretation der Tritium Messungen	70
4.4.4	Wasserstoff 2 / Deuterium	73
4.4.5	Sauerstoff 18	73
4.4.6	Zusammenfassung	76

5. Geohydraulische Eigenschaften	77
5.1 Grundwasserstromrichtung	78
5.2 Färbeversuche	79
5.3 Pumpversuche	81
5.3.1 Datengrundlage	81
5.3.2 Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes aus der Entnahmemenge	81
5.3.3 Bestimmung der Leistungs-Absenkungs-Quotienten der Brunnen	83
5.4 Das hydrogeologische Geländemodell	84
5.5 Bewertung der geohydraulischen Parameter	85

6. Literatur	85
---------------------	-----------

Anhang

Anhang 1	Übersichtskarte mit Lage des engeren Untersuchungsgebiets und Lage der Typusquellen
Anhang 2	Geologischer Befund der Bohrung Listwirt
Anhang 3	Geologischer Befund der Bohrung Listsee
Anhang 4	Geologischer Befund der Bohrung Listanger
Anhang 5	Strukturgeologische Karte des Ostrand des engeren Untersuchungsgebietes
Anhang 6	Vergleichstemperaturen im Umfeld des Untersuchungsgebietes Modelltemperaturen auf Grundlage des Höhengradienten
Anhang 7	Temperaturmodell über das Untersuchungsgebiet
Anhang 8	Verdunstungswärme nach DVWK (1996)
Anhang 9	Relative Luftfeucht nach ENDERS (1979) Niederschlagswerte im Umfeld des Untersuchungsgebietes
Anhang 10	Exemplarische Monatswerte für den Niederschlag für verschiedene Höhenniveaus Monatswerte für die Sonnenscheindauer und Niederschlagsdauer Extraterrestrische Strahlung Globalstrahlung
Anhang 11	Exemplarische Monatswerte für den Sättigungsdampfdruck Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve Exemplarische Werte für das Sättigungsdefizit
Anhang 12	Windgeschwindigkeiten der Wetterstation Rauschenberg HAUDE-Faktoren für Monatssummen Exempl. Monatswerte für die potentielle Evapotranspiration nach HAUDE

	Exempl. Monatswerte für die potentielle Evapotranspiration nach BLANLEY-CRIDDLE
Anhang 13	Exempl. Monatswerte für die pot. Evapotranspiration nach SCHRÖDTER
	Exempl. Monatswerte für die potentielle Evapotranspiration nach TURC
	Exemplarischer Strahlungsterm
Anhang 14	Exemplarischer Ventilationsfeuchteterm
	Exemplarische Temperaturfunktionen
	Exempl. Monatswerte für die potentielle Evapotranspiration nach PENMAN
Anhang 15	Exempl. Monatswerte für die potentielle Evapotranspiration nach MAKKINK
	Exempl. Evapotranspiration für den Monat Juli
Anhang 16	Isotopenwerte im Brunnen Listsee
Anhang 17	Isotopenwerte im Brunnen Listwirt
Anhang 18	Isotopenwerte im Brunnen Listanger
Anhang 19	Isotopenwerte im Listsee
Anhang 20	Chemische Analysen der Bohrung Listsee
Anhang 21	Chemische Analysen der Bohrung Listwirt
Anhang 22	Chemische Analysen der Bohrung Listanger
Anhang 23	Chemische Analysen der Quelle Wasserloch
Anhang 24	Chemische Analysen der Quelle Höllenbach
Anhang 25	Chemische Analysen der Quelle Thumsee (Ost)
	Chemische Vergleichsanalysen
Anhang 26	Entnahmemenge und Absenkungen im Brunnen Listsee
Anhang 27	Entnahmemenge und Absenkungen im Brunnen Listwirt
Anhang 28	Entnahmemenge und Absenkungen im Brunnen Listanger

1. Einleitung

Im Alpenraum gewinnen infolge steigenden Wasserbedarfs regionale Wasserversorgungen zunehmend an Bedeutung, besonders im Hinblick auf die Weiterentwicklung der Bevölkerungsstrukturen und des Tourismus. Von Interesse sind in diesem Zusammenhang Grundwasservorkommen in nicht verkarstungsfähigen Dolomitgesteinen, in denen jedoch die hydrogeologischen, insbesondere hydraulischen Verhältnisse noch wenig bekannt sind, so daß es in den vergangenen Jahren wiederholt zu Fehlschlägen bei Erschließungsversuchen gekommen ist.

Weniger geeignet zur Trinkwassergewinnung sind in der Regel oberflächennahe Grundwasservorkommen in quartären Schichten der Talsohle, da sie häufig infolge Überdüngung landwirtschaftlich genutzter Flächen belastet sind.

Trinkwasser muß daher zunehmend aus Grundwasservorkommen im Festgestein gewonnen werden, seine Erschließung ist jedoch in der Regel mit einem höheren technischen Aufwand und Risiko verbunden. Es fehlen bisher hydrogeologische Untersuchungen an Dolomitgesteinen und deren Kontakt zu verkarsteten Kalkgesteinen.

Der Hauptdolomit — eine der mächtigsten nicht verkarsteten Gesteinseinheiten der Nördlichen Kalkalpen — blieb wegen mangelnder hydrogeologischer und geologischer Datengrundlage für die Grundwassergewinnung weitgehend ungenutzt. Eine Ausnahme bildet das Trinkwassergewinnungsgebiet Listsee der Stadt Bad Reichenhall, wo heute nach fünfzehnjähriger Erschließungsarbeit jährlich 2,2 Mio. m³ Trinkwasser aus dem Hauptdolomit gefördert werden können.

Die Wasserversorgung ist für die wirtschaftliche Entwicklung des Kurortes Bad Reichenhall von großer Bedeutung. Sie stellt die Grundlage für den Kurbetrieb und somit die Haupteinnahmequelle der lokalen Bevölkerung dar. Aus diesem Grund ist die Stadt Bad Reichenhall von jeher bestrebt gewesen, ihre Wasserversorgung zu verbessern.

Die ursprüngliche Trinkwassergewinnung erfolgte bis in die neunziger Jahre über Fassung von Quellen in den Moränen des Listseegebietes. Aus oberflächennahen Quellen wurde ein einwandfreies Trinkwasser gefördert, das jedoch aus hygienischer Sicht als potentiell gefährdet eingestuft wurde.

Darauf hin wurde der Plan gefaßt, die Trinkwassererschließung auf den unter den quartären Deckschichten liegenden Hauptdolomit auszudehnen, um aus tiefen Felsbrunnen ungefährdetes Trinkwasser zu gewinnen.

Aus dem Trinkwassererschließungsgebiet Listsee kann derzeit eine Menge von 2.2 Mio. m³/a (70 l/s) gefördert werden, in Spitzenzeiten des Verbrauches kann die Entnahmemenge auf 80 l/s erhöht werden.

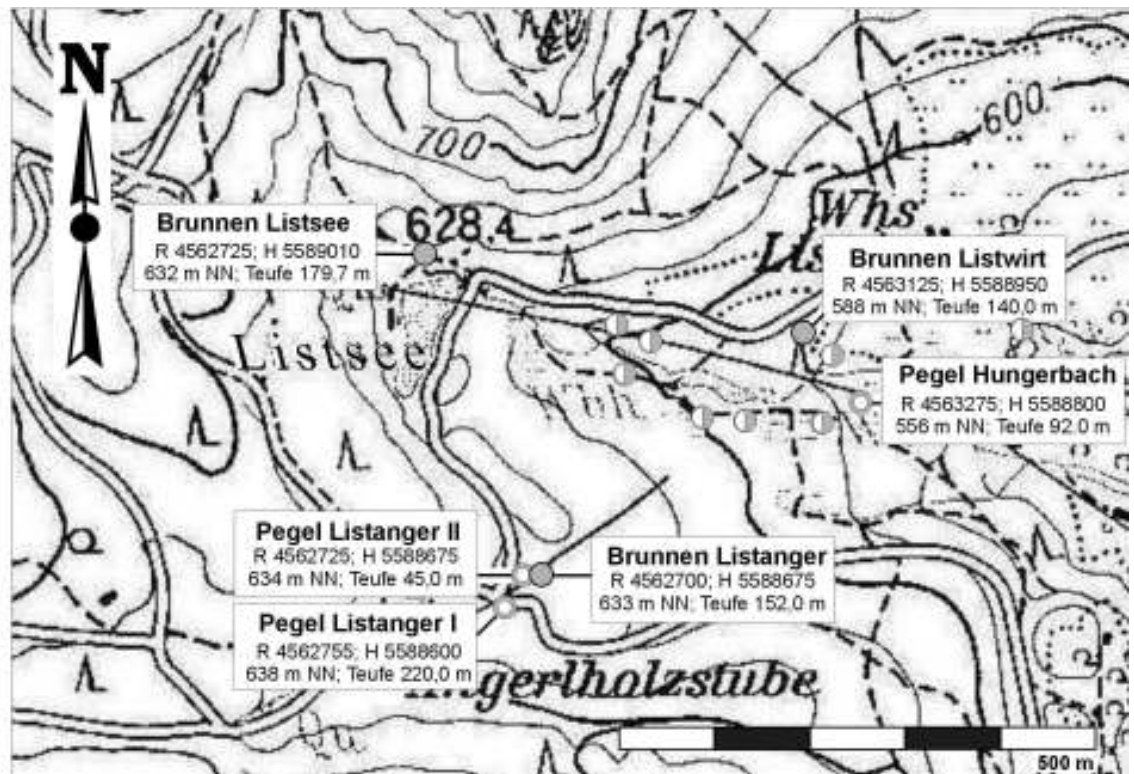


Abb. 1b Lage der Brunnen im Untersuchungsgebiet Listsee.

1.1 Arbeitsprogramm

Grundlage für die hydrogeologische Bearbeitung des Hauptdolomits ist die Kenntnis der Petrophysik des Gesteins. Dafür sind Untersuchungen der tektonischen Prägung, insbesondere der Entstehung des Kluftsystems erforderlich. Es wird das tektonische Kluftmuster typisiert, eine zeitliche Zuordnung erstellt und die Genese der Klüfte des Hauptdolomits durch Untersuchungen vom Mikrogefüge bis hin zur Auswertung von Luftbildern erfasst.

Zur Übertragbarkeit der Daten wird der westlich und östlich von engeren Untersuchungsgebiet folgende Hauptdolomit der Staufen-Höllengebirgs-Decke (Tirolikum) erfasst, um strukturelle Tendenzen innerhalb des Hauptdolomit des Tirolikums aufzuzeigen. Die erhobenen Daten sollen als Rahmenparameter zur Erstellung eines hydrogeologischen Geländemodells dienen.

Um die hydraulische Charakteristik des Hauptdolomits exemplarisch zu erfassen werden die Pumpversuche aus dem Grundwassererschließungsgebiet Listsee ausgewertet. Dazu gehören die Daten über Porosität, Durchlässigkeitsbeiwert und weitere hydrogeologische Kennwerte. Zusammen mit den beobachteten Abstromrichtungen und den variierenden Ruhewasserspiegeln unter Extremgegebenheiten (Extremniederschläge, Schneeschmelze, besondere Trockenheit) sollen in erster Näherung die Zusammenhänge im Verlaufe des Grundwasserstromes in einem dolomitischen Kluftgrundwasserleiter geklärt werden. Für das höhenabhängige Geländemodell, das Geologie, Exposition, Hangneigung und Vegetation sowie klimatischen Daten Rechnung trägt, werden Niederschlag und Grundwasserneubildung für Hauptdolomitgrundwasserspeicher im kalkalpinen Gebirge ermittelt. Um eine Trennung der typischen Grundwässer aus dem Wettersteinkalk und dem Hauptdolomit zu ermöglichen, wird für beide Gesteine eine hydrochemische Typisierung erarbeitet. Dazu werden Wasserproben aus im Gelände nachweisbaren Wettersteinkalkarealen und aus reinem Hauptdolomit genommen und analysiert. Die hydrochemische Veränderung beim Übergang des Grundwassers vom verkarsteten Wettersteinkalk in den Hauptdolomit und die Durchmischung wird durch chemischen Daten belegt.

Aus den gesammelten Daten dieses Projektes wird ein Geländemodell erstellt, das den hydrodynamischen, hydrochemischen und hydrogeologischen Verhältnissen des Grundwasserstromes im klüftigen Hauptdolomit des Tirolikums exemplarisch Rechnung trägt. Die Ergebnisse können – unter der Berücksichtigung der lokalen geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten – auf andere Hauptdolomitgebiete der Nördlichen Kalkalpen übertragen werden.

1.2 Geographische Lage

Das Untersuchungsgebiet liegt im Umfeld der Trinkwassergewinnungsanlage "Listsee" westlich von Bad Reichenhall in den bayerischen Alpen.

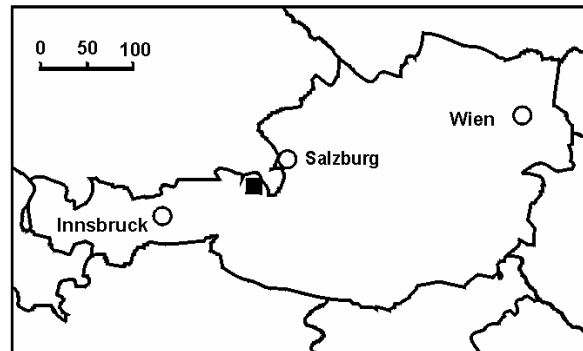


Abb. 2. Lage des weiteren Untersuchungsgebietes

Für die Auswertung wurde, aufgrund der geologischen Verhältnisse sowie des dort exemplarisch vorliegenden Datenmaterials, ein engeres und ein weiteres Untersuchungsgebiet festgesetzt.

Das engere Untersuchungsgebiet (vgl. Abb. 1b) schließt unmittelbar westlich an den Talkessel von Bad Reichenhall an und umfaßt die für die Wassergewinnung errichteten Brunnen im Listseegebiet.

Das weitere Untersuchungsgebiet (vgl. Anhang 1) umfaßt die südlich der Gipfelregion des Hochstaufen gelegenen Flächen mit dem Staufeu-Massiv und erstreckt sich vom Kurort Bad Reichenhall über die Gipfelregionen des Staufeu-Massivs bis zu dem zu Inzell gehörenden Ortsteil Weißbach. In südwestlicher Richtung wird das Gebiet vom Weißbach und der Weißbachschlucht begrenzt und verläuft über den Thumsee nach Bad Reichenhall.

Im weiteren Untersuchungsgebiet befinden sich die zu Vergleichsuntersuchungen herangezogenen Quellen, die "Höllenbachquelle" im Höllenbachtal für den Hauptdolomit und die "Wasserloch-Quelle" am Falkensee bei Inzell für den Wettersteinkalk.

1.3 Die Geologie westlich von Bad Reichenhall

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in den Nördlichen Kalkalpen im Bereich der tirolischen Decke.

Hier werden seit dem Känozoikum triassische Einheiten von Süden auf das Flysch-Vorland aufgeschoben. Es kommt zu einer Deckenstapelung von Decken mit kalkalpinen Inhalten.

Die Gesteine des Tirolikums befinden sich auf dem zu oberst liegenden Deckenstapel und beinhaltet Einheiten von der alpinen Trias bis zu kreidezeitlichen Ablagerungen (Gosau).

Das Aufschieben der Decken aus südlicher Richtung hat im Gebiet des Staufens zur Ausbildung einer Nordost-Südwest streichenden Muldenstruktur geführt, deren Nordflanke die Gipfelregion des Staufens - und somit die Nordseite des Untersuchungsgebietes bildet. Der Muldenkern mit dem Hauptdolomit streicht im Bereich des Listsee durch das engere Untersuchungsgebiet.

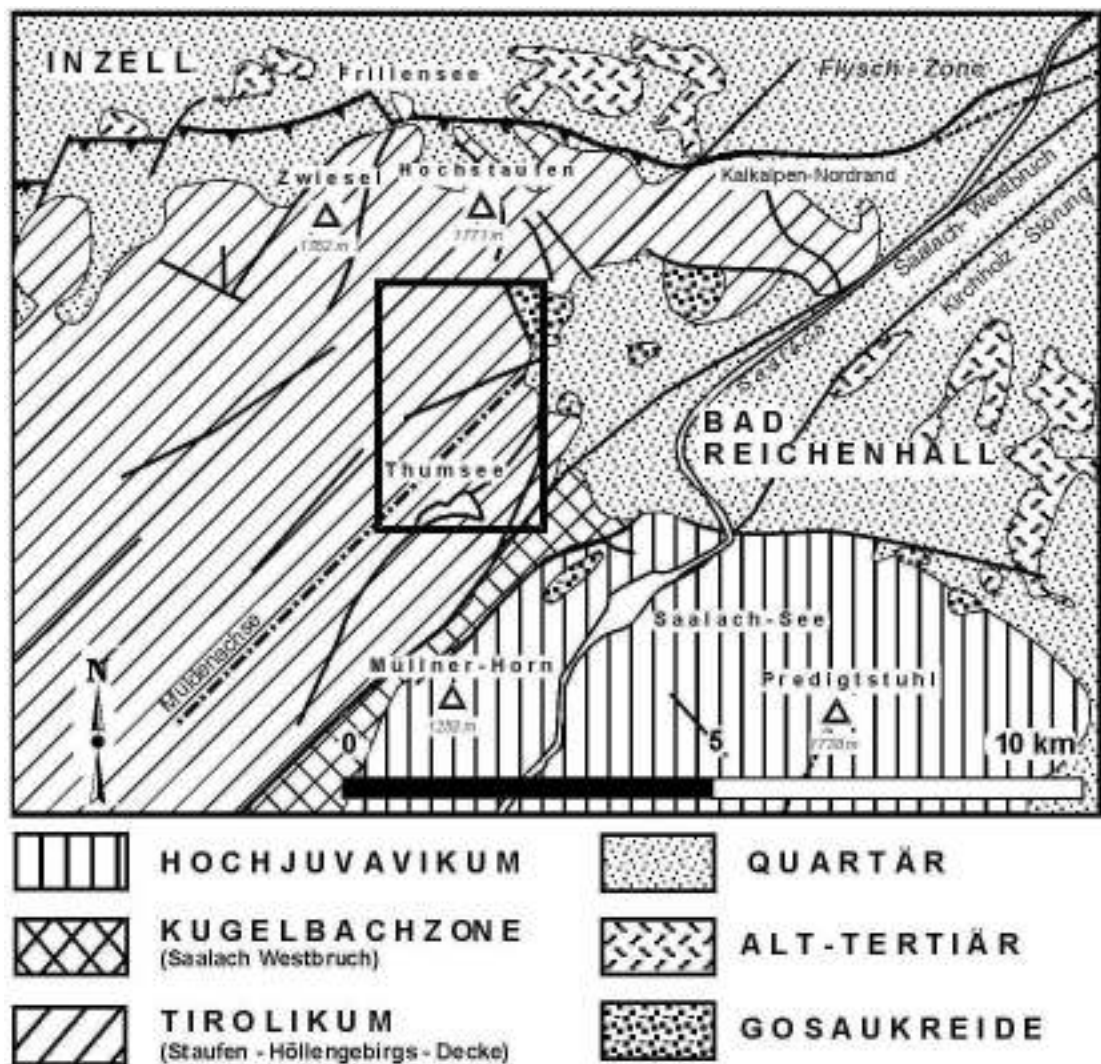


Abb. 3.: Strukturgeologisches Umfeld mit Lage des engeren Untersuchungsgebietes (nach ZANKL & SCHELL (1979)).

Durch eine Blattverschiebung mit großen Versetzungsbeträgen, dem Saalach-Westbruch, werden Teile der südlichen Muldenflanke abgetrennt. Sie bildet die geologische Begrenzung der Südseite des Untersuchungsgebietes.

In einer nachfolgenden Kompressionsphase wird die Muldenstruktur im Osten auf die Einheiten des Reichenhaller Beckens aufgeschoben.

1.3.1 Geologische Erforschungsgeschichte des Gebiets westlich Bad Reichenhall

Der Südteil des Untersuchungsgebietes wird erstmals von KRAUß (1913) geologisch aufgenommen.

Eine erste vollständige geologische Aufnahme des Staufengebietes findet sich in ERHARDT (1931). Hier wird auch eine Detailkartierung des engeren Untersuchungsgebietes veröffentlicht.

Die jüngste geologische Aufnahme des Staufens stellt die Dissertation von HENRICH (1979) dar. Kern seiner Arbeit bilden neben einer Detailkartierung des zentralen Staufens - Gebietes die mikrofazielle Aufnahme des am Hochstaufer aufgeschlossenen Wettersteinkalkes. Später baut er diese Erkenntnisse weiter zu einer umfassenden Faziesanalyse des Wettersteinkalkes aus (HENRICH (1983) und HENRICH (1984)) sowie ZANKL & HENRICH (1981).

Die Geologie und Hydrogeologie im Talkessel von Bad Reichenhall wurde von SCHAUBERGER & ZANKL (1976), ZANKL & SCHELL (1979), EXLER (1979) sowie RAUERT & STICHLER (1979) untersucht.

SCHMEDES (1979) untersuchte die seismische Aktivität im Bad Reichenhaller Raum.

Von STARZMANN (1979) wurden die jüngsten Setzungen im Bad Reichenhaller Becken durch Feinnivellierungen ermittelt.

1.3.2 Stratigraphie

Die Gesteinsabfolgen im Untersuchungsgebiet sind der Schlüssel zur chemischen Charakterisierung der Grundwässer.

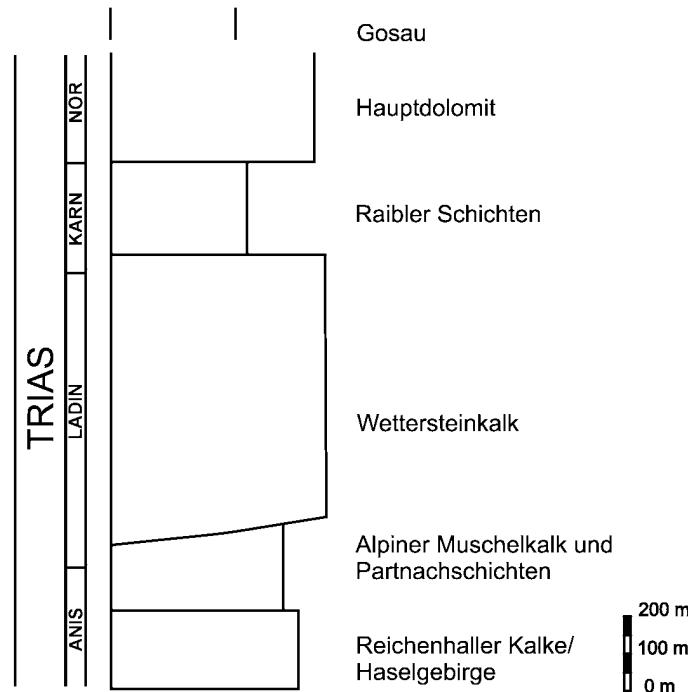


Abb. 4: Profilsäule der tirolischen Einheit im weiteren Untersuchungsgebiet.

Die im Grundwassererschließungsgebiet Listsee aufgeschlossenen Gesteine gehören mit Ausnahme der Gosau-Konglomerate alle der alpinen Trias an. Für die Hydrogeologie sind nur die höheren Einheiten der Trias von Bedeutung. Die Partnachsichten und der alpine Muschelkalk werden nur in den Profilschnitten dargestellt.

1.3.2.1 Wettersteinkalk

Der ladinisch/karnische Wettersteinkalk bildet die Vorderseite und die Gipfelregion des Staufens. Seine hellgraue bis weiße Farbe ist oberhalb der Baumgrenze schon von weiter Ferne zu erkennen.

Am benachbarten Rauschberg wird die Mächtigkeit des Wettersteinkalkes mit ca. 700 m angegeben (ARLT (1911), DOBEN (1973)), in den angefertigten Profilschnitten (vgl. Abb.5 und Abb. 6) bestätigt sich diese Mächtigkeit.

Petrologisch besteht der Wettersteinkalk aus über 99 % reinem Kalk. Dies und die exponierte Lage am Nordrand der Kalkalpen haben zu einer tiefen Verkarstung des Gesteins

geführt. Dolinen, Karren, Lösungshohlräume und Karstquellen sind Anzeiger dafür. Das Wasser einer dieser Karstquellen wurde für die hydrochemischen Untersuchungen als Standard für das Grundwasser des Wettersteinkalkes gewählt.

Im westlich anschließenden Rauschberg - Gebiet sind Karsthöhlen mit einer freien Teufe von über 250 m keine Seltenheit.

Durch strukturgeologische Prägungen vorgezeichnete Klüfte bieten der Karstlösung besonders günstige Ansatzpunkte und bilden in der waldfreien Gipfelregion des Staufens tiefe Rinnen und Spalten in Streichrichtung der großen Störungssysteme aus, doch auch gravitative Bergzerreißung führt zu vergleichbaren Strukturen.

Die verkarstete Oberfläche des Wettersteinkalkes mit den gut ausgebildeten Karren am Süd-Westfuß des Zwiesels bilden Schneefänge, in welchen sich der Schnee in der Gipfelregion noch bis in die frühen Sommermonate hinein halten kann.

Im Untersuchungsgebiet bildet der Wettersteinkalk etwa ein Drittel der für die Hydrogeologie bedeutenden Fläche.

1.3.2.2 Raibler Schichten

Die Raibler Schichten bestehen aus einem Wechsel toniger Lagen mit Mergelbänken. Aufgrund der plastischen Eigenschaften der Tonbänke und der Wiederholung der Ton-Mergel-Sequenz sind die Raibler Schichten im Gelände nur selten aufgeschlossen. Ihre Mächtigkeit wurde nur aus Versatzprofilen ermittelt und ist vergleichsweise großen Schwankungen unterworfen. Die Mächtigkeit müßte am Staufens in etwa 200 m betragen, ein vollständiges Profil der Raibler Schichten konnte nicht beobachtet werden.

Die karnischen Raibler Schichten bilden im Untersuchungsgebiet meist den Übergang zwischen der weitgehend vegetationsfreien Gipfelzone des Wettersteinkalkes und den Waldhängen der Staufensüdseite.

In den Raibler Schichten wechseln sich 3 Ton / Mergellagen mit drei karbonatischen Bänken ab. Ihre Sedimentologie und ihr Inventar sind von ANGERMEIER et al (1963), JERZ (1965), SCHULER (1968) und HARSCH (1970) umfassend bearbeitet worden. Im Übergang zum hangenden Hauptdolomit sind Rauhwacken beschrieben. Für das Staufengebiet werden sie von ERHARDT (1931) erwähnt.

Die plastischen Tone der Raibler Schichten führen zur Ausbildung der für die Weideflächen charakteristischen Nässungen und kleinen Quellen

Unter tektonischer Belastung reagieren die Raibler Schichten duktil (RATSCHBACHER et al (1989)) und bilden so den Abscherungshorizont des Hauptdolomites auf dem liegenden

Wettersteinkalk. Aufgrund von evaporitischen Einschaltungen und Pyritbildungen, weisen die Raibler Schichten eine eigenständige Hydrochemie auf (vgl. Kap. 4).

Mit Ausnahme der lokal eingeschalteten Rauhwacken sind die Raibler Schichten aufgrund ihres Tongehaltes als Grundwasserhemmer anzusprechen.

1.3.2.3 Hauptdolomit

Mehr als zweidrittel der Fläche im Untersuchungsgebiet – die Talregion um List- und Thumsee – wird von den bewaldeten Flächen des norischen Hauptdolomites gebildet. Aufgrund seiner weiten Verbreitung und der hohen Klüftigkeit bildet er das Haupteinzugsgebiet und den Kluftwasserleiter im Grundwassererschließungsgebiet Listsee. In ihm sind die Brunnen der Grundwassergewinnungsanlage Listsee angelegt.

Von der Gesamtmächtigkeit von über 2000 m sind im Untersuchungsgebiet nur die unteren Einheiten aufgeschlossen, sie zeichnen sich durch dunkelgrün / braune Laminit-Lagen aus. Profile weisen auf eine lokale Mächtigkeit von über 400 m hin.

Petrologisch besteht der Hauptdolomit aus über 95 % reinem Dolomit, damit ist er von den Verkarstungsprozessen ausgenommen; er verwittert rein mechanisch. Während er an der Oberfläche zu kleinen Rhomboedern vergrusen kann, steht er ab ca. 1 m Teufe als klüftiger Gesteinskörper an.

Im Unterschied zu den Raibler Schichten reagiert der Hauptdolomit bruchhaft auf tektonische Belastung (RATSCHBACHER et al (1989)) und ist als reiner Kluftwasserleiter anzusehen, Lösungsporositäten werden nicht beobachtet.

Je nach struktureologischer Lage ist der Hauptdolomit am Fuße des Staufens wenig bis stark zerrüttet. Die Klüfte im Hauptdolomit können drei Klassen zugeordnet werden, die sich in Weitung, Länge und Häufigkeit unterscheiden (vgl. Kap. 2.2.3. ff).

Die Klüfte 1. Ordnung haben Kluftweiten im dm-Bereich, die 2. Ordnung im cm Bereich. Die Klüfte 3. Ordnung mit Kluftweiten von 1/10 bis 1 /100 mm zeichnen den kleinstückigen Zerfall des Hauptdolomites in der Verwitterung deutlich vor. Die Klüfte werden im Abschnitt 2 „Struktureologie“ eingehender besprochen.

In den Bohrungen konnten auf Kluftflächen 3. Ordnung Dolomittapeten mit idiomorphem Dolomit beobachtet werden. Alter und Herkunft der Tapeten sind unbekannt.

1.3.2.4 Gosau-Konglomerat

Die oberkretazischen Gosau - Schichten überlagern am Südfuß des Staufens lokal die liegenden triassischen Einheiten.

Hier handelt es sich um Konglomerate mit einem dunkelroten Bindemittel. Bei den Komponenten überwiegt kalkalpines Material.

Für die Trinkwassererschließung am Listsee spielt das Gosaukonglomerat keine Rolle, da es im Abstrombereich liegt und nur über eine geringe Mächtigkeit verfügt.

Bei der Datierung der Störungssysteme allerdings geben die Gosau-Vorkommen wichtige Hinweise auf das Alter der Schichten, die sie überlagern oder schneiden.

1.3.2.5 Quartär

Die quartäre Auflage des untersuchten Gebietes besteht zum einen aus vergrustem Hauptdolomit und zum anderen aus glazialen Moränen.

In der Rißzeit war das Hochstauengebiet bis auf eine Höhe von > 1000 m mit Eis bedeckt. (DOBEN (1973)). Die Gletscher der Würmzeit haben im Höllenbachtal und im Stabachtal in abtragungsgeschützten Lagen mehrere 10'er m mächtige glaziale Schotter hinterlassen.

Am Ausgang des Weißbachtals nach Inzell hin, haben die eiszeitlichen Gletscher an verschiedenen Stellen Schleifmarken und Gletschertöpfe hinterlassen.

Außer diesen eiszeitlichen Elementen finden sich auf der Südseite des Staufens auch die Verwitterungsprodukte der aufgeschlossenen Einheiten: Während der Wettersteinkalk in Bereichen Schuttkegel mit 10'er m mächtigen Blöcken liefert, die sich bis in die Talregion finden, vergrust der Hauptdolomit nur gering. Die Mächtigkeit der Grusschichten ist in etwa 10-20 cm, nur durch kleinere Rutschungen werden örtlich höhere Mächtigkeiten erreicht.

Aus der quartären Auflage treten zwischen dem Listsee und dem Gasthaus „Listwirt“ mehrere Quellen aus. Die Hydrochemie der Quellen weist auf einen Ursprung im Hauptdolomit hin.

Die talwärts mächtiger werdende quartäre Auflage führt zu weitgehend influenten Verhältnissen im Hammerbach.

2. Strukturgeologie

Als reiner Dolomitkörper reagiert der Hauptdolomit auf Deformationen bruchhaft. Im Gelände lassen sich die unterschiedlich dimensionierten Klüfte in drei Typen einteilen: Klüfte 1. Ordnung (Großklüfte), Klüfte 2. Ordnung (Scherklüfte – an Störungen gebunden) und Klüfte 3. Ordnung (Kleinklüfte)

In den Bohrungen zur Trinkwassergewinnung Listsee kann man beobachten, dass das Grundwasser nahezu ausschließlich an den weit geöffneten Großklüften austritt, der umgebende feinklüftige Dolomit ist weitgehend trocken.

Um den Hauptdolomit als Kluftwasserleiter zu charakterisieren, ist auf Grundlage einer geologischen Geländeaufnahme, strukturgeologischen Gefügemessungen, der Auswertung von Luft- und Satellitenbildern sowie der Auswertung der aus der Literatur bekannten Daten ein strukturgeologisches Geländemodell erstellt worden.

Um die Ergebnisse dieser Arbeit übertragbar zu machen, ist es wichtig, die Klüftung systematisch zu erfassen und hydrogeologisch zu bewerten. Trotz der zunächst lokalen Gültigkeit dieser Untersuchungen sind die prinzipiellen Aussagen für weitere Erschließungen von Grundwasser im Hauptdolomit von Interesse.

2.1 Regionaltektonische Übersicht

Die Trinkwassererschließung Listsee befindet sich in der Staufen-Höllengebirgsdecke. Sie grenzt im Osten an den Talkessel von Bad Reichenhall und wird im Süden durch die Kugelbachzone (ein Schersystem im Verband des Saalach-Westbruches) abgeschnitten; die nördliche Begrenzung bildet die alpine Überschiebungsfront der Staufen-Höllengebirgsdecke auf die Flysch-Zone (vgl. Abb. 3).

Großräumig ist das triassische Schichtpaket der Staufen-Höllengebirgsdecke zu einer Synform eingemuldet, die durch jüngere Störungssysteme zergliedert wird (vgl. Abb. 5). In diesem tektonischen Rahmen ist die hydrogeologische Charakteristik des Hauptdolomits zu sehen.

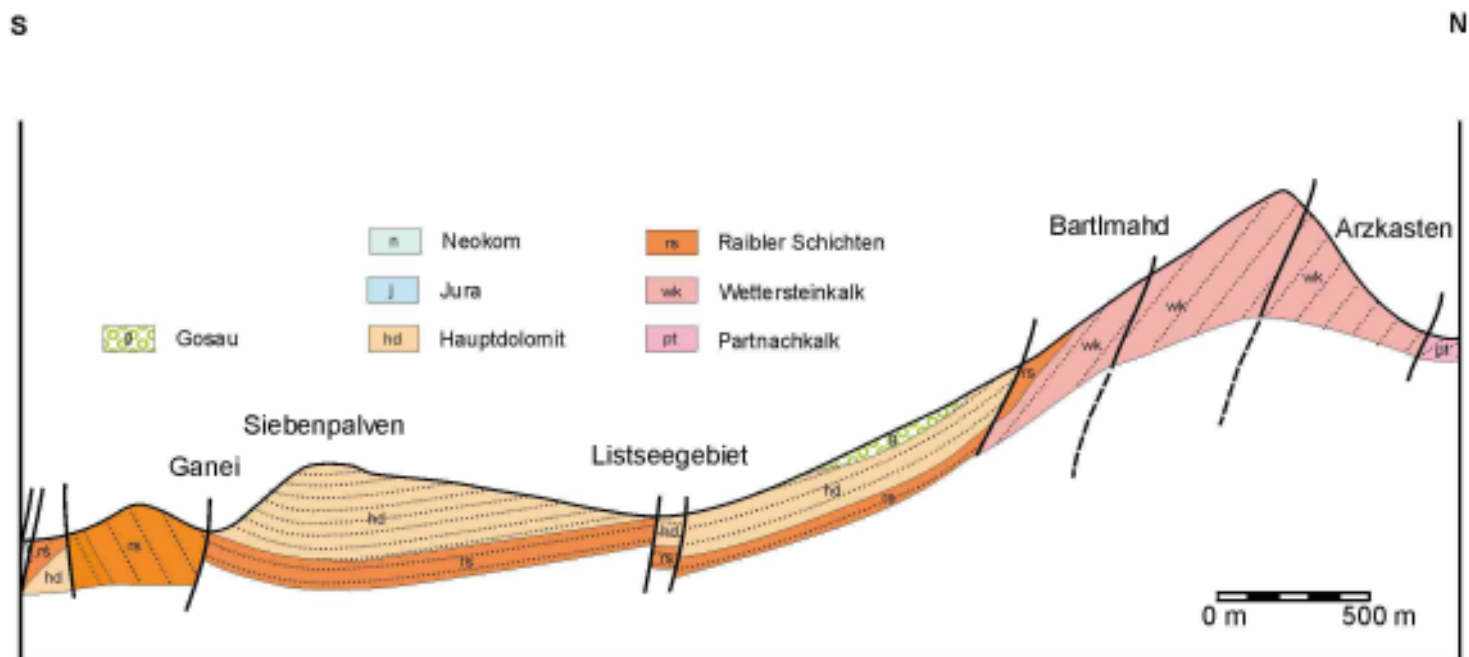


Abb. 5: Geologisches Nord-Süd Profil durch das Untersuchungsgebiet. Maßstab = 1 : 25 000.

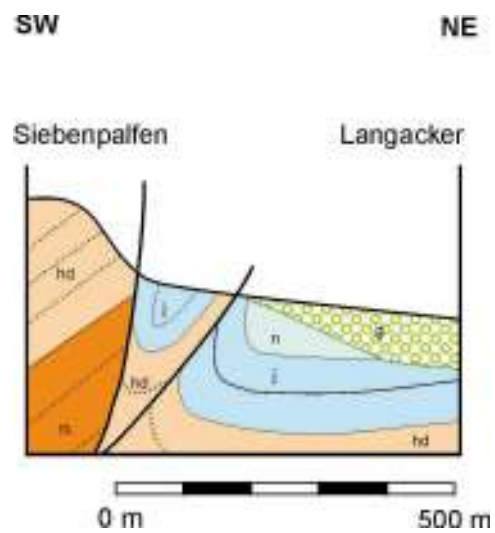


Abb. 6: Geologisches Nord-Ost / Süd-West-Profil durch den Ostrand des Untersuchungsgebietes mit Legende wie Abb. 5.

2.2 Strukturgeologische Grundlagen für die Hydrogeologie im Hauptdolomit

Die Strukturgeologie ist als Schlüssel zur Hydrogeologie zu sehen. Die aus den Deformationen resultierende Lagerung der Einheiten und die Klüftung prägen die Eigenschaften des Grundwasserleiters im Hauptdolomit.

Die für die Strukturgeologie relevanten Elemente sind:

- Schichtlagerung (vgl. Kap. 2.2.1)
- Großräumige Lineare (vgl. Kap. 2.2.2)
- Klüfte 1. 2. und 3. Ordnung (vgl. Kap. 2.2.3.1; 2.2.3.2 und 2.2.3.3)

2.2.1 Schichtlagerung

Die Schichtlagerung ist für die Hydrogeologie im Trinkwassererschließungsgebiet Listsee von mehrfacher Bedeutung:

Durch die muldenförmige Schichtlagerung erweitert sich das Einzugsgebiet des Grundwasser nach Norden in den an der Muldenflanke ausstreichenden Wettersteinkalk (vgl. Abb. 5). Dies beeinflusst sowohl die Grundwassermenge als auch die Grundwasserchemie. Das Einfallen der Schichten zeichnet im Untersuchungsgebiet die Richtung der Grundwasserströmung vor. Die Grundwässer aus dem nördlichen Muldenflügel unterscheiden sich hydrochemisch von den Wässern, die durch die Südflanke zufließen (vgl. Kap. 4).

Auf den Schichtflächen des Hauptdolomits laufen Gleitbewegungen ab, die zum Aufreißen der Klüfte 1. Ordnung führen. Hierdurch entsteht eine erhöhte Wegsamkeit für das Grundwasser in den Muldenzonen. Die aus der Muldenstruktur resultierenden und mit zunehmender Tiefe aufreißenden Klüfte ermöglichen ein Einschuppen der duktilen Raibler Schichten in den unteren Hauptdolomit, wie es zum Teil in den Bohrungen (vgl. Anhang 2 - 4) beobachtet werden kann. In Bereichen, die oberhalb dieser Raibler Einlagerungen liegen, kann es zu einer verstärkten Grundwasserführung kommen.

2.2.2 Lineare

Durch die Auswertung von Luft- und Satellitenbildern konnten im Umfeld des Untersuchungsgebietes 238 Lineare erfasst werden. Sie wurden in ihrer Länge und ihrer Streichrichtung vermessen.

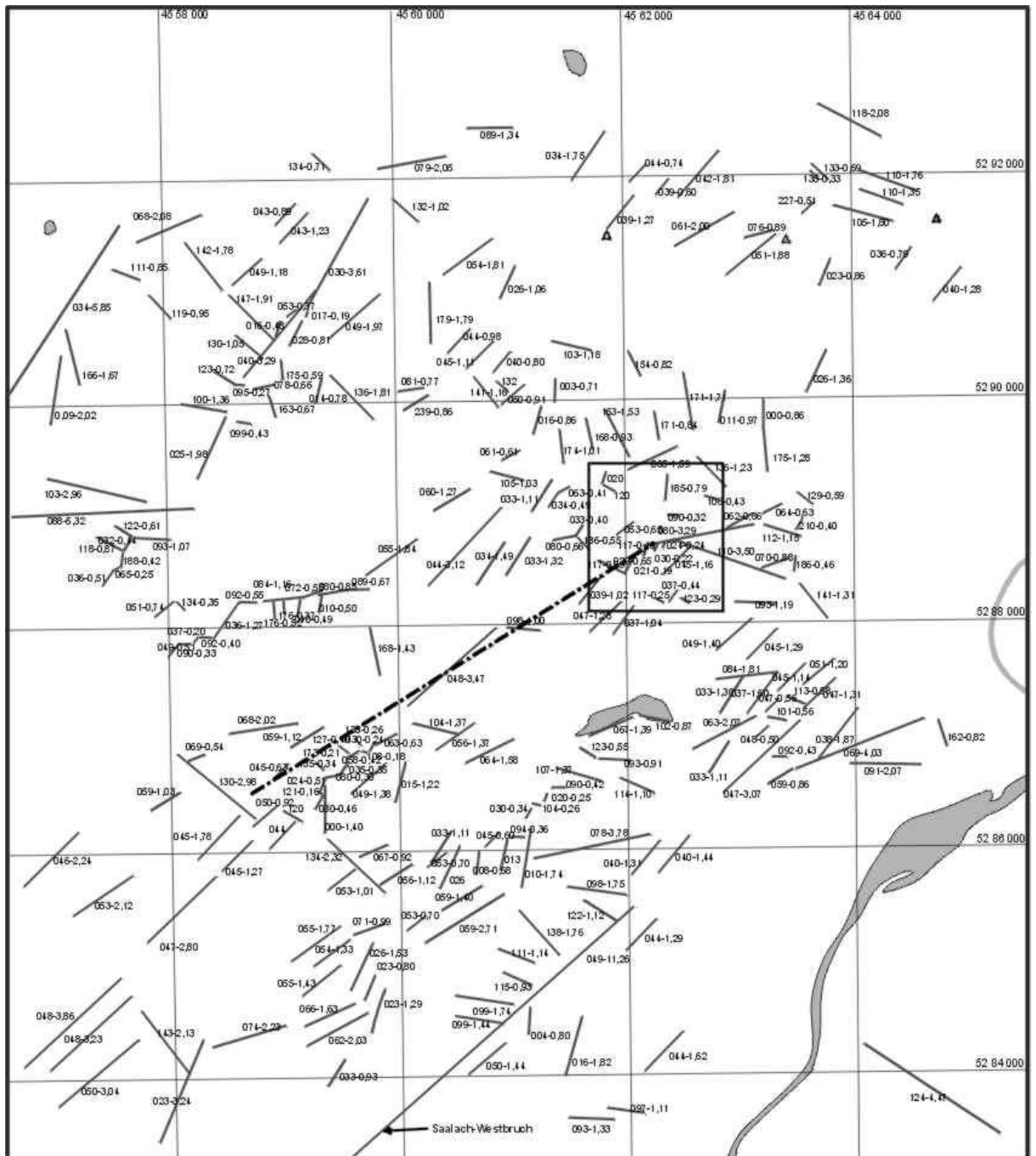


Abb. 7: Aus den Luftbildern ermittelte Lineare im weiteren Untersuchungsgebiet mit ermittelter Streichrichtung und relativer Länge. Lage des engeren Untersuchungsgebietes im kleinen Rahmen, Achse der Muldenstruktur gestrichelt.

Die Auswertung von Linearen aus Luftbildern in den nördlichen Kalkalpen lassen für die Hydrogeologie wichtige Aussagen zu.

Der Vergleich der Streichrichtung von Linearen mit der Streichrichtung von im Gelände gemessenen Störungen zeigt, dass Lineare Richtungen aufzeigen, die sich aus der lokalen Geländeuntersuchung heraus nicht ermitteln lassen. Im Luftbild dokumentieren sich überwiegend die jüngeren geologischen Ereignisse. Erosion und Überprägung lassen ältere Ereignisse deutlich in den Hintergrund treten.

Strukturgeologische Richtungen, die sich in der Auswertung von Fotolineationen besonders hervorheben, können daher hydrogeologisch relevante Grosstrukturen vorzeichnen.

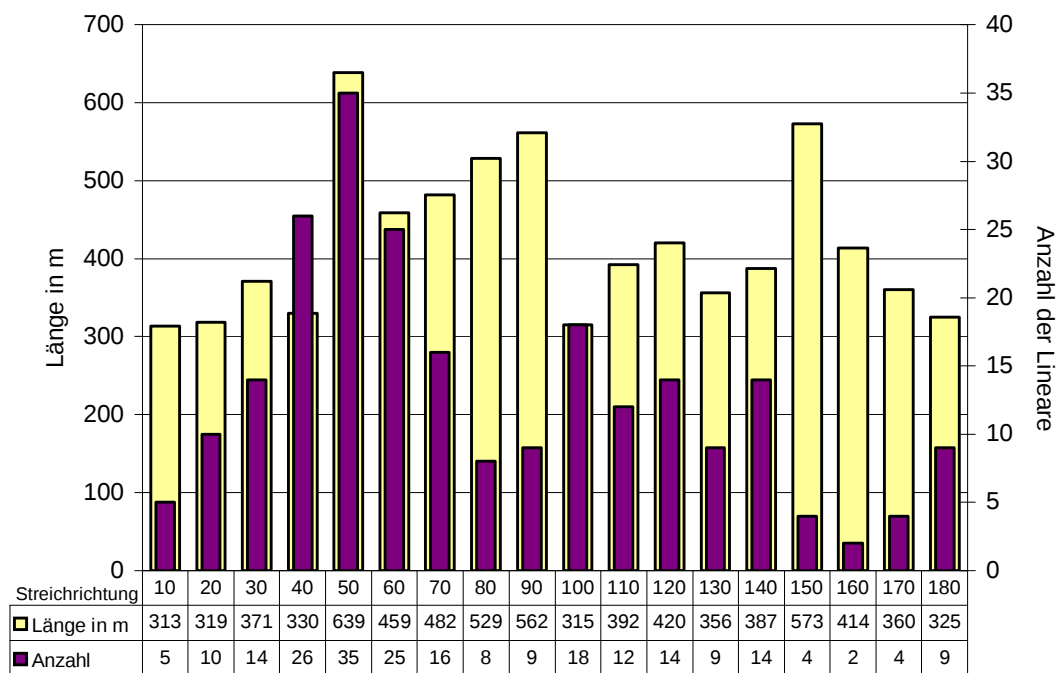


Abb. 8: Zusammenstellung der Streichrichtung der Lineare in 10-Grad Schritten mit Angabe der Häufigkeit ihres Auftretens und ihrer gemittelten Länge.

Die Auswertung der Foto-Lineare (Abb. 8) für das weitere Untersuchungsgebiet zeigt eine deutliche Dominanz der 50°- Richtung in Länge und Häufigkeit.

Geländebeobachtungen und die ermittelte Abstromrichtung des Grundwassers zeigen, dass sich auch das Grundwasser längs dieser Richtung bewegt. Östlich des Jochberg strömt das Grundwasser nach Ost-Nordost in Richtung Bad Reichenhall, westlich davon in west-südwestlicher Richtung nach Weißbach.

Genauere geohydraulische Beobachtungen (vgl. Kap. 5) zeigen zwar, dass es lokal zu Ausnahmeerscheinungen kommen kann, doch orientiert sich das Grundwasser im größeren Maßstab betrachtet längs der durch die Fotolineation vorgezeichneten Hauptrichtung.

2.2.3 Klüfte

Die im Gelände beobachteten Klüfte, lassen sich der Größe nach in drei Kategorien einordnen:

Klüfte 1. Ordnung (Großklüfte)

Klüfte 2. Ordnung (Scherklüfte (an Störungen gebunden))

Klüfte 3. Ordnung (Kleinklüfte)

Da diese Kluftsysteme in der Hydrogeologie in der Trinkwassererschließung Listsee eine besondere Bedeutung haben, werden sie im Nachfolgenden einzeln beschrieben.

2.2.3.1 Klüfte 1. Ordnung (Großklüfte)

Die Klüfte 1. Ordnung queren die Schichtung sigmoidal und haben Kluftweiten von mehreren dm. Im Untersuchungsgebiet können sie entlang der Deutschen Alpenstraße (B 305) am Ausgang des Höllenbachtals und in der Weißbachschlucht beobachtet werden.

In den Kamerabefahrungen der Brunnen am Listsee erscheinen sie als Hauptzutrittsstellen für das Grundwasser.



Abb. 9: Offene Kluft 1. Ordnung am Ausgang des Höllenbaches an der Deutschen Alpenstraße (B 305). An der Kluft Wasseraustritt (Bildmitte) Länge der unteren Bildkante ca. 5 m. Rot herausgehoben ist der Verlauf der Bankung.

Die Klüfte 1. Ordnung sind offen und teilweise stark wasserführend. Auffällig ist, dass diese Klüfte auch im Geländeanschnitt oft ausgeräumt sind. Mylonit - Bildungen und Rückfall wird in der Regel nicht beobachtet.

In den Brunnen Listsee, Listanger und Listwirt erfolgt der Grundwasserzutritt nach Flowmeter Messungen (vgl. Anh. 2, 3 und 4) über die Klüfte 1. Ordnung. Die Auswertung der Pumpversuche (vgl. Kap. 5) lässt vermuten, dass die Klüfte 1. Ordnung nicht unmittelbar untereinander in Verbindung stehen und legen den Schluss nahe, dass die Wasserführung über Zuflüsse aus Klüften 2. und 3. Ordnung erfolgt.



Abb. 10: Offene Kluft im Brunnen Listwirt in 120 m Teufe. Die Flowmeter-Messungen zeigen an dieser Kluft einen der größeren Grundwasserzutritte in die Bohrung. Länge der unteren Bildkante ca. 1 m.

Die offenen, nicht verstürzten Kluft Räume legen den Schluss nahe, dass es sich bei den Klüften der 1. Ordnung um junge Strukturen handelt. Im Aufschluss kann beobachtet werden, dass Klüfte der 1. Ordnung Klüfte der 2. Ordnung durchschneiden; sie sind demnach jünger.

Das Kluftvolumen und der prozentuale Anteil an der Porosität können aufgrund der ungleichen Verteilung bei den Klüften 1. Ordnung nicht abgeschätzt werden.

2.2.3.2 Klüfte 2. Ordnung (Scherklüfte – an Störungen gebunden)

Die Klüfte 2. Ordnung kommen im Hauptdolomit gebunden an Störungen vor, sie selbst können als Störungsfläche fungieren. Sie stehen in steilem Winkel zur Bankung und werden vom Kluftsystem der 1. Ordnung geschnitten. Ihre Kluftweite liegt im cm – Bereich, ihre Länge kann mehrere 10-er Meter betragen. Makroskopisch sind diese Klüfte oft von Mylonit verfüllt und sind dann weitgehend dicht. Die Kluftflächen 2. Ordnung zeichnen sich durch Harnischbildung und Striemung aus.

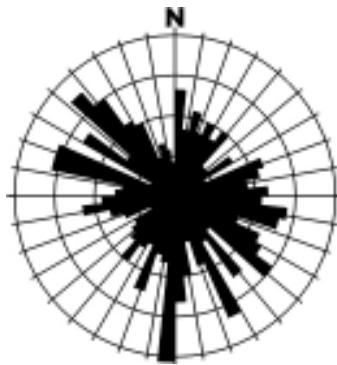


Abb. 11: Störungsrose mit Richtung des Einfallens; jeder Zirkel entspricht 5 Messungen; deutlich erkennbar sind Hauptrichtungen um 150° (Streichen 60°), 180-190° (Streichen E-W), 280-290° (Streichen 20-30) und 310°-320° (Streichen 40°-50°); N = 653.

Unterschiedlichen Striemungen auf den selben Flächen weisen darauf hin, dass die Flächen der Klüfte 2. Ordnung mehreren Bewegungsphasen als Scherflächen gedient haben. Sie können daher keinem einzelnen System unmittelbar zugeordnet werden.

Ihr Auftreten ist im Vergleich zu den Klüften 1. Ordnung sehr viel häufiger.

Abbildung 11 zeigt eine Zusammenstellung der im Gelände gemessenen Fallrichtung der Klüfte 2. Ordnung.

Es dominieren eine ost-west streichende und süd-fallende Richtung sowie ein breiter Bereich von 20° bis 50° streichenden Klüften. Vergleicht man die Streichrichtungen mit den Fotolinearen, so erkennt man die Streichrichtung um 50° wieder, ebenso das Streichen um 90°.

2.2.3.3 Klüfte 3. Ordnung (Kleinklüfte)

Die Klüfte 3. Ordnung durchziehen den Hauptdolomit in allen Richtungen. Im Oberflächenbereich gehen sie unmittelbar in die bodennahe Vergrusung über und ermöglichen so den Zutritt des Oberflächenwassers in den Gesteinskörper.

Dieses Kluftsystem zerlegt den Hauptdolomit unterschiedlich stark. Während weite Bereiche des Hauptdolomits im cm-Bereich durchzogen werden, werden einzelne Partien im Hauptdolomit weniger intensiv durch dieses System geprägt. In massigen Bänken nimmt die Klüftigkeit deutlich ab; sie können als Grundwassergeringleiter bezeichnet werden. Dies ist vermutlich eine der Ursachen für den hydrodynamisch anisotropen Charakter des Hauptdolomits.

Der unterschiedliche Bohrfortschritt beim Niederbringen der Bohrungen im Untersuchungsgebiet lässt vermuten, dass es sich im Untersuchungsgebiet um einen mehrfachen Wechsel von geklüfteten und weniger geklüfteten Bänken handelt.

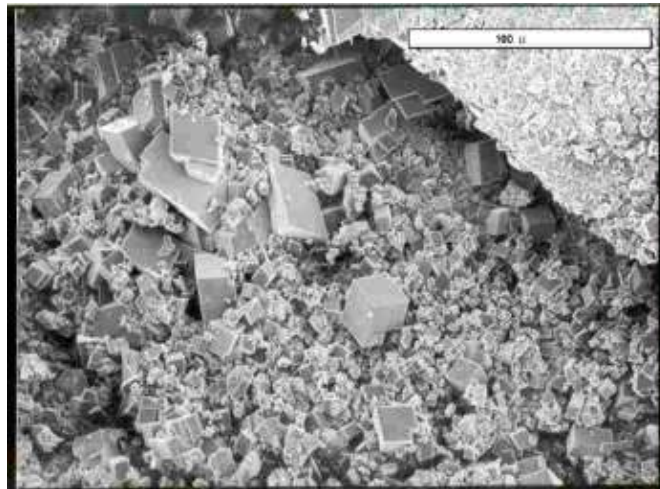


Abb. 12: REM Aufnahme einer Kluft 3. Ordnung, deutlich erkennbar sind die idiomorphen Dolomit – Kristalle auf der Kluftfläche.

Im Idealfall ist der Hauptdolomit mit Klüften 3. Ordnung im mittleren Kluftabstand von 10 mm geklüftet. Die Kluftweiten betragen im Mittel etwa 50 µ. Daraus ergibt sich eine Klufttraumvolumen von etwa 3 %. Kluftländer mit deutlichen Dolomit - Tapeten können diese Porosität noch reduzieren. Die im Rasterelektronenmikroskop beobachteten Dolomitkristalle zeigen, dass zumindest zeitweise Kluftwässer auch den Porenraum der heute oberhalb der Grundwasseroberfläche gelegenen Partien des Hauptdolomites gefüllt haben, aus denen diese Kristalle aufwachsen konnten. Diese Kristalle zeigen keine Spuren von Korrosion auf ihren Oberflächen (vgl. Abb. 12).

Von diesen Beobachtungen ausgehend kann nach der graphischen Methode von HOEK & BRAY (in: DOMENICO & SCHWARTZ (1990)) eine Leitfähigkeit von $\sim 2 \times 10^{-4}$ bis 2×10^{-6} m/s (bei Halbierung des Klufttraumes durch Dolomitsäume auf den Kluftflächen) abgeschätzt werden.

2.2.4 Hydrogeologische Relevanz des Kluftsystems

Die Klüfte 1. Ordnung sind für die Hydrogeologie von entscheidender Bedeutung. Sie stehen nicht untereinander in Verbindung, durch ihre Verbindung über die Klüfte 2. und 3. Ordnung kann ein Grundwasserstrom entstehen, der in den Brunnen erfasst wurde. Flowmeter-Untersuchungen zeigen, dass der wesentliche Grundwasserzutritt fast ausschließlich über die Klüfte 1. Ordnung erfolgt (die ermittelten Zutritte sind in Anhang 2, 3 und 4 vermerkt). Wo sie fehlen, ist keine relevante Grundwasserführung anzutreffen (vgl. auch Kap. 5). Ohne ihr Auftreten gibt es im Listseebereich keinen Grundwasseraustritt. Die am Listsee austretenden Quellen sind zum Großteil an das Auftreten von Klüften 1. Ordnung gebunden.

Die Klüfte 2. Ordnung, die den Gesteinskörper im 10-er m Bereich durchschneiden, sind vermutlich die Bereiche, über die den Kluftsystemen der 1. Ordnung das Grundwasser aus den Klüften 3. Ordnung zufließt. Je nach Lage und Länge beeinflussen sie die Verweildauer des Grundwassers im Gesteinskörper. Dass der Hauptdolomit trotz seiner generell intensiven und kleinräumigen Klüftung nicht als ein quasi - homogener Körper sondern hydrogeologisch weitgehend anisotrop reagiert (vgl. Kap. 5), liegt vermutlich in der Verteilung dieser Klüfte 3. Ordnung.

Die Klüfte 3. Ordnung bilden die Grundwasserspeicherkapazität im Hauptdolomit. Sie ermöglichen den Zutritt von Oberflächenwasser und den großräumigen Grundwasserabfluss. Die durch die Pumpversuche beobachteten Leitfähigkeiten gehen maßgeblich auf dieses Kluftsystem zurück (vgl. Kap. 5). Die durch Pumpversuche ermittelten Leitfähigkeiten lassen sich, soweit sie überhaupt zu solchen Aussagen herangezogen werden können, durch Klüfte der 1. und 2. Ordnung allein nicht plausibel erklären.

Die hydrochemischen Veränderungen in den Brunnen, die sich unmittelbar nach Beginn der Wasserförderung einstellten unterstützen dieses Kluftmodell. In den ersten Tagen wurde ein niedriger mineralisiertes Wasser aus den Klüften erster und zweiter Ordnung gefördert, mit zunehmender Förderdauer wurde zunehmend das höher mineralisierte Wasser des Kluftsystems 3. Ordnung zu Tage gebracht.

2.3 Strukturgeologische Entwicklung

Seit der Ablagerung der triassischen Einheiten hat die Stauf-Höllengebirgsdecke eine komplexe strukturgeologische Entwicklung erfahren. Für die hydrogeologischen Betrachtungen ist besonders die Lagerung der Schichten sowie die jüngste strukturgeologische Entwicklung von entscheidender Bedeutung. Die Gesteine reagieren aufgrund ihrer petrophysikalischen Eigenschaften unterschiedlich auf die strukturgeologischen Beanspruchungen. Die Raibler Schichten werden plastisch deformiert und dienen als Gleithorizont für den darüberliegenden Hauptdolomit, der ausschließlich bruchhaft deformiert ist (RATSCHBACHER et al (1989)).

Die Geländebeobachtungen ermöglichen die Zuordnung von strukturgeologischen Elementen in eine relative Ereignisabfolge. In der jüngeren Entwicklung lassen sich drei Phasen erkennen, die sich mit der geologischen Entwicklung der nördlichen Kalkalpen korrelieren lassen. Für die Hydrogeologie sind diese drei Phasen von großer Bedeutung, da sie die Voraussetzung für die Grundwasserführung im Hauptdolomit bilden.

2.3.1 Erste Phase

Die dem Listseegebiet zugrunde liegende Struktur ist eine große, Nordost-Südwest streichende Mulde. Sie ist offenbar auf eine Nordwest-Südost gerichtete Kompression zurückzuführen.

In Folge dieser Einengung wurden die triassischen Schichten zu einer Nordost-Südwest streichenden Synform eingemuldet (vgl. Abb. 5 und Abb. 13). Die Muldenachse hebt am Listsee aus und taucht nach Südwesten über das Kalktal und die Höllenbachalm bis nach Weißbach ab.

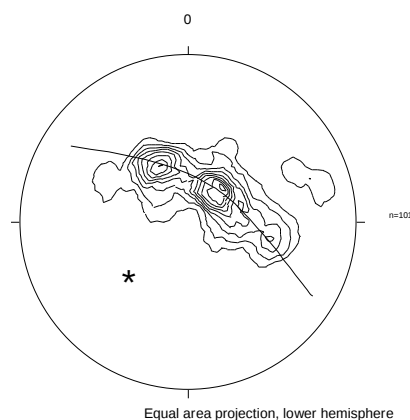


Abb. 13: Stereographische Projektion der Schichtflächen; die Konturierung wurde in 2-er Schritten angelegt. Es lagen 101 Messwerte zugrunde.

Aus der Anlage der Muldenstruktur ergibt sich Kompression im Kern des Schichtpaketes und eine Extension an der Peripherie, die zum Aufreißen von Zerrklüften führt. Diese können in den Bohrungen beobachtet werden.

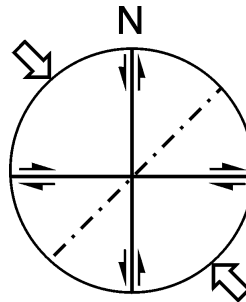


Abb. 14: Kompressionsrichtung der ersten Phase mit Richtung der Schersysteme und Streichen der Muldenachse (gestrichelt)

In der Luftbildauswertung der Lineare (vgl. Abb. 8) sind die aus diesem Spannungsfeld zu erwartenden Lineare in den Ost-West Linearen dokumentiert.

In Kluftmessungen im Gelände (vgl. Abb. 11) ist ein zwischen 20° und 30° streichendes (also ein in Richtung 100° - 110° bzw. 280° - 290° einfallendes) Störungssystem mit einer 90° bis 100° streichenden (also 180° - 190° bzw. 0° - 10°) Gegenrichtung zu beobachten (vgl. Abb. 11).

Trotz weniger sicher zuordenbarer Klüfte mit nur kleinen Versetzungsbeträgen ist diese strukturgeologische Phase für die Hydrogeologie entscheidend: In ihr wird die Muldenstruktur angelegt, welche die Hauptwege der Grundwasserströmung vorzeichnet. Zum einen ermöglicht sie dadurch einen bankparallelen Zustrom des Grundwassers zur Muldenachse hin und eine Ausrichtung des Grundwasserstromes in Haupttrichtung der Muldenachse. Zum anderen unterstützt der kompressive Charakter der Mulde das Aufweiten der Klüfte in den tieferen Bereichen des Hauptdolomits. So können in den Brunnen in Bereichen ab 60 m offene Klüfte mit einer Kluftweite von bis zu einem Meter beobachtet werden.

2.3.2. Zweite Phase

Nach der Einmündung der Stufen-Höllengebirgsdecke wird die Muldenstruktur von einer Reihe sinistraler Nordost-Südwest und dextraler Nordwest-Südost streichender Störungen zergliedert. Diese Störungen weisen als Scherklüfte auf eine Nord-Süd gerichtete Kompression hin.

Am deutlichsten ist diese Richtung im etwa 45° Grad streichenden Saalach-Westbruch dokumentiert. Der laterale Versetzungsbetrag am Saalach Westbruch wird von

EGGER (1997) mit mehr als 40 km angegeben. Die im Gelände beobachteten Störungen dieser Phase verlaufen hauptsächlich subparallel zu dieser Richtung mit 40° – 50° Streichen. Diese Richtung kann im Höllenbachtal und im Bereich der Angerholzstube beobachtet werden.

Zusätzlich zum Schersinn an den Störungen dieser Phase kann es im Kontaktbereich der Störungsflächen zu Scherungen und Verstellungen des Gesteinskörpers kommen. So sind am Ausgang des Höllenbachtals in die Weißbachschlucht im unmittelbaren Bereich der Störung die Schichtflächen sinistral um etwa 45° rotiert.

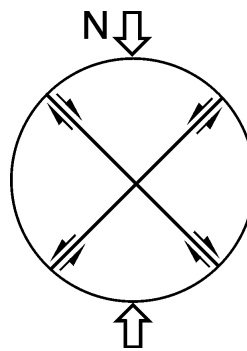


Abb. 15: Kompressionsrichtung der zweiten Phase mit Richtung der Schersysteme.

In der Luftbildauswertung aller Lineare (vgl. Abb. 8) zeigt sich eine deutliche Dominanz der Richtungen zwischen 40° und 60° in Häufigkeit und Länge. Da diese Richtung in der dritten Phase (im Gegensinn) reaktiviert wurde, kann in der Regel keine genaue Zuordnung nachgewiesen werden.

In der Auswertung der Kluftsysteme (vgl. Abb. 11) sind allein aus dem Streichen die Scherrichtungen der zweiten und dritten Phase nicht zu trennen.

Die Störungen der zweiten Phase verlaufen parallel zur Muldenstruktur und unterstützen damit die Auflockerung des Hauptdolomits im Bereich der bereits durch die Zerrklüfte der Aufmuldung erweiterten Klufräume.

2.3.3 Dritte Phase

Nach der Zergliederung der Muldenstruktur, wird diese von Westen her über das Becken von Bad Reichenhall geschoben (vgl. Abb. 6). Die den Talkessel von Bad Reichenhall umgebenden jurassischen und kretatischen Einheiten des Tirolikums werden dabei überschoben.

Dies weist auf eine West-Ost gerichtete Kompression hin. Sie erzeugt dextrale Nordost-Südwest und sinistrale Nordwest-Südost Scherrichtungen.

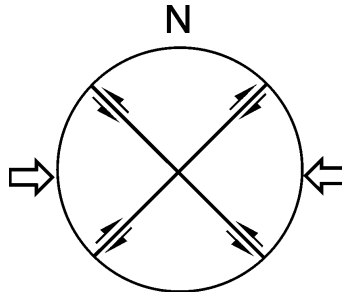


Abb. 16: Kompressionsrichtung der dritten Phase mit Richtung der Schersysteme.

Dies kann nördlich des Listsee beobachtet werden. Hier werden Elemente der zweiten Phase abgeschnitten (vgl. strukturgeologische Karte Anhang 5).

Der Schersinn legt nahe, dass die Schichten am Listsee in der dritten Deformationsphase gestaucht werden. Das könnte eine Ursache für die Ergiebigkeit der Brunnen am Listsee sein.

Im Gelände sind die Scherrichtungen der dritten Phase nur selten von der Richtung der zweiten Phase zu unterscheiden, da in beiden Kompressionsphasen die selben Scherrichtungen (im Gegensinn) aktiviert werden.

Die im Untersuchungsgebiet beobachteten drei Phasen entsprechen von ihrer Dynamik her den von (SCHWEIGL & NEUBAUER (1997) beschriebenen D5, D6 und D7 Phasen.

		Alter	Sinn
1. Phase	D5	Oligocän	NW-SE Kompression
2. Phase	D6	Miocän	σ_1 N-S, σ_3 tendenziell E-W
3. Phase	D7	Miocän	σ_1 E-W; σ_3 N-S

Tabelle 1: Strukturgeologische Abfolge für die nördlichen Kalkalpen nach SCHWEIGL & NEUBAUER (1997)

2.4 Zusammenfassung der tektonischen Grundlagen für die Trinkwassererschließung Listsee

Der Hauptdolomit als Kluftwasserleiter dominiert das Grundwassersystem am Listsee. Die tirolische Mulde sowie die jungen Kluftsysteme bestimmen die Wasserführung im Erschließungsgebiet.

Durch die großräumige Synform wird das Einzugsgebiet nach Norden zum Wettersteinkalk hin erweitert. Die Richtung des Grundwasserstromes wird durch die Synform vorgezeichnet. Zugspannungen im tieferen Muldenkern ermöglichen das Aufreißen von Klüften 1. Ordnung. Für die Grundwasserführung sind alle drei Kluftsysteme relevant: die Klüfte der 3. Ordnung ermöglichen den Grundwasserzutritt in den Gesteinskörper und bedingen die Kluftporosität des Grundwasserleiters. Die Klüfte 2. Ordnung fassen lokal das Grundwasser der Klüfte 3. Ordnung zusammen und leiten es den Klüften der 1. Ordnung zu. Die Klüfte der 1. Ordnung sind die Zutrittswege des Grundwassers in den Felsbrunnen. Der Zustrom des Grundwassers in den Felsbrunnen ist an das Vorkommen der Großklüfte gebunden.

Für die Trinkwassererschließung Listsee sind sowohl die Folgerungen aus der Schichtlagerung als auch aus der jüngeren Entwicklung der Kluftsysteme ausschlaggebend gewesen.

3. Klimatologie und Grundwasserneubildung

Die Kenntnis von Topographie und Klimatologie sind für die Eingrenzung des Einzugsgebietes sowie für die Abschätzung der Grundwasserneubildung von besonderer Bedeutung. Besonders im alpinen Raum muß – aufgrund der stark gegliederten Orographie – auf den Zusammenhang von Höhe und Klima Rücksicht genommen werden. Aus diesem Grund wird für das Untersuchungsgebiet ein höhenabhängiges Klimamodell erstellt, daß den lokalen Gegebenheiten Rechnung trägt und zur Ermittlung der Grundwasserneubildung herangezogen wird.

Für das Klimamodell werden die Parameter der Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit, des Niederschlags, der Evaporation, des Windes (der Durchlüftung), sowie der Interzeption berücksichtigt.

Mittels der theoretischen Topoklimatologie können Isohyeten-, Isograden-, und Isobaren-Karten sowie Evapotranspirationskarten erstellt werden.

Bei der Erstellung der klimatologischen Karten wird auf ein numerisches Verfahren zurückgegriffen (MÜLLER-WESTERMEIER (1995)).

Zur besseren Nachvollziehbarkeit wurden den verwendeten Formeln exemplarische Werte in Tabellenform im Anhang 6-15 zugestellt.

3.1 Datengrundlage

Grundlage für die topoklimatologischen Untersuchungen bilden überregionale Untersuchungen in der Normalperiode 1931 – 1960 (BAUMGARTNER et al (1983)), Messungen an der Wetterstation Bad Reichenhall und Traunstein (MÜLLER-WESTERMEIER (1995)) in der letzten Normalperiode 1960 – 1990, sowie Messungen des Deutschen Wetterdienstes an der Klimastation Rauschberg (ca. 15 km westlich) in der letzten Normalperiode.

Darüber hinaus konnte auf Daten aus dem nahegelegenen Nationalpark Berchtesgaden KÖPPEL (1995), HOFMANN (1992), ENDERS (1979) und ENDERS (1982), sowie DOBEN (1973), zurückgegriffen werden.

Die theoretischen Tabellenwerte sowie die angewendeten Formeln sind der Sammlung des DVWK (1996) entnommen.

Eigene Beobachtungen der Temperatur und des Niederschlags ergänzen die Untersuchungen.

3.2 Arbeitsmethoden

Die vorliegenden Daten wurden mit MS Excel 97 aufgenommen, editiert und verrechnet. Die Auswertung erfolgt über Golden Software SURFER 6.0.

Bei einer starken orographischen Gliederung, wie sie das Staufen-Gebiet auszeichnet, vermitteln Mittelwerte nur einen unzureichenden Eindruck von den klimatologischen Verhältnissen. Ein klimatologisches Modell hilft dabei, einen realistischeren Eindruck der Verhältnisse zu erhalten. Dem Klimamodell liegt ein digitales Höhenmodell zugrunde, dass das vermutete Einzugsgebiet der Brunnen am Listsee umfaßt.

Für die Modellierung der klimatologischen Parameter ist es nötig gewesen, das vermutete Einzugsgebiet auf eine quadratische Grundfläche zu reduzieren. Der Nordwestliche Punkt der Fläche liegt bei R 45 60 36 00 / H 52 92 01 00, der südöstliche bei R 45 64 91 00 / H 52 87 22 00 (vgl. Abb. 17).

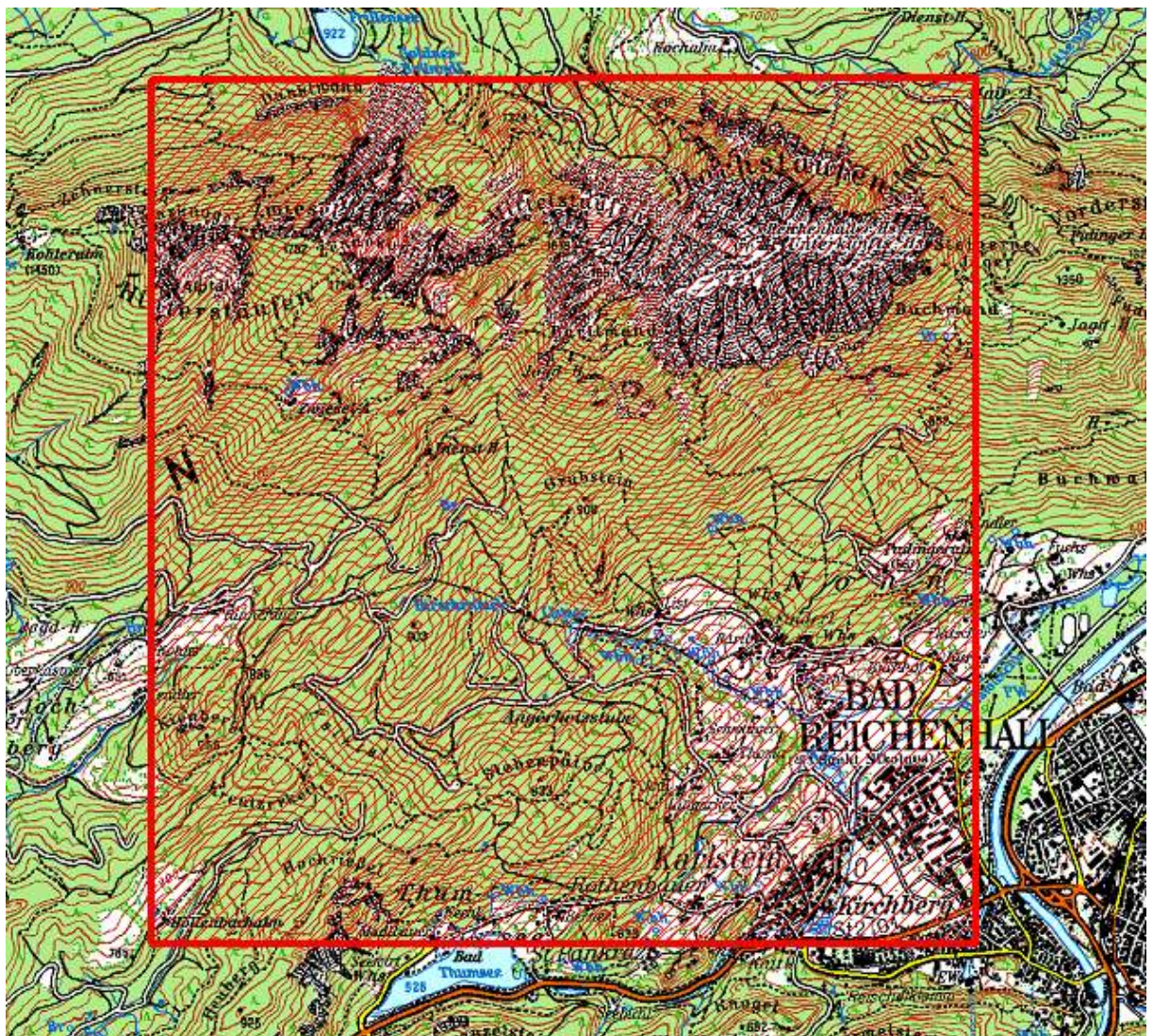


Abb. 17: Lage des topoklimatologischen Modellgebietes

Die Fläche des topoklimatologischen Modellgebietes beträgt 21 km².

Da die Grundwasserströmung im Bereich des Listsee zwar grundsätzlich bekannt ist, lokal aber sehr differenziert erscheint, ist es nicht möglich, ein genaues Einzugsgebiet der Brunnen und Quellen festzulegen. Hier wird davon ausgegangen, dass es der Wasserscheide der Oberfläche folgt.

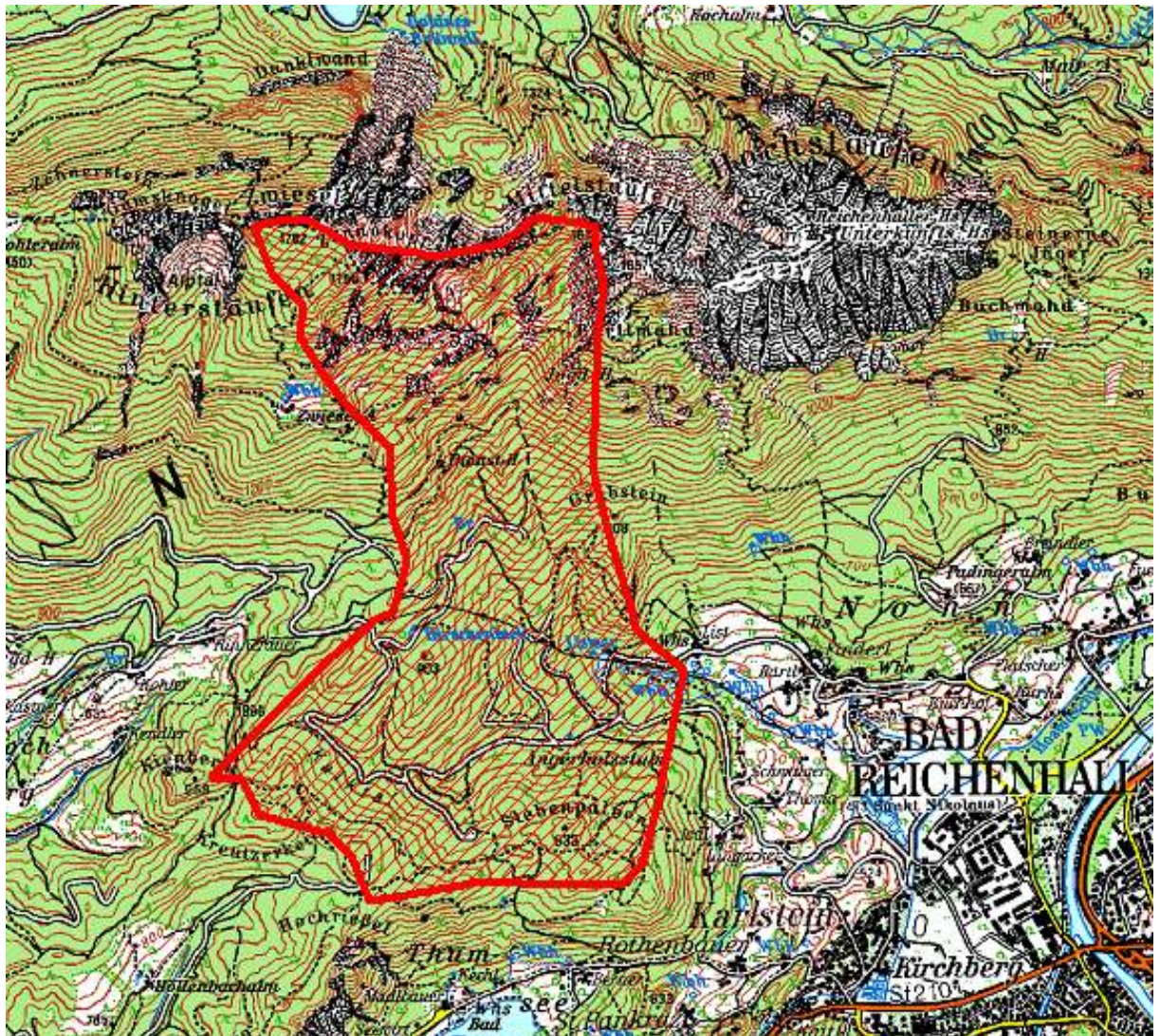


Abb. 18: Lage des oberflächlichen Einzugsgebietes im Trinkwassereinzugsgebiet Listsee

Die Fläche des durch die oberflächlichen Wasserscheiden bestimmten Einzugsgebietes liegt bei 5 km².

Die aus der quadratischen Fläche ermittelten klimatologischen Parameter müssen daher um den Faktor vier reduziert werden.

Die klimatologischen Parameter des Niederschlages und der Verdunstung wurden auf 20 mm/a genau ermittelt.

3.3 Klimatologische Parameter

Die für das Klimamodell relevanten Parameter (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag, Sonneneinstrahlung, Sättigungsdampfdruck und Evapotranspiration) wurden wenn möglich auf das Untersuchungsgebiet angepasst, indem Referenzwerte übertragen und damit eigene Parameter für das Gebiet erstellt wurden.

3.3.1 Lufttemperatur (T)

Der Lufttemperatur kommt bei der Erstellung eines Klimamodells eine zentrale Bedeutung zu. Sie beeinflusst die Verdunstung und steht in Wechselwirkung mit Luftdruck und Luftfeuchtigkeit. Das vertikale Temperaturgefälle ist Grund für den advektiven Niederschlagstyp, der für diese orographische Lage typisch ist. Darüber hinaus regelt die Temperatur die Dauer der Fixierung von Schnee, was für die Grundwasserspende von entscheidender Bedeutung ist.

Die vertikale Temperaturabnahme, die durch Austauschprozesse mit der Atmosphäre bedingt ist, führt zur Ausbildung eines lokalen Temperaturgradienten.

Ein allgemeiner oder dem hypsometrischen Temperaturgradient angelehnter Gradient kann nicht direkt auf das Untersuchungsgebiet übertragen werden, da es – nach dem Gesetz der Massenerhebung – zum Kern der Alpen hin zu einer lokalen Überwärmung kommt, die bis in das Untersuchungsgebiet hinreicht. Um den klimatologischen Verhältnissen gerecht zu werden, können daher nur Meßstationen in vergleichbarer orographischer Lage herangezogen werden (siehe Anhang 6).

Für das Untersuchungsgebiet ist zur Erstellung des vertikalen Temperaturgradienten auf die Stationen „Bad Reichenhall“ und „Untersberg“ nach ENDERS (1979) zurückgegriffen worden. Der aus den Stationen gebildete mondstypische Temperaturgradient liegt zwischen $-0,209^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$ im Dezember und $-0,519^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$ im Mai. Die aus den Temperaturgradienten resultierenden Monatsdurchschnittstemperaturen sind in Anhang 6 für exemplarische Höhenniveaus im Einzugsgebiet zusammengestellt.

Mit den über die Temperaturgradienten ermittelten Temperaturen wurden die weiteren temperaturrelevanten Modelle ermittelt.

Für die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration nach PENMAN (1948) und MAKINK (1957) (in DVWK (1996)) ist darüber hinaus die Kenntnis der Verdunstungswärme $[L]$ notwendig. Sie bezeichnet die Wärme die notwendig ist, um 1 mm Wasser zu verdunsten. Sie kann tabellarisch DVWK (1996) entnommen werden und wird in Anhang 8 für die betreffenden Temperaturbereiche angegeben.

3.3.2 Luftfeuchtigkeit / relative Feuchte (U)

Die relative Luftfeuchtigkeit geht bei der Betrachtung der hydrologischen Verhältnisse in die Berechnung der Evapotranspiration nach HAUDE (1955) (in DVWK (1996) und PENMAN (1948) ein.

Sie ist von der Durchlüftung und den Temperaturverhältnissen abhängig. Im Jahresgang schwankt sie im Untersuchungsgebiet zwischen Werten von 75 % im April und 85 % im Dezember. Für die Berechnung der Evapotranspiration wurde aus den Luftfeuchtheitswerten der Klimastation Bad Reichenhall (in ENDERS (1979)) ein monatliches Mittel gebildet (vgl. Anh. 10).

Durch den Wolkenaufstieg an der Nordseite kann sie in Wasserwolken kurzzeitig nahe 100 % betragen, an Tagen mit Föhnwetterlage beträgt sie annähernd 0 %. Diese Extremwerte wurden bei den weiteren Berechnungen nicht berücksichtigt.

3.3.3 Niederschlag

Dem Niederschlag kommt in der Hydrologie die größte Bedeutung zu. Als einziger Inputfaktor löst er die hydrogeologische Grundgleichung. Er wird vom vertikalen Temperaturgradienten, vom Wind und mittelbar durch den Luftdruck gesteuert. Das den Niederschlag prägende Phänomen am Staufen ist der von Nordwesten auf den Staufen auflaufende und abregnende Niederschlag.

Das Untersuchungsgebiet ist – verglichen mit der mittleren Niederschlagshöhe über dem Festland (670 mm/a nach WEISCHET (1977)) – ausgesprochen niederschlagsreich. Die in Anh. 9 zusammengestellten Werte, zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen Orographie und Niederschlagsmenge. Aufgrund windbedingter Meßfehler, die 20 – 40 % betragen können (BAUMGARTNER et al (1983) und RICHTER (1995)) gilt die räumliche Interpolation von Meßwerten im Gebirge als schwierig. Dennoch sind über die langjährigen Mittel der Stationen „Bad Reichenhall“ und „Reiteralpe“ Niederschlagsgradienten von 2 – 11 mm / 100 Höhenmeter (zur Niederschlagsmenge im Talbereich zuzuaddieren) ermittelt worden (vgl. Anhang 10).

Für das Staufengebiet ist demnach mit 1600 mm/a bis 2300 mm/a – je nach Höhenlage – zu rechnen. Durch den feuchteren Sommer und den trockeneren Winter ist das Gebiet dem kontinentalen Typ der Mittelbreiten zuzuordnen.

Die aus den Gradienten resultierenden Isopachen-Karten sind aufgrund der angegebenen Schwierigkeiten mit hohen Fehlern behaftet und nur als Annäherung an die natürlichen

Verhältnisse zu sehen. Dennoch kann generell beobachtet werden, dass in der Gipfelregion monatlich bis zu 70 mm mehr Niederschlag fällt als in den tiefergelegenen Stationen.

Der Schnee der Gipfelregionen taut aufgrund der niedrigen Jahresdurchschnittstemperatur nur langsam ab. Erst im April übersteigt die Durchschnittstemperatur in der Gipfelregion die 0°, am Ende Mai gelten die Gipfelregion als weitgehend schneefrei. In den Karen des Zwiesels hält sich der Schnee bis in den Frühsommer.

Die niedrige Durchschnittstemperatur bedingt ein langsames Abschmelzen der Schneemassen und damit eine längerfristige Grundwasserspende. Nur an wenigen Tagen kommt es im Untersuchungsgebiet kurzfristig durch verstärkte Schneeschmelze zu erhöhtem Oberflächenabfluß.

Aus dem klimatologischen Niederschlagsmodell läßt sich eine Niederschlagsmenge für die Modellfläche errechnen. Sie berechnet sich aus den Summen der Flächen gleichen Niederschlags.

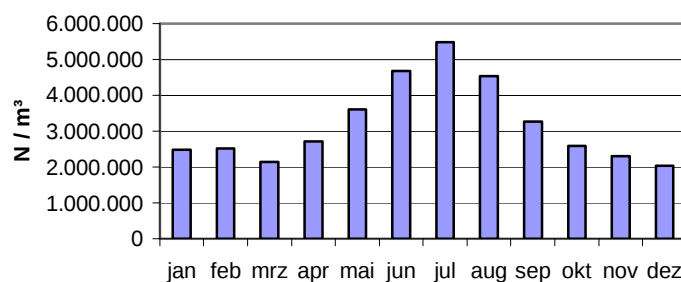


Abb. 19: Niederschlagsmengen für das Klimamodells.

Kumulativ fallen demnach im Modellgebiet 38 Mio. m³ Niederschlag pro Jahr. Geht man davon aus, daß das Modellgebiet vier mal größer als das eigentliche Einzugsgebiet ist, sind hierfür rund 9,5 Mio. m³ Niederschlag pro Jahr anzunehmen.

3.3.4 Sonneneinstrahlung

Dauer und Intensität der Sonneneinstrahlung bewirken durch den Albedo die Wärmerückstrahlung und somit die Ausbildung der Temperaturgradienten. Dadurch ist sie indirekt an Niederschlag und Verdunstung beteiligt. Sie geht in die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration nach PENMAN (1948) ein.

Im Untersuchungsgebiet können im Jahr mit 25 bis 45 % der theoretisch möglichen Sonneneinstrahlung gerechnet werden.

Für die Sonnenscheindauer liegen Messungen an den Stationen „Bad Reichenhall“ und „Predigtstuhl“ vor (Anh. 10 „Sonnenscheindauer im Umfeld des Untersuchungsgebietes“).

Übereinstimmend zeigen beide Stationen im Juni (45 % der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer) und im September (46 % der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer) ein Maximum sowie ein Minimum in den Monaten Dezember (Reichenhall 15 % / Predigtstuhl 36 % der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer) und Januar (Reichenhall 15 % / Predigtstuhl 27 % der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer). Die astronomisch mögliche Sonnenscheindauer bezieht sich auf 47° nördlicher Breite nach DVWK (1996).

Über das ganze Jahr beträgt die astronomisch mögliche Sonnenscheindauer [$S_0 \text{ Jahr}$] 4470 Stunden (DVWK (1996)).

Die für die Berechnung der Evapotranspiration notwendige extraterrestrische Strahlung – die im wesentlichen von der Sonne ausgeht – schwankt im Jahresgang zwischen Tageswerten von 854 J/cm² im Dezember und 4199 J/cm² im Juni DVWK (1996). Diese Werte gelten für den 47° nördlicher Breite.

Die Globalstrahlung [R_G] errechnet sich aus der extraterrestrischen Strahlung [R_0] sowie dem Verhältnis der mittleren täglichen Sonnenscheindauer [S] zum Tageswert der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer [S_0] nach dem Ångström-Verfahren.

$$R_G = R_0 * \left(0,19 + 0,55 * \frac{S}{S_0} \right) \quad \mathbf{3.1}$$

Exemplarische Strahlungswerte für das Staufengebiet finden sich in Anhang 10.

Für Wärmeumsetzung im Untersuchungsgebiet – und somit für die Ausbildung des Temperaturgradienten – ist der Albedo von besonderer Bedeutung. Er geht als α in die Berechnung der Evapotranspiration nach PENMAN (1948) ein.

Für die weiteren Berechnungen wurde der Albedo für den Mischwald mit 15 % und für die Gipfelregion (~ trockener Sand) mit 45 % angenommen.

3.3.5 Sättigungsdampfdruck [$e_s(T)$]

Dampfdruck und Sättigungsdampfdruck werden zur Berechnung der Evapotranspiration nach HAUDE (in DVWK (1996)) und PENMAN (1948) benötigt.

Der Sättigungsdampfdruck [$e_s(T)$] errechnet sich als Funktion der Temperatur [T].

$$e_s(T) = 6,11 * \exp\left(\frac{17,62 * T}{243,12 + T}\right) \quad \text{hPa} \quad \mathbf{3.2}$$

Die für das Untersuchungsgebiet relevanten Werte wurden in Anhang 12 für exemplarische Höhengniveaus zusammengestellt.

Für die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration nach PENMAN (1948) ist die Kenntnis der Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve [s] entscheidend. Sie ist der DVWL (1996) entnommen und in Anhang 11 für die am Staufen erforderlichen Höhen zusammengestellt.

3.3.6 Sättigungsdefizit [$e_s(T) - e$]

Das Sättigungsdefizit der Luft wird für die Berechnung der Evapotranspiration nach HAUDE (in DVWK (1996)) und PENMAN (1948) benötigt. Es errechnet sich aus dem Sättigungsdampfdruck [$e_s(T)$] (siehe Kapitel 3.3.5) und der anteiligen relativen Luftfeuchte [U] (siehe Kapitel 3.3.2).

$$e_s(T) - e = e_s(T) * \left(1 - \frac{U}{100}\right) \quad \text{hPa} \quad \mathbf{3.3}$$

Das Sättigungsdefizit ist ein Indikator für das Vermögen weiteres Wasser aufzunehmen. Für den Staufen relevante Werte sind in Anhang 11 zusammengestellt.

3.3.7 Windverhältnisse

Die durch die Veränderung des Luftdruckes entstehenden Windverhältnisse sind im Untersuchungsgebiet ein entscheidendes klimabildendes Phänomen. So bewirken sie in den Sommermonaten durch die Auflandung von Norden auf den Staufen die lokalen Niederschlagsverhältnisse.

Da für die Gipfelregion des Staufens keine Meßwerte vorliegen wurde auf Messungen an der ca. 12 km westlich gelegenen Klimastation „Rauschberg bei Ruhpolding“ (1640 m ü. NN) zurückgegriffen. Dieser Berg befindet sich in einer vergleichbaren geographischen Lage. (vgl. Anh. 12)

An den Daten zeigt sich, daß zwei Hauptrichtung die Windverhältnisse am Staufens dominieren. In den Sommermonaten überwiegt ein leichter Wind bis leichter Zug (1,7 – 1,8 Beaufort; $\sim 1,2 - 1,3 \text{ ms}^{-1}$) aus Nordwest. In den Wintermonaten schwenkt er auf Südwest um und frischt leicht auf 1,8 – 2,1 Beaufort ($\sim 1,3 - 1,8 \text{ m/s}^{-1}$)

Die Windgeschwindigkeit geht in die Berechnung der Evapotranspiration nach PENMAN (1948) ein.

Im Umfeld des Nationalparks Berchtesgaden wurde in den achtziger Jahren das Windsystem auf Berg- und Talwinde sowie Föhnlagen hin untersucht HOFMANN (1992). Es kann davon ausgegangen werden, daß sich entsprechende Systeme auch am Staufensmassiv und am Rauschberg ausbilden, sie sind jedoch nicht dokumentiert.

3.3.8 Evapotranspiration (ET)

Als eine die Grundwasserbilanz bestimmende Größe kommt der Evapotranspiration eine besondere Bedeutung zu. Sie kann nur mit hohem technischem Aufwand direkt ermittelt werden und wurde daher nach verschiedenen Methoden berechnet.

Für das Untersuchungsgebiet wurde die potentielle Evapotranspiration nach HAUDE (1955), BLANLEY-CRIDDLE (1950), BLANLEY-CRIDDLE korrigiert nach SCHRÖDTER (1985), TURC (1961), MAKKINK (1957) sowie PENMAN (1948) in einer Vereinfachung nach WENDLING (1991) bestimmt. Die Berechnungsmethoden sind in DVWK (1996) zusammengestellt.

3.3.8.1 Potentielle Evapotranspiration nach Haude [$ET_{P-HAUDE}$]

Die Berechnung nach HAUDE (1955) (in DVWK (1996)) bildet Monatssummen der potentiellen Verdunstung. Sie wurde empirisch für Böden mit hohem Grundwasserstand erstellt. Sie wurde nach DVWK (1996) ermittelt.

$$ET_{PHaude} = f * (e_s(T) - e)_{14} \quad \text{mm/Monat} \quad \mathbf{3.4}$$

in sie geht der Haude-Faktor (vgl. Anhang 12), sowie das Sättigungsdefizit der Luft um 14 Uhr $[(e_s(T) - e)_{14}]$ (vgl. Kapitel 3.3.6) ein.

Exemplarische Monatswerte für das Staufengebiet finden sich in Anhang 12 zusammengestellt.

3.3.8.2 Potentielle Evapotranspiration nach Blaney-Criddle [ET_{P-BLAN}]

Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration nach BLANLEY-CRIDDLE (in DVWG (1996)) berücksichtigt Temperatur und Sonneneinstrahlungsdauer. Für die Berechnung für das Untersuchungsgebiet wurden auf die monatlichen Mittelwerte der Lufttemperatur [T] (vgl. Kapitel 3.3.1) sowie auf die astronomische mittlere tägliche Sonnenscheindauer [S_0] (vgl. Kapitel 3.3.4) sowie auf den Jahreswert der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer [$S_{0\text{Jahr}}$] zurückgegriffen.

Die ET_{P-BLAN} wird nach der folgenden empirischen Formel ermittelt:

$$ET_{P-Blan} = (8,128 + 0,457 * T) * \frac{S_0 * 100}{S_{0\text{Jahr}}} \quad \text{mm/d} \quad \mathbf{3.5}$$

Zur einheitlichen Darstellung wurden die Tageswerte zu Monatswerten zusammengezogen. Exemplarische Werte für die potentielle Evapotranspiration nach BLANLEY-CRIDDLE finden sich in Anhang 12.

Aus dem topographisch gegliederten Klimamodell lässt sich eine Evapotranspirationsmenge nach BLANLEY-CRIDDLE für die Modellfläche errechnen. Sie berechnet sich aus den Summen der Flächen gleicher Verdunstung.

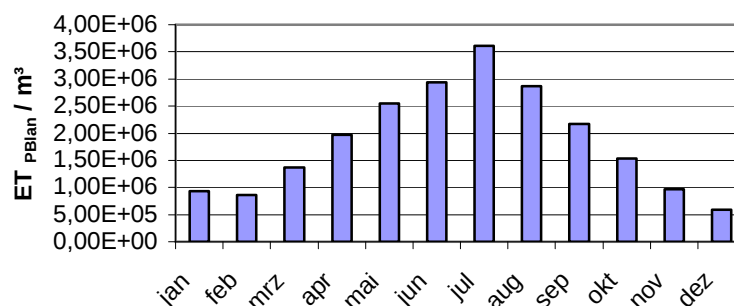


Abb. 20: Monatliche modellhafte Evapotranspiration nach BLANLEY CRIDDLE

Kumulativ beträgt die potentielle Evapotranspiration nach BLANLEY-CRIDDLE demnach im Modellgebiet 22 Mio. m³ Niederschlag pro Jahr. Geht man davon aus, dass das Modellgebiet vier Mal größer als das eigentliche Einzugsgebiet ist, sind rund 5,5 Mio. m³ pro Jahr anzunehmen.

In DVWK (1996) findet sich eine Korrekturformel für die potentielle Evapotranspiration (BLANLEY-CRIDDLE) nach SCHRÖDTER (1985).

$$ET_{pBlans} = -1,55 + 0,96 * ET_{pBlans} \quad \mathbf{3.6}$$

nach DVWK (1996) soll die so ermittelte Evapotranspiration den mitteleuropäischen Werte näher kommen.

Für das Untersuchungsgebiet exemplarische Werte dieser Evapotranspiration wurden in Anhang 13 zusammengestellt.

Aus dem topographisch gegliederten Klimamodell lässt sich eine Evapotranspirationsmenge nach BLANLEY-CRIDDLE mit der Korrektur nach SCHRÖDTER (1985) für die Modellfläche errechnen. Sie berechnet sich aus den Summen der Flächen gleicher Verdunstung.

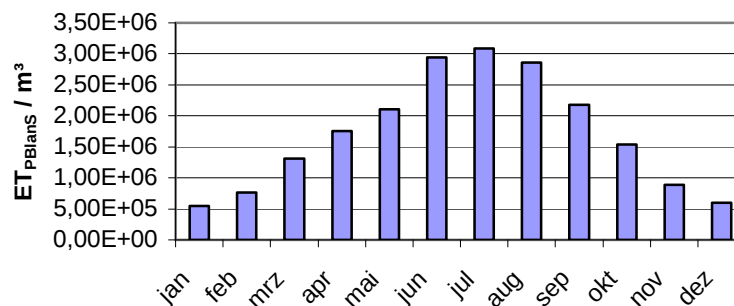


Abb. 21.: Modellhafte monatliche Evaporanspiration nach BLANLEY-CRIDDLE korrigiert nach SCHRÖDTER (1985)

Kumulativ beträgt die potentielle Evapotranspiration nach BLANLEY-CRIDDLE mit der Korrektur nach SCHRÖDTER im Modellgebiet 20 Mio. m³ Niederschlag pro Jahr. Geht man davon aus, dass das Modellgebiet um das Vierfache größer als das eigentliche Einzugsgebiet ist, sind rund 5,0 Mio. m³ pro Jahr anzunehmen.

3.3.8.3 Potentielle Evapotranspiration nach PENMAN (1948) nach WENDLING (1991) [ET_{p-PEN}]

Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration nach PENMAN (1948) kann aufgrund fehlender Eingabeparameter lediglich in der vereinfachten Form von WENDLING (1991) vorgenommen werden. Im Unterschied zur Originalberechnung wird hierzu ein Strahlungsterm [E_R] (Anhang 13) als Ersatz für Berechnungen aus Strahlungsbilanz und Bodenwärmestrom eingeführt. Statt einem aus Bewuchshöhe und Windgeschwindigkeit zusammengesetzten Term wird auf das Tagesmittel der Windgeschwindigkeit [v_2] zurückgegriffen. Dieses geht in den Ventilationsfeuchteterm [E_A] ein.

$$ET_{Pen} = \frac{s}{s + \gamma} * E_R + \frac{\gamma}{s + \gamma} * E_A \quad \text{mm/d} \quad \mathbf{3.9}$$

Hierbei entspricht $[s]$ der Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve (siehe Kapitel 3.3.5) und $[\gamma]$ der Psychrometerkonstante (0,65 mbar/°C) sowie mit dem Strahlungsterm $[E_A]$ welcher aus der Globalstrahlung $[R_G]$ (siehe Kapitel 3.3.4) und der speziellen Verdunstungswärme $[L]$ (siehe Kapitel 3.3.1) gebildet wird.

$$E_R = \frac{0,6 * R_G}{L} \quad \mathbf{3.10}$$

und dem Ventilationsfeuchteterm $[E_A]$

$$E_A = 0,063 * (1 + 1,08 * v_2) * (e_s(T) - e) * S_R \quad \mathbf{3.11}$$

Sowie den Temperaturfunktionen, die sich aus der Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve $[s]$ (siehe Anhang 12) und der Psychrometerkonstante $[\gamma]$ zusammensetzt

$$\frac{s}{s + \gamma} \quad \text{und} \quad \frac{\gamma}{s + \gamma} \quad \mathbf{3.12} \quad \text{und} \quad \mathbf{3.13}$$

Auf Grundlage der angegebenen Werte errechnet sich die potentielle Evapotranspiration nach PENMAN (1948) zu den in Anhang 14 zusammengestellten exemplarischen Monatswerten:

Aus dem topographisch gegliederten Klimamodell lässt sich eine Evapotranspirationsmenge nach PENMAN für die Modellfläche errechnen. Sie berechnet sich aus den Summen der Flächen gleicher Verdunstung.

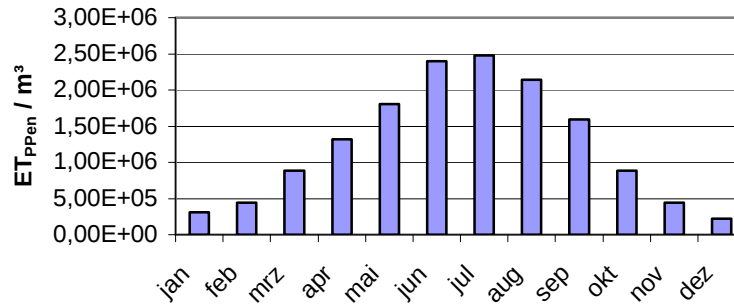


Abb. 23: Modellhafte monatliche Evapotranspiration nach PENMAN

Kumulativ beträgt die potentielle Evapotranspiration nach PENMAN (1948) im Modellgebiet 15 Mio. m³ Niederschlag pro Jahr. Geht man davon aus, dass das Modellgebiet um das Vierfache größer als das eigentliche Einzugsgebiet ist, sind rund 3,75 Mio. m³ pro Jahr anzunehmen.

3.3.8.4 Potentielle Evapotranspiration nach MAKKINK (1957)

Eine Vereinfachung der Penman-Beziehung bildet die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration nach MAKKINK (1957). Die bereits in der Penman – Formel eingeführte Temperaturfunktion $[s/(s+\gamma)]$ wird hier in Verbindung mit der Globalstrahlung $[R_G]$ und der speziellen Verdunstungswärme $[L]$ gesetzt.

$$ET_{P-Makk} = \frac{s}{s + \gamma} * \left(c_1 * \frac{R_G}{L} + c_2 \right) \quad \text{mm/d} \quad \mathbf{3.14}$$

Die in die Berechnung eingehenden Konstanten $[c_1]$ und $[c_2]$ werden nach COISINEL (1990) (in DVWK (1996)) für Europa modifiziert; d.h. $[c_1] = 0,75$; $[c_2] = 0$.

Die für das Untersuchungsgebiet relevanten Evapotranspirationswerte nach MAKKINK (1957) sind exemplarisch in Anhang 15 zusammengestellt.

Aus dem topographisch gegliederten Klimamodell lässt sich eine Evapotranspirationsmenge nach MAKKINK (1957) für die Modellfläche errechnen. Sie berechnet sich aus den Summen der Flächen gleicher Verdunstung.

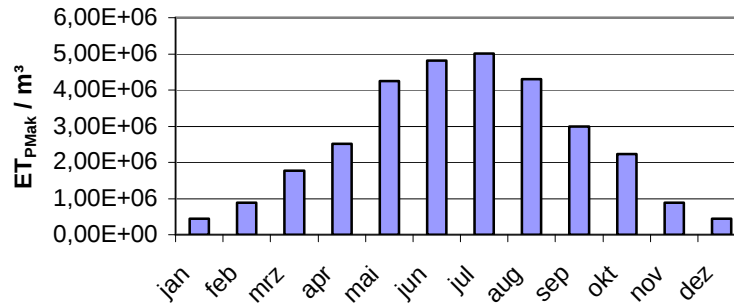


Abb. 24: Modellhafte monatliche Evapotranspiration nach MAKKINK

Kumulativ verdunsten demnach nach PENMAN erweitert nach MAKKINK im Modellgebiet 30 Mio. m³ Niederschlag pro Jahr. Geht man davon aus, daß das Modellgebiet vier Mal größer als das eigentliche Einzugsgebiet ist, sind rund 8 Mio. m³ pro Jahr anzunehmen.

3.3.8.5 Reelle Evapotranspiration nach TURC [ET_{P-Turc}]

Die für Afrika entwickelte Berechnungsformel für die reelle Evapotranspiration nach TURC (1961) [ET_{P-Turc}] läßt sich nach DVWK (1996) auch auf Bereiche der BRD übertragen. Diese Berechnung geht auf einen Luftfeuchteterm [C], die Globalstrahlung [R_G] (siehe Kapitel 3.3.4) und die Lufttemperatur [T] (siehe dazu Kapitel 3.3.1) ein.

$$ET_{P-Turc} = 0,0031 * C * (R_G + 209) * \frac{T}{T + 15} \quad \text{mm/d} \quad \mathbf{3.7}$$

mit dem Luftfeuchteterm [C]

$$C = 1 + \frac{50 - U}{70} \quad \mathbf{3.8}$$

dieser Term kommt jedoch nur bei Luftfeuchtigkeiten [U] von unter 50 % zum Einsatz, überschreitet die Luftfeuchtigkeit [U] 50 % so wird der Term [C] gleich 1 gesetzt.

Exemplarische Werte für die Berechnung der reellen Evapotranspiration nach TURC finden sich in Anhang 13.

Aus dem topographisch gegliederten Klimamodell lässt sich eine Evapotranspirationsmenge nach TURC für die Modellfläche errechnen. Sie berechnet sich aus den Summen der Flächen gleicher Verdunstung.

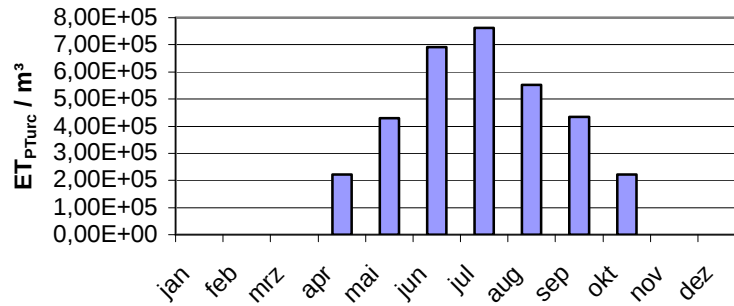


Abb. 22: Modellhafte monatliche Evapotranspiration nach TURC

Kumulativ verdunsten demnach nach TURC im Modellgebiet 3 Mio. m³ Niederschlag pro Jahr. Geht man davon aus, daß das Modellgebiet vier Mal größer als das eigentliche Einzugsgebiet ist, sind rund 0,75 Mio. m³ pro Jahr anzunehmen.

3.3.8.6 Zusammenfassung

Zur Auswahl der berechneten Evapotranspiration werden die vertikale Differenzierung und die jahreszeitliche Differenzierung der Berechnungsmethoden miteinander verglichen. Dabei werden sowohl die vertikale als auch die saisonale Differenzierung berücksichtigt.

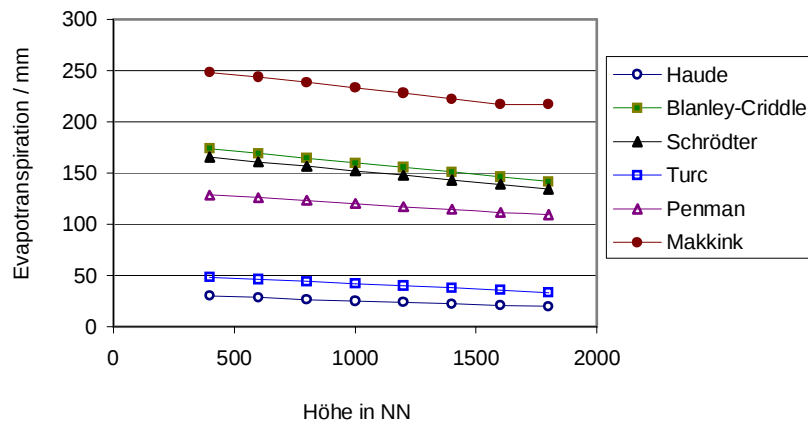


Abb. 25: Vergleichende Darstellung der Evapotranspiration nach den angewandten Methoden für den Monat Juli nach der Höhe.

Tendenziell zeigt sich, dass im höhenabhängigen Zusammenhang gesehen die Methoden nach HAUDE (1955) und TURC (1961) wahrscheinlich zu geringe Werte für die Evapotranspiration liefern.

Bei der Betrachtung der saisonalen Differenzierung der Evapotranspiration ist teilweise nur ein schwacher Zusammenhang von Jahreszeit und resultierender Evapotranspiration zu

beobachten. Auch hier scheinen die Methoden nach HAUDE (1955) und TURC (1961) nicht angemessen.

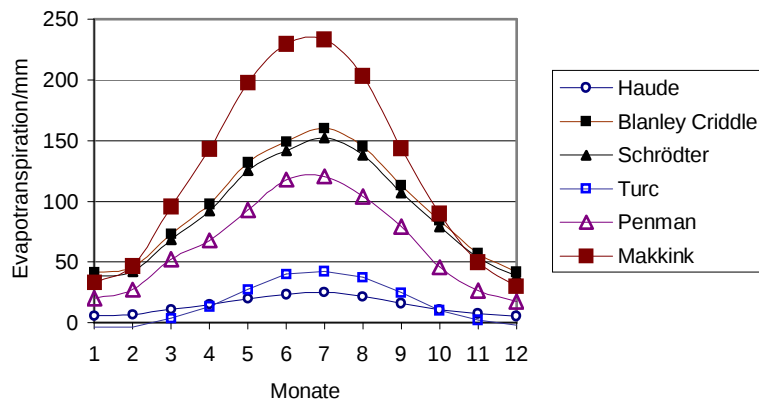


Abb. 26: Zusammenhang von Jahreszeit und modellhafter Evapotranspiration für die Höhe von 1000 m im Listseegebiet.

Für die flächenhafte Berechnung der Evapotranspiration wird daher auf die Berechnung nach HAUDE (1955) und TURC (1961) verzichtet.

Die Hydrodynamik und die Hydrochemie zeigen, dass das Grundwasser im Listseegebiet aufgrund der hydrogeologischen Eigenschaften des Hauptdolomits zum Teil kaum absehbare Wege nimmt. Vor diesem Hintergrund fällt es schwer, das Einzugsgebiet der Brunnen im Listseebereich genau abzugrenzen. Für die modellhafte klimatologische Berechnung wurde das gesamte zentrale Staufen-Massif zu Grunde gelegt (21 km²). Beschränkt man das Einzugsgebiet für das Erschließungsgebiet Listsee auf die Wasserscheiden des Reliefs so verkleinert sich das Einzugsgebiet auf 5 km². Aus diesem Grund wurden alle modellhaft ermittelten Parameter auf ein Viertel reduziert. Dieses entspricht der kleinsten möglichen Größe bezogen auf ein Einzugsgebiet, das durch die Wasserscheiden gegeben ist.

Aus den klimatologischen Parametern des Höhenmodells lassen sich folgende modellhafte Aussagen treffen:

Im erweiterten Modellgebiet des Listsees fallen im Jahr Niederschläge in einer Menge von 38 Mio. m³; für das kleinere abgegrenzte Einzugsgebiet von 9 Mio. m³ pro Jahr.

Nach der Berechnung nach BLANLEY-CRIDDLE beträgt die potentielle Evapotranspiration für das Gebiet 22 Mio. m³ pro Jahr; für das kleinere vermutete Einzugsgebiet 6 Mio. m³ pro Jahr.

Nach der Korrektur nach BLANLEY-CRIDDLE und SCHRÖDTER beträgt die potentielle Evapotranspiration für das Listseegebiet 20 Mio. m³ pro Jahr; für das kleinere vermutete Einzugsgebiet 5 Mio. m³ pro Jahr.

Die Berechnung nach TURC ergibt für das Untersuchungsgebiet eine potentielle Evapotranspiration von 3 Mio. m³ pro Jahr; für das kleinere vermutete Einzugsgebiet 0,75 Mio. m³ pro Jahr.

Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration nach PENMAN errechnet sich zu 15 Mio. m³ pro Jahr; für das kleinere vermutete Einzugsgebiet 3,75 Mio. m³ pro Jahr.

Die Berechnung nach MAKKING ergibt eine potentielle Evapotranspiration von 30 Mio. m³ pro Jahr; für das kleinere vermutete Einzugsgebiet 8 Mio. m³ pro Jahr.

Es ist schwer zu sagen, welche der ermittelten Evapotranspirationen für die Lage des Untersuchungsgebietes am besten zutrifft. Angesichts der offensichtlichen geringeren Differenzierung der klimatologischen Rahmenparameter nach der Höhe und im besonderen nach den Jahreszeiten scheinen die Berechnungen von TURC und HAUDE nicht geeignet, sie berücksichtigen die Differenzierungen am wenigsten (vgl. Abb. 26).

Die Formeln zur Berechnung der potentiellen Evapotranspiration nach BLANLEY-CRIDDLE wurden für die Verhältnisse in Afrika erstellt und geben für Europa offenbar zu hohe Werte. Sie wurden von SCHRÖDTER für den europäischen Kontinent angepasst. Es ist daher diese Berechnung vorzuziehen.

Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration nach PENMAN berücksichtigt eine große Anzahl von Parametern und bildet sowohl die Höhenabhängigkeit als auch den Jahresgang gut ab.

Die nach MAKKINK berechnete potentielle Evapotranspiration ergibt die höchsten überhaupt ermittelten Werte. Die saisonale Differenzierung ist die höchste der verglichenen Methoden. Trotzdem scheinen die ermittelten potentiellen Verdunstungswerte sehr hoch. Es scheint, als ob die Methode nach MAKKINK in ihren Aussagen die jahreszeitliche Bedeutung zu stark überzeichnet. Es kann sein, dass diese Methode in orographisch weniger gegliederten Gebieten exakter ist.

Von den 9 Mio. m³ Niederschlag, die dem engeren Einzugsgebiet jährlich zugehen, können theoretisch - je nach Modell - zwischen rund 1 Mio. und 8 Mio. m³ verdunsten. Wenn davon ausgegangen wird, dass die reelle Evapotranspiration in Mitteldeutschland in etwa 60 % beträgt (HÖLTING 1996), scheint die Berechnung nach BLANLEY-CRIDDLE mit der Korrektur nach SCHRÖDTER realistische Werte zu liefern.

Es muss daher davon ausgegangen werden, dass von 9 Mio. m³ Niederschlag etwa 5 Mio. m³ direkt wieder verdunsten.

3.4 Bedeutung der Topoklimatologie für die Grundwasserneubildung

Die Betrachtung der klimatologischen Parameter mit ihrer Kopplung an die topographischen Verhältnisse geben Hinweise auf die Menge der möglichen Grundwasserneubildung.

In orographisch stark gegliederten Gebieten wirkt sich die Funktion der Höhe für die potentielle Grundwasserneubildung doppelt positiv aus: zum einen kommt es mit der zunehmenden Höhenlage zu höheren Niederschlägen und zum anderen führen die mit der Höhe abnehmende Lufttemperatur zu einer erheblich geringeren potentiellen Evapotranspiration. Damit steht der Grundwasserneubildung erheblich mehr Niederschlag zu Verfügung.

Dieser klimatologische Zusammenhang ist im Bereich der Alpennordrandes besonders deutlich. Die abnehmende Niederschlagsmenge zum Inneren der Alpen und der aufgrund des Gesetzes des Massenerhebung abnehmende Temperaturgradient führen dazu, dass die Aussagen aus dem Listseegebiet nicht ohne weiteres auf zentrale Alpengebiete übertragen werden können. Sie können jedoch exemplarisch für den Rand der Nördlichen Kalkalpen gelten; in diesem Bereich liegen auch die ausgedehnten Hauptdolomiteinheiten speziell in der Lechtal-Decke, die für eine Erkundung von nutzbarem Grundwasser von Interesse sein können.

Für das Grundwassererschließungsgebiet Listsee kann man davon ausgehen, dass 55% des Jahresniederschlages durch Verdunstung der Grundwasserneubildung entzogen werden.

Im engeren Einzugsgebiet, das durch die Wasserscheiden im Gelände abgegrenzt wird, liegen die durch Verkarstung abflusslosen Wettersteinregionen des Staufen-Zwiesel-Massiv über 1100 m NN. Der Oberflächenabfluss im tiefer gelegenen Hauptdolomit schwankt saisonal sehr stark. Messbare Abflussraten ergeben sich nur bei Starkregen und bei Föhneinfluss während der Schneeschmelze. Diese Ereignisse beschränken sich auf max. 20 Tage im Jahr und reduzieren die Grundwasserneubildung um ca. 5%, entsprechend 250000 m³ pro Jahr. Damit kann in erster Annäherung mit einer Grundwasserneubildung von 4,5 Mio. m³ pro Jahr gerechnet werden, dabei ist der Oberflächenabfluss nicht berücksichtigt, da er im Gebiet nur schwer zu fassen ist. Der Abfluss beschränkt sich auf wenige Starkregenfälle und kurze Zeiten während der Schneeschmelze. Die tatsächliche Grundwasserneubildung (ohne Oberflächenabfluss) wird höher liegen, da das Einzugsgebiet, aufgrund der Einfaltung zur Muldenstruktur (vgl. Kapitel 2.3.1 ff) größer anzusetzen ist, als die Fläche innerhalb der Oberflächenwasserscheide.

4. Hydrochemie

Die im Grundwasser enthaltenen Ionen und Isotopen erlauben Schlüsse auf die Herkunft und die Bewegungsdynamik des Wassers.

Während die gelösten Ionen geochemische Hinweise auf das Einzugsgebiet eines Grundwassers geben, lassen Isotopenmessungen Schlüsse auf Grundwasseralter und Grundwasserdynamik zu. Diese Aussagen sind jedoch nur so gut, wie das zugrunde liegende geologische Geländemodell.

In den folgenden Untersuchungen steht eine hydrodynamische und genetische Typisierung des Grundwassers im Vordergrund. Wenn Grundwässer unterschiedlicher Herkunft als Mischwasser vorliegen, geben hydrochemische Analysen Auskunft über die Herkunft der Einzelwässer sowie über Mischungsverhältnisse. Um die genetische Herkunft des Mischwassers im Trinkwassererschließungsgebiet Listsee ermitteln zu können, sind Vergleichsmessungen an zwei Quellen gemacht worden, deren geologische Lage ihres Einzugsgebietes eine eindeutige genetische Zuordnung des Wassers zulässt: Die Quelle „Wasserloch“ wird über ein Einzugsgebiet aus reinem Wettersteinkalk gespeist während die Quelle „Höllenbach“ nur aus dem Hauptdolomit kommt.

4.1 Datengrundlage

Für die hydrochemische Auswertung stehen umfassende Analysen zu Verfügung (136 Analysen), die im Rahmen der Grundwassererschließung und -gewinnung im Untersuchungsgebiet Listsee vorgenommen wurden. Sie umfassen Analysen der Brunnen Listsee, Listwirt und Listanger sowie Analysen der nahe gelegenen Quellen.

Lokalität	best. Analysen	eigene Analysen	Daten
Brunnen Listsee	44	8	Anh. 20
Brunnen Listwirt	33	8	Anh. 21
Brunnen Listanger	16	8	Anh. 22
Quelle Wasserloch	0	8	Anh. 23
Quelle Höllenbach	0	8	Anh. 24
Quelle Thumsee (Ost)	1	1	Anh. 25

Tab. 2: Zahl der hier ausgewerteten hydrochemischen Analysen

Unter der Vorgabe der geologischen Vergleichbarkeit wurden im weiteren Untersuchungsgebiet zwei Quellen ermittelt, deren Einzugsgebiet jeweils ausschließlich im Wettersteinkalk [„Quelle Wasserloch“], beziehungsweise im Hauptdolomit [„Quelle Höllenbach“] liegen. Um die Analyseergebnisse mit den Untersuchungen aus der

Grundwassergewinnungsanlagen Listsee vergleichen zu können, wurden zeitgleich Proben aus den drei Brunnen der Erschließungsanlage Listsee genommen.

Um hydrochemische Veränderungen im Jahresgang der Quellen beobachten zu können wurden die Analysen über einen Zeitraum von zwei Jahren im (soweit möglich) Dreimonats – Zyklus genommen.

Sowohl die hydrochemischen Analysen der Stadtwerke Bad Reichenhall als auch die des eigenen Untersuchungsprogramms wurden vom Labor Blasy & Busse (Eching/Ammersee) durchgeführt.

Daten des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft sowie Literaturwerte ermöglichen einen Vergleich mit weiter westlich gelegenen Wasservorkommen.

Die verwendeten Analysen befinden sich in Anhang 25.

Für den Vergleich der einzelnen Brunnen und Quellen wurden Mittelwerte berechnet. Hierbei wurden der jeweils höchste und der niedrigste Wert nicht mit berücksichtigt. Für das eigene Messprogramm wurden diese Werte nicht ausgeschlossen, da die Proben unter vergleichbaren Bedingungen gewonnen wurden.

In Abb. 40 wurden die Abweichungen vom Mittelwert mit übernommen.

4.2 Physikalisch-chemische Charakteristik der Wässer

Im Rahmen des Messprogramms wurden unmittelbar am Ort der Probennahme Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit bestimmt.

Die Temperaturwerte der Brunnen sind im Jahresmittel konstant (vgl. Abb. 27). Das Jahresmittel beträgt für den Brunnen Listsee 7,1°C, für den Brunnen Listwirt 7,7°C, für den Brunnen Listanger 7,8°C für die Höllenbachquelle 7,6°C und die Karstquelle Wasserloch 6,2°C. Dabei können die Temperaturen im Tagesgang um bis zu 0,4°C schwanken.

Wenn man davon ausgeht, dass die mittlere Temperatur eines Grundwassers auf die Höhenlage des Einzugsgebietes schließen lässt, zeigen die Temperaturmessungen im Listseegebiet, dass die drei Brunnen unterschiedlich hoch gelegene Einzugsgebiete haben müssen. Das des Brunnens Listwirt liegt demnach über dem der Brunnen Listsee und Listanger, die sich im Mittel nicht wesentlich unterscheiden. Die Auswertung der Sauerstoff-Isotopen (vgl. Kap 4.4.4) weisen auf die selbe Abfolge hin.

In den Temperaturmessungen der Brunnen ist kein Gang zu erkennen, der auf einen Einfluss der Jahreszeiten hinweisen könnte. Daraus kann man schließen, dass entweder das Grundwasserreservoir so groß ist, das Temperaturschwankungen nahezu ausgeglichen werden, bzw. die Grundwasserverweildauer so lang ist, dass ein Ausgleich über mehrere Jahresgänge hinweg möglich ist. Die außergewöhnlich hohen Einzelwerte des Brunnen Listsee sind auf Stillstände der Förderung und einer damit eingehenden Erwärmung des Wassers im oberen Bereich des Brunnens zurückzuführen.

Die konstant niedrige Temperatur der Wasserlochquelle ist vermutlich auf ein weit ausgeprägtes Karstsystem sowie auf die konstante Schattenlage an der Stauffennordseite zurückzuführen.

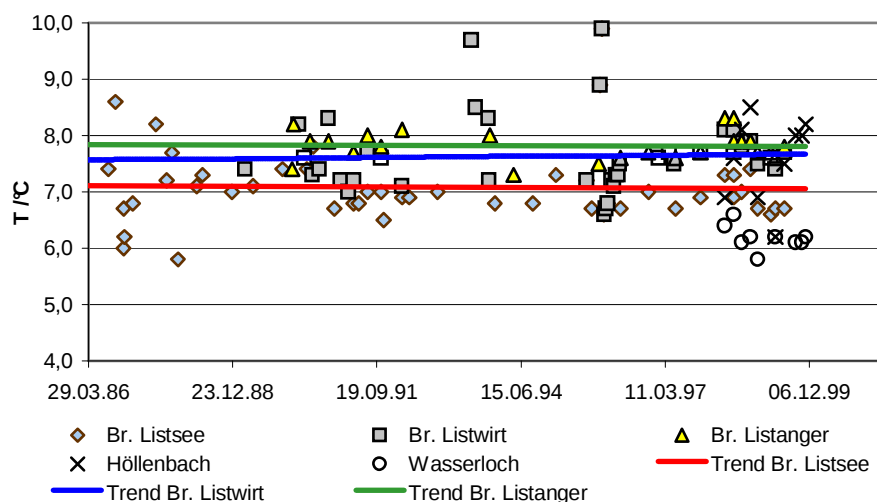


Abb. 27: Temperaturverhältnisse in den Brunnen und Quellen des Untersuchungsgebietes. Die hohen Werte des Brunnen Listwirt sind auf Messungen nach längeren Betriebspausen zurückzuführen.

Die Brunnen im Listseebereich verfügen über jeweils charakteristische pH-Werte (vgl. Abb. 28). Trotz teilweise deutlicher Schwankungen unterschieden sich die Jahresmittel signifikant voneinander: Der Brunnen Listsee hat einen mittleren pH-Werte von 7,93; der Brunnen Listwirt hat einen mittleren pH-Wert von 7,84 und der Brunnen Listanger hat einen mittleren pH-Wert von 7,65.

Das Mittel der Quelle Höllenbach liegt bei einem pH-Wert von 7,62 und der der Quelle Wasserloch beim pH-Wert 8,03.

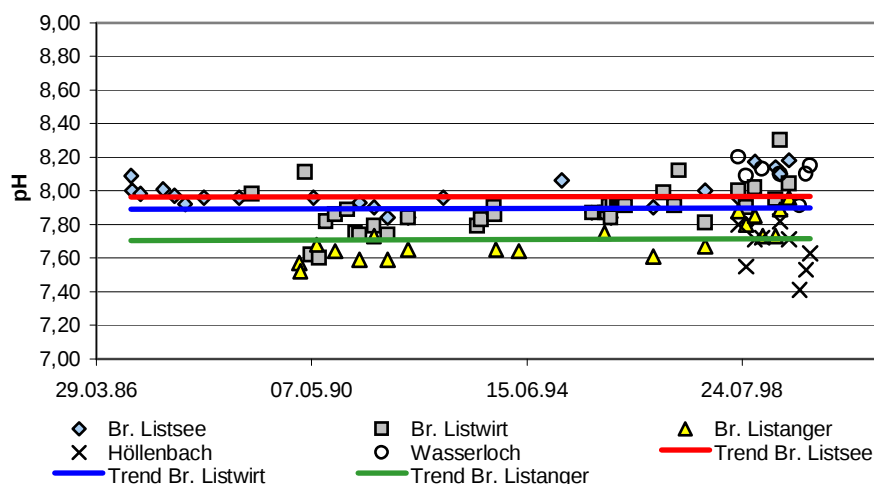


Abb. 28: pH-Werte aus den Laboruntersuchungen zu den Brunnen und Quellen im Untersuchungsgebiet.

Auch die Leitfähigkeit, welche ein Indikator für die Menge der im Wasser gelösten Ionen ist, ist für die einzelnen Grundwasserarten spezifisch. Das Mittel der vor Ort gemessenen Leitfähigkeit beträgt für den Brunnen Listsee 32 mS/m, für den Brunnen Listwirt 44 mS/m, für die Brunnen Listanger 41 mS/m, für die Höllenbachquelle 43 mS/m und für das Wasserloch 25 mS/m.

Da die Lösbarkeit von Stoffen von der Temperatur abhängig ist, muss die Leitfähigkeit prinzipiell auf eine Temperatur von 25°C korrigiert werden. Die hierzu herangezogenen Temperaturkorrekturfaktoren nach HÖLTING (1996) errechnen die mittlere Leitfähigkeit des Brunnen Listsee zu 50 mS/m, die des Brunnen Listwirt zu 66 mS/m, die des Brunnens Listanger zu 61 mS/m, die der Wasserlochquelle zu 39 mS/m und die Leitfähigkeit der Höllenbachquelle zu 65 mS/m (vgl. Abb. 29).

Bei den untersuchten Wässern folgt die Leitfähigkeit im Wesentlichen dem Verhältnis der Gesamtmineralisation.

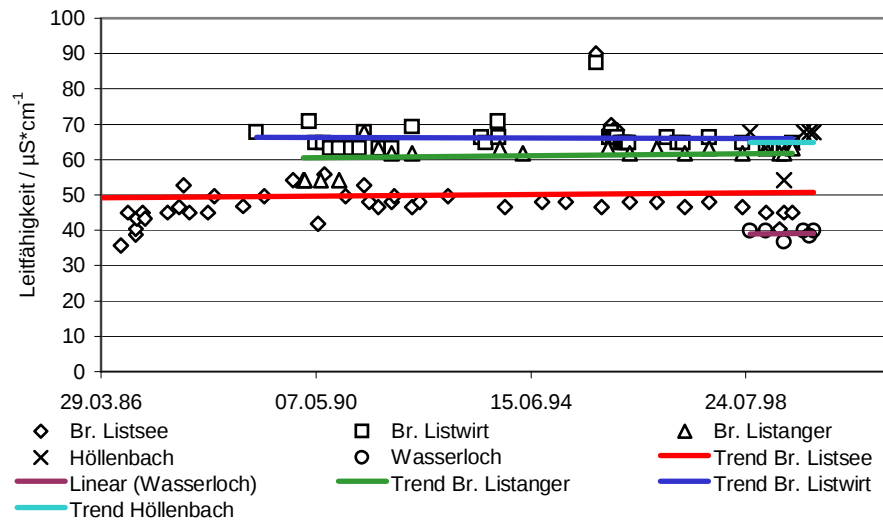


Abb. 29: Leitfähigkeit der Brunnen und Quellen im Untersuchungsgebiet.

Besonders bei der Ermittlung des Einflusses der Raibler Schichten ist die Leitfähigkeit ein wichtiger Parameter. Raibler Schichten sind reich an organischen Komponenten, Eisenverbindungen und Evaporiten. Die Leitfähigkeit der Grundwässer aus den Raibler Schichten ist aus diesem Grund sehr hoch. Vergleichsmessungen aus den nördlichen Kalkalpen (vgl. Anhang 25) zeigen, dass Grundwässer, die von Raibler Schichten beeinflusst werden eine Leitfähigkeit von über 1000 mS/m ausweisen können (DOBEN (1976)) . Für die Brunnen im Listseegebiet und die untersuchten Quellen zeigt sich, dass sich der Einfluss der Raibler Schichten auch in der Leitfähigkeit dokumentiert.

4.3 Ionen

Niederschlag reichert sich auf dem Weg durch die Bodenzone und den Grundwasserleiter zum Grundwasseraustritt hin mit gelösten Stoffen und Gasen an. Die Geologie des Grundwasserleiters bestimmt, welche Stoffe zur Lösung bereitgestellt werden können.

Die geologische Großstruktur, die Lage des aus der Grundwasserfließrichtung ermittelten Einzugsgebietes und die Grundwassertemperaturen legen nahe, daß es sich bei dem im Listseebereich geförderten Grundwasser um ein Mischwasser aus Anteilen des Wettersteinkalkes und des Hauptdolomites handelt. Die zwischen Wettersteinkalk und Hauptdolomit gelegenen Raibler Schichten haben am Staufens nur einen sehr geringen Anteil; als Einzugsgebiet für Grundwasser sind sie lokal nicht von Bedeutung.

Zur Klärung der Grundwassergenese sind die für die möglichen Ausgangswässer charakteristischen Parameter untersucht worden. Es handelt sich um die Erdalkalien Calcium, Magnesium und Natrium (teilweise auch Kalium) sowie die Anionen Sulfat, Chlorid und Hydrogenkarbonat.

Calcium [Ca^{2+}] und Magnesium [Mg^{2+}] sind in Wettersteinkalk und Hauptdolomit in einem unterschiedlichen Verhältnis enthalten. Während im Wettersteinkalk, der im Untersuchungsgebiet als sehr reiner Kalk ausgebildet ist (vgl. Kap. 1), Calcium weit gegenüber dem Magnesium dominiert, verschiebt sich das Verhältnis von Calcium zu Magnesium im Hauptdolomit (der im Listseebereich als reiner Dolomit beobachtet wird) zugunsten des Magnesiums. Werden Calcium und Magnesium im Verhältnis 1:1 eingebaut handelt es sich um reinen Dolomit. Die in dieser Arbeit angeführten Calcium:Magnesium-Verhältnisse wurden aus den chemischen Analysen des Grundwassers (in mmol/l) ermittelt (vgl. Abb. 41).

So kann davon ausgegangen werden, daß die Magnesiumkomponente in den Mischwässern des Trinkwassererschließungsgebietes Listsee auf den Einfluß des Hauptdolomites zurückzuführen ist.

Natrium [Na^+] kann in Kombination mit dem Anion Chlorid auf evaporitische Einschaltungen hinweisen, wie sie in den Raibler Schichten auftreten können. Im Hauptdolomit und im Wettersteinkalk wurden im Gebiet des Staufens keine evaporitisch ausgeprägten Schichten beobachtet.

Nachweise von Chlorid [Cl^-] gelten, wie auch Nachweise von Sulfat und Natrium, als Hinweis auf evaporitische Einschaltungen.

Sulfat [SO_4^{2-}] kann im Untersuchungsgebiet nur aus den evaporitischen Raibler Schichten kommen. Eine Beeinflussung durch den Niederschlag, Prozessen in der Bodenzone,

anthropogene Einflüsse sowie sulfathaltige Oberflächenwässer sind für die untersuchten Proben weitgehend auszuschließen.

4.3.1 Quelle „Wasserloch“ bei Inzell

Die Quelle „Wasserloch“ wird aufgrund ihres reinen Wettersteinkalk Einzugsgebietes als typische Wettersteinkalkquelle angesehen.

Sie weist die niedrigste Temperatur und den höchsten pH-Wert auf (vgl. Kapitel 4.2).

Mit einem mittleren Härtegrad von 7° dH weist sie das weichste Wasser im Untersuchungsgebiet auf. Die Leitfähigkeit ist dementsprechend die geringste. Ihre Säurekapazität (bei pH 4,3) ist mit dem Mittelwert von 2,41 der kleinste beobachtete Wert.

Ihr Wasser weist ein Calcium:Magnesium – Verhältnis von 2,9 : 1 auf. Es ist der höchste im Untersuchungsgebiet beobachtete Wert.

Die Analysenwerte werden in Abb. 30 von einem kurzgestrichelten Feld umrahmt, das auf den folgenden Kationen-Dreieckdiagrammen die Position des Wettersteinkalkwassers verdeutlicht.

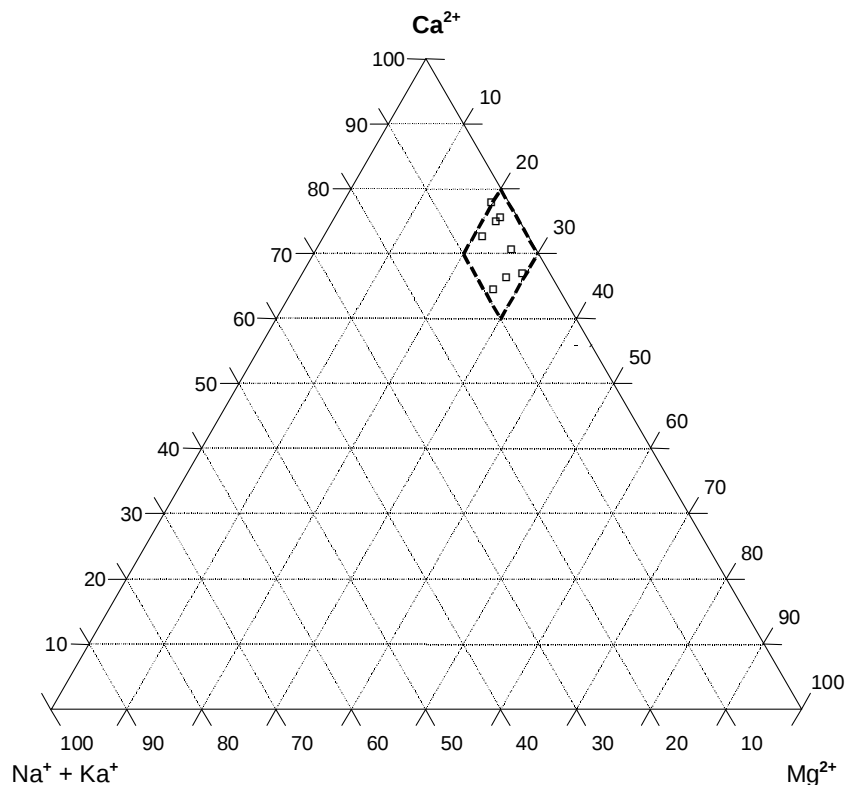


Abb. 30: Kationen-Dreieckdiagramm der Wasserlochquelle mit eingezeichnetem Typen-Feld (gestrichelt).

Das weitgehende Fehlen von Sulfat weist darauf hin, daß evaporitisch ausgebildete Raibler Schichten keinen Einfluß auf das Wasser aus dem Wasserloch haben und daß eine Beeinträchtigung durch anhydritische Einschaltungen bzw. Gips nicht zu erwarten sind.

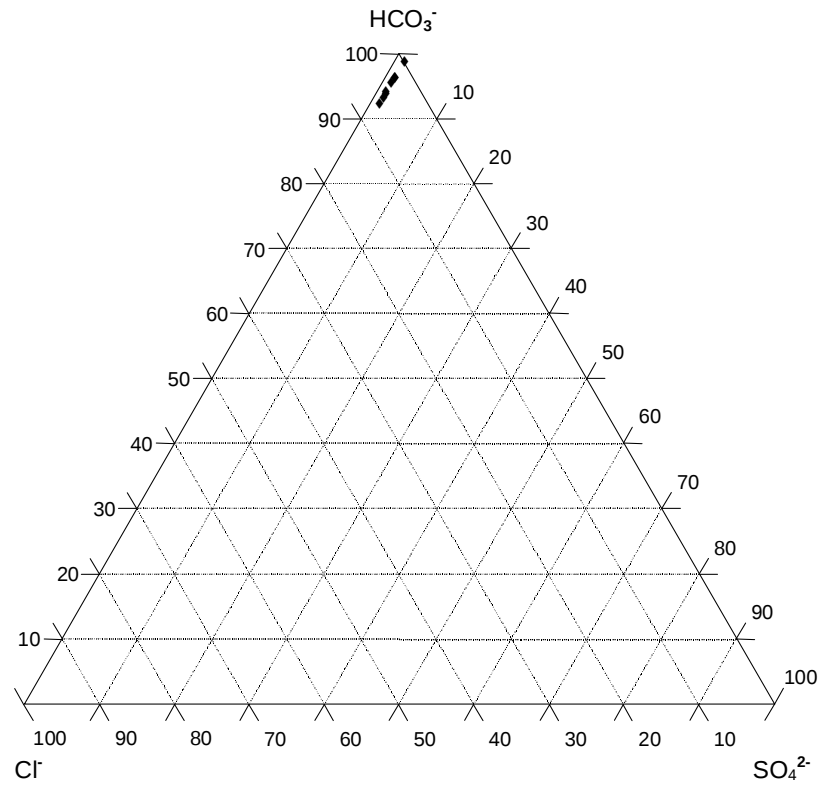


Abb. 31: Anionen-Dreieckdiagramm der Analyse der Wasserloch-Quelle.

4.3.2 Quelle „Höllenbach“

Aufgrund der geologischen Lage des Einzugsgebietes wird die Höllenbachquelle im weiteren als „typische“ Hauptdolomitquelle angesehen.

Die Höllenbachquelle verfügt mit 374 mg/l über die höchste Gesamtmineralisation. Die Leitfähigkeit ist mit einem Mittel von 44 mS/m die höchste beobachtete.

Die mittlere Säurekapazität von 4,73 (bei pH 4,3) und der mittlere pH-Wert von 7,63 sind die höchsten im Meßprogramm beobachteten Werte.

Das Wasser der Höllenbachquelle ist mit einer mittleren Gesamthärte von 13,3° dH als „etwas hartes“ Wasser anzusprechen; es ist das härteste im Untersuchungsprogramm beobachtete Wasser.

Das gemittelte Calcium:Magnesium-Verhältnis beträgt 1,1 : 1 und liegt damit nahe am chemisch möglichen Verhältnis von 1,0 : 1 und weist darauf hin, dass es sich bei dem im Einzugsgebiet des Höllenbach anstehenden Hauptdolomit um einen reinen Dolomit ohne Kalkeinschlungen handelt.

Die Analysenwerte werden von einem gepunkteten Feld umrahmt, das auf den folgenden Kationen - Dreieckdiagrammen die Position des Hauptdolomitwassers verdeutlicht.

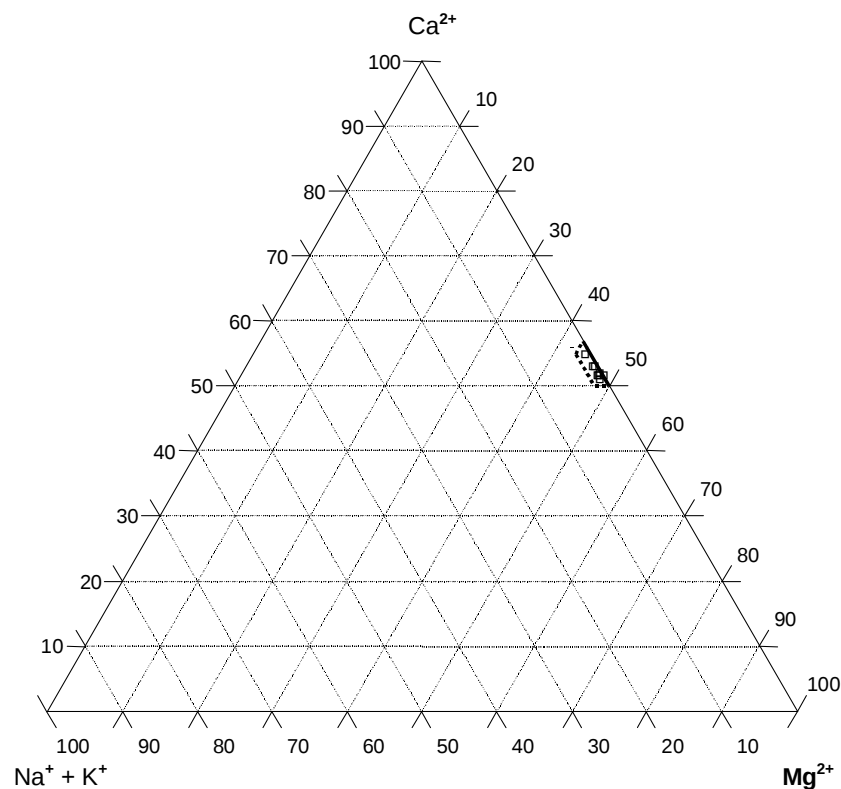


Abb. 32: Kationen-Dreieckdiagramm der Höllenbachquelle mit eingezeichnetem Typ-Feld (gepunktet).

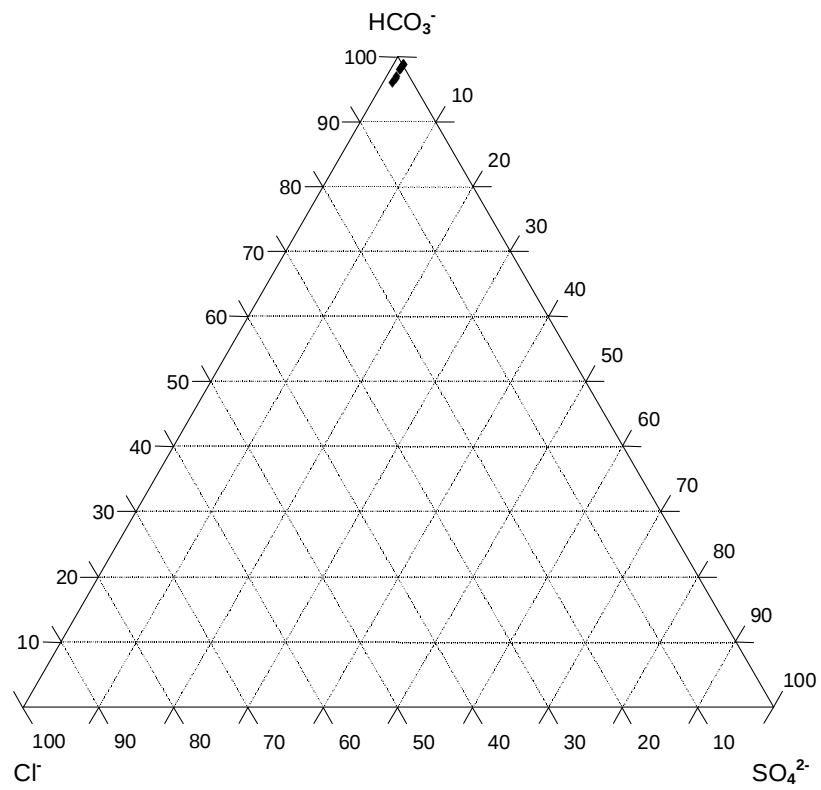


Abb. 33: Anionen-Dreieckdiagramm der Höllenbachquelle

4.3.3 Brunnen Listsee

Hydrochemisch ist der Brunnen Listsee ein Hauptdolomit-Wettersteinkalk-Mischwasser.

Die mittleren Werte der Leitfähigkeit, pH-Wert, Säurekapazität, Gesamthärte, Calcium:Magnesium-Verhältnis und Gesamtmineralisation positionieren dieses Mischwasser zwischen dem reinen Wettersteinkalkwasser der Quelle Wasserloch und den Mischwasser der Brunnen Listwirt und Listanger (vgl. Abb. 40).

Das mittlere Calcium:Magnesium-Verhältnis des Brunnens Listsee beträgt 1,7 : 1 und zeigt, dass das Wasser des Brunnens Listsee dem in der Wasserlochquelle ausgebildeten Wettersteinkalk-Typ näher steht als einem reinen Hauptdolomitwasser.

Im Dreistoffdiagramm der Kationen plotten die Kationen daher auch zwischen den Feldern der beiden Typ-Quellen.

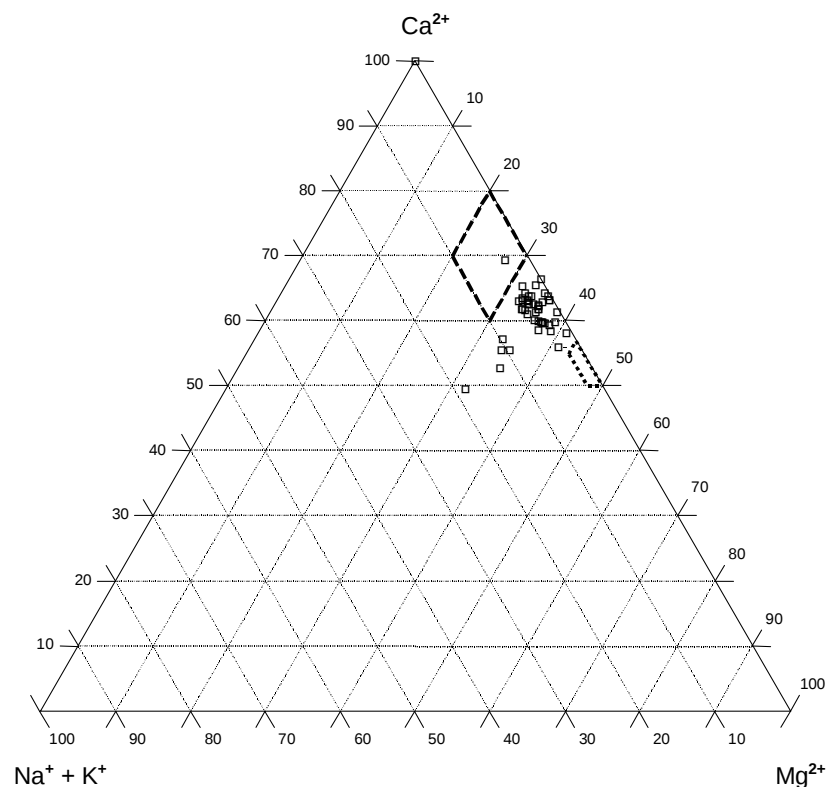


Abb. 34: Kationen-Dreieckdiagramm des Brunnens Listsee mit Typfeldern für Wettersteinkalk (gestrichelt) und Hauptdolomit (gepunktet):

Einzelne, erhöhte Werte für Na und K bzw. SO_4 sind auf längerfristige Ruhepausen im Betrieb des Brunnens zurückzuführen.

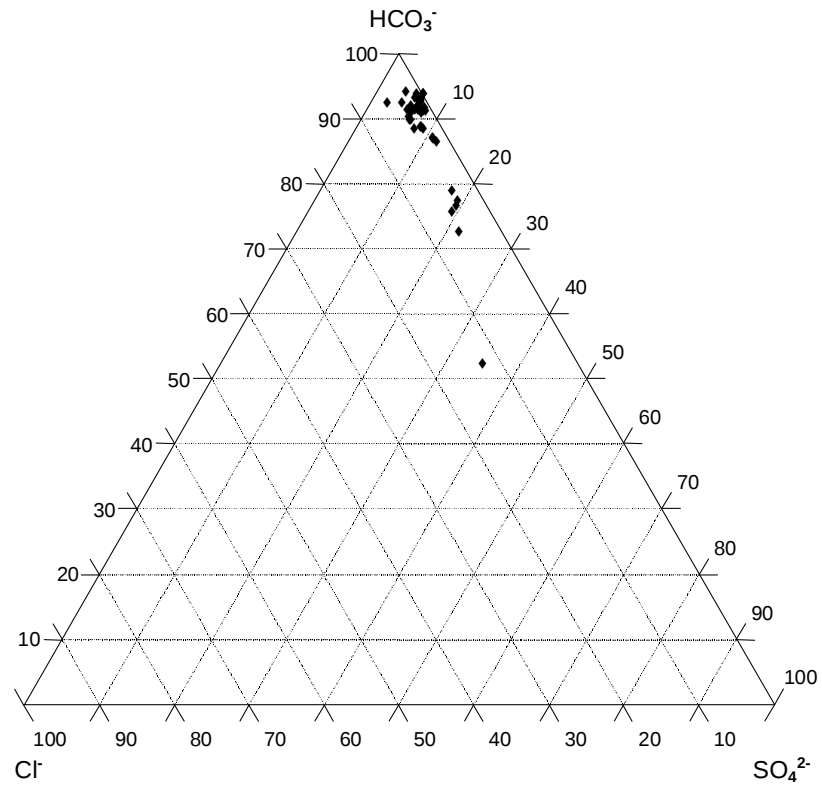


Abb. 35: Anionen-Dreieckdiagramm des Brunnens Listsee

4.3.4 Brunnen Listwirt

Auch die Brunnen Listwirt und Listanger sind Mischwässer aus einem Hauptdolomit- und einem Wettersteinkalkwasser wobei im Brunnen Listwirt eine deutliche Komponente der Raibler Schichten hinzukommt, die sich an erhöhten Na- und K-Werten bzw. SO_4 zeigt.

Mit einem mittleren Calcium:Magnesium-Verhältnis von 1,59:1 unterscheidet sich dies Wasser kaum nachweisbar von dem des Brunnens Listanger mit einem mittleren Calcium:Magnesium-Verhältnis von 1,58:1.

Auch die mittlere Gesamthärte von 11,9° dH weicht nur gering von der des Brunnens Listanger (12,7° dH) ab.

Die mittlere Leitfähigkeit von 43 mS/m und die mittlere Gesamtmineralisation von 340 mg/l zeigt die Nähe zum Brunnen Listanger.

Der Hauptunterschied der beiden Brunnen liegt im mittleren pH-Wert (7,84) und in der mittleren Säurekapazität von 3,03. Aufgrund dieser beiden Werte ist das Wasser des Brunnens Listwirt etwas mehr vom Wettersteinkalk-Typ beeinflusst als das des Brunnens Listanger.

Im Unterschied zum Brunnen Listsee weisen die Analysenwerte für Calcium und Magnesium nur geringe Abweichungen vom Mittelwert, in der Höhe von ± 1 mmol/l, auf (vgl. Abb. 40). Das kann darauf hinweisen, dass hier ein sehr einheitliches Grundwasser gefördert wird, dessen Zusammensetzung nicht wesentlich variiert.

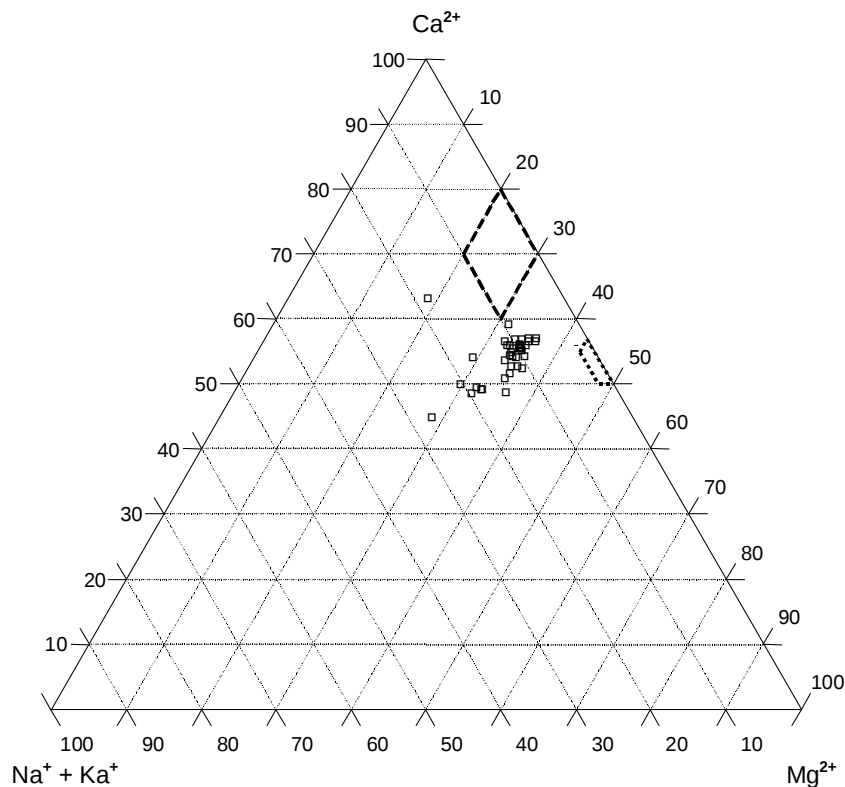


Abb. 36: Kationen-Dreieckdiagramm des Brunnens Listwirt mit Typfeldern für Wettersteinkalk (gestrichelt) und Hauptdolomit (gepunktet):

Im Kationen-Plot des Dreistoffdiagramms befindet sich auch dieses Wasser zwischen den Typfeldern des Wettersteinkalk- und des Hauptdolomitwassers. Die Dreistoffdiagramme der Kationen und Anionen zeigen einen relativ erhöhten Anteil an Natrium, Kalium und Sulfat an. Diese entstammen wahrscheinlich den Raibler Schichten, die in dem Brunnen nicht angeschnitten werden, aber offenbar im Einzugsgebiet des Grundwassers liegen.

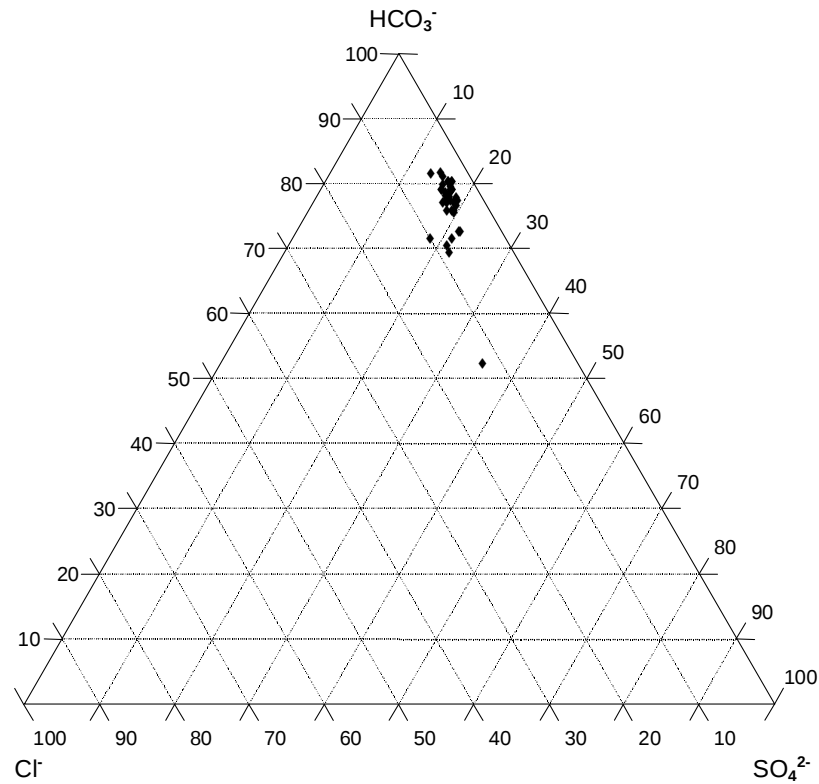


Abb. 37: Anionen Dreieckdiagramm des Brunnens Listwirt

4.3.5 Brunnen Listanger

Auch der Brunnen Listanger fördert ein Mischwasser von Wettersteinkalk- und Hauptdolomitkomponenten. Von den untersuchten Brunnen zeigt der Brunnen Listanger den deutlichsten Einfluss von Grundwasserkomponenten aus dem Hauptdolomit. Von der Zusammensetzung ist das Wasser des Brunnens Listanger dem des Brunnens Listwirt sehr ähnlich.

Im Unterschied zum Wasser des Brunnens Listwirt unterscheidet sich dieses Wasser jedoch dadurch, dass hier kein Einfluss der Raibler Schichten zu beobachten ist.

Dies dokumentiert sich besonders deutlich in der erhöhten Leitfähigkeit des Brunnens Listwirt bei einer etwa gleichgroßen Gesamtmineralisation.

Die Tatsache, dass die an der Sohle des Brunnens angeschnittenen Raibler Schichten (in ihrer Ausprägung als Rauwacken) offenbar keinen Einfluss mehr auf Natrium- und Sulfatgehalt des Wassers haben, weist auf eine abgeschlossene Auslaugung der Rauwacken im Bereich des Brunnens hin.

Der Brunnen Listanger weist die geringste Abweichung der Messwerte der Kationen und Anionen vom Mittelwert auf, sie beträgt in der Regel weniger als 0,1 mmol/l. Offenbar wird in diesem Brunnen ein gleich bleibendes Mischwasser gefördert.

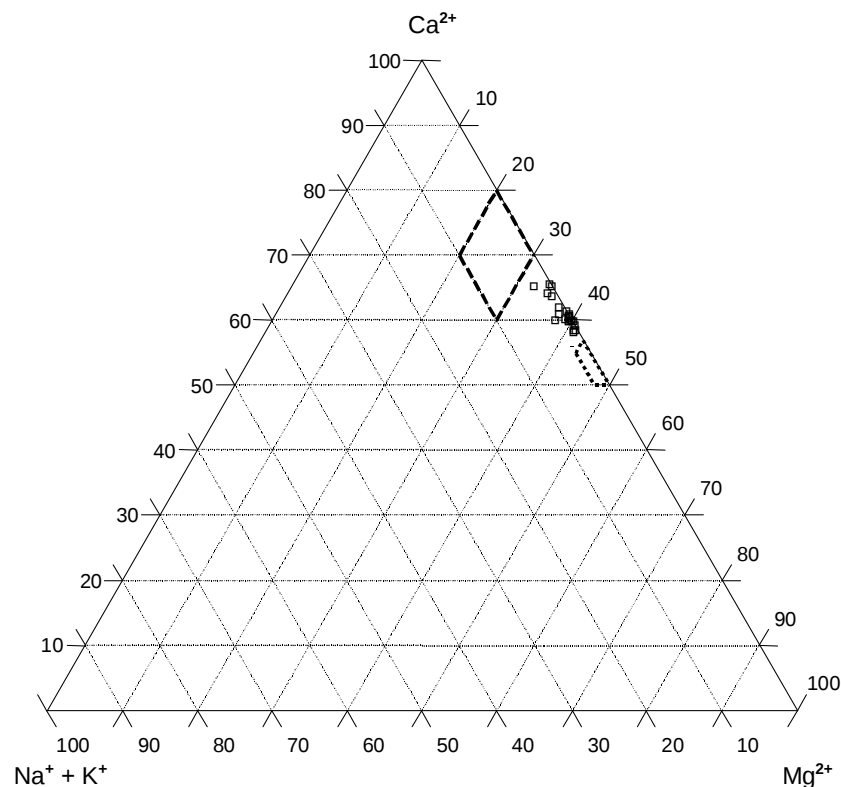


Abb. 38: Kationen-Dreieckdiagramm des Brunnens Listanger mit Typfeldern für Wettersteinkalk (gestrichelt) und Hauptdolomit (gepunktet).

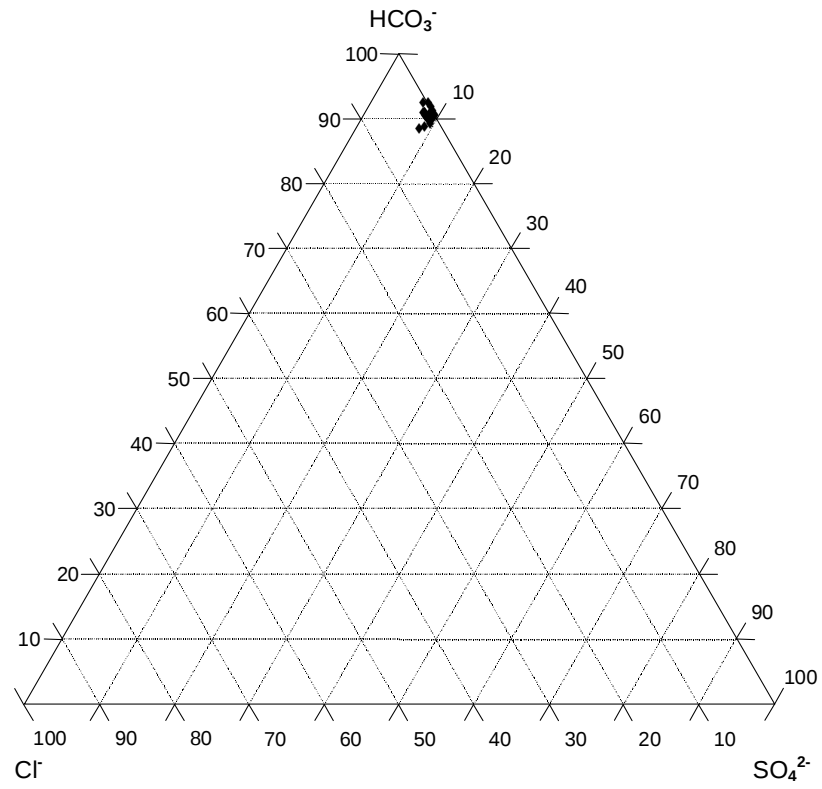


Abb. 39: Anionen-Dreieckdiagramm des Brunnens Listanger

4.3.6 Zusammenfassung

Die verschiedenen im Listseebereich geförderten Wässer weisen eine individuelle charakteristische Hydrochemie auf. Sie sind Mischwässer aus Komponenten des Wettersteinkalkes und des Hauptdolomits sowie in untergeordnetem Maße der Raibler Schichten. Mit Ausnahme des Brunnens Listwirt weisen die anderen Brunnen nur einen geringen Einfluss der Raibler Schichten auf.

Anhand der hydrochemischen Analysen können die Wässer der Brunnen und Quellen eindeutig identifiziert werden. Ordnet man die Analysenwerte (Abb. 40) der Brunnen des Listseegebietes den hydrochemischen und hydrophysikalischen Charakteristiken des typischen Hauptdolomitwasser vom Höllenbach und dem typischen Wettersteinkalkwasser vom Wasserloch zu, so zeigen sich deutlich die Mischverhältnisse. Der Brunnen Listsee fördert ein Mischwasser aus Komponenten des Wettersteinkalkes und Komponenten des Hauptdolomits. Von den drei Brunnen steht es dem Typ des Wettersteinkalkes am nächsten. Das Mischwasser des Brunnens Listwirt unterscheidet sich, vom dem an sich recht ähnlichen Wasser des Brunnens Listsee, im wesentlichen durch einen erhöhte Anteilen von Sulfat, Natrium und Chlorid, der durch die erhöhte Leitfähigkeit und erhöhte Gesamthärte zum Ausdruck kommt. Dieses ist vermutlich auf einen verstärkten Einfluss der Raibler Schichten im Brunnen Listwirt zurückzuführen.

Die Wässer aus dem Brunnen Listanger weist eine Tendenz zum Wasser der Höllenbachquelle auf. Der Einfluss von Wettersteinkalkwasser scheint hier geringer zu sein. Die Höllenbachquelle ist hydrochemisch ausschließlich durch den Hauptdolomit beeinflusst. Die hydrochemischen Befunde stimmen mit dem Geländebefund in mehreren Punkten überein: Die geologische Lage des Brunnens Listanger auf der Südflanke der Muldenstruktur legt nahe, dass sein Wasser aus dem Südschenkel der Muldenflanke zufließt, also reines Hauptdolomitwasser. Die vergleichsweise höhere Temperatur, die auf ein „niedriges“ Einzugsgebiet hinweist, stützt diese Vermutung.

Der Brunnen Listsee, dessen Wasser deutliche Hinweise auf den Einfluss von Wettersteinkalk trägt, hat ein Einzugsgebiet, das bis in die Gipfelregion des Zwiesels hinaufreicht – ein reines Wettersteinkalkareal. Von der Grundwassertemperatur her, weist dieser Brunnen die niedrigsten Werte aus, also ist das Einzugsgebiet vermutlich am höchsten, was mit der Lage der Zwieselregion übereinstimmt.

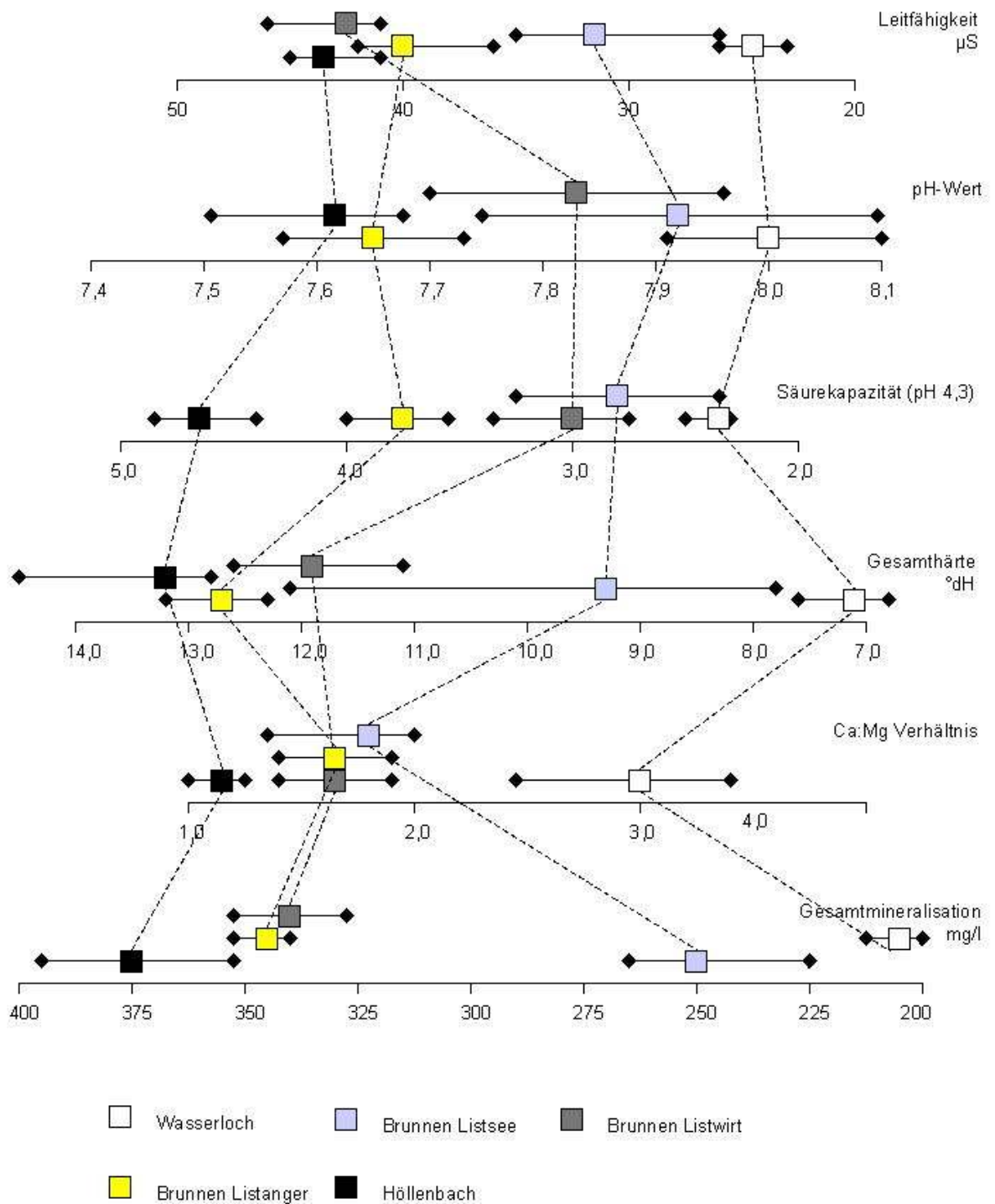


Abb. 40: In diesem Diagramm sind nach links die höheren Werte aus den verschiedenen physikalischen Messungen und chemischen Analysen dargestellt. Als „Einhüllende“ liegt links die charakteristische Höllenbachquelle und rechts die Werte für die Quelle Wasserloch. Dazwischen reihen sich die Werte der Brunnen im Listseegebiet, wobei deutlich eine Reihenfolge der Mischwässer zu erkennen ist, die näher am typischen Hauptdolomitwasser liegen oder wie der Brunnen Listsee, dessen Wasser näher am Wettersteinkalk zu liegen kommt.

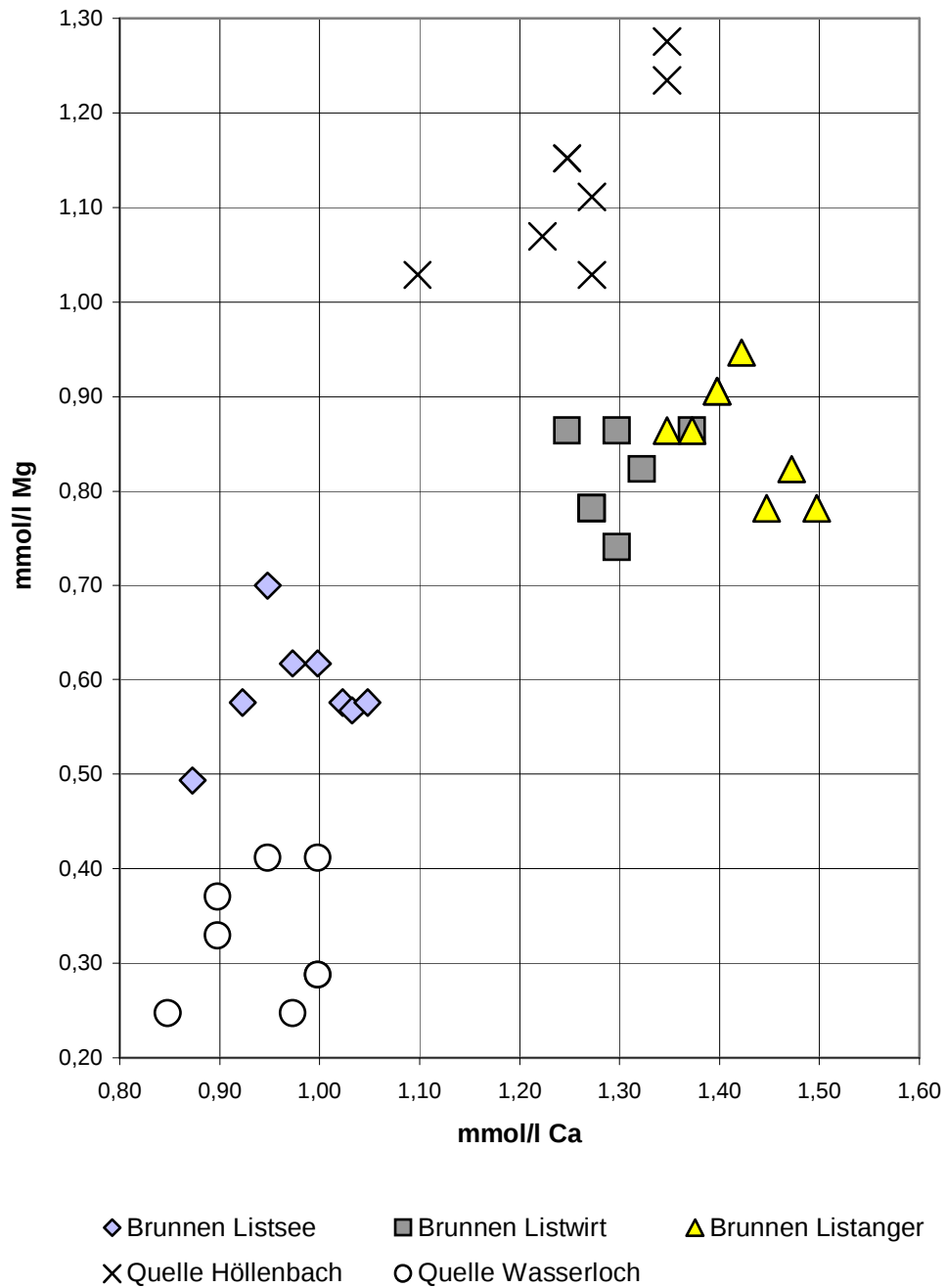


Abb. 41: Calcium:Magnesium-Verhältnis der untersuchten Brunnen und Quellen

Setzt man das Verhältnis der verschiedenen Brunnen und Quellen in Beziehung so ergibt sich die deutlichste Trennung der geförderten Wässer (Abb. 41). Das Wasser der Höllenbachquelle kommt einem idealen Dolomit Wasser mit einem Ca/Mg-Verhältnis von 1:1 am nächsten. Den geringsten Mg-Anteil weist die Quelle vom Wasserloch auf und repräsentiert damit ein reines Karstwasser.

4.4 Isotope

Neben den im Wasser gelösten Ionen können auch Isotope für hydrogeologische Fragestellungen herangezogen werden. Isotopenhydrologische Methoden eignen sich zur Analyse von Grundwassergenese und Grundwasserdynamik.

Hierbei können Isotope als radioaktive Tracer in ein System eingespeist und in ihrem Verlauf beobachtet werden. Die Verfahrensweise entspricht in diesem Fall dem des Tracer-Versuchs.

Eine weitere Methode bildet die Untersuchung von Isotopen des Wassers bzw. der im Wasser gelösten Stoffe (Umweltisotope), die im gesamten Wasserkreislauf natürlich vorhanden sind. Wichtige Isotope sind die Bestandteile des Wassermoleküls (Deuterium und Sauerstoff-18 und die durch kosmische Strahlung generierten Radionukleide wie Tritium oder Kohlenstoff-14).

Für die isotopengeochemischen Untersuchungen im Listseebereich steht die genetische Fragestellung im Vordergrund. Über Tritium-Messungen kann ein Eindruck von Mischungsverhältnissen und Mischwasseralter gewonnen werden, Sauerstoff-18 Messungen geben einen Hinweis auf die Verweildauer des Grundwassers, die Charakteristik der einzelnen Wässer und auf die mittlere Höhenlagen der Einzugsgebiete.

4.4.1 Datengrundlage

Für die Auswertung der Isotopengeochemischen Daten im Trinkwassererschließungsgebiet Listsee kann auf umfangreiches Datenmaterial von Juli 1985 bis Juni 1999 zurückgegriffen werden.

Während der Erschließung und des Gewinnungsbetriebes Listsee wurden 106 Wasserproben auf das Radionuklid Wasserstoff 3 (Tritium; ^3H), 10 Analysen auf die stabilen Isotope Wasserstoff 2 (Deuterium, ^2H) und 103 Analysen auf Sauerstoff 18 (^{18}O) untersucht.

Lokalität	Tritium	Deuterium	Sauerstoff 18	Daten
Brunnen Listsee	53	3	52	Anhang 16
Brunnen Listwirt	22	1	22	Anhang 17
Brunnen Listanger	18	3	18	Anhang 18
Listsee	13	3	11	Anhang 19

Tab. 3: Anzahl der für das Untersuchungsgebiet vorliegenden relevanten Isotopenmessungen

4.4.2 Wasserstoff-3 / Tritium

Tritium – das radioaktive Isotop des Wasserstoffs – wird in der Natur durch kosmische Bestrahlung erzeugt, es hat eine Halbwertszeit von 12,43 a (HÖLTING (1996)).

Bei der Messung von Tritium wird die durch den radioaktiven Zerfall des Tritium zum stabilen Helium auftretende spezifische Aktivität in den Proben gemessen. Hierbei entsprechen 7,1 Zerfälle / Minute; bzw. ein ^3H Atom je 10^{18} H Atomen, einer Tritium Einheit (TE) (HÖLTING (1996)).

Der natürliche Tritium – Pegel liegt bei etwa 6 TE. 1996 enthielt der Niederschlag der Meßstation N-39 „Salzburg“ des Österreichischen Umweltbundesamtes im Jahresgang Werte zwischen 6 und 22 TE. Die Erhöhung über den natürlichen Pegel wird auf den Ausstoß durch industrielle Anlagen (Kernreaktoren, Wiederaufbereitungsanlagen, ...) zurückgeführt. Schwankungen im Tritium – Gehalt zeigen einen Jahresgang mit Minimalwerten im Winter und Maximalwerten im Frühsommer (SCHUMANN et al (1960)).

Kernwaffentests bis in die siebziger Jahre haben zu einem starken Anstieg des in der Atmosphäre vorhandenen Tritiums geführt. Um 1963 lag der Tritium-Gehalt des Niederschlags in Mitteleuropa bei über 1500 TE, seit diesem Zeitpunkt nimmt aufgrund der Halbwertszeit und von Verdünnungseffekten die Konzentration ab.

Für die Auswertung der Tritiumverhältnisse in einem Mischwasser bietet sich das Exponentialmodell an, wie es für das Grundwassererschließungsgebiet Listsee aus geologischen sowie aus hydrochemischen Gründen, die auf ein Mischwasser aus verschiedenen Gesteinseinheiten hinweisen, gelten kann.

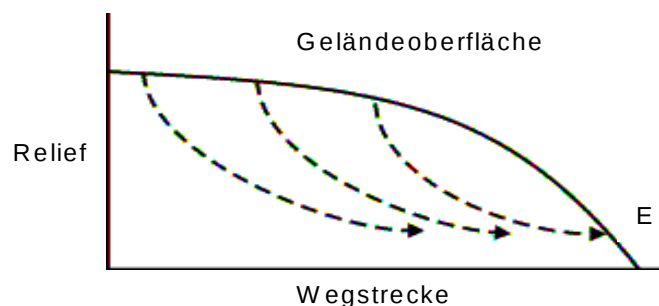


Abb. 42: Zustrom des Niederschlagswassers bei einheitlicher Durchmischung am Austrittspunkt (E)

Nach diesem Modell strömen Wässer unterschiedlichen Alters (= unterschiedlichen Tritium - Gehalten) dem Grundwasser zu und treten als ein Mischwasser aus (GEYH (1980)).

Aus den Brunnen Listsee, Listwirt und Listanger liegen folgende Tritiumwerte vor:

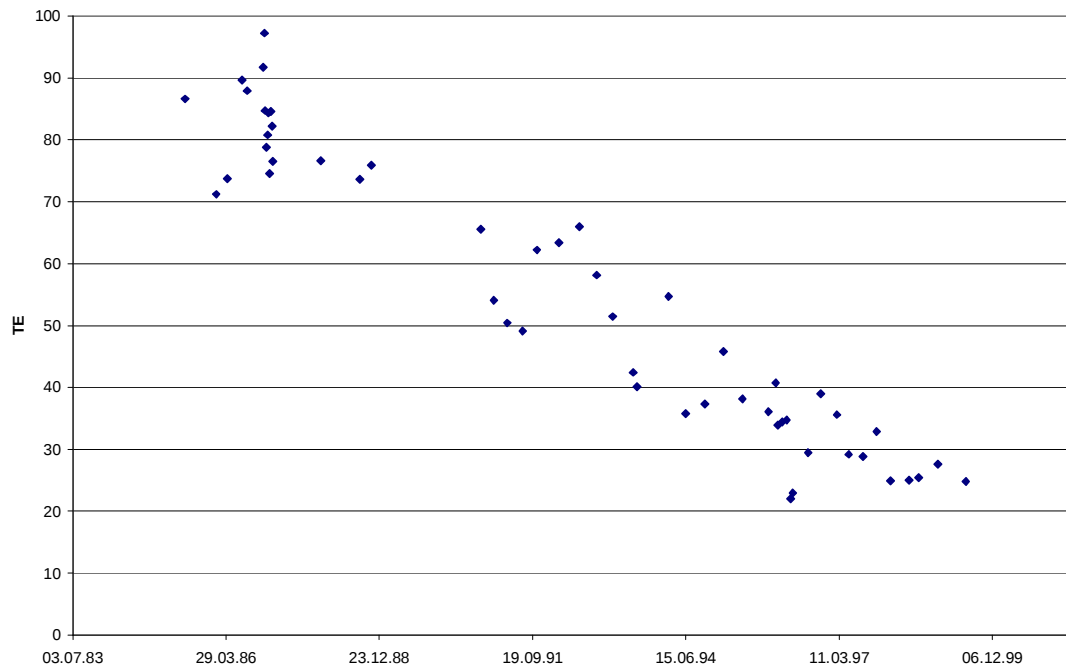


Abb. 43: Tritium Messungen des Brunnens Listsee.

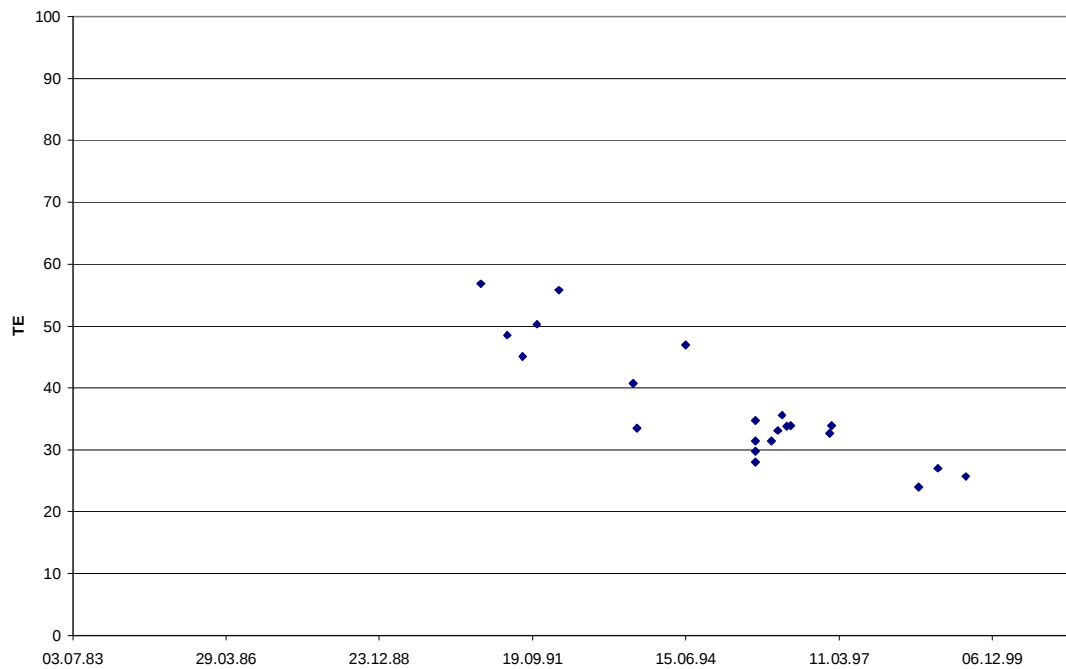


Abb. 44: Tritium-Messungen am Brunnen Listwirt

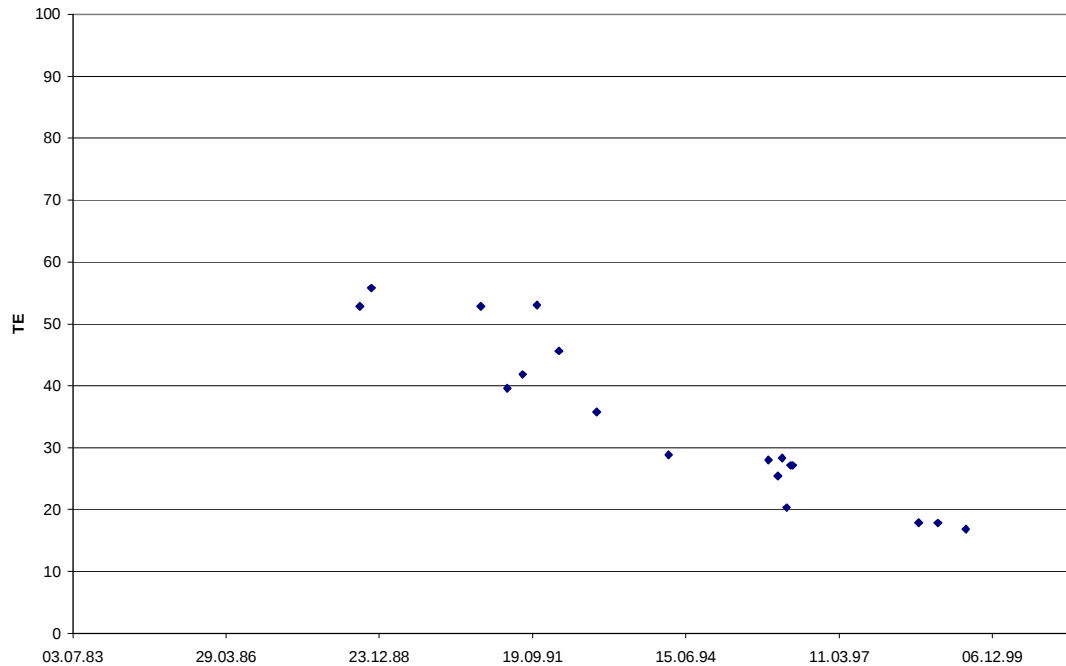


Abb. 45: Tritium – Messungen am Brunnen Listanger

Aus den Meßwerten ergibt sich eine quasi-lineare Abnahme der Werte, die der Halbwertszeit des Tritiums entspricht.

Der Mittelwert von 32 TE im Jahr 1996 für den Brunnen Listsee (vgl. Abb. 43) liegt noch deutlich über den an der Niederschlagsstation NE-39 „Salzburg“ für diesen Zeitraum ermittelten Werten von 9 - 22 TE. Die Streubreite der Werte entspricht etwa +/- 10 TE und liegt im Bereich der heute gemessenen Schwankungen.

Mit einem Mittelwert von 26 TE für das Jahr 1996 weist der Brunnen Listwirt die relativ geringsten Tritium-Werte auf.

Ein den Jahreszeiten zuordenbarer Gang lässt sich in den Messwerten nicht erkennen.

Der Mittelwert für das Jahr 1996 im Brunnen Listanger von 34 TE liegt über dem Mittel des Brunnens Listsee.

Der zentral im Untersuchungsgebiet gelegene Listsee wird aus zwei unter dem Seeniveau austretenden Quellen gespeist. Eine Zuspeisung aus ständigen Bachläufen gibt es nicht. Der Oberflächeneintrag ergibt sich aus den Niederschlägen über der Seefläche und den unmittelbar angrenzenden Bereichen.

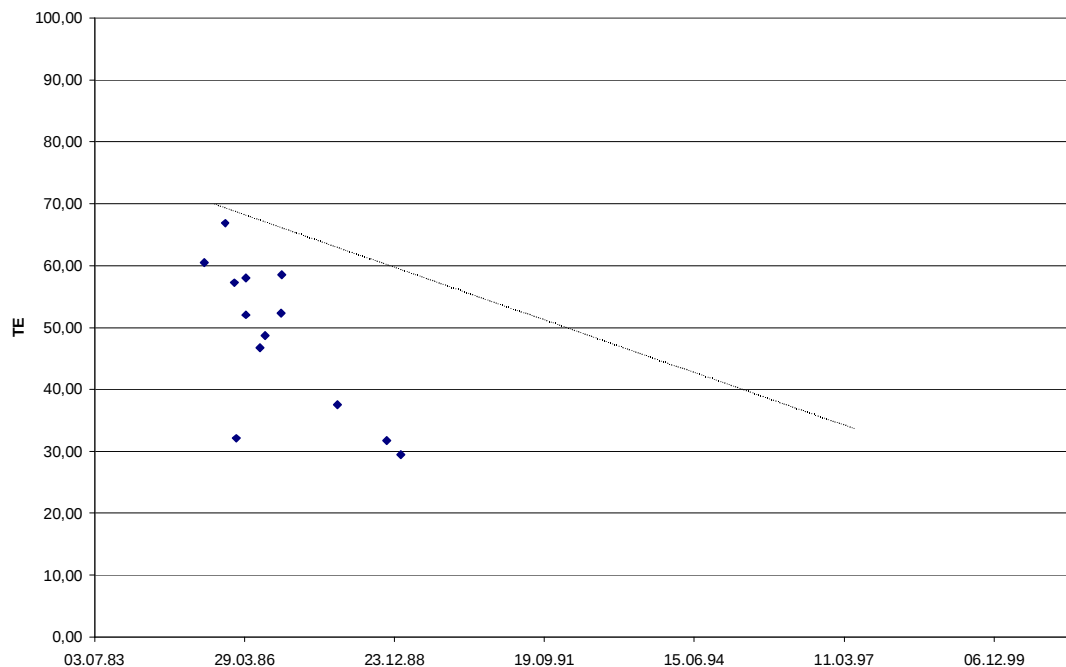


Abb. 46: Tritium-Konzentration im Listsee; das deutliche Abfallen der Messwerte gegenüber der Kurve der Halbwertszeit (gestrichelt) weist auf eine aktuelle Verdünnung mit Oberflächenwasser hin.

Aus der Verteilung der Tritiumwerte gegenüber der Halbwertszeitfunktion zeigt sich eine deutliche Zumischung von Oberflächenwasser zum Grundwasser der den Listsee speisenden Quellen.

Die am Listsee genommenen Oberflächenproben geben aufgrund der unterschiedlichen Dichte zwischen wärmeren Oberflächenwasser und kaltem Tiefenwasser einen etwas zu hohen Einfluss des Niederschlagswassers wieder.

4.4.2.1 Interpretation der Tritium Messungen

Die Abnahme der gemessenen Werte zwischen 1986 und 1999 liegt für alle drei Brunnen im Bereich der Halbwertszeitfunktion von Tritium.

Eine Möglichkeit der Altersbestimmung von Grundwasser erfolgt über die Ermittlung der Differenz der Halbwertszeit - Funktion zu den gemessenen Werten. Durch die Verdünnung kommt es zu einer Versteilung des Kurvenverlaufes. Dies zeigt die Messreihe im Listsee. In den Brunnen lassen sich diese Abweichungen nicht beobachten. Daraus schließen wir, dass eine unmittelbare Zumischung aktuellen Oberflächenwassers in den Brunnen nicht gegeben ist.

Eine Möglichkeit der Altersabschätzung erfolgt über den Verlauf sprunghafter Veränderungen zu höheren Tritium-Werten, die durch Kernwaffentests erzeugte „peaks“ im Verlauf der Kurve wiedergeben um aus der Differenz des Eintrags zum Messzeitpunkt in den Brunnen die Verweildauer des Grundwassers im Gestein abzuschätzen. Diese Methode erfordert geologische Voraussetzungen, die dem abgedichteten piston-flow-Modell entsprechen. Jede zusätzliche Verdünnung des Ursprungswassers verwischt die Peaks bis zur Unkenntlichkeit. Aufgrund der geologischen Verhältnisse muss von einer ständigen Zumischung jüngerer Wassers ausgegangen werden, wie es dem Exponentialmodell (vgl. Abb. 42) entspricht. – Im Laufe der letzten 15 Jahre konnten keine eindeutigen „peaks“ beobachtet werden, sie sind auch in Zukunft nicht zu erwarten, da sie inzwischen im Bereich der Schwankungsbreite der Werte liegen würden.

Die Abnahme der Werte im Bereich der Halbwertszeitfunktion von Tritium im Wasser der Brunnen im Listseegebiet würden modellhaft auf die einmalige Auffüllung eines Grundwasservorrates mit Tritium angereicherten Wassers deuten.

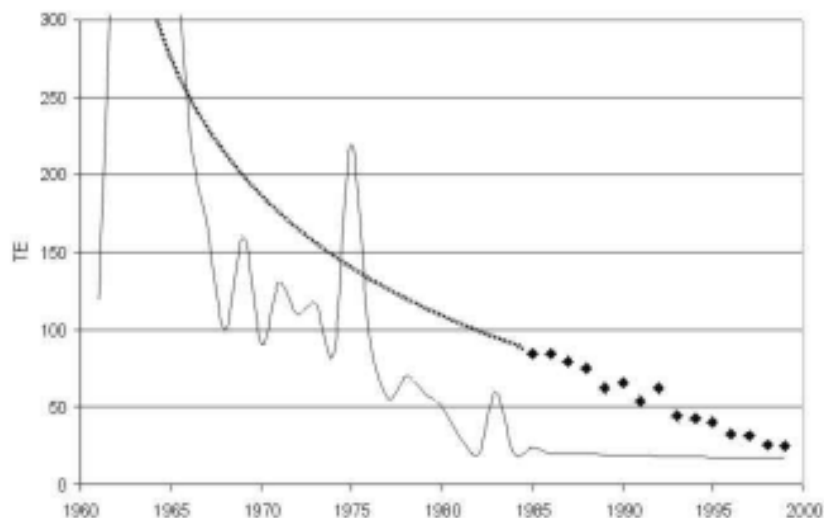


Abb. 47: Jahresmittel der Tritiummessungen im Brunnen Listsee (Punkte) mit daraus interpolierter Halbwertszeitfunktion (Punktkurve) und Input-Funktion des Tritiums im Niederschlagswasser nach HÖLTING (1996)

Die Schnitte der Rückprojektion der Halbwertszeitkurve mit der Inputfunktion können unter diesen Voraussetzungen auf das Input-Datum hinweisen (vgl. Abb. 47).

Die geologischen Verhältnisse sowie die dazu erforderlichen Niederschlagsmengen, lassen dieses Modell als unwahrscheinlich erscheinen. Darüber hinaus weisen die Sauerstoff-18 Analysen auf eine über 2 Jahre hinausreichende Durchmischung hin (vgl. Kapitel 4.4.4), die eine einmalige Auffüllung ausschließt.

Ein Exponentialmodell mit einer prozentual gleichmäßigen Mischung älteren und jüngeren Wassers, wie es RICHTER (1995) vorstellt, wird den im Erschließungsgebiet gegebenen Verhältnissen am ehesten gerecht. Wir können davon ausgehen, dass eine Wasserkomponente aus den Jahren des maximalen Tritiumeintrages (von 1960 – 1975) dem Mischungsbereich bis heute zugeführt wird. Bei konstanter prozentualer Mischung von Komponenten mit einem Alter zwischen 0 und 25, bzw. 0 und 40, Jahren errechnet sich eine jährliche Durchmischungskomponente von 3 - 4 %; demnach befinden sich heute noch 3 - 4 % von 25 – 40 Jahre altem Wasser im aktuellen Abfluss.

Ein exemplarisches Exponentialmodell (vgl. Abb. 48) bei dem jährlich 2,5 %, 5 % oder 10 % Wasser mit der jeweils aktuellen Niederschlagskonzentration von Tritium zugemischt wird, zeigt, dass eine 2,5 % Beimischung älteren Wassers dem gemessenen Kurvenverlauf am ehesten entspricht.

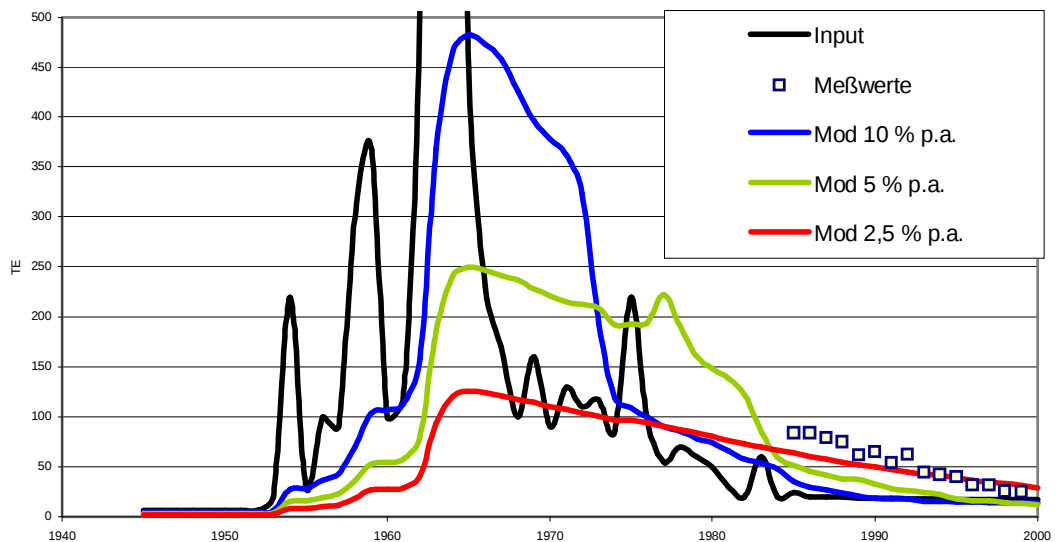


Abb. 48: Modellhafte Berechnung der Tritium-Konzentration bei 10 % (blau), 5 % (grün) und 2,5 %iger (rot) Durchmischung mit den jeweilig aktuellen Niederschlagskonzentrationen (halbwertszeitkorrigiert). Die eigenen Messwerte schneiden die 2,5 % Kurve. [Inputwerte nach HÖLTING (1996)]

Eine über das Exponentialmodell hinausgehende Aufschlüsselung der Altersanteile ist mit den vorliegenden Tritiumdaten nicht weiter möglich. Inzwischen liegen die gemessenen Tritium-Werte im Grundwasser des Listseegebietes so nahe an den natürlich zu erwartenden Werten aus dem aktuellen Niederschlag, dass eine Differenzierung auch aus diesem Grund weiterhin nicht sinnvoll erscheint.

4.4.3 Wasserstoff-2 / Deuterium

Das stabile Wasserstoffisotop Deuterium (^2H) wird in der Isotopengeochemie als Mit-Indikator für Sauerstoff-18 Messungen gesehen. Ebenso wie Sauerstoff-18 fraktioniert Deuterium nach der Temperatur.

Der synchrone Verlauf der Deuterium und Sauerstoff-18 Messungen weist auf eine Abhängigkeit von Isotopen und Temperatur, bzw. Höhe über NN hin. Im Rahmen der Untersuchungen sind nicht ausreichend Deuterium Werte ermittelt worden, um diesen Zusammenhang lokal zu dokumentieren. Für die weiteren Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass die Deuteriumwerte den Interpretationen der Sauerstoff-18 Werte nicht widersprechen.

4.4.4 Sauerstoff 18

Das stabile ^{18}O Isotop wird wie das Wasserstoff Isotop Deuterium nach der Temperatur und somit auch nach der Höhenlage des Einzugsgebietes fraktioniert. Es ist daher hydrogeologisch möglich, Aussagen über jahreszeitliche Beeinflussungen (Temperatur - Effekt) des Grundwassers sowie über die Höhenlage des Einzugsgebietes zu geben.

Um Aussagen über den Temperatur - Effekt treffen zu können, ist es wichtig, über das Jahr hinweg ^{18}O – Messungen vorzunehmen. Im Niederschlagswasser nimmt diese Funktion einen sinusförmigen Verlauf an. Über den Betrag einer Phasenverschiebung können Rückschlüsse auf die Verweildauer des Wassers im Gesteinskörper getroffen werden.

Um die Höhenlage des Einzugsgebiets abschätzen zu können, ist es erforderlich, an unterschiedlichen Höhenpunkten eines Untersuchungsgebietes Messungen zu machen, um aus deren Gradienten, die Höhenlage des Einzugsgebietes der zu analysierenden Wässer zu bewerten.

In den Sauerstoff-18 Messungen des Listseegebietes lässt sich kein Jahresgang erkennen. Dies weist darauf hin, dass hier Wässer über mehr als zwei Jahresgänge hinweg miteinander vermischt werden.

Das Messprogramm im Untersuchungsgebiet beschränkt sich auf die Entnahme aus den Brunnen, ein Höheneffekt kann daher nicht unmittelbar abgeleitet werden.

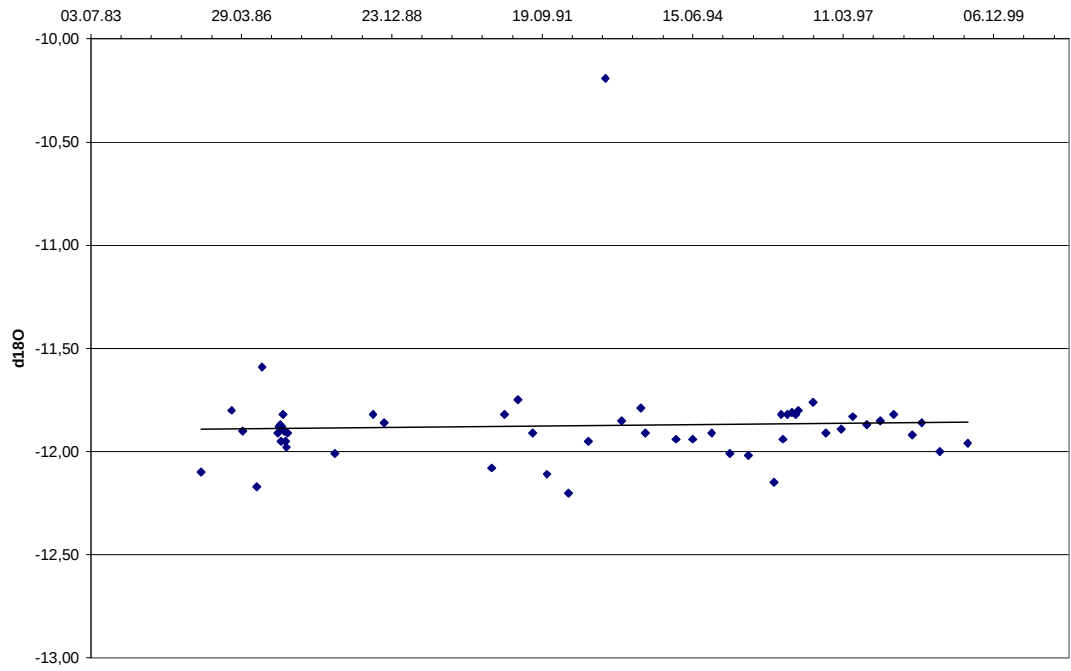


Abb. 49: $\delta^{18}\text{O}$ (Promille) – Werte des Brunnen Listsee mit Trendlinie

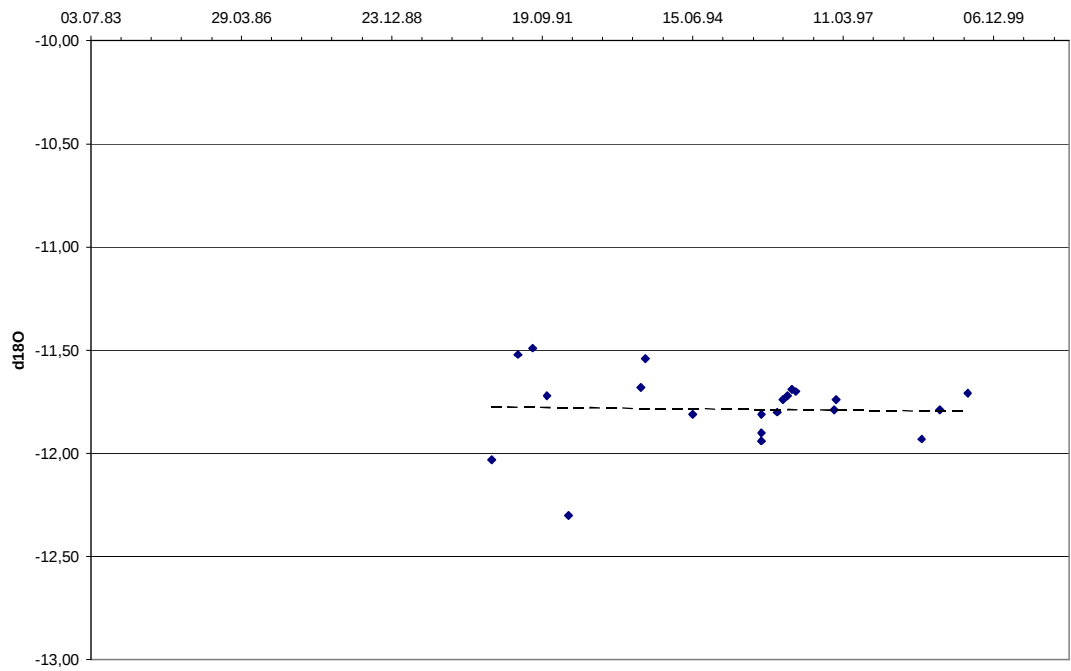


Abb. 49: $\delta^{18}\text{O}$ (Promille) – Werte des Brunnen Listwirt mit Trendlinie

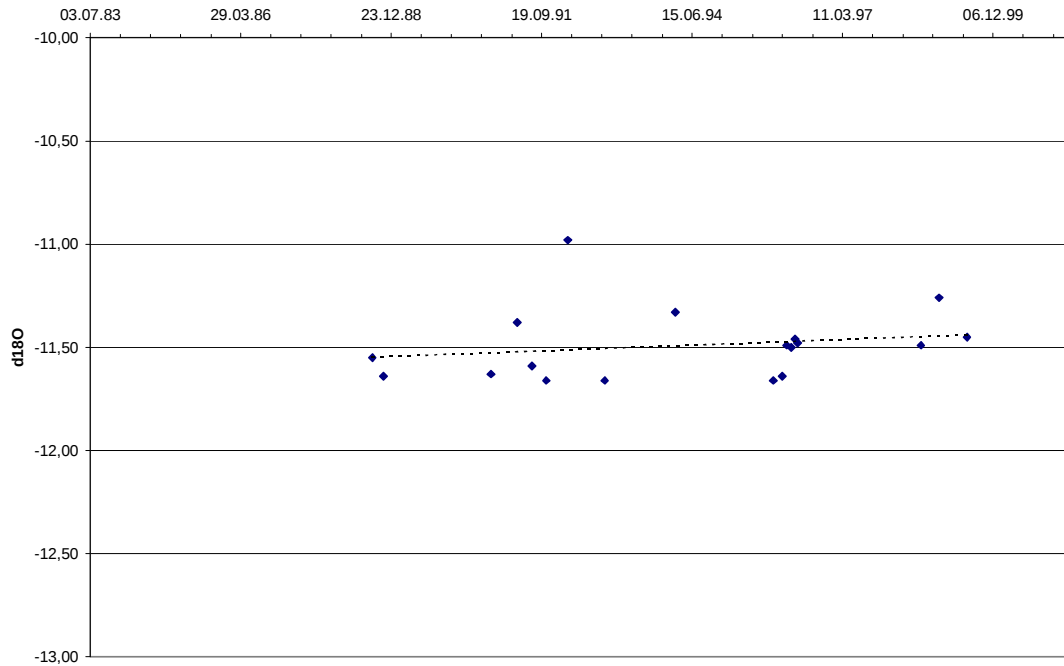


Abb. 51: $\delta^{18}\text{O}$ (Promille) – Werte des Brunnen Listanger mit Trendlinie

Die Mittelwerte der Messungen (Brunnen Listsee -11,91 ‰; Brunnen Listwirt -11,79 ‰; Brunnen Listanger -11,49 ‰) zeigen jedoch charakteristische Unterschiede.

Auf der Grundlage der in HÖLTING (1996) angegebenen Höhengradienten von -0,15 bis -0,40 ‰ je 100 m ergibt sich eine Abschätzung der mittleren Höhenlage der Einzugsgebiete für die verschiedenen Brunnen.

Die topographischen Verhältnisse geben für das Einzugsgebiet des Brunnen Listanger eine Höhenlage um 1000 m NN vor. Daraus ergeben sich für die mittleren Höhenlagen der Einzugsgebiete Brunnen Listsee und Brunnen Listwirt Höhen bis 1200 m NN, wobei das Einzugsgebiet für den Listsee etwas höher zu liegen scheint.

Diese Höhenabfolge wird durch die durchschnittlichen Grundwassertemperaturen der Brunnen (Brunnen Listsee 7,0° C; Brunnen Listwirt 7,6° C; Brunnen Listanger 7,8° C) unterstützt. Auch in den Grundwassertemperaturen lassen sich keine Jahresgänge nachweisen (vgl. Kapitel 4.2).

Die Sauerstoff-18 Isotopen Werte zeigen für jeden Brunnen ein lokal zu charakterisierendes Einzugsgebiet.

Ein weiterer Hinweis auf die Charakteristik des Grundwasserleiters ergibt sich aus der Schwankungsbreite der Werte: Im Brunnen Listsee beträgt diese Schwankungsbreite 0,61 ‰, im Brunnen Listwirt 0,81 ‰ und Im Brunnen Listanger 0,68 ‰. BRENČIČ, BUDKOVIČ et al (1995), die die Verweildauer von Grundwasser in alpinen Dolomitgesteinen untersucht haben, interpretieren Schwankungen dieser Größe als einen Hinweis auf eine längere Speicherung des Grundwassers im Gestein, die für die untersuchten Dolomite norischen Alters charakteristisch ist.

4.4.5 Zusammenfassung

Die im Rahmen der Wassererschließung „Listsee“ gewonnenen Isotopenwerte geben Aufschlüsse über das Grundwasseralter, Einzugsgebiete und Mischungsverhältnisse der geförderten Wässer.

Die Tritium Isotopen Verhältnisse weisen auf Mischwässer unterschiedlichen Alters mit einer Komponente aus dem Zeitraum von 1960 – 1975 hin. Die Werte folgen dem Verlauf der Halbwertszeitfunktion mit einer Streubreite von +/- 10 TE. Heute sind die im Grundwasser gemessenen Tritiumwerte nicht mehr von den im aktuellen Niederschlagswasser gemessenen Werten zu unterscheiden.

Nach den Sauerstoff-18 Werten des im Listseegebiet geförderten Grundwassers handelt es sich um ein Mischwasser, in dem sich Wässer über mindestens zwei Jahresgänge hinweg durchmischen.

Nach dem Mittel der Sauerstoff-18 Werte zu folgen, verfügen die Brunnen im Listseebereich über unterschiedlich hoch gelegene Einzugsgebiete. Die Grundwässer sind offenbar über einen längeren Zeitraum gespeichert worden.

5. Geohydraulische Eigenschaften

Klüftungsarten und Kluftweiten weisen darauf hin, daß es sich beim Hauptdolomit um einen sehr heterogenen Grundwasserleiter handelt. – Seine Durchlässigkeiten werden von den regionalen Kluftsystemen bestimmt und sind damit richtungsabhängig.

Die ermittelten Parameter können nur als Sammelparameter bewertet werden. Eine Differenzierung hinsichtlich der hydraulischen Eigenschaften der unterschiedlichen Kluftarten können nur geschätzt werden.

Geologie, Strukturgeologie, Hydrochemie und isotopengeochemische Untersuchungen geben im Vorfeld der geohydraulischen Untersuchungen bereits ein Bild der Modellparameter. Demnach handelt es sich bei dem Grundwasserleiter im Listseegebiet um einen dolomitischen Kluftgrundwasserleiter mit einer heterogenen Klüftigkeit. Das gespannt vorliegende Grundwasser fließt als Mischwasser durch unterschiedliche Gesteinskörper den Brunnen zu, dabei verweilt es eine längere Zeit im Hauptdolomit.

5.1 Grundwasserstromrichtung

Die Grundwasserstromrichtung prägt sich durch die Morphologie und die Lage des Vorfluters aus. Die morphologischen Verhältnisse, die die geologisch vorgezeichnete Synform nachzeichnen, weisen auf einen Zustrom sowohl vom Staufenmassiv als auch vom Siebenpalven hin (vgl. Abb. 5), dies wird durch die geochemischen und isotopengeochemischen Untersuchungen bestätigt. Das Grundwasser strömt dann dem Vorfluter der durch Reichenhall fließenden Saalach zu.

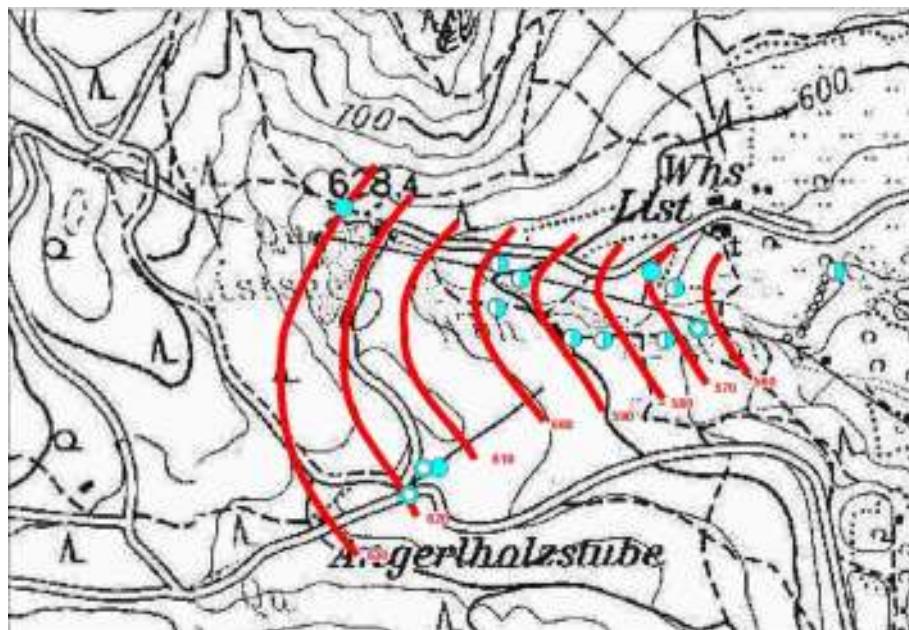


Abb. 51: Isopachen der Druckwasseroberfläche im engeren Untersuchungsgebiet wenn keine Grundwasserförderung erfolgt. Maßstab 1 : 25:000

5.2 Färbeversuche

Im Rahmen der Wassererschließung sind im Listseebereich in den Jahren 1986 – 1987 Färbeversuche durchgeführt worden. Sie sollten den Beitrag des Oberflächenwassers zum Grundwasser im Brunnen Listsee klären (50 Tage Regel).

Zu diesem Zweck wurden bei einer Fördermenge von 55 l/s aus den Brunnen in 50 m Entfernung in nordwestlicher Richtung sowie in 150 m Entfernung in südlicher Richtung direkt auf den Felsuntergrund Uranin bzw. Eosin ausgebracht, sowie der 25 m vom Brunnen Listsee entfernte Listsee mit Pyranin eingefärbt. Der Brunnen und die Quellen im Umfeld des Untersuchungsgebietes wurden während des Pumpversuches spektralfluorimetrisch auf diese Farbstoffe täglich untersucht.

Im Untersuchungszeitraum von 50 Tagen konnten im Brunnen Listsee keine Farbstoffe nachgewiesen werden, obgleich der 25 m südlich liegende See zur Gänze abgesenkt worden war. Der Brunnen Listsee war zu dieser Zeit bereits voll ausgebaut, d.h. ein Sperrrohr bis 100 m Tiefe hat den höheren Teil des Brunnens abgesperrt, darunter folgte bis 180 m Tiefe der frei stehende Felsbrunnen ohne Ausbau (vgl. Anhang 3). Hier war ein ungehinderter Zustrom des Grundwassers gegeben.

Die zwei am nächsten östlich gelegenen Quellen zeigten nach 50 Tagen eine Eosinfärbung, die 0,01 % der Tracermenge entspricht, nach 91 Tagen konnten 0,6 % der Tracermenge festgestellt werden. Die weiteren Quellen wurden von den Versuchen nicht beeinflusst.

Die Untersuchungen mit Tracern zeigt, daß zwischen den Einspeisestellen der Farbstoffe und dem tiefen Abschnitt des Brunnens keine Verbindung besteht.

Das nordwestlich des Brunnens eingespeiste Eosin konnte trotz seines Auftretens in den östlich gelegenen Quellen im Wasser des Brunnens Listsee nicht beobachtet werden, was darauf hinweist, daß sich das Grundwasser in einem durch die Wasserförderung des Brunnens nicht beeinflussten „Stockwerk“ sich nach Osten bewegt.

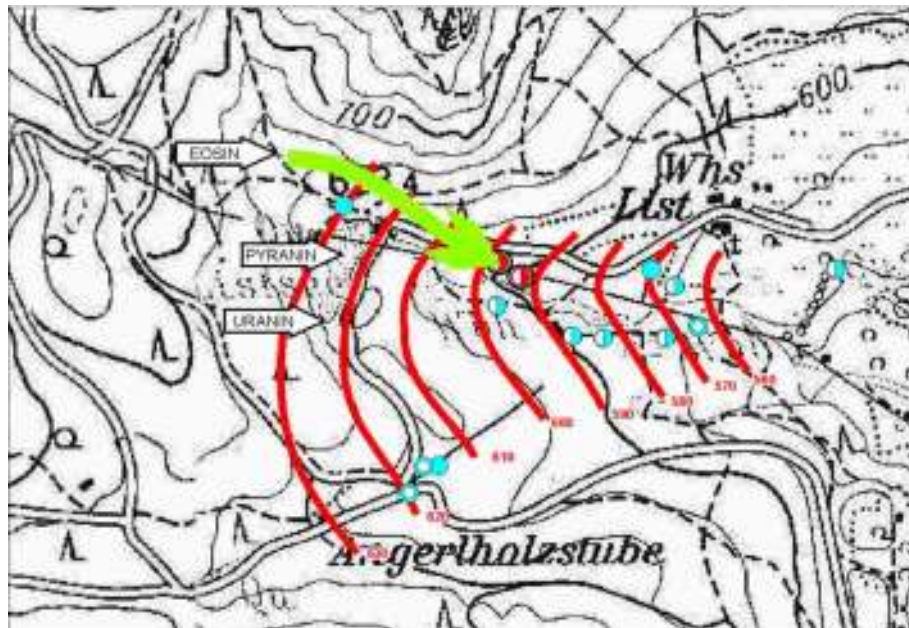


Abb. 52: Färberversuch im engeren Untersuchungsgebiet mit Einspeisestellen der Tracer und den beiden Quellen in denen der Farbstoff beobachtet werden konnte.

5.3 Pumpversuche

Zur Beantwortung hydraulischer Fragestellungen wurden Pumpversuche herangezogen. Im Rahmen dieser Arbeit interessierte das hydrodynamische Verhalten des Grundwassers im Hauptdolomit und seinen Klüften. Dies beinhaltet eine Einschätzung der mittleren Gesteinsdurchlässigkeit sowie der Leistungsfähigkeit der Brunnen.

Darüber hinaus zeigt es im Hauptdolomit mögliche hydraulische Phänomene auf.

5.3.1 Datengrundlage

Das für die Auswertung zugrundeliegende Datenmaterial wurde während der Erschließung und des Betriebs der Grundwassergewinnungsanlage Listsee gewonnen. Aufgrund des unterschiedlichen Bearbeitungsstandes der Ausgangsdaten kann nur ein kleiner Teil des Datenmaterials ausgewertet werden.

Ermittelte Werte von Fördermenge und Absenkung während der Grundwasserförderung ermöglichen die Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes, sowie des Leistungs-Absenkungs-Quotienten.

5.3.2 Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes aus der Entnahmemenge

Bei bekannter Entnahmemenge [Q] kann bei Kenntnis der Mächtigkeit des genutzten Grundwasserleiters [M] und der Absenkung [s] der Durchlässigkeitsbeiwert [k_f] ermittelt werden.

$$k_f = \frac{Q}{M \cdot s}$$

Auf der Grundlage der in den Anhängen 26 bis 27 zusammengestellten Entnahmemengen und Absenkungen sowie den aus den Bohrungen erschlossenen Mächtigkeiten des Grundwasserleiters [Listsee 80 m; Listwirt 64 m; Listanger 54 m] ermitteln sich für den Hauptdolomit im Untersuchungsgebiet Durchlässigkeitsbeiwerte von 6×10^{-5} m/s bis 1×10^{-4} m/s. Diese Werte stimmen mit den aus den Kluftweiten geschlossenen Durchlässigkeiten (vgl. Kap. 2.2.3.3) überein. Der Gesamtkörper des Hauptdolomites ist demnach als durchlässig anzusprechen.

Der lineare Zusammenhang von Fördermenge und Absenkung (vgl. Abb. 53) zeigt an, daß es sich um gespanntes Grundwasser handelt.

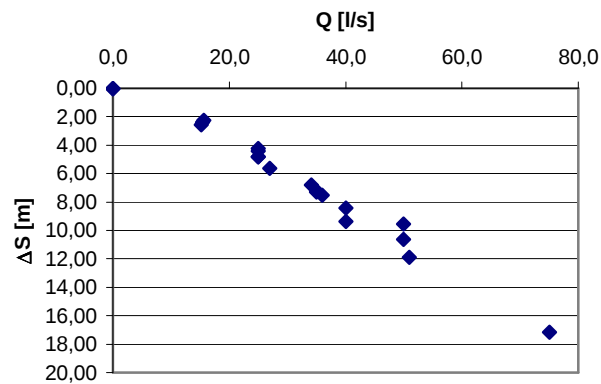


Abb. 53.: Fördermenge [Q] und Absenkung [Δs] des Brunnens Listwirt.

Bei der Erschließung des Brunnens Listsee wurden beim Ausbau einzelne Filterstrecken durch Pumpversuche auf ihre hydrodynamischen Eigenschaften hin untersucht, hierzu wurden in unterschiedlichen Stadien des Vortriebs einzelne Pumpversuche ausgeführt. Hierbei zeigt sich, daß bereits bei kurzer Filterstrecke nur noch ein geohydraulischer Mittelwert erkennbar wird.

Strecke [m]	Filterlänge [m]	kf – Wert [m/s]
30 - 48	18	$1 \cdot 10^{-4}$
29 - 96	70	$5 \cdot 10^{-5}$
59 - 96	40	$2 \cdot 10^{-5}$
90 - 150	60	$3 \cdot 10^{-5}$
65 - 179	114	$6 \cdot 10^{-5}$
90 - 179	89	$2 \cdot 10^{-5}$

Tab. 4: Variationen der Durchlässigkeitsbeiwerte innerhalb unterschiedlicher Filterstrecken im Brunnen Listsee.

5.3.3 Bestimmung der Leistungs-Absenkungs-Quotienten der Brunnen

Weitere Aussagen über die hydrodynamische Charakteristik des Hauptdolomites lieferte der Leistungs-Absenkungs-Quotient der Brunnen.

Der Quotient stellt die Fördermenge [Q_{Br}] eines Brunnens in Relation zur Absenkung [s].

$$Lq = \frac{Q_{Br}}{s}$$

Die Unterschiede im Quotienten sind geologisch bedingt und vermutlich auf eine unterschiedliche Vernetzung der Klüfte 3. Ordnung in den Bohrungen zu betrachten.

Je nach Förderstrecke kann der Leistungs-Absenkungs-Quotient zwischen 0,9 l/(s*m) und 7,4 l/(s*m) schwanken (vgl. Anhang 26, 27 und 28).

Dass der Leistungs-Absenkungs-Quotient in den Brunnen unterschiedliche Werte annimmt zeigt (wie auch die aus der Entnahmemenge bestimmten Durchlässigkeitsbeiwerte) die struktureologisch bedingte starke Heterogenität des Hauptdolomites im Listseebereich.

5.4 Das hydrogeologische Geländemodell

Im Listseegebiet wird eine großräumige Faltenstruktur die als SW' abtauchende Mulde aushebt, von den jüngeren tektonischen Strukturen geschnitten (vgl. Abb. 5). Die südliche Muldenflanke ist im Hauptdolomit angelegt, an der nördlichen Muldenflanke streicht im Staufeu-Zwiesel-Massiv unter dem Hauptdolomit der Wettersteinkalk aus, was zu einer deutlichen Erweiterung des Einzugsgebietes in höhere Regionen bis 1700 m ü. NN führt und einen Übergang des Grundwassers von einem verkarsteten Gestein unmittelbar in den Kluftgesteinskörper des Hauptdolomites ermöglicht. Die zwischengelagerten Raibler Schichten sind durch die tektonischen Bewegungen ausgequetscht worden und befinden sich an der tieferen Basis der Mulde. Das Grundwasser strömt von den Muldenflanken dem Muldenkern zu und wird an den jungen Störungen nach Osten in das Becken von Bad Reichenhall abgeleitet bzw. nach Westen zum Weißbachtal hin.

Im Wassererschließungsgebiet Listsee tritt ein gespanntes Grundwasser aus, das den Schnitt zwischen Geländeoberfläche mit dem Druckwasserspiegel im Gebirge anzeigt (Abb. 51). Der Druckwasserspiegel steigt nach Norden und nach Süden mit dem Gelände relief an, wobei der hydrostatische Druck im Listseegebiet durch die höhere Wassersäule im Gebirge bedingt wird. Starkregenfälle machen sich in einem spontanen Druckanstieg in den Brunnen bemerkbar und zeigen damit eine direkte hydrostatische Verbindung zum Grundwasserkörper des Gebirges an. Es besteht kein unmittelbarer hydraulischer Kurzschluss, da die geochemische Charakteristik der Wässer auf eine längere Verweildauer hindeutet. So werden die jahreszeitlichen Schwankungen in den hydrophysikalischen und hydrochemischen Parametern geglättet, was auf eine Verweildauer des Grundwassers von mindestens 2 Jahren hindeutet.

5.5 Bewertung der geohydraulischen Parameter

Hydrodynamische Kennwerte sind für den Hauptdolomit als Kluftgesteinskörper nur näherungsweise zu ermitteln. Unterschiede in der Klüftigkeit sowie deutlich ausgebildete Anisotropien lassen lediglich Schlüsse über Mittelwerte längerer Filterstrecken zu.

In den Brunnen erreichen die hydrodynamischen Parameter bereits unter 20 m Filterstrecke nahezu konstante Mittelwerte.

Die Kennwerte der Brunnen im Listseegebiet können als repräsentativ für den Hauptdolomit als überregionalen Kluftwasserleiter gelten. Aufgrund der Lage im Umfeld gut ausgebildeter junger Störungssysteme ist im Listseegebiet die Leitfähigkeit regional besonders gut ausgebildet. In Bereichen, die außerhalb der ausgewiesenen Kluftzonen liegen, nimmt der Durchlässigkeitsbeiwert deutlich ab (vgl. in EDEN et al (1983)).

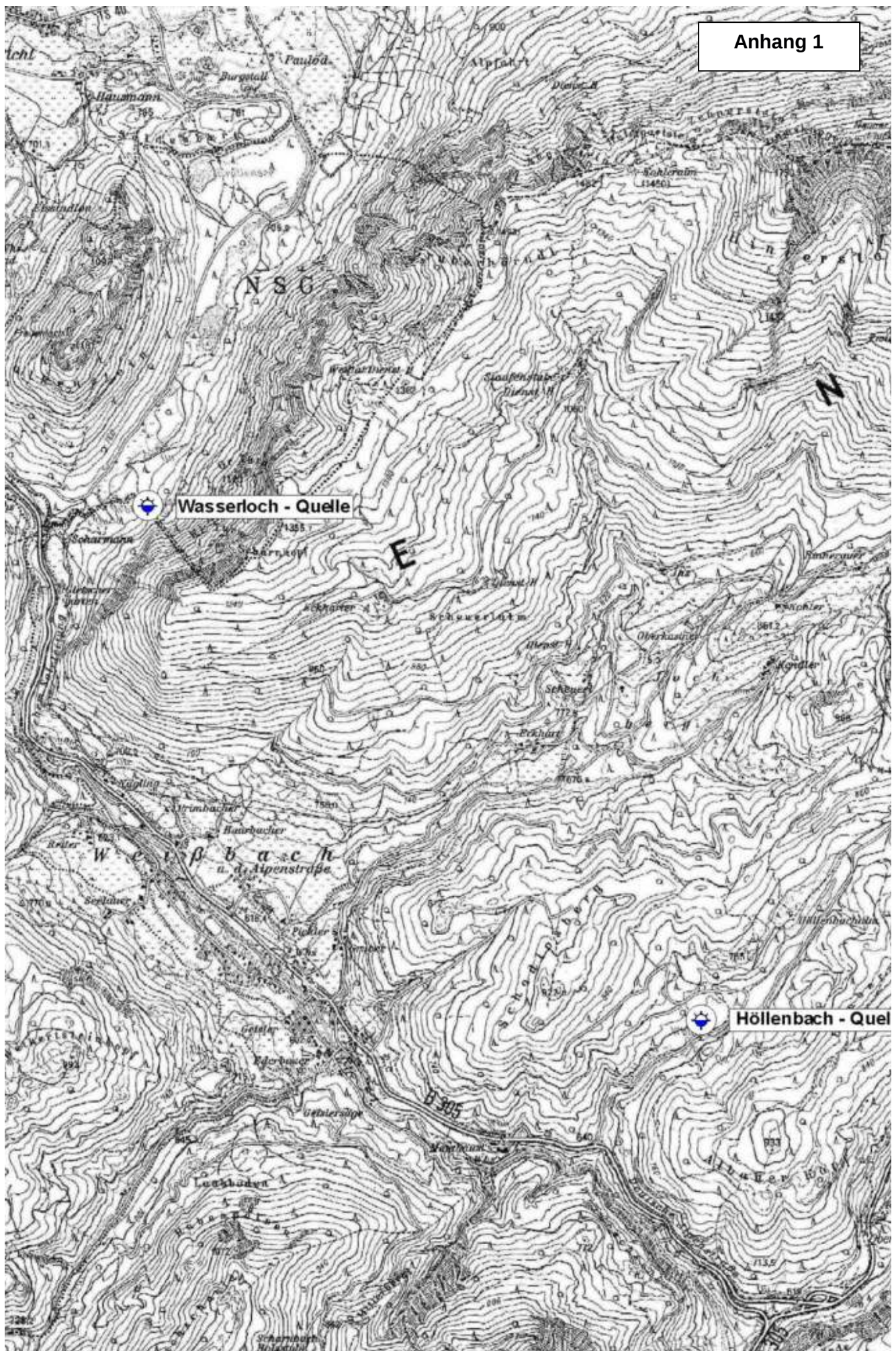
Unter der Voraussetzung junger tektonischer Vorzeichnungen kann das Vorgehen der Grundwassererschließung aus dem Listseegebiet auch auf weitere Hauptdolomitvorkommen in den Nördlichen Kalkalpen übertragen werden. Von besonderem Interesse sind die über 1000 m mächtigen Hauptdolomitserien der Lechtal-Decke, die im westlichen Teil der Nördlichen Kalkalpen in weitgespannte Sättel und Mulden gefaltet wurden. Junge Störungszonen wie die Loisach- und Ammer-Lineamente, durchqueren die tektonische Einheiten bis in das Alpenvorland und belegen damit ihr jungtertiäres Alter. Verallgemeinernd kann man feststellen, dass die Kluftgenerationen der 3. Ordnung (Feinklüfte) generell im Hauptdolomit gegeben ist; die überlagernden und für den Zufluss von Grundwasser entscheidenden Klüfte 1. und 2. Ordnung sind an Scherklüfte im Zusammenhang mit jungtertiärer Scherungs- und Dehnungstektonik gebunden. Die Vernetzung der Kluftsysteme schafft die notwendigen Durchlässigkeiten, wobei Klüfte der 2. Ordnung die Sickerflächen für das in den Feinklüften gespeicherte Grundwasser liefern, das in Großklüften der 1. Ordnung gesammelt wird. Diese Klüfte überlagern großräumige Faltenstrukturen wie im Listseegebiet die nach Südwesten abtauchende Mulde.

6. Literatur

- ANGERMEIER, H.-O., PÖSCHL, A. & SCHNEIDER, H.-J. (1963): Die Gliederung der Raibler Schichten und die Ausbildung ihrer Liegendgrenze in der „Tirolischen Einheit“ der östlichen Chiemgauer Alpen. Mitt. Bayer. Staatssamml. Paläont. Hist. Geol., **3**, 83 – 105, München.
- ARLT, H. (1911): Die geologischen Verhältnisse der östlichen Ruhpolder Berge mit Rauschberg und Sonntagshorn. Landesk. Forsch. Geogr. Ges. München, 1 – 63, München.
- BAUMGARTNER, A., REICHEL, E. & WEBER, G. (1983): Der Wasserhaushalt der Alpen. Niederschlag, Verdunstung, Abfluß und Gletscherspende im Gesamtgebiet der Alpen im Jahresdurchschnitt für die Normalperiode 1931 - 1960. R. Oldenbourg Verlag, 1 – 343, München.
- BRENČIČ, M., BUDKOVIČ, T., FERJANČIČ, L. & POLTNIG, W. (1995): Hydrogeologie der westlichen Karawanken. Beiträge zur Hydrogeologie, **46**, 5 – 42, Graz.
- DOBEN, K. (1973): Erläuterungen zur geologischen Karte GK 8242 Inzell. Bayerisches Geologisches Landesamt. 1 – 124, München
- DOBEN, K. (1976): Erläuterungen zur geologischen Karte GK 8433 Eschenlohe. Bayerisches Geologisches Landesamt. 1 – 96, München.
- DOBEN, K. & FRANK, H. (1983): Erläuterung zur geologischen Karte GK 8333 Murnau. Bayerisches Geologisches Landesamt. 1 – 151, München.
- DOBEN, K. (1985): Erläuterung zur geologischen Karte GK 8334 Kochel am See. Bayerisches Geologisches Landesamt. 1 – 134, München.
- DOMENICO, P.A. & SCHWARTZ, F. W. (1990): Physical and Chemical Hydrogeology. John Wiley & Sons, 1 – 824, New York.
- DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land und Wasserflächen, DVWK Merkblätter zur Wasserwirtschaft, **238**, 1 – 177, Bonn.
- EDEN, D., PRÖSL, K.-H., STICHLER, W. & UDLUFT, P. (1983): Der Einfluss quartärer Deckschichten auf den Wasserhaushalt eines kalkalpinen Einzugsgebietes. Z. dt. geol. Ges., **134**, 755 – 772, Hannover.
- EGGER, H. (1997): Das sinistrale Innsbruck-Salzburg-Amstetten-Blattverschiebungssystem: ein weiterer Beleg für die miozäne laterale Extrusion der Ostalpen. Jb. Geol. B.-A., **140**, 47 – 50, Wien.
- ENDERS, G. (1979): Theoretische Topoklimatologie: Forschungsbericht Nationalpark Berchtesgaden, **1**, 1 – 92, Berchtesgaden.
- ENDERS, G. (1982): Theoretische Topoklimatologie, Kartenteil: Forschungsbericht Nationalpark Berchtesgaden, **4**, 8 Kt., Berchtesgaden.
- ERHARDT, W. (1931): Der Staufen – Geologische Aufnahme der Berge zwischen Reichenhall und Inzell. Wiss. Veröff. des D. u. Oe Alpenvereins. **11**, 1 – 52, München.

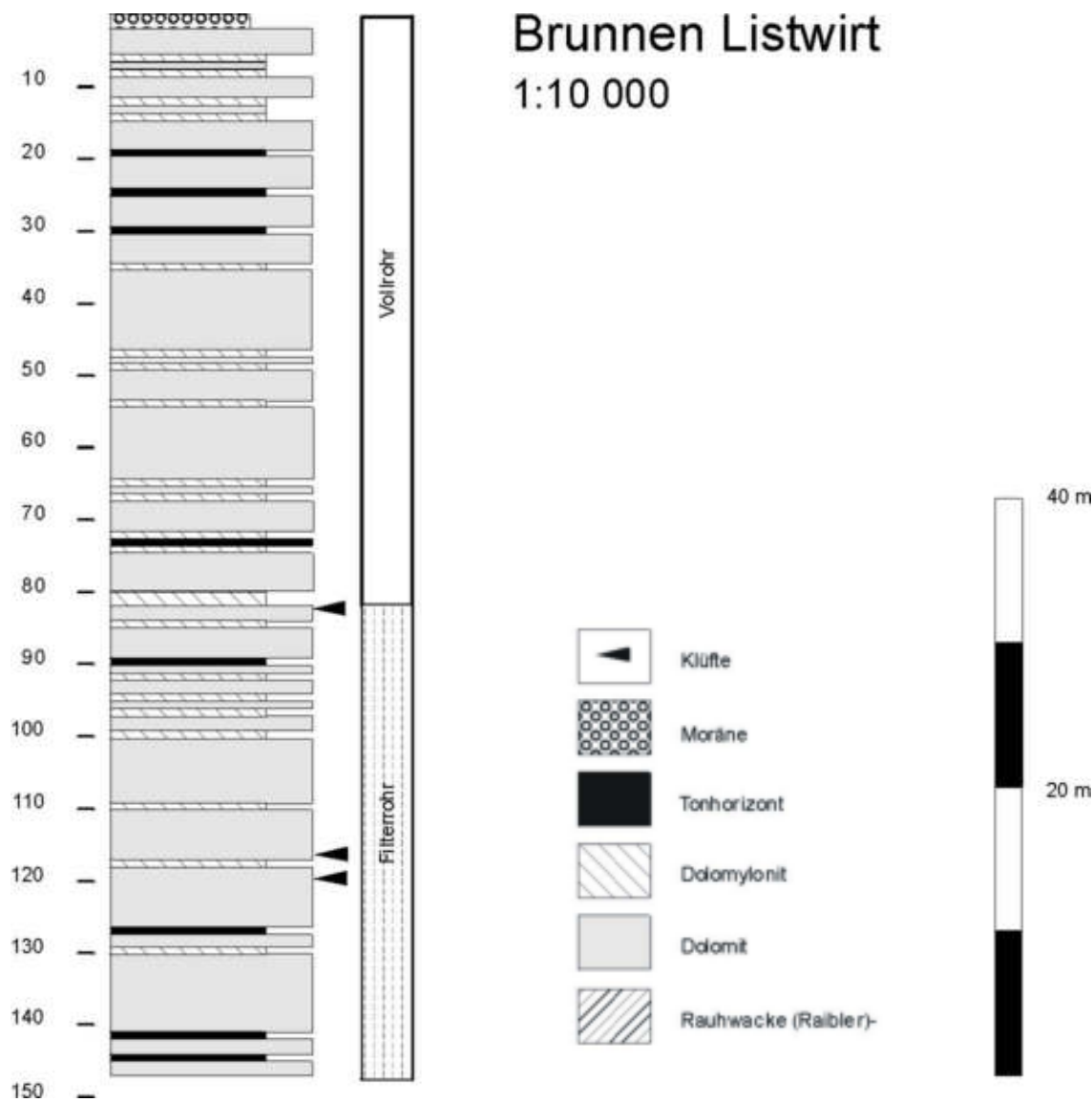
- EXLER, H. J. (1979): Der unterirdische Abfluß von Sole im Quartär des Reichenhaller Beckens. Geol. Jb., **C 22**, 51 – 71, Hannover.
- GANSS, O. (1980): Erläuterung zur geologischen Karte GK 8239 Aschau im Chiemgau. Bayerisches Geologisches Landesamt. 1 – 184, München.
- GEYH, M. & SCHLEICHER, H. (1990): Absolute age Determination. Springer – Verlag, 1 – 503, Berlin.
- HARSCH, W. (1971): Zur Sedimentologie und Paläogeographie der Raibler Schichten (Ober-Trias) im Westteil der Nördlichen Kalkalpen. Z. deutsch. Geol. Ges., **121**, 253 – 272, Hannover.
- HENRICH, R. (1979): Die Geologie des Hochstaufen in den nördlichen Kalkalpen. Dissertation an der Philipps-Universität Marburg, 1 - 187, Marburg.
- HENRICH, R. (1983): Der Wettersteinkalk am Nordwestrand des tirolischen Bogens in den nördlichen Kalkalpen: der jüngste Vorstoß einer Flachwasserplattform am Beginn der Obertrias. Geol. et Palaeont., **17**, 137 – 177, Marburg.
- HENRICH, R. (1984): Facies, Dolomitization and Karstification of Lagoonal Carbonates: Triassic of the Northern Alps. Facies, **11**, 109 – 156, Erlangen.
- HOFMANN, G. (1992): Klimatologie des Alpenparks. Nationalpark Berchtesgaden, **25**, 1 – 130, Berchtesgaden.
- HÖLTING, B. (1996): Hydrogeologie, Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 5. Aufl. Enke, 1 – 441, Stuttgart.
- JERZ, H. (1965): Zur Paläogeographie der Raibler Schichten in den westlichen Nordalpen. Z. deutsch. Geol. Ges., **116/2**, 437 – 439, Hannover.
- KÖPPEL, J. (1995): Der Beitrag der Vegetation zum Wasserhaushalt. Nationalpark Berchtesgaden, **29**, 1 – 92, Berchtesgaden.
- KRAUß, H. (1913): Geologische Aufnahme des Gebiets zwischen Reichenhall und Melleck. Geognost. Jahresh., **26**, 105 – 154, München.
- MÜLLER–WESTERMEIER, G. (1990): Klimadaten der Bundesrepublik Deutschland Zeitraum 1951 – 1980. Selbstverlag des DWD, 1 – 289, Offenbach.
- MÜLLER–WESTERMEIER, G. (1995): Numerisches Verfahren zu Erstellung klimatologischer Karten, Berichte d. DWD, **193**, Selbstverlag des DWD, 1 – 18, Darmstadt.
- PENMAN, H. L. (1948): Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Royl. Soc. Ser. A., **193**, 120 – 145, London.
- RATSCHBACHER, L., FRISCH, W., NEUBAUER, F., SCHMID, S. M., NEUGEBAUER, J. (1989): Extension in compressional orogenic belts: The eastern alps. Geology, **17**, 404 – 407, Boulder (Colorado).
- RAUERT, W. & STICHLER, W. (1979): Isotopenmessung an Bad Reichenhaller Sole und Mineralwässern. Geol. Jb., **C 22**, 73 – 90, Hannover.

- RICHTER, J. (1995): Methodische und regionale Beiträge zur Auswertung von Umweltisotopendaten in der Hydrogeologie. Beiträge zur Hydrogeologie, **46**, 89 - 196, Graz.
- RICHTER, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Berichte des DWD, **194**, 1 – 93, Offenbach.
- ROCZNIK, K. (1995): Wetter und Klima in Deutschland. Hirzel – Verlag, 3. Auflage, 1 – 156, Stuttgart.
- SCHAUBERGER, O., ZANKL, H., KÜHN, R. & KLAUS, W. (1976): Die geologischen Ergebnisse der Salzbohrungen im Talbecken von Bad Reichenhall. Geol. Rundsch., **65**, 558 – 579, Stuttgart.
- SCHMEDES, E. (1979): Die seismische Aktivität im Raum Bad Reichenhall. Geol. Jb., **C 22**, 91 – 101, Hannover.
- SCHULER, G. (1968): Lithofazielle, sedimentologische und paläogeographische Untersuchungen in den Raibler Schichten zwischen Inn und Salzach (Nördliche Kalkalpen). Erlanger Geol. Abh., **71**, 1 – 60, Erlangen.
- SCHUMANN, G. & EULITZ, G. (1960): Die jahreszeitliche Variation der stratosphärischen Fallout-Komponente. Naturwissenschaften, **47**, 13 – 14, Heidelberg.
- SCHWEIGL, J. & NEUBAUER, F. (1997): Structural development of the central Northern Calcareous Alps: Significance for the Jurassic to Tertiary Geodynamics in the Alps. Ecl. Geol. Helv., **60/2**, 303 – 323, Basel.
- STARZMANN, G. A. (1979): Präzisionsnivellements zur Beobachtung von Senkungen der Erdoberfläche am Beispiel des Reichenhaller Raumes. Geol. Jb., **C 22**, 103 – 115, Hannover.
- WEISCHET, W. (1977): Einführung in die allgemeine Klimatologie. Teubner - Verlag, 1 – 256, Stuttgart.
- WOLFF, H. (1985): Erläuterungen zur Geologischen Karte GK 8338 Bayrischzell. Bayerisches Geologisches Landesamt. 1 – 190, München.
- ZANKL, H. & SCHELL, O. (1979): Der geologische Bau des Talkessels von Bad Reichenhall (Nördliche Kalkalpen). Geol. Jb., **C 22**, 11 – 20, Hannover.
- ZANKL, H. & HENRICH, R. (1981): Die Geologie des Hochstaufenmassivs in den Nördlichen Kalkalpen. Verh. Geol. B.-A., **1981/2**, 31 - 57, Wien.

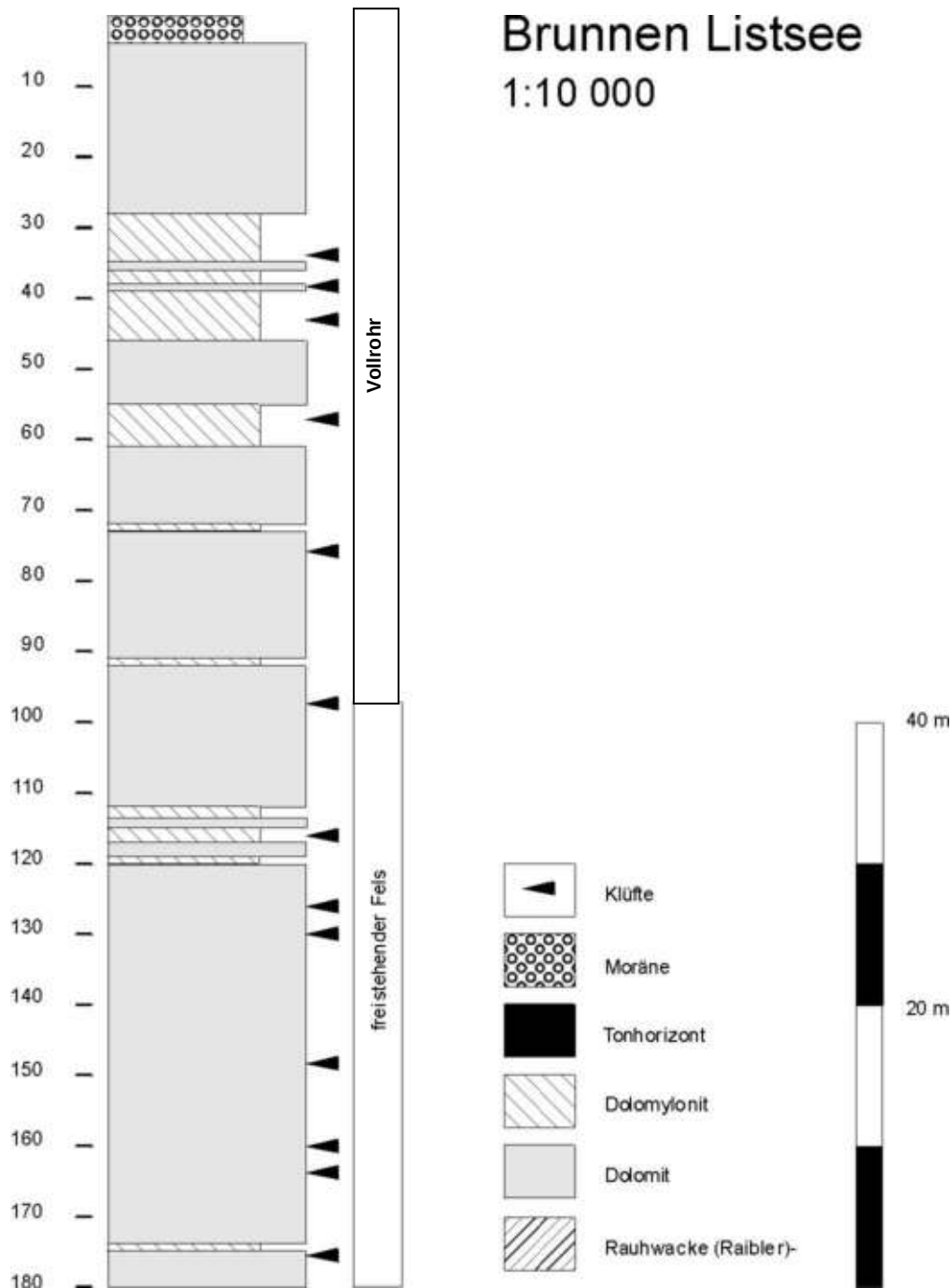




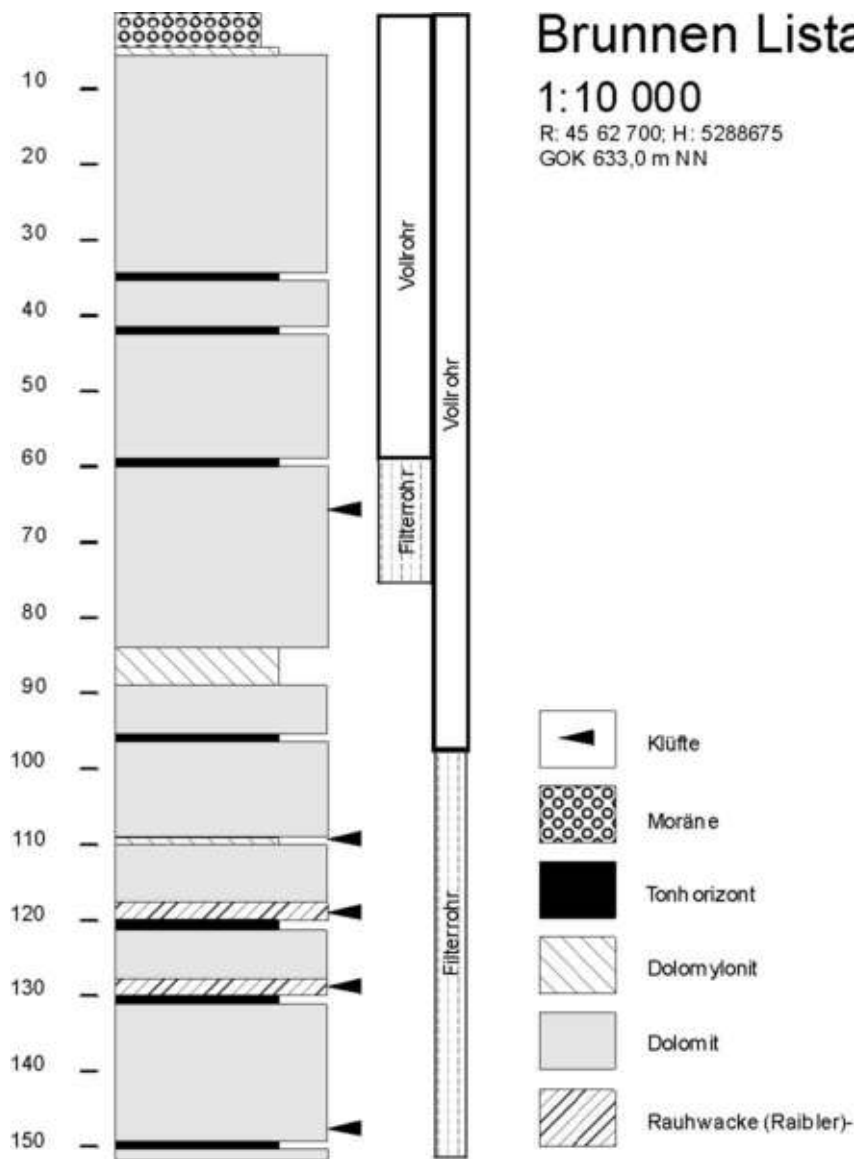
Geologischer Befund der Bohrung Listwirt



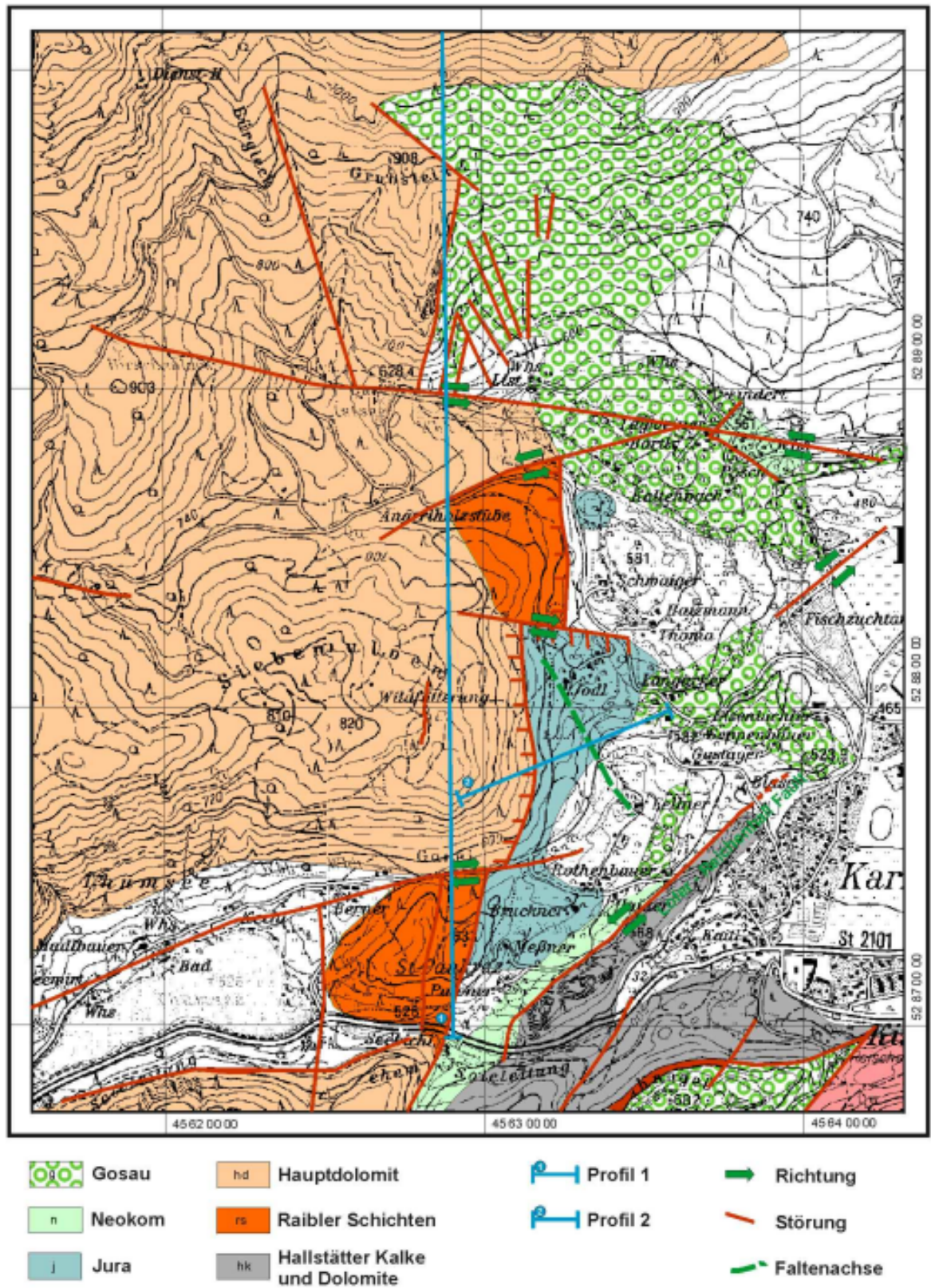
Geologischer Befund der Bohrung Listsee



Geologischer Befund der Bohrung Listanger



Strukturgeologische Karte vom Ostrand des engeren Untersuchungsgebietes



Anhang 6

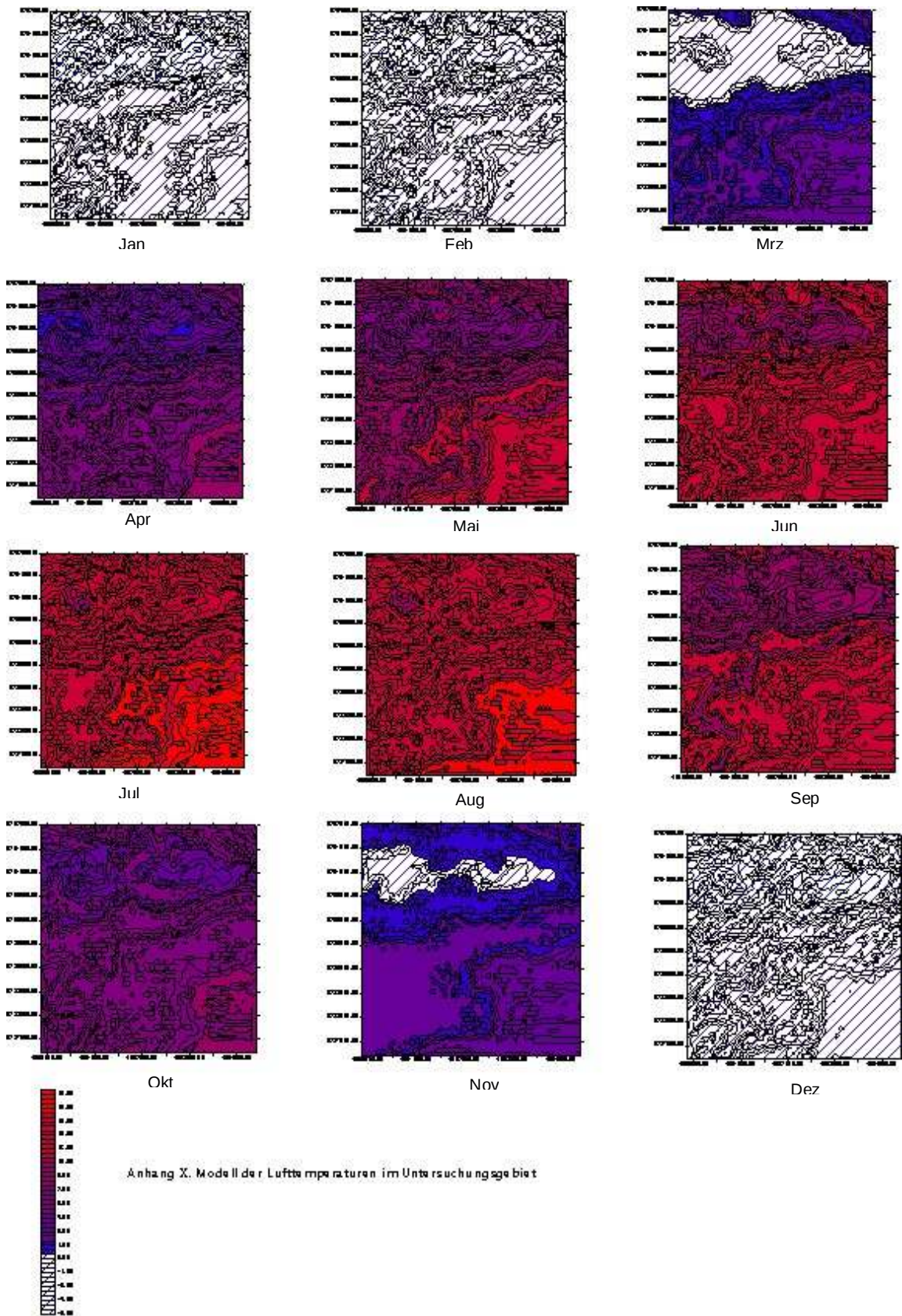
Vergleichstemperaturen im Umfeld des Untersuchungsgebietes mit daraus resultierendem Höhengradienten nach ENDERS (1979)

Station	Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Reichenhall (T ₁)	468	-1,9	-0,6	3,7	8,3	12,6	15,7	17,3	16,7	13,6	8,2	3,4	-0,5	8,0
Berchtesgaden	542	-2,7	-1,2	3,0	7,1	11,7	14,8	16,3	15,4	12,6	7,3	2,7	-1,2	7,2
Obersalzberg	960	-2,1	-0,9	1,8	5,6	10,6	13,4	15,4	15,0	11,5	6,8	2,2	-1,1	6,5
Predigtstuhl	1578	-4,1	-3,9	-1,0	1,8	6,2	9,4	11,2	11,1	9,2	4,6	1,1	-2,2	3,6
Untersberg (T ₂)	1663	-5,0	-4,4	-1,2	2,2	6,4	9,7	11,7	11,8	8,8	4,5	0,3	-3,0	3,5
Jenner Bergst.	1800	-5,6	-5,0	-2,1	0,8	4,6	7,8	9,7	9,6	7,8	3,7	0,2	-3,6	2,3
Watzmannhaus	1923	-5,7	-5,8	-2,9	0,0	4,4	7,4	9,4	9,6	7,6	3,7	-0,8	-3,4	2,0
Gradient / 100 m		-0,259	-0,318	-0,410	-0,510	-0,519	-0,502	-0,469	-0,410	-0,402	-0,310	-0,259	-0,209	-0,259

Aus dem Gradienten gebildete Modelltemperaturen für repräsentative Höhen im Untersuchungsgebiet

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
400	-1,7	-0,4	4,0	8,6	13,0	16,0	17,6	17,0	13,9	8,4	3,6	-0,2
600	-2,2	-1,0	3,2	7,6	11,9	15,0	16,7	16,2	13,1	7,8	3,1	-1,0
800	-2,8	-1,7	2,4	6,6	10,9	14,0	15,7	15,3	12,3	7,2	2,5	-1,8
1000	-3,3	-2,3	1,6	5,6	9,8	13,0	14,8	14,5	11,5	6,6	2,0	-2,5
1200	-3,8	-2,9	0,8	4,6	8,8	12,0	13,9	13,7	10,7	5,9	1,5	-3,3
1400	-4,3	-3,6	0,0	3,5	7,8	11,0	12,9	12,9	9,9	5,3	1,0	-4,1
1600	-4,8	-4,2	-0,8	2,5	6,7	10,0	12,0	12,1	9,0	4,7	0,5	-4,8
1800	-5,3	-4,8	-1,6	1,5	5,7	9,0	11,1	11,2	8,2	4,1	0,0	-5,6

Temperaturmodell über das Untersuchungsgebiet



Verdunstungswärme nach DVWK (1996)

°C	J/cm ²
-8 - -1	283
0 - 1	250
2 - 5	249
6 - 9	248
10 - 13	247
14 - 17	246
18 - 22	245

Monatsmittel der relativen Luftfeuchte (U) (in %) nach ENDERS (1979)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
%	82	81	76	75	76	77	78	81	83	84	84	85

Niederschlagswerte im Umfeld des Untersuchungsgebietes

Station	Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahresmittel	Quelle
Reichenhall	468	110	104	94	107	147	181	208	170	133	107	93	93	1547	1.)
Jettenberg	500	111	115	96	116	154	197	228	193	138	109	95	92	1644	1.)
Schellenberg	540	121	113	114	133	170	208	268	209	154	136	106	108	1840	1.)
Berchtesgaden	542	100	100	88	103	136	180	219	182	127	106	85	88	1514	1.)
Berchtesgaden	542	94		82		132		199		138		77		1447	3.)
Ristfeucht	520	123	127	105	127	170	217	252	212	152	120	105	101	1811	1.)
Illsank	590	110	112	106	110	143	182	228	188	136	110	99	97	1621	1.)
Salettalpe	602	112	112	106	117	153	199	249	201	146	120	105	98	1718	1.)
Königssee	605	104	104	96	106	138	180	222	183	130	107	90	92	1552	1.)
Weißbach	611	136	130	120	131	164	202	238	191	150	125	111	115	1813	1.)
Listsee	628	133	295	127	175	264	182	230	116	90	92	194	217	2115	5.)
Listsee	628													1938	5.)
Hammer	670													1684	2.)
Ruhpolding	686													1700	2.)
Hallthurm	693	108	108	103	126	163	202	237	196	146	119	100	92	1700	1.)
Fischunkelam	720	122	122	115	128	168	220	274	222	160	132	111	109	1883	1.)
Seehaus b. Ruhpolding	725													2256	2.)
Hintersee	804	114	110	106	122	161	218	269	216	156	130	108	100	1810	1.)
Loipl	830	126	133	123	131	165	207	249	209	155	120	110	110	1838	1.)
Neuhaus b. Anger	830													1750	2.)
Lindenhäusl	850	102	106	94	109	147	188	218	186	132	106	91	86	1565	1.)
Schwarzbachwacht	893	120	126	116	134	178	232	269	229	162	135	109	106	1916	1.)
Obersalzberg	971	103	103	96	109	148	182	232	202	132	106	87	90	1590	1.)
Söldenköpf	972	124	126	119	124	160	204	257	212	153	124	111	109	1823	1.)
Wimbachgrieshütte	1327	136	136	129	142	186	242	303	244	178	146	127	119	2088	1.)
Sagereckalm	1364	113	92	109	174	194	294	327	283	214	144	111	125	2180	1.)
Priesbergalpe	1438	92	97	111	122	174	186	251	233	168	148	88	87	1757	1.)
Reiteralpe	1500	142	146	130	153	204	266	318	264	188	153	128	122	2214	1.)
Reiteralpe	1500	132		110		180		307		211		102		2089	3.)
Traunsteiner Hütte	1560	147	149	131	155	207	270	324	266	192	155	133	124	2253	1.)
Predigtstuhl	1585	100	124	124	126	155	190	217	223	164	149	87	102	1761	1.)
Funtenseehütte	1638	114	92	110	176	196	297	330	286	216	145	112	126	2200	1.)
Rauschberg	1640	97	135	159	161	135	196	242	179	154	134	156	170	1919	4.)
Stahlhaus	1740	83	94	101	94	166	204	273	262	166	146	87	77	1753	1.)
Purtschellerhaus	1770	187	165	217	221	274	255	325	261	231	226	272	187	2821	1.)
Watzmannhaus	1923	111	94	112	104	155	212	270	274	159	90	103	79	1763	1.)
Riemannhaus	2133	130	110	125	200	223	338	375	326	245	165	127	142	2506	1.)

Nach ^{1.)} ENDERS (1979), ^{2.)} DOBEN (1973), ^{3.)} ROCZNIK (1993) und ^{4.)} Daten des Deutschen Wetterdienstes ^{5.)} Stadtwerke Bad Reichenhall

Exemplarische Monatswerte für den Niederschlag (/mm) für verschiedene Höhenniveaus (in m ü. NN) im Untersuchungsgebiet auf Grundlage der Niederschlagsgradienten

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ
400	109	101	91	104	144	176	201	164	130	104	97	92	1511
600	113	109	99	114	154	192	223	182	140	112	103	96	1635
800	117	117	107	124	164	208	245	200	150	120	109	100	1759
1000	121	125	115	134	174	224	267	218	160	128	115	104	1883
1200	125	133	123	144	184	240	289	236	170	136	121	108	2007
1400	129	141	131	154	194	256	311	254	180	144	127	112	2131
1600	133	149	139	164	204	272	333	272	190	152	133	116	2255
1800	137	157	147	174	214	288	355	290	200	160	139	120	2379

Monatswerte der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer [S_0], der astronomisch möglichen täglichen Niederschlagsdauer [S_{0d}], des langjährigen Mittels der Sonnenscheindauer [S], dem Tageswert des langjährigen Mittels der Sonnenscheindauer [S_d] und dem Verhältnis der astronomischen Sonnenscheindauer zur Tag/Nachtgleiche nach ENDERS (1979) und DVWK (1996).

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
S_0	279	288	369	408	468	474	481	440	378	338	279	257
S_{0d}	9,0	10,3	11,9	13,6	45,1	15,8	15,5	14,2	12,6	10,9	9,4	8,5
S	42	91	132	129	170	219	207	195	173	102	66	38
S_d	1,4	3,3	4,3	4,3	5,48	7,3	6,68	6,29	5,77	3,29	2,2	1,2
S_R	0,8	0,9	1,0	1,1	3,8	1,3	1,3	1,2	1,1	0,9	0,8	0,7

Tageswerte der extraterrestrischen Strahlung [R_0] für die Mitte des jeweiligen Monats (nach DVWK (1996))

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
J/cm ²	1104	1652	2444	3270	3891	4199	4028	3510	2756	1932	1261	954

Tageswerte der Globalstrahlung [R_G] in J/cm²

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
R_G	301	601	945	1190	1516	1865	1720	1522	1217	688	404	259

Exemplarische Monatswerte des Sättigungsdampfdruckes [$E_s(T)$] (hPa) für verschiedene Höhenniveaus (in m ü. NN) im Untersuchungsgebiet

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
400	5,39	5,94	8,11	11,19	14,90	18,18	20,10	19,30	15,82	11,01	7,89	6,00
600	5,19	5,67	7,67	10,44	13,92	17,05	18,94	18,32	15,01	10,56	7,61	5,68
800	4,99	5,41	7,24	9,74	12,99	15,98	17,84	17,39	14,24	10,12	7,33	5,37
1000	4,80	5,17	6,84	9,08	12,12	14,97	16,80	16,49	13,51	9,70	7,07	5,08
1200	4,62	4,93	6,46	8,46	11,31	14,02	15,81	15,64	12,81	9,30	6,81	4,80
1400	4,44	4,70	6,09	7,87	10,54	13,12	14,87	14,83	12,14	8,90	6,56	4,53
1600	4,27	4,48	5,75	7,32	9,82	12,27	13,99	14,05	11,50	8,53	6,32	4,28
1800	4,11	4,27	5,42	6,81	9,14	11,47	13,15	13,31	10,89	8,17	6,09	4,04

Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve [s] (hPa) (DVWK (1996))

T/°C	s/hPa	T/°C	s/hPa
-8	0,27	5	0,61
-7	0,29	6	0,64
-6	0,32	7	0,69
-5	0,34	8	0,73
-4	0,37	9	0,77
-3	0,40	10	0,82
-2	0,43	11	0,87
-1	0,46	12	0,92
0	0,44	13	0,98
1	0,47	14	1,03
2	0,50	15	1,09
3	0,54	16	1,16
4	0,57	17	1,22

Exemplarische Monatswerte für das Sättigungsdefizit [$E_s(T)$] (hPa) für verschiedene Höhenniveaus (in m ü. NN) im Untersuchungsgebiet

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
400	0,97	1,13	1,95	2,69	3,58	4,18	4,42	3,67	2,69	1,76	1,26	0,90
600	0,93	1,08	1,84	2,51	3,34	3,92	4,17	3,48	2,55	1,69	1,22	0,85
800	0,90	1,03	1,74	2,34	3,12	3,68	3,93	3,30	2,42	1,62	1,17	0,81
1000	0,86	0,98	1,64	2,18	2,91	3,44	3,70	3,13	2,30	1,55	1,13	0,76
1200	0,83	0,94	1,55	2,03	2,71	3,22	3,48	2,97	2,18	1,49	1,09	0,72
1400	0,80	0,89	1,46	1,89	2,53	3,02	3,27	2,82	2,06	1,42	1,05	0,68
1600	0,77	0,85	1,38	1,76	2,36	2,82	3,08	2,67	1,95	1,36	1,01	0,64
1800	0,74	0,81	1,30	1,63	2,19	2,64	2,89	2,53	1,85	1,31	0,97	0,61

Monatsmittel der Windgeschwindigkeit an der Wetterstation Rauschberg bei Ruhpolding

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
V ₂ Beaufort	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,8	1,8	1,7	1,8	1,7	1,8	2,0
V ₂ m/s	1,8	1,8	1,8	1,4	1,2	1,3	1,3	1,2	1,3	1,2	1,3	1,6
Richtung	SW	SW	SW	W	nW	nW	nW	nW	nW	se	SW	SW

HAUDE-Faktoren für Monatssummen DVWK (1996)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
f	6,82	6,22	6,82	8,70	8,99	8,40	8,06	7,75	6,90	6,82	6,60	6,82

Exemplarische Monatswerte für die potentielle Evapotranspiration nach HAUDE (/mm) für verschiedene Höhenniveaus (in m ü. NN) im Untersuchungsgebiet.

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ
400	6,6	7,7	13,3	18,3	24,4	28,5	30,2	25,0	18,3	12,0	8,6	6,1	199,1
600	6,4	7,4	12,5	17,1	22,8	26,7	28,4	23,7	17,4	11,5	8,3	5,8	188,1
800	6,1	7,0	11,9	15,9	21,3	25,1	26,8	22,5	16,5	11,0	8,0	5,5	177,6
1000	5,9	6,7	11,2	14,9	19,8	23,5	25,2	21,4	15,7	10,6	7,7	5,2	167,7
1200	5,7	6,4	10,6	13,8	18,5	22,0	23,7	20,3	14,8	10,1	7,4	4,9	158,3
1400	5,5	6,1	10,0	12,9	17,3	20,6	22,3	19,2	14,1	9,7	7,2	4,6	149,3
1600	5,2	5,8	9,4	12,0	16,1	19,2	21,0	18,2	13,3	9,3	6,9	4,4	140,9
1800	5,0	5,5	8,9	11,1	15,0	18,0	19,7	17,2	12,6	8,9	6,6	4,1	132,8

Exemplarische Monatswerte für die potentielle Evapotranspiration nach BLANLEY-CRIDDLE [ET_P _{Blan}] (/mm) für verschiedene Höhenniveaus (in m ü. NN) im Untersuchungsgebiet.

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ
400	45,8	51,3	82,1	110,3	147,1	163,9	173,9	156,5	122,3	90,5	61,6	47,8	1253,1
600	44,3	49,4	79,0	106,0	142,1	159,1	169,3	152,8	119,2	88,4	60,1	45,7	1215,5
800	42,9	47,6	76,0	101,7	137,2	154,2	164,7	149,1	116,1	86,2	58,6	43,7	1177,9
1000	41,4	45,7	73,0	97,5	132,2	149,3	160,1	145,4	113,0	84,1	57,1	41,6	1140,4
1200	39,9	43,8	70,0	93,2	127,2	144,5	155,5	141,7	109,9	81,9	55,6	39,5	1102,8
1400	38,4	41,9	66,9	89,0	122,3	139,6	150,9	138,0	106,8	79,8	54,1	37,4	1065,2
1600	36,9	40,1	63,9	84,7	117,3	134,7	146,3	134,3	103,7	77,6	52,6	35,4	1027,6
1800	35,5	38,2	60,9	80,5	112,3	129,9	141,7	130,6	100,6	75,5	51,1	33,3	990,0

Anhang 13

Exemplarische Monatswerte für die potentielle Evapotranspiration nach BLANLEY-CRIDDLE korrigiert nach SCHRÖDTER (1985) [$ET_{P \text{ BlanS}}$] (mm) für verschiedene Höhenniveaus (in m ü. NN) im Untersuchungsgebiet.

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ
400	42,4	47,7	77,2	104,3	139,7	155,8	165,4	148,6	115,9	85,3	57,6	44,4	1184,4
600	41,0	45,9	74,3	100,2	134,9	151,1	161,0	145,1	112,9	83,3	56,1	42,4	1148,3
800	39,6	44,1	71,4	96,1	130,1	146,5	156,6	141,6	109,9	81,2	54,7	40,4	1112,2
1000	38,2	42,3	68,5	92,0	125,4	141,8	152,1	138,0	107,0	79,2	53,3	38,4	1076,1
1200	36,8	40,5	65,6	88,0	120,6	137,1	147,7	134,5	104,0	77,1	51,8	36,4	1040,1
1400	35,3	38,7	62,7	83,9	115,8	132,5	143,3	130,9	101,0	75,0	50,4	34,4	1004,0
1600	33,9	36,9	59,8	79,8	111,1	127,8	138,9	127,4	98,0	73,0	49,0	32,4	967,9
1800	32,5	35,1	56,9	75,7	106,3	123,1	134,5	123,8	95,0	70,9	47,5	30,4	931,8

Exemplarische Monatswerte für die reelle Evapotranspiration nach TURC [$ET_{P \text{ Turc}}$] (mm) für verschiedene Höhenniveaus (in m ü. NN) im Untersuchungsgebiet.

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ
400	-1,8	-0,5	8,2	19,2	34,1	46,9	48,3	42,2	28,8	12,4	3,8	-0,2	241,3
600	-2,3	-1,5	6,6	17,2	31,9	44,6	46,4	40,6	27,5	11,6	3,3	-0,9	225,0
800	-2,9	-2,4	5,0	15,2	29,6	42,3	44,4	39,1	26,1	10,8	2,8	-1,6	208,3
1000	-3,4	-3,4	3,4	13,1	27,3	39,9	42,4	37,4	24,7	10,0	2,2	-2,4	191,1
1200	-4,0	-4,4	1,7	10,9	24,8	37,4	40,2	35,8	23,3	9,1	1,7	-3,2	173,3
1400	-4,6	-5,4	-0,1	8,6	22,3	34,8	38,1	34,1	21,8	8,3	1,1	-4,0	155,0
1600	-5,2	-6,4	-1,9	6,3	19,7	32,2	35,9	32,3	20,3	7,4	0,5	-4,8	136,2
1800	-5,9	-7,5	-3,8	3,8	16,9	29,5	33,6	30,5	18,8	6,5	-0,1	-5,6	116,7

Exemplarischer Strahlungsterm [E_R]

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
400	0,638	1,274	2,277	2,879	3,683	4,549	4,195	3,712	2,956	1,665	0,973	0,549
600	0,638	1,274	2,277	2,879	3,683	4,549	4,195	3,712	2,956	1,665	0,973	0,549
800	0,638	1,274	2,277	2,879	3,683	4,549	4,195	3,712	2,956	1,665	0,973	0,549
1000	0,638	1,274	2,268	2,867	3,668	4,530	4,195	3,712	2,956	1,665	0,973	0,549
1200	0,638	1,274	2,268	2,867	3,668	4,530	4,178	3,697	2,956	1,658	0,970	0,549
1400	0,638	1,274	2,004	2,867	3,668	4,530	4,178	3,697	2,944	1,658	0,970	0,549
1600	0,638	1,274	2,004	2,867	3,668	4,530	4,178	3,697	2,944	1,658	0,970	0,549
1800	0,638	1,274	2,004	2,856	3,653	4,512	4,178	3,697	2,944	1,658	0,857	0,549

Exemplarischer Ventilationsfeuchteterm [E_A]

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
400	0,749	0,918	1,504	2,066	2,694	3,672	4,058	3,257	2,595	1,460	0,896	0,688
600	0,721	0,877	1,422	1,928	2,516	3,443	3,825	3,092	2,463	1,400	0,864	0,651
800	0,694	0,837	1,343	1,798	2,349	3,227	3,603	2,934	2,337	1,342	0,833	0,615
1000	0,668	0,799	1,269	1,676	2,192	3,023	3,392	2,783	2,216	1,286	0,803	0,582
1200	0,643	0,762	1,198	1,561	2,045	2,831	3,193	2,639	2,101	1,233	0,773	0,550
1400	0,618	0,727	1,130	1,453	1,906	2,649	3,004	2,502	1,991	1,181	0,745	0,519
1600	0,595	0,693	1,066	1,352	1,775	2,478	2,824	2,371	1,887	1,131	0,718	0,490
1800	0,572	0,660	1,005	1,257	1,653	2,316	2,655	2,246	1,787	1,083	0,692	0,463

Exemplarische Temperaturfunktion [$s/(s+\gamma)$]

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
400	0,398	0,414	0,454	0,529	0,586	0,626	0,652	0,641	0,601	0,529	0,454	0,414
600	0,381	0,398	0,454	0,515	0,572	0,626	0,641	0,641	0,601	0,515	0,454	0,398
800	0,381	0,398	0,435	0,496	0,558	0,613	0,626	0,626	0,586	0,515	0,435	0,398
1000	0,363	0,381	0,420	0,484	0,542	0,601	0,613	0,613	0,572	0,496	0,435	0,381
1200	0,363	0,381	0,404	0,467	0,529	0,586	0,601	0,601	0,558	0,484	0,420	0,363
1400	0,343	0,363	0,414	0,454	0,515	0,572	0,586	0,586	0,542	0,484	0,404	0,343
1600	0,343	0,343	0,414	0,435	0,496	0,558	0,572	0,586	0,542	0,467	0,404	0,343
1800	0,330	0,343	0,398	0,435	0,496	0,542	0,572	0,572	0,529	0,467	0,414	0,330

Exemplarische Temperaturfunktion [$\gamma/(\gamma+s)$]

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
400	0,602	0,586	0,546	0,471	0,414	0,374	0,348	0,359	0,399	0,471	0,546	0,586
600	0,619	0,602	0,546	0,485	0,428	0,374	0,359	0,359	0,399	0,485	0,546	0,602
800	0,619	0,602	0,565	0,504	0,442	0,387	0,374	0,374	0,414	0,485	0,565	0,602
1000	0,637	0,619	0,580	0,516	0,458	0,399	0,387	0,387	0,428	0,504	0,565	0,619
1200	0,637	0,619	0,596	0,533	0,471	0,414	0,399	0,399	0,442	0,516	0,580	0,637
1400	0,657	0,637	0,586	0,546	0,485	0,428	0,414	0,414	0,458	0,516	0,596	0,657
1600	0,657	0,657	0,586	0,565	0,504	0,442	0,428	0,414	0,458	0,533	0,596	0,657
1800	0,670	0,657	0,602	0,565	0,504	0,458	0,428	0,428	0,471	0,533	0,586	0,670

Exemplarische Monatswerte der potentiellen Evapotranspiration nach PENMAN (1948)
[ET_{Penm}] (lmm) für verschiedene Höhenniveaus (in m ü. NN) im Untersuchungsgebiet.

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ
400	21,9	29,8	57,5	74,9	101,5	126,6	128,6	110,0	84,4	48,6	27,9	19,5	831,2
600	21,4	29,0	56,1	72,5	98,7	124,1	125,9	108,2	82,8	47,6	27,4	18,9	812,6
800	20,9	28,3	54,2	70,0	95,9	121,1	123,2	106,1	81,0	46,8	26,8	18,3	792,5
1000	20,4	27,4	52,3	67,6	92,8	117,9	120,4	103,9	79,2	45,7	26,3	17,6	771,6
1200	19,9	26,8	50,5	65,1	90,0	114,8	117,3	101,5	77,3	44,6	25,7	17,0	750,7
1400	19,4	25,9	46,3	62,9	87,2	111,8	114,4	99,3	75,2	43,8	25,1	16,4	727,6
1600	18,9	25,0	45,1	60,3	84,1	108,7	111,6	97,6	73,8	42,7	24,6	15,8	708,2
1800	18,4	24,4	43,5	58,6	82,0	105,2	109,3	95,4	72,0	41,9	22,8	15,2	688,7

Exemplarische Monatswerte der potentiellen Evapotranspiration nach MAKKINK (1957) [ET_{P-Makk}] (lmm) für verschiedene Höhenniveaus (in m ü. NN) im Untersuchungsgebiet.

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ
400	36,1	50,8	103,6	156,9	214,6	240,6	248,4	212,6	150,9	95,8	51,7	32,5	1594,5
600	34,6	48,8	103,6	152,8	209,6	240,6	244,0	212,6	150,9	93,3	51,7	31,2	1573,6
800	34,6	48,8	99,2	147,2	204,3	235,5	238,5	207,8	147,1	93,3	49,5	31,2	1537,0
1000	32,9	46,7	95,4	143,1	197,8	230,0	233,4	203,4	143,7	89,9	49,5	29,9	1495,5
1200	32,9	46,7	91,8	138,1	193,0	224,1	228,0	198,6	140,0	87,3	47,6	28,4	1456,5
1400	31,1	44,5	83,2	134,1	187,8	218,9	222,2	193,6	135,6	87,3	45,8	26,9	1411,1
1600	31,1	42,1	83,2	128,5	181,0	213,4	217,0	193,6	135,6	84,3	45,8	26,9	1382,5
1800	29,9	42,1	79,9	128,0	180,2	206,6	217,0	189,1	132,3	84,3	41,5	25,9	1356,8

Exemplarische Evapotranspiration für den Monat Juli

Höhe	HAUDE	BLANLEY-CRIDDLE	SCHRÖDTER	PENMAN	MAKKINK	TURC
400	30,2	173,9	165,4	128,6	248,4	48,3
600	28,4	169,3	161,0	125,8	244,0	46,4
800	26,8	164,7	156,6	123,2	238,6	44,4
1000	25,2	160,1	152,1	120,4	233,4	42,4
1200	23,7	155,5	147,7	117,3	228,0	40,3
1400	22,3	150,9	143,3	114,5	222,2	38,1
1600	21,0	146,3	138,9	111,6	217,0	35,9
1800	19,7	141,7	134,5	109,3	217,0	33,6

Probe	Datum	^3H (TU)	+ / -	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
	04.07.85	86,60	8,00	-12,10	-86,8
	19.11.85	81,50	8,00		
	22.01.86	71,20	5,10	-11,80	
	06.04.86	73,70	3,80	-11,90	
	10.07.86	89,60	3,50	-12,17	
	14.08.86	87,90	3,20	-11,59	
L 01	26.11.86	91,70	7,20	-11,91	
L 06	03.12.86	97,20	9,80	-11,88	
L 09	10.12.86	84,70	8,00	-11,87	
L 12	17.12.86	78,80	5,50	-11,95	
L 15	23.12.86	80,80	5,00	-11,88	
L 18	30.12.86	84,30	7,10	-11,82	
L 21	07.01.87	74,50	5,90	-11,90	
L 24	15.01.87	84,60	7,00	-11,95	
L 27	22.01.87	82,20	6,00	-11,98	
L 30	28.01.87	76,50	5,00	-11,91	
	08.12.87	76,60	6,80	-12,01	-88,0
	18.08.88	73,60	6,20	-11,82	
	02.11.88	75,90	4,50	-11,86	
23107	16.10.90	65,50	5,20	-12,08	-82,60
HO 07	08.01.91	54,10		-11,82	
HO 156	07.04.91	50,40	2,00	-11,75	
HO 330	16.07.91	49,10	5,80	-11,91	
HO 498	18.10.91	62,20	7,40	-12,11	
HO 127	09.03.92	63,40		-12,20	
GR 303	21.07.92	66,00		-11,95	
GR 462	11.11.92	58,10		-10,19	
GR 84	24.02.93	51,40		-11,85	
GR 284	05.07.93	42,40		-11,79	
GR 332	02.08.93	40,10		-11,91	
GR 56	22.02.94	54,70		-11,94	
GR 199	13.06.94	35,80		-11,94	
GR 130	17.10.94	37,30		-11,91	
GR 27	13.02.95	45,80		-12,01	
GR 11	19.06.95	38,10		-12,02	
GR 42	06.12.95	36,10		-12,15	
GR 24	22.01.96	40,70		-11,82	
GR 33	05.02.96	33,90		-11,94	
GR 68	04.03.96	34,40		-11,82	
GR 94	01.04.96	34,70		-11,81	
GR 146	29.04.96	22,00		-11,82	
GR 178	13.05.96	22,90		-11,80	
GR 155	21.08.96	29,40		-11,76	
GR 175	13.11.96	39,00		-11,91	
GR 92/7	25.02.97	35,60		-11,89	
GR 239/7	12.05.97	29,20		-11,83	
GR 503/7	12.08.97	28,80		-11,87	
GR 950/7	10.11.97	32,90		-11,85	
GR 96/8	09.02.98	24,90		-11,82	
GR 431/8	12.06.98	25,00		-11,92	
GR 835/8	12.08.98	25,40		-11,86	
GR 1270/8	14.12.98	27,60		-12,00	
Listsee	16.06.99	24,80		-11,96	

Isotopenwerte im Brunnen Listwirt

Probe	Datum	^3H (TU)	+ / -	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
23106	16.10.90	56,80	4,80	-12,03	-80,90
HO 157	07.04.91	48,50	2,00	-11,52	
HO 329	16.07.91	45,10	5,30	-11,49	
HO 497	18.10.91	50,30	6,00	-11,72	
HO 126	09.03.92	55,80		-12,30	
GR 285	05.07.93	40,70		-11,68	
GR 331	02.08.93	33,50		-11,54	
GR 198	13.06.94	46,90		-11,81	
GR 160	13.09.95	28,00		-11,90	
GR 161	13.09.95	31,40		-11,81	
GR 162	13.09.95	34,70		-11,94	
GR 163	13.09.95	29,70		-11,94	
GR 84	27.12.95	31,40		-11,80	
GR 32	05.02.96	33,10		-11,74	
GR 66	04.03.96	35,60		-11,72	
GR 93	01.04.96	33,80		-11,69	
GR 145	29.04.96	33,90		-11,70	
GR 8	07.01.97	32,60		-11,79	
GR 37	22.01.97	33,90		-11,74	
GR 834/8	12.08.98	24,00		-11,93	
GR 1269/8	14.12.98	27,00		-11,79	
Listwirt	16.06.99	25,70		-11,71	

Isotopenwerte im Brunnen Listanger

Probe	Datum	^3H (TU)	+ / -	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
	18.08.88	52,80	4,60	-11,55	-87,30
	02.11.88	55,80	4,60	-11,64	-82,90
23105	16.10.90	52,80	5,40	-11,63	-80,00
HO 158	07.04.91	39,60	2,00	-11,38	
HO 331	16.07.91	41,80	4,90	-11,59	
HO 499	18.10.91	53,00	6,30	-11,66	
HO 128	09.03.92	45,60		-10,98	
GR 463	11.11.92	35,80		-11,66	
GR 57	22.02.94	28,80		-11,33	
GR 43	06.12.95	28,00		-11,66	
GR 34	05.02.96	25,40		-11,64	
GR 67	04.03.96	28,30		-11,49	
GR 95	01.04.96	20,30		-11,50	
GR 147	29.04.96	27,10		-11,46	
GR 179	13.05.96	27,10		-11,48	
GR 836/8	12.08.98	17,90		-11,49	
GR 1271/8	14.12.98	17,80		-11,26	
Listanger	16.06.99	16,80		-11,45	

Isotopenwerte im Listsee

Probe	Datum	^3H (TU)	+ / -	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
	04.07.85	60,50	3,70	-11,90	-85,50
	19.11.85	66,80	4,10	-11,89	
	22.01.86	57,20	4,80	-11,90	
	06.04.86	58,00	6,40	-11,80	
	07.04.86	52,00	2,30		
	10.07.86	46,70	3,60	-11,12	
	14.08.86	48,70	4,40	-11,54	
L 02	26.11.86	52,30	5,60	-11,74	
L 05	03.12.86	58,50	5,00	-11,84	
L 33	02.02.86	32,10	2,40	-14,02	
	08.12.87	37,50	3,50	-12,01	-88,00
	02.11.88	31,70	3,50	-11,58	-82,00
	03.02.89	29,40			

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listsee (Teil I)

Brunnen Listsee	25.04.85	07.04.86	14.08.86	30.09.86	25.11.86	26.11.86	02.12.86	15.01.87	28.01.87
Wassertemperatur (°C)	7,2		7,4	8,6	6,0	6,7	6,2	4,0	6,8
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)	26		23	29	25	26	28	29	28
pH-Wert, gemessen (Labor)	7,87		7,40		8,12	8,06	7,94	8,14	
pH-Wert, gemessen (vor Ort)						8,09	8,00		7,98
pH-Wert, berechnet					8,06	8,06	7,96	8,14	
pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung					8,00	8,00	7,94	7,93	
Delta-pH-Wert (Labor)					0,12	0,06	-0,03	0,21	
Delta-pH-Wert (vor Ort)						0,09	0,03		
Delta-pH-Wert (berechnet)					0,06	0,06	-0,01	0,21	
Calcit-Lösungskapazität (mmol/l)					-0,01	-0,01	0,00	-0,04	
Gleichgewichts-pH-Wert					7,99	7,99	7,97	7,90	
Sättigungsindex -> pH (berechnet)				-0,11	0,07	0,07	-0,01	0,24	
Pufferungsintensität (mmol/l)					0,15	0,16	0,20	0,17	
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,06			0,08	0,02	0,02	0,04	0,01	0,07
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	2,90			3,20	2,37	2,44	2,61	2,82	2,84
HCO ₃ ⁻ (mg/l)									
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gesamthärte (°dH)	8,7	9	7,8	10,15	8,5	8,3	9,1	9,3	9,7
Härtebereich	2	2			2	2	2	2	2
Calcium (mg/l Ca)	41		37	48	39	37	38	44	42
Calcium (mmol/l Ca)	1,016		0,916	1,205	0,973	0,923	0,948	1,098	1,048
Magnesium (mg/l Mg)	13		11,4	14,9	13	14	17	13	17
Magnesium (mmol/l Mg)	0,535		0,469	0,613	0,535	0,576	0,699	0,535	0,699
Natrium (mg/l Na)	1		1	0	0	0	1	1	1
Kalium (mg/l K)	0,4		0,8	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Eisen, gesamt (mg/l Fe)				0,005	0,017	0,011	0,005	0,000	0,000
Mangan (mg/l Mn)				0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ammonium (mg/l NH ₄)				0,01	0,14	0,06	0,03	0,02	0,06
Nitrit (mg/l NO ₂)			0	0,014					
Nitrat (mg/l NO ₃)	3	4,1	2,8	4	2	2	2	2	2
Chlorid (mg/l Cl)	6		2,8	3	2	2	2	3	3
Fluorid (mg/l F)		0,04	0,1		0,08	0,08	0,09	0,14	0,14
Sulfat (mg/l SO ₄)	6	8	13	18	28	29	33	26	26
Sulfat (mmol/l SO ₄)	0,0625	0,0833	0,1353	0,1874	0,2914	0,3018	0,3435	0,2706	0,2706
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)	0,01		0,05		0,00	0,00	0,08	0,03	0,04
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)	1		0	4	0	0	0	1	3
Sauerstoff (mg/l O ₂)	13,5		9,8	12,9	10,6	11,6	10,7	8,1	10,2
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)			0	0	1,9	1,3	1,5	1,3	1,2
TOC (mg/l C)				0	0,8	0,7	0,5	1,6	1,3
Extinktion 435 nm (d=1cm)					0,005	0,005	0,000	0,000	0,000
Extinktion 252 nm (d=1cm)					0,011	0,015	0,002	0,004	0,001
Gesamtmineralisation (mg/l)					232	236	255	265	268
Quotient c(Cl)+2 c(SO ₄)/KS4,3					0,28	0,27	0,29	0,22	0,22
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/KS4,4					0,09	0,09	0,09	0,08	0,07
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/c(NO ₃)					5,57	4,49	5,96	5,18	6,19
Quotient 1/2 c(Alkali) / c(Erdalkali)					0,02	0,02	0,01	0,02	0,02

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listsee (Teil II)

Brunnen Listsee	07.07.87	22.09.87	26.10.87	08.12.87	13.04.88	26.05.88	15.12.88	12.05.89	30.11.89
Wassertemperatur (°C)	8,2	7,2	7,7	5,8	7,1	7,3	7,0	7,1	7,4
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)	29	30	34	29	29	32	30	32	35
pH-Wert, gemessen (Labor)		7,93		7,90	7,98				
pH-Wert, gemessen (vor Ort)	8,01	7,97		7,92	7,96		7,96		
pH-Wert, berechnet		7,93		7,94	7,93		7,89		
pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung		7,87		7,87	7,87				
Delta-pH-Wert (Labor)		0,06		0,03	0,11				
Delta-pH-Wert (vor Ort)		0,10		0,05	0,09				
Delta-pH-Wert (berechnet)		0,06		0,07	0,06				
Calcit-Lösungskapazität (mmol/l)		-0,01		-0,01	-0,01				
Gleichgewichts-pH-Wert		7,86		7,87	7,86				
Sättigungsindex -> pH (berechnet)		0,07	0,00	0,07	0,07	-0,09		-0,22	-0,12
Pufferungsintensität (mmol/l)		0,22		0,23	0,22				
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05		0,06	0,07
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	2,60	2,85	3,15	2,84	2,85	2,88		2,79	3,24
HCO ₃ ⁻ (mg/l)									
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
Gesamthärte (°dH)	8,5	9,4	10,0	9,3	9,5	9,2		9,3	10,5
Härtebereich	2	2		2	2				
Calcium (mg/l Ca)	38	43	46	44	42	43	42	44	46
Calcium (mmol/l Ca)	0,948	1,073	1,145	1,098	1,048	1,063	1,048	1,100	1,140
Magnesium (mg/l Mg)	14	15	16	14	16	14	14	14	18
Magnesium (mmol/l Mg)	0,576	0,617	0,646	0,576	0,658	0,576	0,568	0,564	0,741
Natrium (mg/l Na)	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Kalium (mg/l K)	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3
Eisen, gesamt (mg/l Fe)	0,011	0,028	0,005	0,041	0,005	0,013	0,012	0,005	0,005
Mangan (mg/l Mn)	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,002
Ammonium (mg/l NH ₄)	0,00	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Nitrit (mg/l NO ₂)			0,00			0,00	0,01	0,00	0,00
Nitrat (mg/l NO ₃)	3	3	4	3	2	4	4	4	4
Chlorid (mg/l Cl)	3	1	2	1	1	2	2	2	1
Fluorid (mg/l F)	0,13	0,11		0,15	0,13				
Sulfat (mg/l SO ₄)	23	23	17	18	18	20	18	20	21
Sulfat (mmol/l SO ₄)	0,2394	0,2394	0,1769	0,1874	0,1874	0,2092	0,1884	0,2092	0,2186
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)	0,04	0,06		0,01	0,01				
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)	1	1	1,8	1	1	0,6	1,5	1,7	1,6
Sauerstoff (mg/l O ₂)	10,0	9,8	12,2	9,3	10,5	14,5	15,6	9,5	15,1
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)	2,1	1,6	1,3	2,0	2,2	1,5		0,0	0,4
TOC (mg/l C)	1,5	0,5	1,2	0,7	1,8	1,0	0,3	0,4	0,6
Extinktion 435 nm (d=1cm)	0,000	0,003		0,000	0,000				
Extinktion 252 nm (d=1cm)	0,004	0,011		0,000	0,003				
Gesamtmineralisation (mg/l)	243	264		257	256				
Quotient c(Cl)+2 c(SO ₄)/KS4,3	0,22	0,18		0,15	0,15				
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/KS4,4	0,08	0,06		0,05	0,05				
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/c(NO ₃)	4,34	2,67		2,34	3,07				
Quotient 1/2 c(Alkali) / c(Erdalkali)	0,03	0,03		0,02	0,02				

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listsee (Teil III)

Brunnen Listsee	21.05.90	06.07.90	27.11.90	07.04.91	14.05.91	16.07.91	18.10.91	06.11.91	09.03.92
Wassertemperatur (°C)	7,4	7,8	6,7	6,8	6,8	7,0	7,0	6,5	6,9
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)	27	36	32	34	31	30	31	32	30
pH-Wert, gemessen (Labor)	8,06					7,96	7,86		7,87
pH-Wert, gemessen (vor Ort)	7,96			7,93		7,90	7,84		7,84
pH-Wert, berechnet	8,00					7,93	7,89		7,98
pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung	7,95					7,87	7,84		7,87
Delta-pH-Wert (Labor)	0,11					0,09	0,02		0,00
Delta-pH-Wert (vor Ort)	0,01					0,03	0,00		-0,03
Delta-pH-Wert (berechnet)	0,05					0,06	0,05		0,11
Calcit-Lösungskapazität (mmol/l)	-0,01					-0,01	-0,01		-0,02
Gleichgewichts-pH-Wert	7,95					7,86	7,83		7,86
Sättigungsindex -> pH (berechnet)	0,05		0,20		0,19	0,06	0,05	0,28	0,11
Pufferungsintensität (mmol/l)	0,17					0,22	0,24		0,21
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,03	0,09	0,06		0,05	0,05	0,06	0,05	0,04
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	2,48	3,44	2,93		2,86	2,84	2,82	2,85	2,84
HCO ₃ ⁻ (mg/l)									
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gesamthärte (°dH)	8,2	10,6	9,3		9,0	9,4	9,6	9,3	9,4
Härtebereich	2					2	2		2
Calcium (mg/l Ca)	38	45	43	42	41	43	46	44	43
Calcium (mmol/l Ca)	0,948	1,110	1,080	1,048	1,023	1,073	1,148	1,105	1,073
Magnesium (mg/l Mg)	13	19	14		14	15	14	14	15
Magnesium (mmol/l Mg)	0,535	0,786	0,576	0,000	0,588	0,617	0,576	0,560	0,617
Natrium (mg/l Na)	0	0	1		1	0		1	0
Kalium (mg/l K)	0,3	0,3	0,4		0,3	0,3		0,3	0,3
Eisen, gesamt (mg/l Fe)	0,005	0,005	0,009		0,005	0,000	0,000	0,005	0,000
Mangan (mg/l Mn)	0,000	0,002	0,002		0,002	0,000	0,000	0,002	0,007
Ammonium (mg/l NH ₄)	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Nitrit (mg/l NO ₂)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrat (mg/l NO ₃)	3	4	4	3	3	4	1	4	4
Chlorid (mg/l Cl)	2	1	5		1	3	1	1	0
Fluorid (mg/l F)	0,12			0,19		0,14	0,12		
Sulfat (mg/l SO ₄)	9	18	24	21	17	17	21	18	17
Sulfat (mmol/l SO ₄)	0,0937	0,1874	0,2456	0,2186	0,1749	0,1769	0,2186	0,1905	0,1769
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)	0,02					0,03			0,01
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)	1	1,4	1,6		1,8	1		1,9	1
Sauerstoff (mg/l O ₂)	14,6	14,3	9,6		10,9	10,7	10,7	12,8	11,6
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)	1,6	0,4	0,0		0,2	1,6	2,9	0,7	0,8
TOC (mg/l C)	1,2	0,6	0,2		0,4	0,7		0,3	1,3
Extinktion 435 nm (d=1cm)	0,000					0,001			0,000
Extinktion 252 nm (d=1cm)	0,005					0,006			0,005
Gesamtmineralisation (mg/l)	219					258	253		255
Quotient c(Cl)+2 c(SO ₄)/KS4,3	0,11					0,16	0,17		0,12
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/KS4,4	0,05					0,07	0,06		0,03
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/c(NO ₃)	2,56					3,08	9,93		1,37
Quotient 1/2 c(Alkali) / c(Erdalkali)	0,01					0,01	-0,04		0,01

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listsee (Teil IV)

Brunnen Listsee	30.04.92	11.11.92	15.12.93	01.09.94	13.02.95	13.09.95	20.10.95	13.12.95	27.12.95
Wassertemperatur (°C)	6,9	7,0	6,8	6,8	7,3	7,2	6,7	8,9	9,9
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)	31	32	30	31	31	58	30	44	45
pH-Wert, gemessen (Labor)		7,86			7,90				7,92
pH-Wert, gemessen (vor Ort)		7,96			8,06	7,87		7,87	7,87
pH-Wert, berechnet		7,89			7,84				
pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung		7,86			7,89				
Delta-pH-Wert (Labor)		0,00			0,01				
Delta-pH-Wert (vor Ort)		0,10			0,17				
Delta-pH-Wert (berechnet)		0,03			-0,05				
Calcit-Lösungskapazität (mmol/l)		-0,01			0,01				
Gleichgewichts-pH-Wert		7,85			7,90				
Sättigungsindex -> pH (berechnet)	0,22	0,04	0,03	0,14	-0,06		0,28		
Pufferungsintensität (mmol/l)		0,24			0,25				
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,05	0,06	0,08	0,06	0,07		0,05		
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	2,76	2,83	2,78	2,83	2,69	2,76	2,70	2,83	2,95
HCO ₃ ⁻ (mg/l)									
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00		
Gesamthärte (°dH)	9,0	8,9	9,9	9,4	8,8	16,6	8,9	11,7	12,1
Härtebereich		2			2	3		2	2
Calcium (mg/l Ca)	42	43	41	44	40	73	41	51	52
Calcium (mmol/l Ca)	1,055	1,073	1,028	1,095	0,998	1,821	1,021	1,273	1,297
Magnesium (mg/l Mg)	14	13	14	14	14	28	14	20	21
Magnesium (mmol/l Mg)	0,555	0,535	0,555	0,588	0,576	1,152	0,576	0,823	0,864
Natrium (mg/l Na)	1	2	2	2	1	25	2	11	7
Kalium (mg/l K)	0,3	0,4	0,4	0,8	0,0		0,4		
Eisen, gesamt (mg/l Fe)	0,005	0,000	0,005	0,011	0,006		0,005		
Mangan (mg/l Mn)	0,002	0,000	0,002	0,002	0,000		0,002		
Ammonium (mg/l NH ₄)	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00		0,01		
Nitrit (mg/l NO ₂)	0,00		0,00	0,00			0,00		
Nitrat (mg/l NO ₃)	3	5	4	5	4		4		
Chlorid (mg/l Cl)	1	0	2	3	2	24	1	8	7
Fluorid (mg/l F)		0,16			0,17				
Sulfat (mg/l SO ₄)	18	17	19	18	17	175	21	80	71
Sulfat (mmol/l SO ₄)	0,1905	0,1769	0,1967	0,1905	0,1769	1,8215	0,2155	0,8327	0,7390
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)		0,01			0,02				
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)	1,8	1	2,2	2	0		2,5		
Sauerstoff (mg/l O ₂)	11,1	10,9	11,4	11,0	10,5	17,0	11,4	7,0	5,4
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)	1,0	2,5	0,6	0,4	1,8		0,0		
TOC (mg/l C)	0,2	3,0	0,4	0,8			0,2		
Extinktion 435 nm (d=1cm)									
Extinktion 252 nm (d=1cm)									
Gesamtmineralisation (mg/l)		254			242				
Quotient c(Cl)+2 c(SO ₄)/KS4,3		0,13			0,15				
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/KS4,4									
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/c(NO ₃)									
Quotient 1/2 c(Alkali) / c(Erdalkali)		0,03			0,02				

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listsee (Teil V)

Brunnen Listsee	10.01.96	22.01.96	05.02.96	06.05.96	13.11.96	22.05.97	10.11.97	27.04.98	29.06.98
Wassertemperatur (°C)	6,6	6,7	6,8	6,7	7	6,7	6,9	7,3	7,3
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)	44	44	44	31	31	30	31		
pH-Wert, gemessen (Labor)	7,92				7,94		7,91	7,89	7,93
pH-Wert, gemessen (vor Ort)	7,91	7,84	7,92		7,90		8,00		7,96
pH-Wert, berechnet					7,93		7,89	7,90	7,94
pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung					7,90		7,84	7,86	7,87
Delta-pH-Wert (Labor)					0,04		0,07	0,03	0,06
Delta-pH-Wert (vor Ort)					0,00		0,16		
Delta-pH-Wert (berechnet)					0,03		0,05	0,04	0,07
Calcit-Lösungskapazität (mmol/l)					-0,01		-0,01	-0,01	-0,01
Gleichgewichts-pH-Wert					7,89		7,83	7,85	7,86
Sättigungsindex -> pH (berechnet)				0,13	0,04	0,26	0,06	0,05	0,08
Pufferungsintensität (mmol/l)					0,22		0,24	0,25	0,23
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)				0,07	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	3,01	3,04	3,10	2,79	2,77	2,85	2,80	2,96	2,90
HCO ₃ ⁻ (mg/l)								0,18	0,18
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)				0,00		0,00			
Gesamthärte (°dH)	12,1	11,2	11,2	8,93	9	9,1	8,9	9,4	8,9
Härtebereich	2	2	2		2		2	2	2
Calcium (mg/l Ca)	54	50	51	40,2	40	43	46	41	41
Calcium (mmol/l Ca)	1,347	1,248	1,273	1,003	0,998	1,073	1,148	1,023	1,023
Magnesium (mg/l Mg)	20	19	18	14,5	15	13,5	11	16	14
Magnesium (mmol/l Mg)	0,823	0,782	0,741	0,597	0,617	0,555	0,453	0,658	0,576
Natrium (mg/l Na)	6	5	5	1,3	1	1,3	1	1	0,9
Kalium (mg/l K)				0,4	0,4	0,5	0,4		
Eisen, gesamt (mg/l Fe)				0,005	0	0,005			
Mangan (mg/l Mn)				0,002	0	0,002			
Ammonium (mg/l NH ₄)				0,01	0	0,01			
Nitrit (mg/l NO ₂)				0,005		0,001			
Nitrat (mg/l NO ₃)				3,8	3	3,9	3		
Chlorid (mg/l Cl)	6	5	5	1,2	2	1,2	2	1,9	3,5
Fluorid (mg/l F)					0,17				
Sulfat (mg/l SO ₄)	72	71	65	17,8	18	17,6	18	19	18
Sulfat (mmol/l SO ₄)	0,7494	0,7390	0,6766	0,1853	0,1874	0,1832	0,1874	0,1978	0,1874
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)									
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)				2,2	2	1,9			
Sauerstoff (mg/l O ₂)	5,7	6,0	6,1	11,2	10,0	10,5	10,4	10	10
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)				0		0			
TOC (mg/l C)				0,34		0,57			
Extinktion 435 nm (d=1cm)									
Extinktion 252 nm (d=1cm)									
Gesamtmineralisation (mg/l)					251		253		
Quotient c(Cl)+2 c(SO ₄)/KS4,3					0,16		0,15		
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/KS4,4								0,15	0,16
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/c(NO ₃)									
Quotient 1/2 c(Alkali) / c(Erdalkali)					0,02		0,02	0,01	0,01

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listsee (Teil VI)

Brunnen Listsee	30.06.98	24.08.98	20.10.98	14.12.98	16.03.99	15.04.99	16.06.99
Wassertemperatur (°C)	6,9	7	7,4	6,7	6,6	6,7	6,7
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)	30			29	26	29	29
pH-Wert, gemessen (Labor)		7,88	8,01	7,94	8,04	7,92	7,98
pH-Wert, gemessen (vor Ort)		7,80	8,17		8,14	8,10	8,18
pH-Wert, berechnet		7,92	7,93	7,85	8,01	7,89	8,02
pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung		7,90	7,91	7,87	7,98	7,91	7,92
Delta-pH-Wert (Labor)		-0,01	0,10	0,07	0,06	0,01	0,06
Delta-pH-Wert (vor Ort)					0,16	0,19	0,26
Delta-pH-Wert (berechnet)		0,02	0,02	-0,02	0,03	-0,02	0,10
Calcit-Lösungskapazität (mmol/l)		0,00	0,00	0,01	-0,01	0,01	-0,02
Gleichgewichts-pH-Wert		7,90	7,91	7,87	7,97	7,91	7,90
Sättigungsindex -> pH (berechnet)	0,15	0,02	0,02	-0,02	0,04	-0,02	0,12
Pufferungsintensität (mmol/l)		0,22	0,22	0,26	0,18	0,24	0,19
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,05	0,05	0,05	0,07	0,03	0,06	0,03
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	2,78	2,73	2,76	2,79	2,58	2,82	2,80
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17	0,17
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,00				0,00	0,00	
Gesamthärte (°dH)	9,02	9	8,4	9	7,6	9,2	8,9
Härtebereich		2	2	2	2	2	2
Calcium (mg/l Ca)	41,4	40	37	42	35	38	39
Calcium (mmol/l Ca)	1,033	0,998	0,923	1,048	0,873	0,948	0,973
Magnesium (mg/l Mg)	13,8	15	14	14	12	17	15
Magnesium (mmol/l Mg)	0,568	0,617	0,576	0,576	0,494	0,699	0,617
Natrium (mg/l Na)	1,5	1,2	1,2	1	0,8	5	1,6
Kalium (mg/l K)	0,4			0,3			
Eisen, gesamt (mg/l Fe)	0,005						
Mangan (mg/l Mn)	0,002						
Ammonium (mg/l NH ₄)	0,01						
Nitrit (mg/l NO ₂)	0,001						
Nitrat (mg/l NO ₃)	4			5			
Chlorid (mg/l Cl)	1,7	4,1	3,7	4	3,3	0	4
Fluorid (mg/l F)							
Sulfat (mg/l SO ₄)	21	18	11	17	14	17	19
Sulfat (mmol/l SO ₄)	0,2186	0,1874	0,1145	0,1769	0,1457	0,1769	0,1978
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)							
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)	2,1						
Sauerstoff (mg/l O ₂)	9,4	10	11	11,0	12	11	11
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)	0,3						
TOC (mg/l C)	0,43						
Extinktion 435 nm (d=1cm)							
Extinktion 252 nm (d=1cm)							
Gesamtmineralisation (mg/l)				254	222	249	
Quotient c(Cl)+2 c(SO ₄)/KS4,3				0,17			
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/KS4,4		0,18	0,12		0,15	0,13	0,18
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/c(NO ₃)							
Quotient 1/2 c(Alkali) / c(Erdalkali)		0,02	0,02	0,02	0,01	0,08	0,02

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listsee (Teil VII)

Brunnen Listsee	25.04.85	07.04.86
Arsen (mg/l As)	0,0009	
Blei (mg/l Pb)	0	
Cadmium (mg/l Cd)	0	0,001
Chrom (mg/l Cr)	0	0,01
Cyanid (mg/l)	0	0,005
Fluorid (mg/l)	0,11	0,04
Nickel (mg/l Ni)		
Quecksilber (mg/l Hg)	0	0,001

Brunnen Listsee	30.09.86	26.10.87	26.05.88	12.05.89	30.11.89	06.07.90	27.11.90	14.05.91	06.11.91
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO ₂ (mg/l)	3,14	1,6	1,6	2,8	3,1	3,8	2,4	2,2	1,6
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO ₂ (mmol/l)	0,0713	0,0364	0,0364	0,0636	0,0704	0,0863	0,0545	0,0500	0,0364
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO ₂ (mg/l)									
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO ₂ (mmol/l)									

Brunnen Listsee	30.04.92	15.12.93	01.09.94	20.10.95	06.05.96	22.05.97	27.04.98	29.06.98	30.06.98
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO ₂ (mg/l)	1,8	3,7	2,8	1,8	3	2,1	2,6	2,2	1,8
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO ₂ (mmol/l)	0,0409	0,0841	0,0636	0,0409	0,0682	0,0477	0,0591	0,0500	0,0409
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO ₂ (mg/l)							2,9	2,6	
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO ₂ (mmol/l)							0,0659	0,0591	

Brunnen Listsee	24.08.98	20.10.98	16.03.99	15.04.99	16.06.99
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO ₂ (mg/l)	2,2	2,2	1,3	2,6	1,3
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO ₂ (mmol/l)	0,0500	0,0500	0,0295	0,0591	0,0295
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO ₂ (mg/l)	2,3	2,3	1,4	2,5	1,7
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO ₂ (mmol/l)	0,0523	0,0523	0,0318	0,0568	0,0386

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listwirt (Teil I)

[illegible]

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listwirt (Teil II)

Brunnen Listwirt	16.07.91	18.10.91	09.03.92	05.07.93	02.08.93	29.10.93	02.11.93	13.09.95	13.12.95
Wassertemperatur (°C)	7,7	7,6	7,1	9,7	8,5	8,3	7,2	7,2	8,9
Elektr. Leifähigkeit (mS/m)	42	42	46	44	43	47	44	58	44
pH-Wert, gemessen (Labor)	7,86	7,75	7,84	7,80	7,76	7,85	7,80	/	/
pH-Wert, gemessen (vor Ort)	7,79	7,74	7,84	7,79	7,83	7,90	7,86	7,87	7,87
pH-Wert, berechnet	7,83	7,77	7,88	7,75	7,77	7,85	7,83	/	/
pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung	7,78	7,77	7,84	7,74	7,75	7,80	7,80	/	/
Delta-pH-Wert (Labor)	0,08	-0,02	0,00	0,06	0,01	0,05	0,00	/	
Delta-pH-Wert (vor Ort)	0,01	-0,03	0,00	0,05	0,08	0,10	0,06	/	/
Delta-pH-Wert (berechnet)	0,05	0,00	0,04	0,01	0,02	0,05	0,03	/	/
Calcit-Lösungskapazität (mmol/l)	-0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,01	/	/
Gleichgewichts-pH-Wert	7,77	7,77	7,84	7,73	7,75	7,79	7,80	/	/
Sättigungsindex -> pH (berechnet)	0,06	0,00	0,04	0,02	0,02	0,06	0,03	/	/
Pufferungsintensität (mmol/l)	0,28	0,32	0,23	0,31	0,32	0,26	0,28	/	/
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,08	0,10	0,06	0,10	0,10	0,07	0,08	/	/
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	3,05	3,08	3,72	2,96	3,08	2,88	3,00	2,76	2,83
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	/	/
Gesamthärte (°dH)	11,8	12	12,2	12,2	12	12,6	12,3	16,6	11,7
Härtebereich	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Calcium (mg/l Ca)	52	52	53	56	53	54	52	73	51
Calcium (mmol/l Ca)	1,297	1,297	1,322	1,397	1,322	1,347	1,297	1,821	1,273
Magnesium (mg/l Mg)	20	21	21	10	20	22	22	28	20
Magnesium (mmol/l Mg)	0,823	0,864	0,864	0,411	0,823	0,905	0,905	1,152	0,823
Natrium (mg/l Na)	5	/	12	9	6	11	6	25	11
Kalium (mg/l K)	0,4	/	0,7	0,5	0,9	0,6	0,5		
Eisen, gesamt (mg/l Fe)	0,000	0,000	0,011	0,065	0,007	0,024	0,006		
Mangan (mg/l Mn)	0,000	0,170	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000		
Ammonium (mg/l NH ₄)	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01		
Nitrit (mg/l NO ₂)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Nitrat (mg/l NO ₃)	3	1	2	3	3	2	2		
Chlorid (mg/l Cl)	5	5	10	7	6	8	5	24	8
Fluorid (mg/l F)	0,28	0,30	0,44	0,42	0,35	0,41	0,33		
Sulfat (mg/l SO ₄)	54	52	79	72	58	82	68	175	80
Sulfat (mmol/l SO ₄)	0,562	0,541	0,822	0,749	0,604	0,853	0,708	1,821	0,833
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)	0,03		0,01	0,02	0,04	0,03	0,01		
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)	0		2	2	1	2	1		
Sauerstoff (mg/l O ₂)	7,3	7,3	7	7,4	7,1	5,6	7,3	17	7
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)	1,7	3,2	1,3	2	2,2	1,4	2,3		
TOC (mg/l C)	0,8		1,3	0,3	1,1	1,1	1,4		
Extinktion 435 nm (d=1cm)	0,001		0,001	0,030	0,001	0,001	0,000		
Extinktion 252 nm (d=1cm)	0,009		0,006	0,034	0,006	0,006	0,006		
Gesamtmineralisation (mg/l)	326	320	345	350	337	358	341		
Quotient c(Cl)+2 c(SO ₄)/KS4,3	0,42	0,40	0,71	0,57	0,45	0,68	0,52		
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/KS4,4	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10		
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/c(NO ₃)	0,05	0,00	0,12	0,10	0,07	0,11	0,07		
Quotient 1/2 c(Alkali) / c(Erdalkali)									

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listwirt (Teil IV)

[illegible]

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listwirt (Teil V)

Brunnen Listwirt	20.10.98	14.12.98	16.03.99	15.04.99	16.06.99
Wassertemperatur (°C)	7,9	7,5	7,6	7,4	7,7
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)		42	42	42	43
pH-Wert, gemessen (Labor)	7,84	7,79	7,78	7,76	7,86
pH-Wert, gemessen (vor Ort)	8,02		7,95	8,30	8,04
pH-Wert, berechnet	7,91	7,81	7,82	7,78	8,00
pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung	7,75	7,78	7,74	7,77	7,79
Delta-pH-Wert (Labor)	0,07	0,01	0,04	-0,01	0,07
Delta-pH-Wert (vor Ort)					0,25
Delta-pH-Wert (berechnet)	0,16	0,03	0,08	0,01	0,21
Calcit-Lösungskapazität (mmol/l)	-0,03	-0,01	-0,02	0,00	-0,05
Gleichgewichts-pH-Wert	7,75	7,77	7,73	7,77	7,75
Sättigungsindex -> pH (berechnet)	0,16	0,04	0,09	0,01	0,25
Pufferungsintensität (mmol/l)	0,25	0,31	0,31	0,33	0,22
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,06	0,09	0,09	0,10	0,04
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	3,07	3,12	3,26	3,18	3,16
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)					
Gesamthärte (°dH)	12,4	11,9	12,3	12,4	12
Härtebereich	2	2	2	2	2
Calcium (mg/l Ca)	53	51	54	51	53
Calcium (mmol/l Ca)	1,322	1,273	1,347	1,273	1,322
Magnesium (mg/l Mg)	22	21	21	23	20
Magnesium (mmol/l Mg)	0,905	0,864	0,864	0,946	0,823
Natrium (mg/l Na)	7,7	6	4	9	7,2
Kalium (mg/l K)		0,5			
Eisen, gesamt (mg/l Fe)					
Mangan (mg/l Mn)					
Ammonium (mg/l NH ₄)					
Nitrit (mg/l NO ₂)					
Nitrat (mg/l NO ₃)		4			
Chlorid (mg/l Cl)	6,9	7	5	7	7
Fluorid (mg/l F)					
Sulfat (mg/l SO ₄)	48	60	63	61	65
Sulfat (mmol/l SO ₄)	0,500	0,625	0,656	0,635	0,677
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)					
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)					
Sauerstoff (mg/l O ₂)	7,1	6,7	5,6	6,5	7,1
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)					
TOC (mg/l C)					
Extinktion 435 nm (d=1cm)					
Extinktion 252 nm (d=1cm)					
Gesamtmineralisation (mg/l)		340	346	345	
Quotient c(Cl)+2 c(SO ₄)/KS4,3	0,39	0,47	0,45	0,46	0,49
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/KS4,4					
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/c(NO ₃)					
Quotient 1/2 c(Alkali) / c(Erdalkali)	0,08	0,07	0,05	0,09	0,07

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listwirt (Teil V)

Brunnen Listwirt	27.04.98	30.06.98	29.06.98	24.08.98	20.10.98	15.04.99	16.06.99
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO ₂ (mg/l)	4,4	3,6	3,9	3,5	2,6	4,4	1,7
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO ₂ (mg/l)	4,4		4,4	4	3,8	4,5	3,1

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listanger (Teil I)

Brunnen Listanger	08.02.90	18.02.90	11.06.90	16.10.90	07.04.91	16.07.91	18.10.91	09.03.92	11.11.93
Wassertemperatur (°C)	7,4	8,2	7,9	7,9	7,7	8	7,8	8,1	8
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)	36	36	36	36	45	42	41	41	42
pH-Wert, gemessen (Labor)	7,71	7,74	7,66	7,58	7,59	7,66	7,56	7,63	7,63
pH-Wert, gemessen (vor Ort)	7,57	7,52	7,68	7,64	7,59	7,73	7,59	7,65	7,65
pH-Wert, berechnet	7,73	7,72	7,75	7,63	7,61	7,68	7,63	7,66	7,66
pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung	7,68	7,69	7,66	7,63	7,65	7,66	7,62	7,65	7,65
Delta-pH-Wert (Labor)	0,03	0,11	0,00	-0,05	-0,06	0,00	-0,06	-0,02	-0,0
Delta-pH-Wert (vor Ort)	-0,11	-0,11	0,02	0,01	-0,06	0,70	-0,03	0,00	0,29
Delta-pH-Wert (berechnet)	0,05	0,09	0,09	0,00	-0,04	0,02	0,01	0,01	-0,01
Calcit-Lösungskapazität (mmol/l)	-0,02	-0,04	-0,03	0,00	0,02	-0,01	0,00	0,00	0,01
Gleichgewichts-pH-Wert	7,67	7,61	7,63	7,63	7,66	7,66	7,62	7,64	7,66
Sättigungsindex -> pH (berechnet)	0,06	0,11	0,11	0,00	-0,05	0,02	0,01	0,02	-0,02
Pufferungsintensität (mmol/l)	0,43	0,42	0,41	0,52	0,54	0,46	0,52	0,48	0,50
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,14	0,14	0,13	0,19	0,20	0,16	0,19	0,17	0,18
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	3,70	3,67	3,71	3,75	3,71	3,70	3,73	3,67	3,65
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gesamthärte (°dH)	12,50	12,50	13,20	13,30	12,90	12,50	12,60	12,80	12,50
Härtebereich	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Calcium (mg/l Ca)	54	60	57	58	55	54	59	56	55
Calcium (mmol/l Ca)	1,347	1,497	1,422	1,447	1,372	1,347	1,472	1,397	1,372
Magnesium (mg/l Mg)	22	18	23	23	23	22	19	22	21
Magnesium (mmol/l Mg)	0,905	0,741	0,946	0,946	0,946	0,905	0,782	0,905	0,864
Natrium (mg/l Na)	0	1	0	0	0	0	/	0	1
Kalium (mg/l K)	0	0,5	0,4	0,1	0,1	0,2	/	0,2	0,4
Eisen, gesamt (mg/l Fe)	0,000	0,690	0,054	0,042	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000
Mangan (mg/l Mn)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ammonium (mg/l NH ₄)	0,00	0,00	0,90	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
Nitrit (mg/l NO ₂)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrat (mg/l NO ₃)	4	4	5	4	4	4	2	4	4
Chlorid (mg/l Cl)	2	2	5	1	2	2	1	0	0
Fluorid (mg/l F)	0,13	0,10	0,12	0,11	0,16	0,12	0,11	0,15	0,13
Sulfat (mg/l SO ₄)	30	29	33	35	37	32	33	33	36
Sulfat (mmol/l SO ₄)	0,312	0,302	0,343	0,364	0,385	0,333	0,343	0,343	0,375
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)	0,02	0,01	0,07	0,02	0,02	0,02	/	0,01	0,01
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)	0	1	1	1	/	0	/	1	1
Sauerstoff (mg/l O ₂)	8,8	8,8	8,3	8,4	8,2	8,3	8,5	9,3	4,6
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)	2,6	4,3	2,5	1,9	2,2	2,3	3	2,1	4,2
TOC (mg/l C)	1,7	1,6	1,2	1,6	1,6	0,9	/	1,5	
Extinktion 435 nm (d=1cm)	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	/	0,00	0,00
Extinktion 252 nm (d=1cm)	0,01	0,02	0,06	0,01	0,01	0,01	/	0,01	0,01
Gesamtmineralisation (mg/l)	337	341	351	351	341	342	342	340	342
Quotient c(Cl)+2 c(SO ₄)/KS4,3	0,18	0,18	0,20	0,20	0,23	0,20	0,20	0,19	0,21
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/KS4,3	0,06	0,06	0,09	0,06	0,07	0,07	0,06	0,05	
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/c(NO ₃)	3,34	3,43	3,95	3,39	4,08	3,81	6,81	2,66	
Quotient 1/2 c(Alkali) / c(Erdalkali)	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listanger (Teil II)

Brunnen Listanger	22.04.94	06.12.95	06.05.96	13.11.96	22.05.97	10.11.97	27.04.98	29.06.98	30.06.98
Wassertemperatur (°C)	7,3	7,5	7,6	7,7	7,6	7,7	8,3	8,3	7,9
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)	41	42	41	42	41	42			41
pH-Wert, gemessen (Labor)	7,61	7,69	7,70	7,64	7,73	7,69	7,61	7,73	
pH-Wert, gemessen (vor Ort)	7,64	7,75		7,61		7,67		7,88	
pH-Wert, berechnet	7,67	7,67		7,65		7,65	7,71	7,72	7,64
pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung	7,65	7,66		7,64		7,62	7,64	7,64	7,64
Delta-pH-Wert (Labor)	-0,04	0,03		0,00		0,07	-0,02	0,09	
Delta-pH-Wert (vor Ort)	-0,01	0,09		-0,03		0,05			
Delta-pH-Wert (berechnet)	0,02	0,01		0,01		0,03	0,07	0,08	0,05
Calcit-Lösungskapazität (mmol/l)	0,00	0,00		0,00		-0,01	-0,03	-0,03	
Gleichgewichts-pH-Wert	7,65	7,66		7,64		7,61	7,62	7,62	
Sättigungsindex -> pH (berechnet)	0,02	0,01	0,13	0,01	0,16	0,04	-0,09	0,10	0,06
Pufferungsintensität (mmol/l)	0,49	0,49		0,50		0,50	0,47	0,45	0,49
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,17	0,17		0,18		0,18	0,16	0,15	0,15
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	3,74	3,78		3,74		3,77	3,96	3,94	3,73
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,00	0,00							
Gesamthärte (°dH)	12,90	12,30	12,53	13,20	12,83	12,70	12,8	12,7	12,66
Härtebereich	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Calcium (mg/l Ca)	56	54	58	57	59	60	54	55	56
Calcium (mmol/l Ca)	1,397	1,347	1,447	1,422	1,472	1,497	1,347	1,372	1,397
Magnesium (mg/l Mg)	22	21	19	23	20	19	23	22	21
Magnesium (mmol/l Mg)	0,905	0,864	0,782	0,946	0,823	0,782	0,946	0,905	0,864
Natrium (mg/l Na)			0,5	0	0,3	0	0,3	0,4	0,5
Kalium (mg/l K)			0,3	0,2	0,3	0,3			0,3
Eisen, gesamt (mg/l Fe)	0,015	0,016		0,006					
Mangan (mg/l Mn)	0,000	0,000		0,000					
Ammonium (mg/l NH ₄)	0,00	0,00		0,00					
Nitrit (mg/l NO ₂)		0,00	0,00	0,00	0,00				
Nitrat (mg/l NO ₃)	4	3	4	3	4	4			4
Chlorid (mg/l Cl)	0	0	0,7	2	0,5	1	2,1	2	1
Fluorid (mg/l F)		0,08		0,14					
Sulfat (mg/l SO ₄)	37	32	37	33		37	36	34	35
Sulfat (mmol/l SO ₄)	0,385	0,333	0,385	0,343		0,385	0,375	0,354	0,364
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)									
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)			1,7		1,5				2,1
Sauerstoff (mg/l O ₂)	8,4	7,9	10,4	8,7	8,9	8,4	8,7	9,8	9,2
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)	2,6	1,9	0,6		0,8				1,1
TOC (mg/l C)			0,46		0,62				0,42
Extinktion 435 nm (d=1cm)									
Extinktion 252 nm (d=1cm)									
Gesamtmineralisation (mg/l)	346	387		349		352			
Quotient c(Cl)+2 c(SO ₄)/KS4,3	0,21	0,38		0,20		0,22			
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/KS4,3							0,2	0,19	
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/c(NO ₃)									
Quotient 1/2 c(Alkali) / c(Erdalkali)	-0,01	0,19		0,00		0,00	< 0,01	<0,01	

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listanger (Teil III)

Brunnen Listanger	24.08.98	20.10.98	14.12.98	16.03.99	15.04.99	16.06.99
Wassertemperatur (°C)	7,9	7,9	7,7	7,7	7,6	7,8
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)			42	41	41	42
pH-Wert, gemessen (Labor)	7,70	7,59	7,61	7,60	7,59	7,66
pH-Wert, gemessen (vor Ort)	7,80	7,85	7,73	7,73	7,89	7,96
pH-Wert, berechnet	7,71	7,63	7,65	7,63	7,64	7,79
pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung	7,66	7,62	7,64	7,62	7,62	7,65
Delta-pH-Wert (Labor)	0,04	-0,02	-0,03	-0,02	-0,03	0,01
Delta-pH-Wert (vor Ort)			0,09			0,31
Delta-pH-Wert (berechnet)	0,05	0,01	0,01	0,01	0,02	0,14
Calcit-Lösungskapazität (mmol/l)	-0,02	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,05
Gleichgewichts-pH-Wert	7,65	7,62	7,64	7,61	7,62	7,62
Sättigungsindex -> pH (berechnet)	0,06	0,01	0,01	0,20	0,02	0,17
Pufferungsintensität (mmol/l)	0,44	0,55	0,53	0,55	0,56	0,40
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,15	0,20	0,19	0,20	0,20	0,12
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	3,71	3,88	3,89	3,94	4,00	3,93
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)						
Gesamthärte (°dH)	12,3	13,3	12,8	12,8	12,5	12,9
Härtebereich	2	2	2	2	2	2
Calcium (mg/l Ca)	55	56	54	56	55	56
Calcium (mmol/l Ca)	1,372	1,397	1,347	1,397	1,372	1,397
Magnesium (mg/l Mg)	20	24	23	22	21	22
Magnesium (mmol/l Mg)	0,823	0,987	0,946	0,905	0,864	0,905
Natrium (mg/l Na)	0,4	0,4	0	0	0	0,4
Kalium (mg/l K)			0,2			
Eisen, gesamt (mg/l Fe)						
Mangan (mg/l Mn)						
Ammonium (mg/l NH ₄)						
Nitrit (mg/l NO ₂)						
Nitrat (mg/l NO ₃)			5			
Chlorid (mg/l Cl)	1	1	2	2	0	3,5
Fluorid (mg/l F)						
Sulfat (mg/l SO ₄)	34	27	32	32	31	37
Sulfat (mmol/l SO ₄)	0,354	0,281	0,333	0,333	0,323	0,385
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)						
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)						
Sauerstoff (mg/l O ₂)	8,5	8,9	8,5	8,9	8,1	8,8
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)						
TOC (mg/l C)						
Extinktion 435 nm (d=1cm)						
Extinktion 252 nm (d=1cm)						
Gesamtmineralisation (mg/l)			354	353	351	
Quotient c(Cl)+2 c(SO ₄)/KS4,3			0,19	0,19	0,16	0,22
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/KS4,3	0,19	0,14				
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/c(NO ₃)						
Quotient 1/2 c(Alkali) / c(Erdalkali)	0,01	0,01	0	0	0,01	0

Chemische Analysen der Wässer aus dem Brunnen Listanger (Teil IV)

Brunnen Listanger	06.05.96	22.05.97	27.04.98	29.06.98	30.06.98	24.08.98	20.10.98	15.04.99	16.06.99
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO ₂ (mg/l)	7,8	7,8	7	6,6	6,7	6,6	8,8	8,8	5,2
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO ₂ (mg/l)			8,6	8,3		7,5	9	9,2	7,8

Chemische Analysen der Quelle Wasserloch

Quelle Wasserloch	27.04.98	29.06.98	24.08.98	20.10.98	11.12.98	15.04.99	16.06.99	31.08.99
Wassertemperatur (°C)	6,4	6,6	6,1	6,2	5,8	6,2		6,1
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)			25		25	23		25
pH-Wert, gemessen (Labor)	8,04	8,07	7,93	8,10	8,10	7,91	8,07	8,03
pH-Wert, gemessen (vor Ort)		8,20	8,09		8,13	8,10		7,91
pH-Wert, berechnet	8,04	7,85	8,00	8,07	7,96	7,85	7,99	8,00
pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung	8,05	7,94	7,97	7,95	7,94	7,97	7,94	7,96
Delta-pH-Wert (Labor)	0,00	0,13	-0,04	0,15	0,16	-0,06	0,13	0,07
Delta-pH-Wert (vor Ort)								-0,05
Delta-pH-Wert (berechnet)	0,00	-0,08	0,02	0,12	0,02	-0,12	0,05	0,04
Calcit-Lösungskapazität (mmol/l)	0,00	0,02	0,00	-0,02	0,00	0,02	-0,01	-0,01
Gleichgewichts-pH-Wert	8,06	7,95	7,97	7,93	7,94	7,99	7,93	7,95
Sättigungsindex -> pH (berechnet)	-0,01	-0,09	0,03	0,14	0,02	-0,14	0,06	0,05
Pufferungsintensität (mmol/l)	0,14	0,22	0,17	0,16	0,20	0,23	0,16	0,17
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,02	0,06	0,03	0,02	0,04	0,06	0,03	0,03
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	2,10	2,39	2,42	2,48	2,51	2,40	2,38	2,38
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)		0,00				0,00		0,00
Gesamthärte (°dH)	6,1	6,8	7,6	7,2	7,9	6,8	7,1	7,3
Härtebereich	1	1	2	1	2	1	1	2
Calcium (mg/l Ca)	34	39	38	40	40	36	36	40
Calcium (mmol/l Ca)	0,848	0,973	0,948	0,998	0,998	0,898	0,898	0,998
Magnesium (mg/l Mg)	6	6	10	7	10	8	9	7
Magnesium (mmol/l Mg)	0,247	0,247	0,411	0,288	0,411	0,329	0,370	0,288
Natrium (mg/l Na)	0,6	0,7	1,2	1,9	2,1	1	2,8	1
Natrium (mmol/l Na)	0,026	0,030	0,052	0,083	0,091	0,043	0,122	0,043
Kalium (mg/l K)								0,02
Eisen, gesamt (mg/l Fe)								0,000
Mangan (mg/l Mn)								0,000
Ammonium (mg/l NH ₄)								0,00
Nitrit (mg/l NO ₂)								
Nitrat (mg/l NO ₃)								4,8
Chlorid (mg/l Cl)	1,9	4,5	4,3	2,2	6,3	0,0	5,0	3,0
Chlorid (mmol/l Cl)	0,054	0,127	0,121	0,062	0,178	0,000	0,141	0,085
Fluorid (mg/l F)								
Sulfat (mg/l SO ₄)	3,7	8,9	7	6,2	9,3	8	5,2	7,4
Sulfat (mmol/l SO ₄)	0,039	0,093	0,073	0,065	0,097	0,083	0,054	0,077
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)								
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)								
Sauerstoff (mg/l O ₂)	11	11	10	12	11	11	11	11
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)								
TOC (mg/l C)								
Extinktion 435 nm (d=1cm)								
Extinktion 252 nm (d=1cm)								
Gesamtmineralisation (mg/l)	174	209	214	208	220	200	203	209
Quotient c(Cl)+2 c(SO ₄)/KS4,3								
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/KS4,3	0,06	0,13	0,11	0,08	0,15	0,07	0,1	0,1
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/c(NO ₃)	> 100							
Quotient 1/2 c(Alkali) / c(Erdalkali)	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO ₂ (mg/l)	0,8	2,6	1,3	0,8	1,7	2,6	1,3	1,3
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO ₂ (mg/l)	0,8	2	1,4	1,2	1,8	1,9	1,5	1,4

Chemische Analysen der Quelle Höllenbach

Quelle Höllenbach	27.04.98	29.06.98	24.08.98	20.10.98	11.12.98	15.04.99	16.06.99	31.08.99
Wassertemperatur (°C)	6,9	7,6	8,1	8,5	6,9	6,2	7,5	8,0
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)			45		42	36	43	45
pH-Wert, gemessen (Labor)	7,72	7,64	7,51	7,63	7,66	7,69	7,63	7,48
pH-Wert, gemessen (vor Ort)		7,80	7,55	7,71	7,72	7,82	7,71	7,41
pH-Wert, berechnet	7,77	7,63	7,53	7,70	7,63	7,72	7,74	7,52
pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung	7,65	7,59	7,55	7,58	7,57	7,71	7,62	7,53
Delta-pH-Wert (Labor)	0,07	0,05	-0,03	0,05	0,09	-0,02	0,01	-0,05
Delta-pH-Wert (vor Ort)							0,09	-0,12
Delta-pH-Wert (berechnet)	0,12	0,04	-0,01	0,12	0,06	0,01	0,12	-0,01
Calcit-Lösungskapazität (mmol/l)	-0,05	-0,02	0,02	-0,07	-0,03	0,00	-0,05	0,01
Gleichgewichts-pH-Wert	7,62	7,58	7,57	7,54	7,55	7,71	7,59	7,53
Sättigungsindex -> pH (berechnet)	0,15	0,05	-0,03	0,16	0,08	0,01	0,15	-0,01
Pufferungsintensität (mmol/l)	0,49	0,68	0,81	0,59	0,69	0,49	0,52	0,85
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,15	0,25	0,32	0,20	0,25	0,16	0,17	0,34
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	4,49	4,85	4,75	4,87	4,84	4,03	4,60	4,83
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)						0,00		0,00
Gesamthärte (°dH)	12,8	13,4	13,30	12,9	14,7	11,9	13,4	14,4
Härtebereich	2	2	2	2	3	0	2	3
Calcium (mg/l Ca)	49	50	51	51	54	44	50	54
Calcium (mmol/l Ca)	1,223	1,248	1,273	1,273	1,347	1,098	1,248	1,347
Magnesium (mg/l Mg)	26	28	27	25	31	25	28	30
Magnesium (mmol/l Mg)	1,070	1,152	1,111	1,029	1,275	1,029	1,152	1,234
Natrium (mg/l Na)	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0	0,5	0
Natrium (mmol/l Na)	0,013	0,017	0,017	0,017	0,022	0,000	0,022	0,000
Kalium (mg/l K)								0,2
Eisen, gesamt (mg/l Fe)								0,000
Mangan (mg/l Mn)								0,000
Ammonium (mg/l NH ₄)								0,00
Nitrit (mg/l NO ₂)								
Nitrat (mg/l NO ₃)								5,7
Chlorid (mg/l Cl)	1,4	3,3	0	0	1,2	0	3,6	4,9
Chlorid (mmol/l Cl)	0,039	0,093	0,000	0,000	0,034	0,000	0,102	0,138
Fluorid (mg/l F)								
Sulfat (mg/l SO ₄)	3,1	4,2	4,4	2,5	4,3	3	3,2	3,8
Sulfat (mmol/l SO ₄)	0,032	0,044	0,046	0,026	0,045	0,031	0,033	0,040
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)								
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)								
Sauerstoff (mg/l O ₂)	11	10	9,6	11	16	10	9,9	10
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)								
TOC (mg/l C)								
Extinktion 435 nm (d=1cm)								
Extinktion 252 nm (d=1cm)								
Gesamtmineralisation (mg/l)	353	387	378	376	386	319	365	393
Quotient c(Cl)+2 c(SO ₄)/KS4,3								
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/KS4,3	0,02	0,04	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,05
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/c(NO ₃)								
Quotient 1/2 c(Alkali) / c(Erdalkali)	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO ₂ (mg/l)	6,6	11	14	8,8	11	7	7,4	14
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO ₂ (mg/l)	9,3	12	12	12	13	7,2	10	14

Chemische Analysen der Quelle Thumsee (Ost)

Quelle Thumsee (Ost)	20.08.97	20.10.98
Wassertemperatur (°C)	8,4	8,3
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)	34	
pH-Wert, gemessen (Labor)	7,78	7,59
pH-Wert, gemessen (vor Ort)		8,67
pH-Wert, berechnet		7,63
pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung		7,67
Delta-pH-Wert (Labor)		-0,07
Delta-pH-Wert (vor Ort)		
Delta-pH-Wert (berechnet)		-0,03
Calcit-Lösungskapazität (mmol/l)		0,03
Gleichgewichts-pH-Wert		7,68
Sättigungsindex -> pH (berechnet)		-0,04
Pufferungsintensität (mmol/l)		0,58
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,17	
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	4,05	4,08
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)		0,21
Gesamthärte (°dH)		12
Härtebereich		2
Calcium (mg/l Ca)	42	43
Magnesium (mg/l Mg)	26	26
Natrium (mg/l Na)	0,5	0,4
Kalium (mg/l K)	0,1	
Eisen, gesamt (mg/l Fe)		
Mangan (mg/l Mn)		
Ammonium (mg/l NH ₄)		
Nitrit (mg/l NO ₂)		
Nitrat (mg/l NO ₃)	3,9	
Chlorid (mg/l Cl)		1
Fluorid (mg/l F)		
Sulfat (mg/l SO ₄)	5,2	4,3
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)		
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)		
Sauerstoff (mg/l O ₂)	10	12
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)		
TOC (mg/l C)		
Extinktion 435 nm (d=1cm)		
Extinktion 252 nm (d=1cm)		
Gesamtmineralisation (mg/l)		
Quotient c(Cl)+2 c(SO ₄)/KS4,3		0,02
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/KS4,3		
Quotient c(Cl)+1/2 c(SO ₄)/c(NO ₃)		
Quotient 1/2 c(Alkali) / c(Erdalkali)		0,01
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO ₂ (mg/l)		9,2
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO ₂ (mg/l)		8,2

Chemische Vergleichsanalysen (Teil I)

Lithologie	Wk	Hd	Hd + Rs	Hd	Hd+Rs	Rs	Rs	Hd	Rs
Name	Prümbach q.	Vestbühl	Veste-Q.	Wallgau	Vestbühl(Ost)	Mühlau-Q.	Nußberg-Q.	Felix-Aple-Q.	Dörfel-Quelle
TK - Karte	8342	8433	8433	8433	8433	8338	8338	8338	8338
Rechtswert	4557160	4437900	4438760	4448870	4438660	4511840	4512030	4510310	451129
Hochwert	5288060	5272880	5273270	5264330	5273090	5277030	5277070	5281670	527679
Datum	30.09.97	07.11.73	07.11.73	07.11.73	08.11.73	06.11.84	06.11.84	10.11.84	06.11.84
Wassertemperatur (°C)	8,7	8,8	10,2	5,4	9,8	8,7	9,1	7,1	9,2
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)	291	302	1075	263	1070	617	661	319	661
pH-Wert, gemessen (Labor)	8	7,2	7,3	7,8	7,4	7,57	7,4	8,07	7,28
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)									
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	3								
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)									
Gesamthärte (°dH)		12,8				21,1	22,4		22,8
Härtebereich									
Calcium (mg/l Ca)	53,8	56,1	191,9	34	186,3	97,4	103,8	42,1	105
Magnesium (mg/l Mg)	8,11	26,9	37,9	18,9	36,7	32,6	34,3	18,7	35,2
Natrium (mg/l Na)	9,73	0,3	36	0,1	34	3,4	5,4	0,5	5,9
Kalium (mg/l K)	0,98	0,2	1,1	0,06	1	0,6	1,5	0,4	1,1
Eisen, gesamt (mg/l Fe)		0,07	0,21	0,05	0,05	0	0	0	0
Nitrat (mg/l NO ₃)	6	2	0,1	3	0,1	5	2,8	8,7	2,6
Chlorid (mg/l Cl)	8,06	2	46	0,7	43	6,8	8,4	1,2	11,3
Fluorid (mg/l F)									
Sulfat (mg/l SO ₄)	9,25	17	451	5	423	170,8	204,8	17,9	203,3
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)									
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)		1	2	0,3	2	2,7	3	1,5	3,1
Sauerstoff (mg/l O ₂)	9,8					9,2	8,7	8,9	3,1
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)									
TOC (mg/l C)									
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO ₂ (mg/l)						18	11	7	22
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO ₂ (mg/l)									
Zitat	3.)	6.)	6.)	6.)	6.)	5.)	5.)	5.)	5.)

Lithologische Kürzel:

wk = Wettersteinkalk, pt = Partnachkalk, rs = Raibler Schichten, hd = Hauptdolomit, pk = Plattenkalk, rsd = Ramsaudolomit, cn = Cänonan, Q = Quartär

Zitate

- 1.) Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
- 2.) DOBEN (1985)
- 3.) DOBEN & FRANK (1983)
- 4.) GANSS (1980)
- 5.) WOLFF (1985)
- 6.) DOBEN (1976)

Chemische Vergleichsanalysen (Teil II)

Lithologie	Rs	Hd	Hd	Hd	Hd	Hd	Wk	Hd	Hd
Name	St. Josefs-Q.	Sillberg Q.	Langersl eiten Q.	Berg-Q.	Rauchkö pfl-Q.	Kesselbe rgq.	Glasbach Ursprung	Hirschhör nl-Kopf	Urfeld
TK - Karte	8338	8338	8239	8239	8333	8334	8334	8334	8334
Rechtswert	4510160	4500930	4515560	4520970	462200	4457480	4458500	4454910	4449970
Hochwert	5275530	5277730	5288310	5284610	759000	5276880	5279060	5276800	5275670
Datum	07.11.84	08.11.84	11.05.78	12.05.78	22.08.78	06.10.80	07.10.80	08.10.80	06.10.80
Wassertemperatur (°C)	8,6	6,3	6,2	6	10	8,3	5,2	6	5,9
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)	577	370	275	201	320	403	208	273	340
pH-Wert, gemessen (Labor)	7,22	7,43	7,7	7,8	7,8	7,8	8,2	7,9	7,7
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)									
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)									
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)									
Gesamthärte (°dH)			9,7	6,9	11,8	13,7	6,7	9,3	11,2
Härtebereich									
Calcium (mg/l Ca)	87,8	52,1	42,5	37,3	46,9	59,3	37,7	34,5	46,9
Magnesium (mg/l Mg)	30,4	19	16,3	7,3	22,6	23,3	6,1	19,5	20,2
Natrium (mg/l Na)	3,2	5,8	0,4	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2	0,2
Kalium (mg/l K)	0,6	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Eisen, gesamt (mg/l Fe)	0	0	0,08	0,09	0,251	0,11	0,13	0,07	0,11
Nitrat (mg/l NO ₃)	2,6	2,9	4,2	10,2	1,3	4,29	6,52	4,97	5,73
Chlorid (mg/l Cl)	7,4	0,6	1,4	1,1	0,7	1,06	1,06	1,42	1,42
Fluorid (mg/l F)									
Sulfat (mg/l SO ₄)	149	13,2	8,2	8	3,7	69,4	5,56	5,97	10,7
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)									
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)	3,1	1,6	1,6	1,7	0,9				
Sauerstoff (mg/l O ₂)	5,7	5,7	9	5,6	8,9				
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)									
TOC (mg/l C)									
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO ₂ (mg/l)	14	12	16	4	5,3	42	25	16	40
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO ₂ (mg/l)			7,7	2,5	7,7				
Zitat	5.)	5.)	4.)	4.)	1.)	2.)	2.)	2.)	2.)

Lithologische Kürzel:

wk = Wettersteinkalk, pt = Partnachkalk, rs = Raibler Schichten, hd = Hauptdolomit, pk = Plattenkalk, rsd = Ramsaudolomit, cn = Cänooman, Q = Quartär

Zitate

- 1.) Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
- 2.) DOBEN (1985)
- 3.) DOBEN & FRANK (1983)
- 4.) GANSS (1980)
- 5.) WOLFF (1985)
- 6.) DOBEN (1976)

Chemische Vergleichsanalysen (Teil II)

Lithologie	Wk + Hd	Hd+Rs	Cn+Hd	Hd+Q	Wk+Q	Hd	Hd	Hd	Hd
Name	Tanner Alm	Bayern Q.	Nrdl. Kienberg.	Ägidiusq.	Tennbodenbachq.	St. Josefs Q.	Ob. Q. Schleching	Wagrainerr Q.	Raffnerq.
TK - Karte	8334	8340	8528	8340	8340	8338	8340	8340	8340
Rechtswert	4460250	4540340	4389870	4543560	4531130	4510170	4529150	4530070	4547910
Hochwert	5278620	5294800	5271870	5294950	5291620	5275560	5287950	5485130	5288810
Datum	07.10.80	12.08.97	07.02.71	24.11.97	28.08.97	17.11.81	01.12.97	11.11.97	18.09.97
Wassertemperatur (°C)	4,6	11,7	7,8	8,5	6	8,8	9,4	10,1	7,8
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)	220	437	470	60	267		490	359	320
pH-Wert, gemessen (Labor)	8,2	7,56	7,37	7,53	7,74	7,51	7,43	7,63	7,8
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)		0,2	1,09	0,25	0,06	0,28	0,2	0,23	0,1
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)		4,86	6,21	3,99	2,55	3,66	4,1	4,04	3,6
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)									
Gesamthärte (°dH)	7,2								
Härtebereich									
Calcium (mg/l Ca)	40,1	95	78,3	100,1	50	82,9	71	48	43
Magnesium (mg/l Mg)	7,5	2,3	29,6	28	12	29,9	18	17	20,1
Natrium (mg/l Na)	0,2	1,2	4,9	1,2	0,42	3,7	0,71	0,8	0,4
Kalium (mg/l K)	0,2	0,47	0,2	0,6	0,3	0,2	0,46	0	0,2
Eisen, gesamt (mg/l Fe)	0,16	0,011			0	0,008		0	0
Nitrat (mg/l NO ₃)	4,34	5	15	3,2	6,1	1,6	4,38	5,5	6,2
Chlorid (mg/l Cl)	0,71	15	0	2	0	7,1	0,75	1,9	0,8
Fluorid (mg/l F)									
Sulfat (mg/l SO ₄)	4,12	15	14,4	160	41	149	38,4	8,5	4,5
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)					0	0,002		0	
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)		0	5,2		0	2		2,9	1,6
Sauerstoff (mg/l O ₂)		8,5	4,5	8,4	9,8	12,4	8,1	9,2	9,2
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)									
TOC (mg/l C)									
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO ₂ (mg/l)	26								
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO ₂ (mg/l)									
Zitat	2.)	1.)	1.)	1.)	1.)	1.)	1.)	1.)	1.)

Lithologische Kürzel:

wk = Wettersteinkalk, pt = Partnachkalk, rs = Raibler Schichten, hd = Hauptdolomit, pk = Plattenkalk, rsd = Ramsaudolomit, cn = Cänooman, Q = Quartär

Zitate

- 1.) Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
- 2.) DOBEN (1985)
- 3.) DOBEN & FRANK (1983)
- 4.) GANSS (1980)
- 5.) WOLFF (1985)
- 6.) DOBEN (1976)

Chemische Vergleichsanalysen (Teil III)

Lithologie	rsd	hd	hd	hd-Q	hd-Q	pt + wk	pk+Q	hd	rsd
Name	Holzmöhl q.	Schwarz brunnq.	Pankratiusq.	Hacklau I	Hacklau II	Fischbachau	Spitzing	Hacklau	Erp52
TK - Karte	8544	8340	8340	8340	8340	8336	8336	8340	8342
Rechtswert	4575980	4536500	4538710	453550	4535500	4498170	4491730	4535650	4560090
Hochwert	5273300	5283610	5283730	5287980	5288000	5286340	5281020	5287870	5281160
Datum	16.08.77	08.09.97	21.01.97	12.06.86	04.08.86	26.04.95	23.10.95	13.05.97	14.07.97
Wassertemperatur (°C)	8,1	7,7	7,5	8	7,8	6,1	5,7	8,2	5,2
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)	288	28	284	517	598	274	332	47	273
pH-Wert, gemessen (Labor)	7,75	7,84	7,71	7,68	7,7	8,01	7,73	7,72	8,1
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,141	0,112	0,17	0,06	0,12	1	0,1	0,23	
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	3,42	3,1	3,3	3,6	3,62	7,4	2,6	4	2,6
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)									
Gesamthärte (°dH)						8	7,8		
Härtebereich							2		
Calcium (mg/l Ca)	47,2	50	39	76	60	45,7	36,6	73	33
Magnesium (mg/l Mg)	18,5	11	14	15,3	32	7,1	11,5	24	14
Natrium (mg/l Na)		1,7	0,4	0,8	1,8	0,7	0,27	1,3	0
Kalium (mg/l K)		0,1	0	0,6	0,9	0,5	0	0,6	0
Eisen, gesamt (mg/l Fe)			0	0	0		0,04		0,01
Nitrat (mg/l NO3)	0,9	5,2	7,7	1,9	3,6	6,8	3,3	4,1	5
Chlorid (mg/l Cl)	3,8	2,1	0		3	0,5	3,4	2,3	4
Fluorid (mg/l F)					0,23	0,07	0,43		
Sulfat (mg/l SO4)	13,4	12	0		98	9,4	7,1	84	
Phosphat, gesamt (mg/l PO4)				0					
Kieselsäure (mg/l SiO2)	0,4		1,3	2	1		4,66		
Sauerstoff (mg/l O2)	12	9,5	9,1	6,5	4,5	9,6	9	6,1	
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO4)						0,5			
TOC (mg/l C)									
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO2 (mg/l)							4,4		
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO2 (mg/l)									
Zitat	1.)	1.)	1.)	1.)	1.)	1.)	1.)	1.)	1.)

Lithologische Kürzel:

wk = Wettersteinkalk, pt = Partnachkalk, rs = Raibler Schichten, hd = Hauptdolomit, pk = Plattenkalk, rsd = Ramsaudolomit, cn = Cänooman, Q = Quartär

Zitate

- 1.) Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
- 2.) DOBEN (1985)
- 3.) DOBEN & FRANK (1983)
- 4.) GANSS (1980)
- 5.) WOLFF (1985)
- 6.) DOBEN (1976)

Chemische Vergleichsanalysen (Teil IV)

Lithologie	rsd	rsd	wk	rsd ?
Name	Ganghof erq.	Hochgebi rgsüb	Waldbah nq.	Pfeilq.
TK - Karte	8342	8342	8342	8344
Rechtswert	4573640	4559490	4556570	4578320
Hochwert	5276570	5279140	5288350	5283960
Datum	10.04.80	14.07.97	09.04.80	02.08.83
Wassertemperatur (°C)	7,2	2	6,9	12,3
Elektr. Leitfähigkeit (mS/m)	258	227	231	365
pH-Wert, gemessen (Labor)	8,07	7,9	8,02	7,8
Basekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)	0,04		0,12	0,12
Säurekapazität b. pH 4,3 (mmol/l)	3,22	2,3	2,78	3,96
Säurekapazität b. pH 8,2 (mmol/l)				
Gesamthärte (°dH)				
Härtebereich				
Calcium (mg/l Ca)	35,7	27	45	47,9
Magnesium (mg/l Mg)	19,7	12	9,5	24,7
Natrium (mg/l Na)	0	0	0,2	3
Kalium (mg/l K)	0,01	0	0	0,3
Eisen, gesamt (mg/l Fe)	0,006		0,02	0
Nitrat (mg/l NO ₃)	2,3	5	4,9	2,7
Chlorid (mg/l Cl)	0,6		0,7	6,8
Fluorid (mg/l F)				
Sulfat (mg/l SO ₄)	14,4		9,6	8,6
Phosphat, gesamt (mg/l PO ₄)				
Kieselsäure (mg/l SiO ₂)	0,7		0,9	1,9
Sauerstoff (mg/l O ₂)	10,6		10,6	10,2
Oxidierbarkeit (mg/l KMnO ₄)				
TOC (mg/l C)	4,7		2,5	0,4
Kohlenstoffdioxid, gelöst CO ₂ (mg/l)				
Kohlenstoffdioxid, zugehörig CO ₂ (mg/l)				
Zitat	1.)	1.)	1.)	1.)

Lithologische Kürzel:

wk = Wettersteinkalk, pt = Partnachkalk, rs = Raibler Schichten, hd = Hauptdolomit, pk = Plattenkalk, rsd = Ramsaudolomit, cn = Cänoman, Q = Quartär

Zitate

- 1.) Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
- 2.) DOBEN (1985)
- 3.) DOBEN & FRANK (1983)
- 4.) GANSS (1980)
- 5.) WOLFF (1985)
- 6.) DOBEN (1976)

Brunnen Listsee

Q [l/s]	Q [m³/s]	Beharr	Absenk	kf=Q/hms	Lq=Q/s	Filterstrecke
0,00	0,0000	1,54				Einb. 89 m
26,66	0,0267	14,00	12,46	1,07E-03	2,14	
72,50	0,0725	86,27	84,73	4,28E-04	0,86	
63,00	0,0630	60,70	59,16	5,32E-04	1,06	
72,50	0,0725	85,84	84,30	4,30E-04	0,86	
53,00	0,0530	49,66	48,12	5,51E-04	1,10	
			Mittel	6,02E-04	1,20	

Q [l/s]	Q [m³/s]	Beharr	Absenk	kf=Q/hms	Lq=Q/s	Filterstrecke
0,00	0,0000	2,22				65,4 - 179,4
34,63	0,0346	5,93	3,71	8,19E-05	9,33	
71,52	0,0715	15,18	12,96	4,84E-05	5,52	
			Mittel	6,51E-05	7,43	

Q [l/s]	Q [m³/s]	Beharr	Absenk	kf=Q/hms	Lq=Q/s	Filterstrecke
0,00	0,0000	0,76	0,00			90,0 - 179,4
33,00	0,0330	15,28	14,52	2,54E-05	2,27	
55,00	0,0550	35,55	34,79	1,77E-05	1,58	
90,00	0,0900	87,10	86,34	1,17E-05	1,04	
26,60	0,0266	12,45	11,69	2,55E-05	2,28	
24,00	0,0240	13,32	12,56	2,14E-05	1,91	
			Mittel	2,03E-05	1,82	

Q [l/s]	Q [m³/s]	Beharr	Absenk	kf=Q/hms	Lq=Q/s	Filterstrecke
0,00	0,0000	2,98	0,00			59,25 - 96,85
11,50	0,0115	13,17	10,19	3,00E-05	1,13	
24,00	0,0240	31,47	28,49	2,24E-05	0,84	
33,00	0,0330	39,13	36,15	2,43E-05	0,91	
			Mittel	2,56E-05	0,96	

Q [l/s]	Q [m³/s]	Beharr	Absenk	kf=Q/hms	Lq=Q/s	Filterstrecke
0,00	0,0000	0,88	0,00			90,6 - 150,35
38,80	0,0388	14,65	13,77	4,72E-05	2,82	
24,00	0,0240	7,35	6,47	6,21E-05	3,71	
33,00	0,0330	11,08	10,20	5,41E-05	3,24	
55,00	0,0550	33,45	32,57	2,83E-05	1,69	
72,00	0,0720	62,46	61,58	1,96E-05	1,17	
71,00	0,0710	61,23	60,35	1,97E-05	1,18	
60,00	0,0600	49,17	48,29	2,08E-05	1,24	
			Mittel	3,60E-05	2,15	

Q [l/s]	Q [m³/s]	Beharr	Absenk	kf=Q/hms	Lq=Q/s	Filterstrecke
38,00	0,0380	11,77	8,87	5,36E-05	4,28	96 m
55,00	0,0550	19,62	16,72	4,11E-05	3,29	
68,00	0,0680	24,40	21,50	3,95E-05	3,16	
0,00	0,0000	2,90	0,00			
80,00	0,0800	25,40	22,50	4,44E-05	3,56	
11,00	0,0110	5,50	2,60	5,29E-05	4,23	
38,00	0,0380	11,74	8,84	5,37E-05	4,30	
55,00	0,0550	19,52	16,62	4,14E-05	3,31	
68,00	0,0680	22,77	19,87	4,28E-05	3,42	
80,00	0,0800	25,38	22,48	4,45E-05	3,56	

Mittel **4,60E-05** **3,68**

Q [l/s]	Q [m³/s]	Beharr	Absenk	kf=Q/hms	Lq=Q/s	Filterstrecke
0,00	0,0000	2,90	0,00			29,0 - 96,75
38,80	0,0388	11,00	8,10	7,07E-05	4,79	
55,00	0,0550	19,58	16,68	4,87E-05	3,30	
68,00	0,0680	24,40	21,50	4,67E-05	3,16	
80,00	0,0800	25,40	22,50	5,25E-05	3,56	
11,00	0,0110	5,72	2,82	5,76E-05	3,90	
38,80	0,0388	11,66	8,76	6,54E-05	4,43	
55,00	0,0550	19,59	16,69	4,86E-05	3,30	

Mittel **5,57E-05** **3,78**

Q [l/s]	Q [m³/s]	Beharr	Absenk	kf=Q/hms	Lq=Q/s	Filterstrecke
0,00	0,0000	1,52	0,00			95,5 - 150,35
11,50	0,0115	5,94	4,42	4,75E-05	2,60	
24,00	0,0240	6,86	5,34	8,21E-05	4,49	

Mittel **6,48E-05** **3,55**

Q [l/s]	Q [m³/s]	Beharr	Absenk	kf=Q/hms	Lq=Q/s	Filterstrecke
0,00	0,0000	2,40	0,00			30,85 - 48,3
26,40	0,0264	9,51	7,11	2,13E-04	3,71	
37,50	0,0375	13,37	10,97	1,96E-04	3,42	
55,00	0,0550	21,86	19,46	1,62E-04	2,83	

Mittel **1,90E-04** **3,32**

Brunnen Listwirt

Q [l/s]	Q [m³/s]	Beharr	Absenk	kf=Q/hms	Lq=Q/s	Filterstrecke
15,40	0,0154	23,40	2,37	1,02E-04	6,50	Gesamte Bohrung (64 m)
35,00	0,0350	28,33	7,30	7,49E-05	4,79	
25,00	0,0250	25,85	4,82	8,10E-05	5,19	
15,20	0,0152	23,58	2,55	9,31E-05	5,96	
15,60	0,0156	23,30	2,27	1,07E-04	6,87	
0,00	0,0000	21,03	0,00			
40,00	0,0400	29,44	8,41	7,43E-05	4,76	
40,00	0,0400	30,42	9,39	6,66E-05	4,26	
25,00	0,0250	25,28	4,25	9,19E-05	5,88	
34,10	0,0341	27,84	6,81	7,82E-05	5,01	
35,00	0,0350	28,25	7,22	7,57E-05	4,85	
25,00	0,0250	25,84	4,81	8,12E-05	5,20	
50,00	0,0500	31,65	10,62	7,36E-05	4,71	
0,00	0,0000	21,08	0,05			
25,00	0,0250	25,44	4,41	8,86E-05	5,67	
50,00	0,0500	30,60	9,57	8,16E-05	5,22	
75,00	0,0750	38,20	17,17	6,83E-05	4,37	
27,00	0,0270	26,67	5,64	7,48E-05	4,79	
36,00	0,0360	28,57	7,54	7,46E-05	4,77	
51,00	0,0510	32,90	11,87	6,71E-05	4,30	
Mittel				8,08E-05	5,17	

Brunnen Listanger

Q [l/s]	Q [m³/s]	Beharr	Absenk	kf=Q/hms	Lq=Q/s	Filterstrecke
23,60	0,0236	37,36	14,17	3,08E-05	1,67	Betrieb (54 m)
23,80	0,0238	38,80	15,61	2,82E-05	1,52	
23,50	0,0235	40,05	16,86	2,58E-05	1,39	
26,00	0,0260	43,80	20,61	2,34E-05	1,26	
28,00	0,0280	47,10	23,91	2,17E-05	1,17	
30,50	0,0305	50,54	27,35	2,07E-05	1,12	
0,00	0,0000	23,19	0,00			
17,80	0,0178	38,60	15,41	2,14E-05	1,16	
25,10	0,0251	43,17	19,98	2,33E-05	1,26	
24,00	0,0240	41,48	18,29	2,43E-05	1,31	
24,00	0,0240	39,91	16,72	2,66E-05	1,44	
22,90	0,0229	42,56	19,37	2,19E-05	1,18	
22,00	0,0220	39,73	16,54	2,46E-05	1,33	
0,00	0,0000	22,00	-1,19			
0,00	0,0000	23,43	0,24			
0,00	0,0000	24,38	1,19			
25,10	0,0251	44,85	21,66	2,15E-05	1,16	
19,70	0,0197	39,50	16,31	2,24E-05	1,21	
20,00	0,0200		25,80	1,44E-05	0,78	
42,00	0,0420		40,56	1,92E-05	1,04	
47,00	0,0470		45,45	1,92E-05	1,03	
45,00	0,0450		45,80	1,82E-05	0,98	
28,00	0,0280		33,00	1,57E-05	0,85	
10,00	0,0100		25,35	7,31E-06	0,39	
20,00	0,0200		29,20	1,27E-05	0,68	
28,00	0,0280		31,80	1,63E-05	0,88	
40,00	0,0400	55,58	32,39	2,29E-05	1,23	
60,00	0,0600	70,00	46,81	2,37E-05	1,28	
Mittel				2,11E-05	1,14	

Q [l/s]	Q [m³/s]	Beharr	Absenk	kf=Q/hms	Lq=Q/s	Filterstrecke
0,00	0,0000	20,50	0,00			57,4 - 76,5
20,00	0,0200	25,79	5,29	1,98E-04	3,78	
42,00	0,0420	40,59	20,09	1,09E-04	2,09	
47,00	0,0470	45,45	24,95	9,86E-05	1,88	
28,00	0,0280	33,00	12,50	1,17E-04	2,24	
Mittel				1,31E-04	2,50	

Q [l/s]	Q [m³/s]	Beharr	Absenk	kf=Q/hms	Lq=Q/s	Filterstrecke
0,00	0,0000	20,50	0,00			71,1 - 76,5
10,00	0,0100	25,35	4,85	3,82E-04	2,06	
20,00	0,0200	29,20	8,70	4,26E-04	2,30	
28,00	0,0280	31,59	11,09	4,68E-04	2,52	
Mittel				4,25E-04	2,30	

Q [l/s]	Q [m³/s]	Beharr	Absenk	kf=Q/hms	Lq=Q/s	Filterstrecke
0,00	0,0000	20,60	0,00			76-152
40,00	0,0400	55,65	35,05	1,50E-05	1,14	
40,00	0,0400	57,00	36,40	1,45E-05	1,10	
50,00	0,0500	68,82	48,22	1,36E-05	1,04	
Mittel				1,44E-05	1,09	

Q [l/s]	Q [m³/s]	Beharr	Absenk	kf=Q/hms	Lq=Q/s	Filterstrecke
0,00	0,0000	20,03	0,00			85,0 - 152,0
24,00	0,0240	33,67	13,64	2,63E-05	1,76	
40,00	0,0400	48,30	28,27	2,11E-05	1,41	
60,00	0,0600	76,00	55,97	1,60E-05	1,07	
55,00	0,0550	70,59	50,56	1,62E-05	1,09	
Mittel				1,99E-05	1,33	

Lebenslauf Martin Fellehner

geboren am 11.01.1971 in Marburg / Lahn

1977 - 1990 Schulbesuch in Bad Homburg und Friedrichsdorf
Erreichung der allgemeinen Hochschulreife (11.06.1990)

1990 - 1992 Grundstudium der Geologie an der
Philipps-Universität Marburg
Vordiplom der Geologie (21.04.1993)

WS 1993 Auslandsaufenthalt an
Københavns Universität

1993 - 1996 Hauptstudium der Geologie an der
Philipps-Universität Marburg
Diplom der Geologie (15.02.1996)

1996 - 2000 Promotionsarbeit am Fachbereich Geowissenschaften

1998 - 1999 Weiterbildung „Innovationsmanagement -
Entrepreneurship/Intrapreneurship - Marktprozesse -
Persönlichkeitsentwicklung“ am
Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der
Philipps-Universität Marburg

2000 - 2003 Innovationsbeauftragter der Reformhaus-Fachakademie

Erklärung / Versicherung

Ich versichere, dass ich meine Dissertation

"Der Hauptdolomit als Grundwasserspeicher in den Nördlichen Kalkalpen"

selbständig, ohne unerlaubte Hilfe, angefertigt, und mich dabei keiner anderen als der von mir ausdrücklich bezeichneten Quellen und Hilfen bedient habe.

Die Dissertation wurde in der jetzigen oder einer ähnlichen Form noch bei keiner anderen Hochschule eingereicht und hat noch keinem sonstigen Prüfungszweck gedient.

Frankfurt, den 04.07.2003

Martin Fellehner