

Quellhydrogeologie im Schweizerischen Nationalpark (GR)

Diplomarbeit

der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät

der Universität Bern

vorgelegt von

Pointner Eric

2002

Leiter der Arbeit:

Prof. Christian Schlüchter, Geologisches Institut

EINLEITUNG

Ziel dieses zweiten Teils meiner Diplomarbeit war es, ausgesuchte Quellen im Schweizerischen Nationalpark (SNP) zu untersuchen und zu beproben, um mehr über ihre hydrogeologischen Charakteristiken auszusagen.

Den Ausschlag für diese Untersuchung gab die Forschungskommission des SNP's, die einen umfassenden Quellkataster auf Parkgebiet aufbauen und erhalten will. Dieses soll in den Kontext eines europäischen Forschungsprojekts zur Messung und Kontrolle von natürlichen Gebirgsquellen im inneralpinen Raum gestellt werden.

Diese Arbeit stellt nach ersten Untersuchungen in den 50er und 60er Jahren von Schmassmann (unveröffentlicht), der über das gesamte Nationalparkgebiet verteilt Quellen und Bäche untersucht hat und den Geologen Vetter und Frey (1992), die im Rahmen ihrer geologischen Diplomkartierung einmalige Quellmessungen an ausgewählten Quellen durchgeführt haben, die dritte quellhydrogeologische Untersuchung auf Parkgebiet dar (vgl. Anhang B).

Eine vergleichbare Diplomarbeit ist gleichzeitig von Marcel Clausen geschrieben worden. Er hat in der am Park angrenzenden Val Laschadura 25 Quellen näher untersucht.

Diese beiden Arbeiten sind ein erster Schritt, weitere Arbeiten folgen. Im Sommer 2001 haben zwei Diplomanden eine geologische Kartierung der Val Schaschauna durchgeführt und ebenfalls an ausgewählten Quellen eine quellhydrogeologische Untersuchung vorgenommen.

Da die geologische Kartierung meiner Diplomarbeit im erweiterten Parkgebiet Macun durchgeführt wurde, konnte aus zeitlichen Gründen nur eine rein quellspezifische Beschreibung und Untersuchung der beiden Quellperimeter realisiert werden. Die geologischen und quartärgeologischen Grundlagen stammen von den beiden Diplomarbeiten von Vetter (1992) und Frey (1992) die je eine Kartierung im Massstab 1:5000 durchgeführt haben. Für regionalgeologische Fragen wurde die geologische Karte des SNP (Dösseger, 1987) zu Rate gezogen.



ZUSAMMENFASSUNG

Anlässlich von vier Messkampagnen, zwischen Herbst 1999 und Herbst 2000, konnten 30 Quellen, von denen 25 mehrfach gemessen wurden, auf die Parameter Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Gesamt- und Karbonathärte untersucht werden. Die entnommenen Proben wurden mit Ionenchromatographie (HPIC) am Geologischen Institut Bern auf die wichtigsten Ioneninhalte, sprich Calcium-, Magnesium-, Natrium- und Kaliumkationen, sowie Chlorid-, Sulfat-, Nitratanionen analysiert.

Die erhaltenen Datengrundlagen wurden zur Typifizierung der einzelnen Quellen nach geologischen, physikalischen und chemischen Kriterien genutzt.

Art und Geologie des Grundwasserleiters, Fliessgefälle oder Abflusstiefe, Hangexposition und -bewuchs sind Parameter, die das Analysebild der Quellen prägen. Durch die mineralogische Zusammensetzung, den Verwitterungsgrad und die Permeabilität des wasserführenden Bodenmaterials werden der Grad der Mineralisation der Quelle sowie Ionenaustauschvorgänge durch Wechselwirkung zwischen Grundwasser und Grundwasserleiter gesteuert. Das Fliessgefälle bestimmt neben der Permeabilität die Fliessgeschwindigkeit und somit die Verweildauer des Quellwassers im Grundwasserleiter, was sich zudem in der Leitfähigkeit ausdrückt. Hangexposition, -bewuchs und Oberflächlichkeit der Quelle beeinflussen die Quelltemperatur.

Wegen der dominierenden Quartärbedeckung sind die meisten untersuchten Quellen Lockergesteinsquellen, die in der Bodenschicht auf der Moränenbedeckung oder in Bachschutt-, oder Trockenschuttkegeln abfliessen. Die Quellen weisen meist eine relativ geringe Verweilzeit im Grundwasserleiter auf und stehen in direkter Abhängigkeit zu äusseren Einflüssen wie Niederschlag und Temperatur. Leitfähigkeiten zwischen 220 - 430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ zeigen eine variable, geringe Mineralisation. PH-Werte zwischen 7.49 und 8.43 deuten auf ein gut gepuffertes Wasser mit einer Dominanz von HCO_3^- -Karbonaten hin. Die Mehrheit der Quellen weist grössere Karbonathärten als Gesamthärten auf. Dies ist ein Indikator für Ionenaustauschprozesse, wobei vor allem eine Anreicherung von Natrium auf Kosten von Calcium im Quellwasser stattgefunden hat.

Im Quellbericht wurde zu jeder Quelle ein Quelldatenblatt mit allgemeinen Angaben, Analyseresultaten in Diagrammen, sowie ein numerischer Bericht mit Analyse- und Berechnungsergebnissen in Tabellenform erstellt. Zudem wurden 15 Quellen für folgende Messkampagnen weiterempfohlen.



INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung	I
Zusammenfassung.....	II
Inhaltsverzeichnis.....	III
I Geografischer Überblick	1
1.1 Spöltal (Punt dal Gall, Punt Periv, Plan da l’Acqua Suot und God la Schera)1	
1.2 Buffalora	2
1.3 Il Fuorn.....	2
2 Geologischer Überblick.....	3
2.1 Lithologien.....	4
3 Hydrologische Übersicht.....	5
4 Messkampagnen.....	7
4.1 Messmethoden.....	7
4.1.1 Feldmessungen.....	7
4.1.2 Labormessungen	8
4.1.3 Hydrogenkarbonatgehalt.....	10
4.2 Plausibilitätskontrollen (Hölting, 96).....	10
5 Quelltypen: Geologische, Physikalische und chemische Parameter	12
5.1 Einleitung	12
5.2 Einteilung nach Art des Grundwasserleiters und nach der geologischen Struktur	12
5.3 Einteilung nach physikalischen Parametern	13
5.3.1 Schüttung	13
5.3.2 Temperatur.....	13
5.3.3 pH-Wert	16
5.3.4 Leitfähigkeit.....	16
5.3.5 Härte	17
5.4 Physikalisch-Chemische Prozesse.....	18
5.4.1 Einleitung	18
5.4.2 Niederschlag	18
5.4.3 Auflösung und Ausfällung (Hölting, 1992)	19
5.4.4 Adsorption - Desorption	19
5.4.5 Ionenaustausch.....	20
5.5 Inhaltsstoffe natürlicher Wässer	21
5.5.1 Alkalimetalle: Na ⁺ , K ⁺	21



5.5.2	Erdalkalimetalle: Ca^{2+} , Mg^{2+}	23
5.5.3	Sulfat	24
5.5.4	Nitrat	25
5.5.5	Chlorid	26
5.5.6	Hydrogenkarbonat (HCO_3^-) und Karbonat (CO_3^{2-})	27
5.5.7	Typen von Austauschwässern	30
6	Darstellung der Analyseergebnisse	31
6.1.1	Piper Diagramm	31
6.1.2	Schöller-Diagramm	33
7	Quellbericht	35
8	Empfehlungen	35

Anhang

Inhaltsverzeichnis	A
Lage der untersuchten Quellen im Schweizerischen Nationalpark	B
Situationsplan der EKW-Quellen	C
Thematische Karten	D
Lage und Exposition der Quellen im Bereich Spöltal	D
Lage und Exposition der Quellen im Bereich Buffalora	E
Alkaliverhältnisse der Quellen im Bereich Spöltal	F
Alkaliverhältnisse der Quellen im Bereich Buffalora	G
Erdalkaliverhältnisse der Quellen im Bereich Spöltal	H
Erdalkaliverhältnisse der Quellen im Bereich Buffalora	I
Sulfatwerte der Quellen im Bereich Spöltal	J
Sulfatwerte der Quellen im Bereich Buffalora	K
Nitratwerte der Quellen im Bereich Spöltal	L
Nitratwerte der Quellen im Bereich Buffalora	M
Quellentypen im Bereich Spöltal	N
Quellentypen im Bereich Buffalora	O
Numerischer Quellbericht	P
Abbildungsverzeichnis	Q
Tabellenverzeichnis	Q
Literaturverzeichnis	R



I GEOGRAFISCHER ÜBERBLICK

Es wurden zwei Gebiete gewählt, in denen repräsentative Quellen gesucht wurden. Die Quellperimeter erstrecken sich über die Kartiergebiete von Vetter (1992) und Frey (1992), die sich auf Nationalparkgebiet oder gleich daran angrenzend befinden.

Der wunderschöne Touristenmagnet ist mit 169 km² das grösste Schutzgebiet sowie der einzige Nationalpark der Schweiz. Er befindet sich im Unterengadin, südöstlich von Zernez. Auf Abbildung I-1 ist eine Übersicht des Parkgebietes zu sehen, die Quellbereiche sind rot eingetragen.

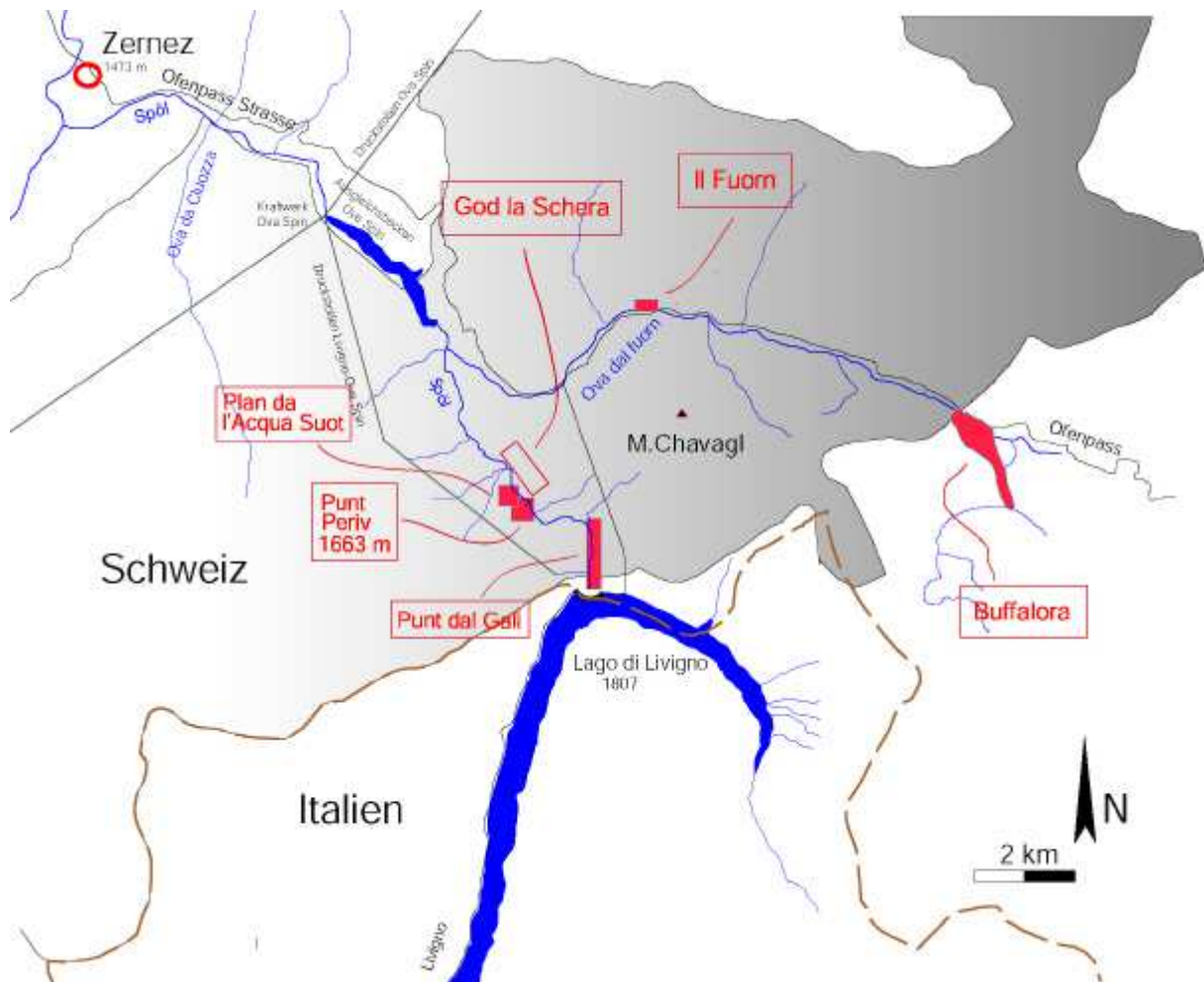


Abbildung I-1 Geographischer Überblick der Quellperimeter

I.1 SPÖLTAL (PUNT DAL GALL, PUNT PERIV, PLAN DA L'ACQUA SUOT UND GOD LA SCHERA)

Das Gebiet erstreckt sich beidseits des Spölbaches vom Fusse der Livignostaumauer bei Punt dal Gall in Richtung Punt la Drossa. Es befindet sich vollständig auf Nationalparkgebiet.

Das landschaftsbildende Element im Spöltal ist der Spölbach, der sich erosiv eingetieft hat. Die steilen Talflanken werden geprägt von Felswänden, die überwiegend aus dolomitischen, verwitterungsanfälligen Lithologien der unteren Scharldecke aufgebaut sind, von aktiven



Erosionsrinnen und dichten Wäldern. Morphologische Charakteristika sind zahlreiche Seitenmoränen aus dem Spätglazial, die mit Gehängeschutt maskiert wurden oder Endmoränenstände der Lokalvergletscherung aus der Val dal Acqua bei Plan da l'Acqua Suot. Die Quartärüberdeckung besteht einerseits aus weiten Trockenschutt- und Bachschuttkegeln, andererseits aus Moränenbedeckung.

Im Arbeitsgebiet wurden 21 Quellen gemessen, die sich an beiden Ufern des Spöls befinden. Zusätzlich erhielt ich Quelldaten der Engadiner Krafwerke, die von 16 Quellen in der Nähe der Staumauer stammen. Sie wurden über längere Zeit auf Temperatur, pH-Werte und Leitfähigkeit untersucht.

Wegen der verteilten Lage der Quellen wurde das Arbeitsgebiet in vier Bereiche näher gegliedert:

- Punt dal Gall
- Punt Periv
- Plan da l'Acqua Suot
- God la Schera

Eine detaillierte Beschreibung der Quellbereiche findet sich im Quellbericht ab Seite 36.

1.2 BUFFALORA

Die Quellen von Buffalora befinden sich an der östlichen Grenze des SNP. Das untersuchte Gebiet erstreckt sich südlich der Ofenpassstrasse bis zur Alpe Buffalora.

Es wird geprägt von Schwemmfächern, die infiltriertes Niederschlagswasser aus dem Val Murtaröl oder Munt Buffalora in die Ova dal Fuorn entwässern. Ein weiteres Aquifer stellen die Bergsturzablagerungen am Fuss des Il Jalet dar.

Sieben Quellen wurden ein- bis viermal untersucht.

1.3 IL FUORN

Eine einzelne Quelle wurde beim Labor Il Fuorn, das als Aufenthaltsort während der Messkampagnen diente, an der Ofenpassstrasse, in der Nähe des Hotels Il Fuorn, beprobt.



2 GEOLOGISCHER ÜBERBLICK

Die beiden Quellperimeter befinden sich in den Engadiner Dolomiten, die zum Oberostalpinen Deckenstapel gehören. Tektonisch sind die Engadiner Dolomiten in weitere Einheiten gegliedert, wobei der Perimeter „Spöltal“ vollumfänglich im S-Charl Unterbau einzufügen ist. Das Arbeitsgebiet „Buffalora“ beinhaltet zudem, im nordöstlichen Bereich, Gesteine von höheren Schuppen.

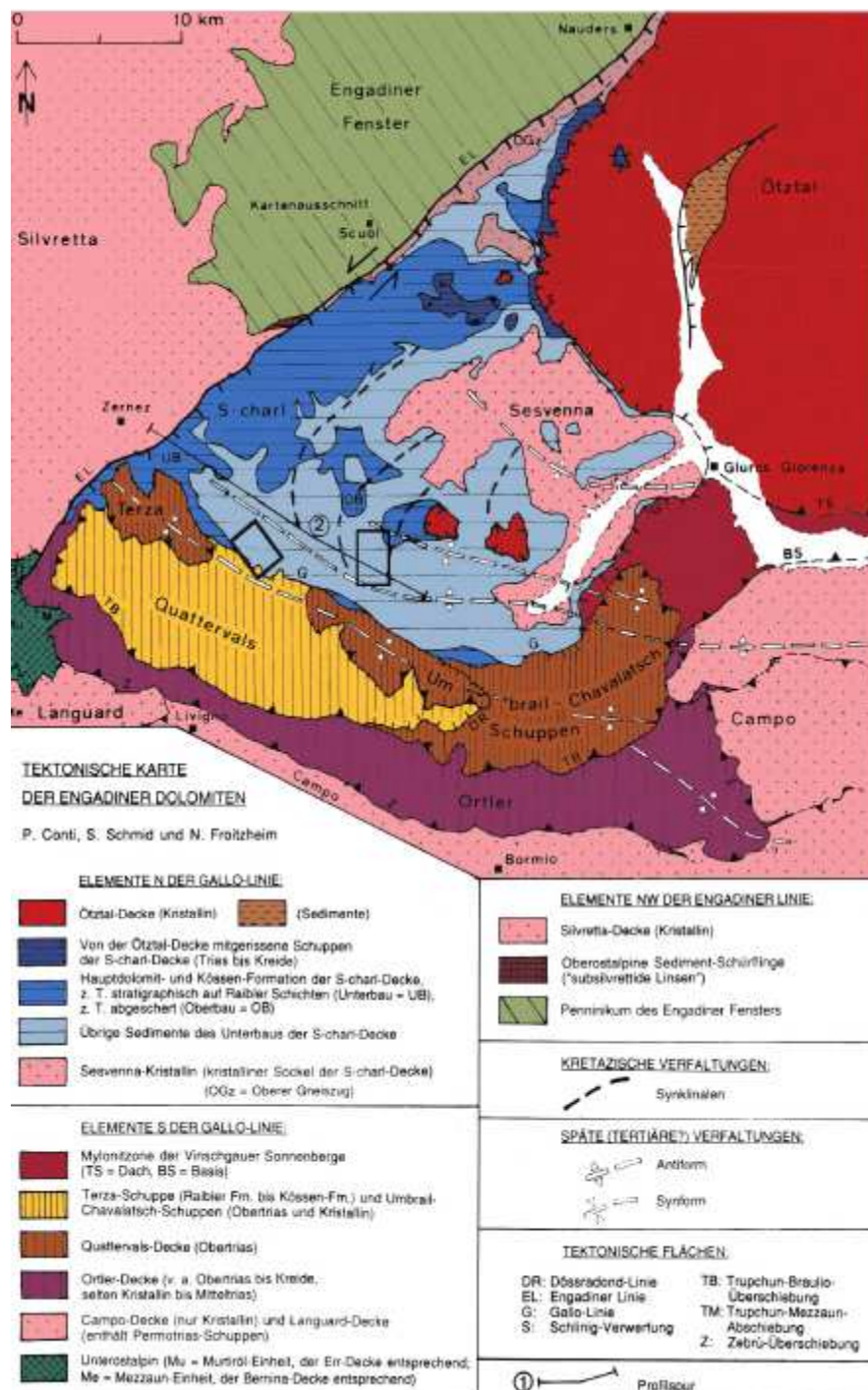


Abbildung 2-1 Geologischer Überblick; die Quellgebiete sind mit schwarzen Rechtecken dargestellt.



2.1 LITHOLOGIEEN

Diese kurze Beschreibung der aufgeschlossenen Lithologien orientiert sich an den beiden Kartierungen von Heinz Vetter (1992) und Jakob Frey (1992), die sich bei der stratigraphischen Gliederung weitgehend an die geologische Karte des Schweizerischen Nationalparks (Dössegger, 1987, Trümpy et al., 1997) hielten.

Chazforà-Formation

Sie besteht aus rotvioletten Sandsteinen und graugrün anwitternden Serizitquarzitarkosen, die im allgemeinen als „Münstertaler-Verrucano“ bezeichnet werden.

Fuorn-Formation

Die Fuorn-Formation wird aufgebaut aus Sandsteinen, Rauhwacken und detritusführenden Dolomiten und Kalken. Sie ist gezeichnet von starken Wechsellagerungen im Sedimentationsgefüge, was auf ein flachmarines oder tidales Sedimentationsmilieu schliessen lässt.

Im Livigno-Perimeter sind vorwiegend grün oder braun anwitternde Sand- und Siltsteine aufgeschlossen. An der Obergrenze der Schichtfolge ist teilweise eine auffällige Rauhwacke-Brekzie anzutreffen.

Dolomite der Buffalora Gruppe

Über der Fuorn-Formation wurden von Dössegger und Müller (1976) Dolomite identifiziert, die sie in die liegende Turettas - Formation und anschliessende Vallatscha - Formation unterteilen. Die hellgrauen bis schwarzen Dolomite unterscheiden sich durch die Mächtigkeit ihrer Bankung sowie ihrer Farbe.

Raibler Formation

Diese Formation wird in drei unterscheidbare Einheiten gegliedert, von denen im Livigno-Perimeter deren zwei aufgeschlossen sind.

- Parai-Alba Dolomit: Dünnebankte Wechsellagerung von sehr hellen Dolomitschichten mit [mm]-[cm] mächtigen Tonlagen.
- Raibler-Rauhwacke: Ungebankte, gelbliche Rauhwacke, die durch chemische Verwitterung eine typische zellenartige Ausprägung aufweist.

Hauptdolomit – Gruppe

Sie beinhaltet Dolomit- und Kalkserien und wurde in sieben verschiedene Formationen unterteilt. Davon konnten im Livigno-Arbeitsgebiet von Vetter (1992) drei unterschieden werden. Von stratigraphisch unten nach oben:

- Hauptdolomit s.str: Durch eine Verzahnung mit anderen Formationen der Hauptdolomit-Gruppe wird diese Formation zweigeteilt, wobei der hier relevante Teil von Dössegger (1987) „Müschauns Dolomit“ genannt wird. Es handelt sich vorwiegend um mittel- bis grobgebankte Dolomite mit zwischengelagerten geringmächtigen Kalkschichten.
- Pra-Grata-Formation: Regelmässige Wechsellagerung von hell anwitternden, grobgebankten Kalken und Dolomiten mit dünngebankten, dunklen Kalkschiefern.
- Quattervals-Formation: Weitgehend kalkige Ausbildung.



3 HYDROLOGISCHE ÜBERSICHT

Der durchschnittliche jährliche Niederschlag im Gebiet des Unterengadins ist in Abbildung 3-1 aus dem hydrologischen Atlas der Schweiz zu sehen. Auffallend ist das relativ trockene Haupttal (Unterengadin) mit durchschnittlich 700 – 800 mm. Ebenso das Spöltal, das Durchschnitte unter 1000 mm aufweist. Die Gegend um Buffalora besitzt einen jährlichen Niederschlag zwischen 1200-1600 mm auf.

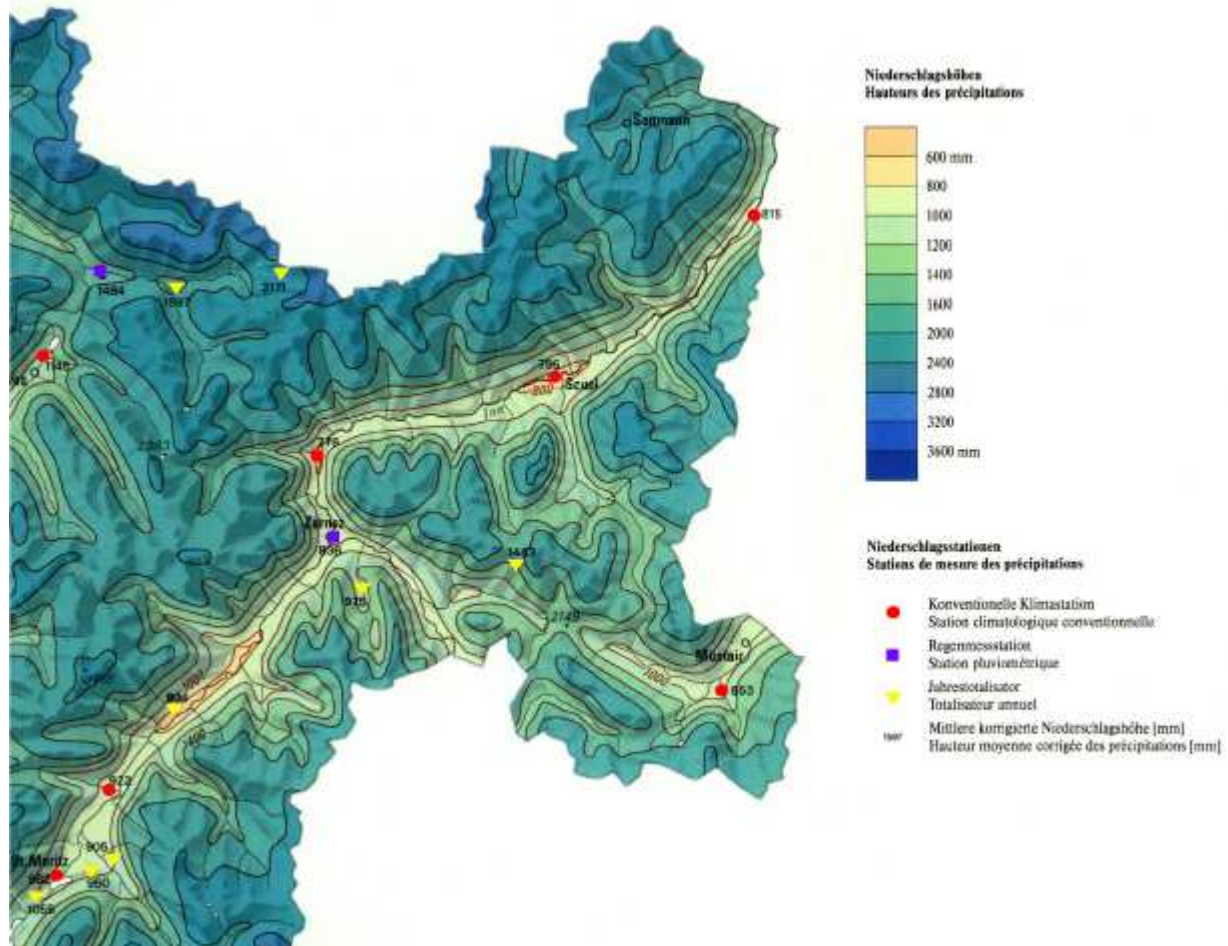


Abbildung 3-1 Mittlere jährliche korrigierte Niederschlagskarte aus dem hydrologischen Atlas der Schweiz

Die Durchschnitte der Jahre 1995-2000 (Abbildung 3-2) zeigen, dass der Hauptteil dieser Niederschläge in den Monaten Juni - August und Oktober / November fallen. Eine Darstellung der durchschnittlichen Niederschlagshöhen der Messstationen Zernez, Buffalora und Punt la Drossa in der Periode von September 1999 bis 2000 ist auf Abbildung 3-3 zu sehen. Die roten Balken bezeichnen die Zeitpunkte der Messkampagnen. Der Jahresdurchschnitt beläuft sich auf ca. 900 mm. Die erste Messung fand etwa eine Woche nach einem Zeitraum ergiebiger Niederschläge statt. Der Monat Mai 2000 hatte konstant wöchentliche Niederschläge mit 5 bis 16 mm. Die zweite Messung fiel also in einen recht regenreichen Monat. Die dritte Messung fand einen Tag nach einem heftigen Sommergewitter statt, was sich auch in erhöhten Schüttungen zeigte. Die vierte und letzte Herbstmessung wurde einen Tag nach ergiebigen Niederschlägen absolviert.



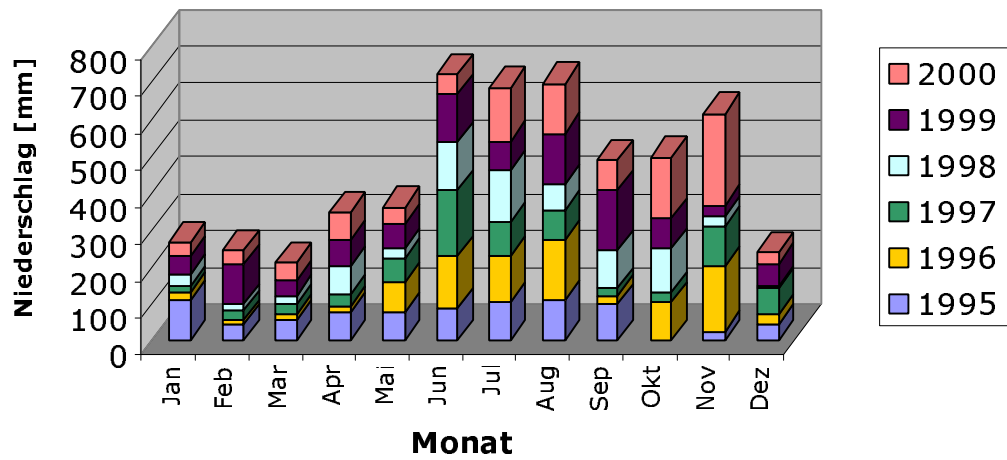


Abbildung 3-2 monatliche Niederschläge der Jahre 1995- 2000 (Clausen, 2001)

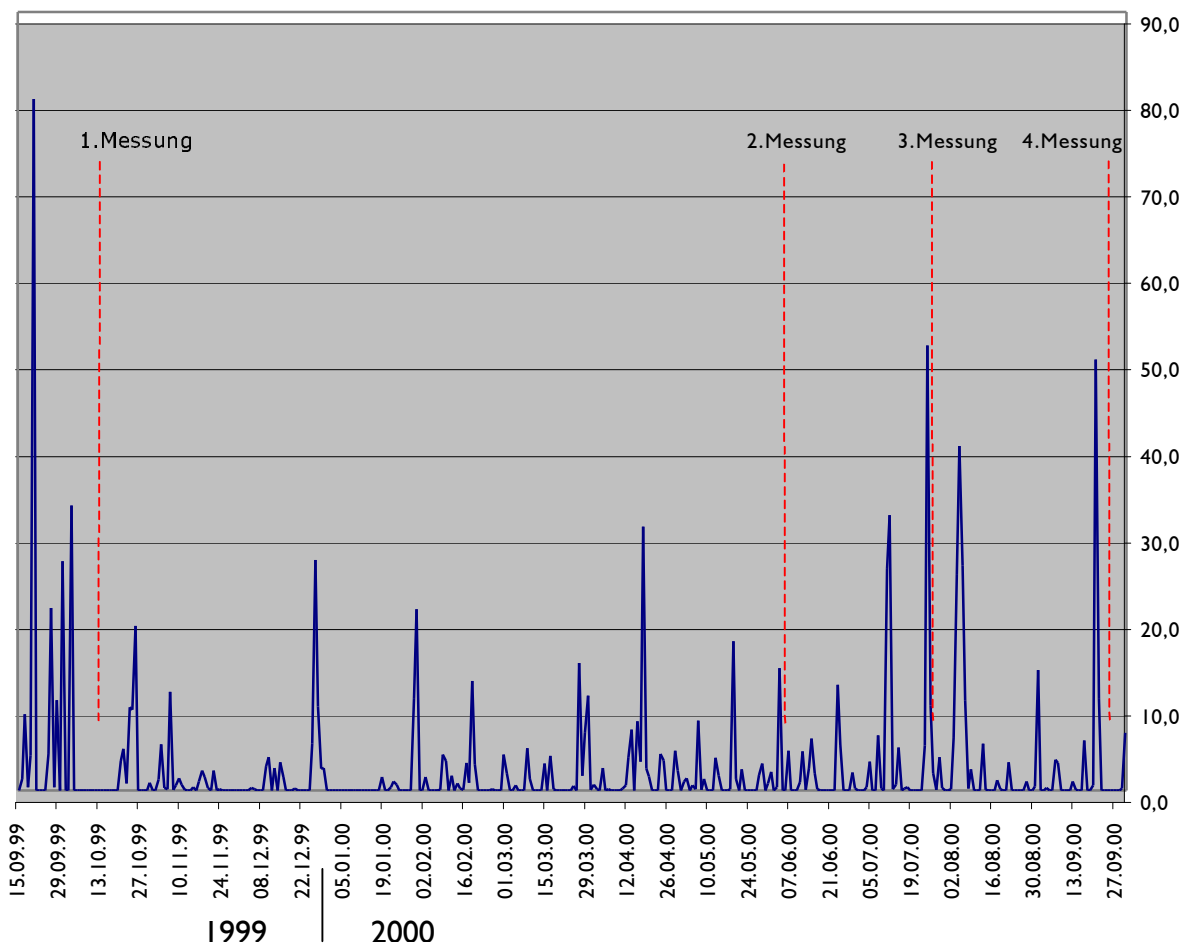


Abbildung 3-3 Tagesniederschläge im Zeitraum 15.9.1999 bis 25.9.2000 (Mittelwerte der Messstationen Zernez, Punt la Drossa, Buffalora)



4 MESSKAMPAGNEN

Es wurden insgesamt vier Probenkampagnen - auf zwei Jahre verteilt - durchgeführt.

- Herbst 1999: 10./12. Oktober
- Frühling 1999: 6./7. Juni
- Sommer 2000: 25./26. Juli
- Herbst 2000: 26./27. September

In diesen Messkampagnen wurden insgesamt 30 Quellen gemessen, wobei 25 davon mehrmals untersucht wurden.

4.1 MESSMETHODEN

4.1.1 FELDMESSUNGEN

Verschiedene Parameter wurden schon im Feld gemessen. Im Folgenden werden sie kurz vorgestellt.

Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit und Sauerstoff

PH-, Temperatur-, Leitfähigkeits- und Sauerstoffwerte konnten mit dem **Multiline P4** bestimmt werden.

Dieses feldtaugliche Universal-Taschenmessgerät von WTW besitzt ein wasserfestes Gehäuse. Über eine intuitive Benutzerführung kann in wenigen Knopfdrücken von einer Messung zur nächsten umgeschaltet werden, so dass bis zu drei Messungen simultan durchgeführt werden können. Die erhaltenen Datensätze werden indiziert und im integrierten Datenlogger gespeichert. Die dazugehörige Software ermöglicht den Export der Daten, mit zugehörigem Datum und Uhrzeit, zum PC.

Ein verständliches Kalibrationsmenu, Kalibrations- und Driftkontrolle gehören zu den weiteren Vorzügen.

Das Gerät verfügt über drei Messsonden, die untenstehend beschrieben werden.

	Sonde	Messbereich	Genauigkeit	Temperatur Integriert?	Kalibrierung
PH	TetraCon® 325	-2 bis 16	± 0.01	Ja ($\pm 0.1^\circ\text{C}$)	Puffer- lösungen
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	WTW LTA-I	0 bis 1999	1 (0-2000) 0.1 (0-200) 0.01 (0-20)	Ja ($\pm 0.1^\circ\text{C}$)	0.01 mol/l KCL
Sauerstoff [mg/l]	WTW CellOx-325	0 bis 50	3 % (Drift pro Monat in Betriebszeit)	Ja ($\pm 0.1^\circ\text{C}$)	

Tabelle 4-1 Übersicht: Messsonden des Multiline P4

Zu beachten ist bei den Messungen, dass möglichst nahe am Quellaustritt gemessen wird, die Sonden genügend tief im Wasser sind und vor allem bei der Sauerstoffmessung ein turbulenter Quellaustritt tunlichst vermieden wird. Da jedoch stark differierende Werte für die Sauerstoffsättigung festgestellt wurden und trotz eingestellter Driftkontrolle kein stabiler



Wert erreicht werden konnte, wurde bei der Sommer- und Herbstprobenkampagne auf die Analyse derselben verzichtet.

Schüttung

Aufgrund der meist geringen Schüttungsvolumina wurde mit der simplen Messbehälter-Stoppuhr-Methodik gearbeitet.

Quellhorizonte wurden, wenn möglich, mittels Addition einzelner Volumenströme abgeschätzt. Zu kleine Schüttungen (< 0.01 l/s) wurden als solche deklariert, ebenso flächenhafte Austritte.

Härte

Die Messungen wurden mit einem Fertigtest von Aquamerck durchgeführt und beruhen auf dem Prinzip der Titration. Das Verfahren besteht aus der Reaktion des zu bestimmenden Stoffes mit einer dazugegebenen Reagenz. Durch den Farbumschlag eines ebenfalls dazugegebenen Indikators wird das Ende der Reaktion angezeigt. Die Menge des dazugeführten Indikators bestimmt die Quantität des bestimmten Stoffes.

4.1.2 LABORMESSUNGEN

Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit wurde auf die Analyse der entnommenen Quellproben gelegt.

Geochemische Analysen waren früher die Domänen von spektroskopischen, kolorimetrischen und klassischen Methoden; Chromatographie wurde assoziiert mit organischer Separation und Analyse.

Die Entwicklung von effizienten Ionen-Austausch-Chromatographen und die Einführung von Leitfähigkeitsdetektoren haben mittels Hochdruck-Flüssig-Chromatographischen Techniken die schnelle, einfache und automatisierbare Analyse von geologischen Materialien ermöglicht. Seit der Einführung der Ionenchromatographie (IC) von Small, Stevens und Baumann im Jahre 1975, hat sie sich zu einer vielseitigen Analysentechnik für die ionische Spezies entwickelt.

Funktionsprinzip der Ionenchromatographie

Das Prinzip der Ionenchromatographie stellt ein physikalisch-chemisches Trennverfahren dar, das den zu bestimmenden Stoff beim Durchlauf durch eine stationäre Phase trennt.

Der schematische Aufbau des von uns benutzten Ionenchromatographen ist in Abbildung 4-1 in Form eines Blockbildes dargestellt.

Wir hatten am Geologischen Institut in Bern einen Ionenchromatographen von Dionex zur Verfügung, mit dessen Hilfe wir Anionen- sowie Kationenkonzentrationen massen. Anlässlich einer Panne des DX 4000 bestand zudem die Möglichkeit, die Anionenkonzentrationen der Sommer und Herbst 2000 Probenkampagne am moderneren Ionenchromatograph des Geologischen Institutes in Neuchâtel zu analysieren. Der DX 500, der ebenfalls von der Firma Dionex hergestellt wird, war mit einer ASI I-HC-Säule und dem Eluent Generator EG40 ausgestattet. Zudem bestand die Möglichkeit, mit Hilfe des Autosamplers alle Proben automatisch einspritzen zu lassen.

Ziel war es, die Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} - Anionen, sowie Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} - Kationengehalte der Quellproben zu bestimmen.



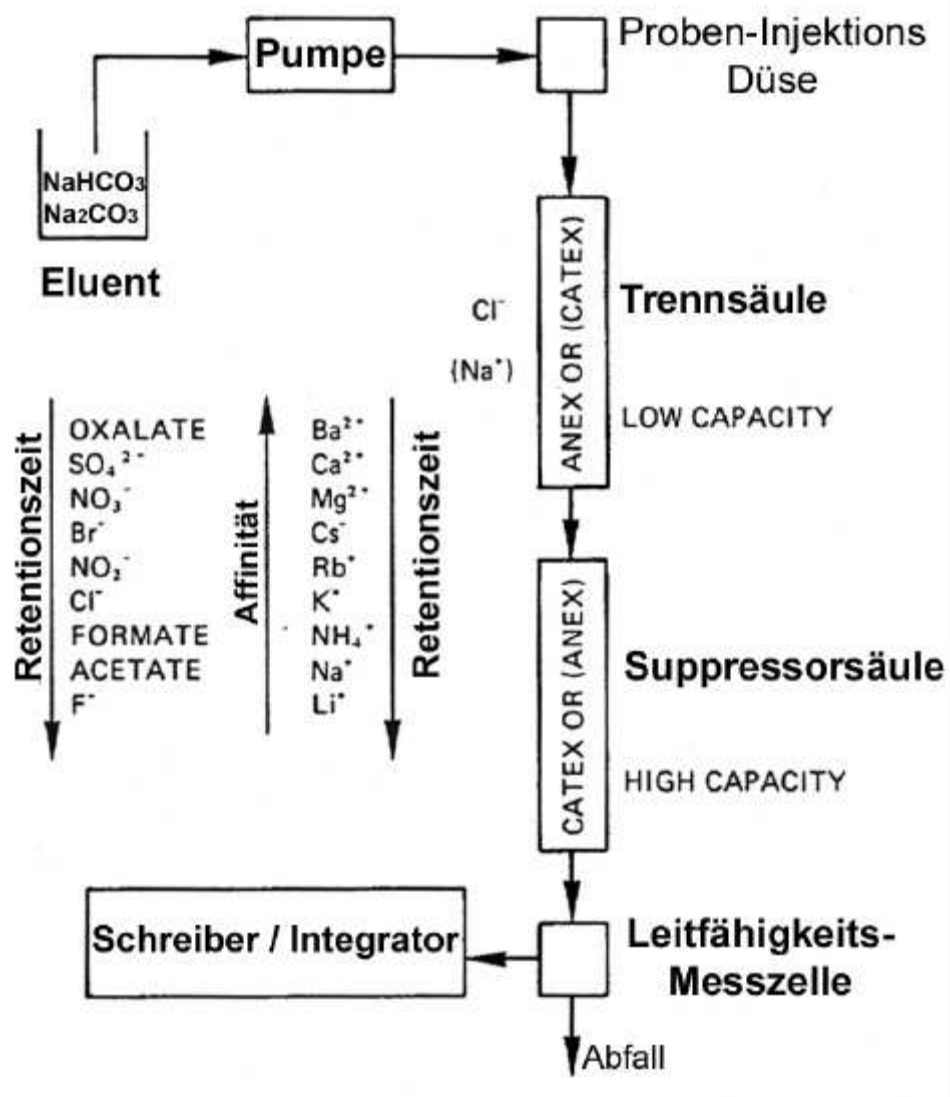


Abbildung 4-1 schematischer Aufbau IC-Analyse

ERLÄUTERUNG DES FUNKTIONSPRINZIPS DER IONENCHROMATOGRAPHIE

ELUENT: Trägerlösung, welche die zu untersuchende Probe durch die Säulen begleitet.

PUMPE: Garantiert die Konstanz des Durchflusses der Probe + Eluent.

TRENNsäULE: Trennung von Ionen an Ionenaustauschern niedriger Kapazität (HPIC: High Performance Ion Chromatography).
Die Trennung verläuft so, dass kleine Ionen geringer Valenz die Trennsäule schneller durchlaufen als grosse Ionen. Die Durchlaufzeit wird Retentionszeit genannt.

SUPPRESSORSäULE: - Reduzierung der hohen Hintergrundleitfähigkeit des Eluents.
- Die zu analysierende Probe in eine stärker leitende Form überführen.

LEITFähIGKEITSDETEKTOR Misst die Leitfähigkeit des zu detektierenden Iones.



4.1.3 HYDROGENKARBONATGEHALT

Karbonat ist in natürlichen Wässern mengenmässig das wichtigste Anion. Da im Eluent des Ionenchromatographen Karbonat in Form von Hydrogen- und Bikarbonat enthalten ist, konnte mittels IC sein Auftreten nicht analysiert werden. Der Gehalt wird über eine Ionenbilanz gemessen. Der Anionengehalt in [mmeq/l] wird vom Kationengehalt subtrahiert. Die Differenz stellt den Karbonatgehalt dar. Da sich die untersuchten Quellwässer in einem pH-Bereich zwischen 7.49 und 8.43 befinden, wurde von einer Dominanz des Hydrogenkarbonats auf Kosten des Bikarbonats ausgegangen (vgl. Kap. 5.5.6). Zur Vereinfachung wurde aus diesem Grund der Bikarbonatgehalt vernachlässigt.

4.2 PLAUSIBILITÄTSKONTROLLEN (HÖLTING, 96)

Um Hinweise auf Vertrauenswürdigkeit und Zuverlässigkeit der Wasseranalysen zu erhalten, wurden Plausibilitätskontrollen durchgeführt.

Analyse	Plausibilitätskontrolle	Bem.	Durchschn. Fehler
IC-Analysen	Berechnung der Ionenbilanz	Da HCO_3^- bereits über die Ionenbilanz berechnet wird, ist diese Methode in diesem Fall ungültig	-
	Wiederholungsmessungen	-	5-10 %
pH-Wert	Berechnung aus Kalk-Kohlensäure Gleichgewicht	Gibt Hinweise auf Sättigungsgrad der Proben	-
Elektrische Leitfähigkeit	Aus den Konzentrationen der einzelnen Parameter zu errechnen	Liefert recht genaue Werte	5-10 %

Tabelle 4-2 Übersicht über die Plausibilitätskontrollen

IC-Analysen

Nach Bestimmung der Hauptinhaltsstoffe eines natürlichen Wassers sollten theoretisch die Summe der Kationen- und Anionenäquivalentmassen gleich sein. Dies kann dazu benutzt werden, grobe Fehler in den Resultaten der Quellwasseranalyse festzustellen. Da wir jedoch bereits über die Ionenbilanz den Hydrogenkarbonatanteil bestimmt haben, ist diese Kontrolle hier nicht durchführbar.

Wiederholungsmessungen

Bei einer korrekt durchgeführten Kalibrierung der Ionenchromatographie mit Kalibrierungsstandards sollten quantitative Genauigkeiten von 5 - 10 % der Analyseresultate erreicht werden. Zur Kontrolle dieser Vorgabe wird jede zehnte Probe drei Mal analysiert. Um Kontamination der Trennsäule mit Ionenrückständen zu verkleinern, wird nachträglich eine „Reinigungsanalyse“ mit Nanowasser vorgenommen. Es sollte darauf geachtet werden, nur Proben mit ähnlichem Verdünnungsgrad oder vergleichbarem Ionengehalt innerhalb einer Analyseserie zu untersuchen.

pH-Wert

Aus dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht kann grössenordnungsmässig der pH-Wert errechnet werden. Da dieses Gleichgewicht in natura oft nicht erreicht wird, gibt der bei Gleichgewichtsbedingungen errechnete pH-Wert Aufschluss über den



CaCO_3 - Sättigungsgrad der Probe (vgl. Kapitel 5.5.6). Als Plausibilitätskontrolle ist diese Berechnung aber nur bedingt brauchbar.

Löslichkeit

Die Berechnung der elektrischen Leitfähigkeit nach Rossum (1975) liefert recht genaue Werte und kann als Kontrolle der analytisch bestimmten Leitfähigkeit genutzt werden.

Berechnung der elektrischen Leitfähigkeit nach Rossum (1975)

Zur Berechnung der Leitfähigkeit der einzelnen, analytisch bestimmten Ionen (Äquivalentleitfähigkeit) muss die Konzentration eines Ions (mg/l) mit einem Faktor k_i multipliziert werden. Tabelle 4-3 zeigt die Faktoren nach Hölting (1992).

Ion	k_i-Wert
Na^+	2.21
K^+	1.91
$\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}$	3.00
$\frac{1}{2}\text{Mg}^{2+}$	4.42
Cl^-	2.13
$\frac{1}{2}\text{SO}_4^{2-}$	1.65
HCO_3^-	0.71

Tabelle 4-3 Faktoren k_i zur Errechnung der Äquivalentleitfähigkeit.

Ausgehend von den Konzentrationen der Ionen wird die Ionenstärke berechnet, getrennt nach Kationen und Anionen.

Aus Ionenstärke und Äquivalentleitfähigkeit wird das Mittel der Kationen- und Anionenleitfähigkeit bestimmt, die - unter Berücksichtigung der temperaturkorrigierten Viskosität - die Gesamtleitfähigkeit ergibt.



5 QUELLTYPEN: GEOLOGISCHE, PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE PARAMETER

5.1 EINLEITUNG

Es gibt viele Möglichkeiten, Quellen zu typifizieren. Die geologische Struktur, ihre Beziehung zur Topographie, die Art des Grundwasserleiters, chemische Beschaffenheit oder physikalische Parameter können zu Rate gezogen werden, um sie zu klassifizieren. Von einem Typ kann gesprochen werden, wenn sich zwischen den Eigenschaften chemisch gleichartiger Wässer und denen des geologischen Körpers, aus dem die Wässer stammen, eine eindeutige Zuordnung herstellen lässt (Gerb, 1958). Dieses Kapitel nutzt die nach den vier Probenentnahmen erhaltenen Daten, um die untersuchten Quellen in repräsentative Quelltypen einzuteilen. Dabei wurde nach 3 Kriterien vorgegangen:

1. Geologische Parameter, Art des Grundwasserleiters
2. Physikalische Parameter
3. Chemische Parameter

5.2 EINTEILUNG NACH ART DES GRUNDWASSERLEITERS UND NACH DER GEOLOGISCHEN STRUKTUR

Eine sehr allgemeine Charakterisierung von Grundwasser nach geologischen Gegebenheiten unterscheidet 5 Grundwassertypen (Hütter, 90).

1. Kristallinwasser:
sehr weiche und elektrolytarme Wässer
2. Sandsteinwasser:
*abhängig vom Bindemittel: -tonig (sehr weich)
-ferritisch (hohe Karbonathärte)
-kieselig (hohe Nichtkarbonathärte)*
3. Karbonatgesteinswasser
hohe Karbonat- und Nichtkarbonathärte
4. Gipsgesteinswasser
5. Salzgesteinswasser

Bei Quellen, die aus Lockergestein entspringen und zudem relativ kurze Verweilzeiten im Grundwasserleiter aufweisen, lassen sich oft keine klaren Beziehungen aufstellen. Durch die wechselnde chemische Beschaffenheit der Quartärbedeckung, aufgrund der heterogenen Beschaffenheit der Korngemengenteile, bilden sich Mischtypen heraus, die sich nicht einwandfrei zuordnen lassen. Zusätzlich finden sich oft sekundäre Quellen, die ihren primären Ursprung als Schichtquellen im Festgestein haben, dann aber durch die wasserdurchlässige Verwitterungsschicht abfließen. Dabei wird ihr geohydrochemischer Charakter „verwaschen“.

Der kurze Fliessweg und die einheitliche Oberflächenbedeckung der meisten Quellen lassen aber doch Rückschlüsse über die geologische Beschaffenheit des Speichermediums zu. Vor allem der kristalline Charakter der Moränenbedeckung, im Vergleich zu den karbonatischen Schuttkegeln und -schürzen widerspiegeln sich in den chemischen Analysen der Quellen.

Für die Entstehung einer Quelle gibt es zahlreiche geologische Möglichkeiten, die eine Klassifizierung ebenfalls zulässt (Stiny, 1933 und Thurner, 1967).



Folgende Einteilung kann vorgenommen werden:

Verengungsquellen

Der Quellaustritt wird durch eine Minderung des Abflussquerschnittes bedingt.

Schichtquellen

Ein durch Erosion bedingtes oder natürliches Ende des Grundwasserleiters (z.B. Auskeilen einer Schicht, Schuttfächer...) führt zum Austritt.

Stauquellen

Der Grundwasserleiter wird durch Störungen oder durch gefällewärts einsetzende wasserdurchlässige Schichten begrenzt.

Oft ist der Quellaustritt nicht an einen festen Ort gebunden. Flächenhafte Nassstellen (z.B. GS1 I) sind ebenso wie lineare Quellhorizonte (BFO, BFW...) aufzufinden.

Im Quellbericht ab Seite 36 findet sich eine geologische Klassifizierung jeder einzelnen Quelle. Ein Grossteil der vorgefundenen Quellen stellten Lockergesteinsquellen dar, die als Schichtquellen am Fuss von Gehängeschuttfächern (bspw. PG2) oder Trocken- und Bachschuttkegeln (PP10, PP5) entspringen. Oft führen auch morphologische Charakteristika, wie Abflachungen (BFW), Erosionsanrisse (JL4, GS13) oder Verengungen des Fliessquerschnittes (PA6, PA1) zu Quellaustritten.

5.3 EINTEILUNG NACH PHYSIKALISCHEN PARAMETERN

5.3.1 SCHÜTTUNG

Quellschüttungsmessungen erfassen den Grundwasserabfluss direkt. Die Quellschüttung wird hauptsächlich durch die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters, die Grösse des Einzugsgebietes und die Höhe der Grundwasserneubildung beeinflusst (Matthess, 1983).

Bei hoher Durchlässigkeit kann sich eine „grosse“ Ausflussrate auf geringen Raum konzentrieren, wie dies bei IF1 beispielsweise der Fall ist. Die geringe Durchlässigkeit eines Grundwasserleiters jedoch zwingt die Quelle, über eine grosse Fläche verteilt auszutreten. Nassstellen oder Quellhorizonte sind die Folge. Geringe Einzelschüttungen können sich dabei zu beträchtlichen Gesamtschüttungen addieren. Als Beispiel ist GS1 I aufzuführen, das einen ausgeprägt flächenhaften Austritt aus der Moränenbedeckung aufweist.

Da die meisten gemessenen Quellen ein kleines Einzugsgebiet aufweisen, reagieren sie direkt auf den Niederschlag. Der Einfluss der erheblichen Niederschläge im Zeitraum Mitte bis Ende September 1999 ist in den Schüttungswerten der Quellen nicht mehr sichtbar. Vor allem die Messkampagne am 25./26. Juni, die einen Tag nach einem starken Sommergewitter stattfand, zeigte bei den meisten Quellen erhöhte Schüttungen. Dies deutet auf eine kurze Verweildauer des Wassers im Grundwasserleiter hin.

Die geringe Datendichte macht es aber schwierig, detaillierte Aussagen anhand der Schüttungsmenge zu machen. Regelmässige Schüttungsmessungen sind dazu unabdingbar.

5.3.2 TEMPERATUR

Wärme wird dem Boden vorwiegend durch zwei Energiequellen zugeführt. Einerseits durch im Jahres- und Tagesablauf stark schwankende Strahlung, die langsam in die Tiefe wandert, sowie andererseits durch Wärmefluss aus dem Erdinnern. Der Einfluss der Sonnenstrahlung findet bis zu einer bestimmaren Eindringtiefe statt. Die Zone, in der die jährlichen



Temperaturschwankungen zu vernachlässigen sind, wird indifferente oder neutrale Zone genannt. Diese liegt im Untersuchungsgebiet in einer Tiefe von ca. 10 bis 20 m. Massgebliche Faktoren, welche die Tiefenlage der neutralen Zone bestimmen, sind geogene Faktoren wie Flurabstand, Wärmeleitfähigkeit des Lockergesteins oder die Grundwasserneubildung (Henning & Limberg, 1995).

Die Temperaturen perennierender Quellen liegen oft nahe der Temperatur der neutralen Zone. Vor allem bei Quellen geringer Schüttung treten bei langsamer Fliessgeschwindigkeit an der Oberfläche Abweichungen auf. Einflüsse des Klimas, der Exposition, der Höhenlage oder der Bodenbedeckung werden deutlich. Auswertungen der Temperaturamplituden und der Verzögerung des Auftretens von Extremwerten langzeitlicher Messungen helfen bei Aussagen über die Verweilzeit des Quellwassers im Grundwasserleiter, seiner Gründigkeit oder den Wasserhaushalt (Mathess, 1973).

Wilhelm (1956) unterscheidet anhand von Temperaturganglinien zwei Quelltypen:

Strahlungstyp

Maxima und Minima werden vorwiegend vom Strahlungshaushalt beeinflusst. Schneeschmelze und sommerliche Erwärmung wirken sich auf die Temperatur aus.

Infiltrationstyp

Das Temperaturverhalten wird von der Infiltration deutlich beeinflusst. Neben der Schneeschmelze und der sommerlichen Erwärmung wirken sich auch Sommerniederschläge negativ auf die Temperatur aus. Ein Hauptmaximum wird erreicht durch die sommerliche Einstrahlung bei fehlenden Niederschlägen. Starke Temperaturschwankungen weisen auf eine kurze Verweildauer im Untergrund hin.

Da in dieser Arbeit wenig Feldmessungen durchgeführt wurden, sind nur Tendenzen zu sehen, wie sich die Interaktion Niederschlag – Schüttung / Temperaturverhalten auswirkt. Der Temperaturbereich der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Quellen liegt zwischen 2.9 °C (JL4) und 8.8 °C (CS1).

Einige Quellen stellen flachgründige, auf Temperatur- und Schüttungsschwankungen anfällige Quellen dar, die auf Niederschläge direkt reagieren. Die Lockergesteinsquellen PP11, PG4 wiesen im Sommer 2000 die geringste Temperatur auf, die graphische Darstellung in Abbildung 5-1 zeigt ein inverses Verhalten zu Strahlungsquellen wie CS1, PG3, PG2B, GS7B, PP3 oder GS8, die im Sommer ein deutliches Temperaturmaximum aufweisen. Vergleicht man die Schüttung, ist bei PG4 beispielsweise ein eindeutiges Maximum im Sommer 2000 zu sehen, das durch das heftige Sommergewitter am Vortag begründet wird. PG4 wie PP11 entspringen aus dem Gehängeschutt. Der Fliessweg von PP11 wird zudem von Trockenschuttfächern durchzogen. Beides sind sehr permeable Grundwasserleiter, die zusätzlich wegen dem steilen Gefälle für eine kurze Verweildauer sorgen. Die geringer akzentuierte Schüttungsschwankung von PP11 ist auf die weniger definierte Quellaustrittsstelle als bei PG4 zurückzuführen. PP11 bezeichnet einen Quellaustritt in einer Quelllinie, die insgesamt mit mehreren Litern Wasser pro Sekunde den obliegenden Hang entwässert.

Vereinzelte Quellen (z.B. PA1) wiesen zum Zeitpunkt der Messungen quasi stagnierende Temperaturen um 4.4 °C auf. Dies entspricht etwa der Jahresmitteltemperatur von Winterfrostböden, wie sie in dieser Klimazone vorkommen (Karte, 1979).

Genauere Aussagen können von den regelmässig gemessenen Quellen in der Nähe des Livignostausees gemacht werden (s. Lageplan der EKW im Anhang). Die EKW (Engadiner Kraftwerke) untersuchen allmonatlich (mit Ausnahme der Wintermonate) Leitfähigkeit, pH-



Wert und Temperatur ausgesuchter Quellen. Abbildung 5-2 zeigt das Temperaturverhalten der Quelle I im Vergleich zu den Niederschlägen (Messstation: Punt la Drossa). Das einmalige Maximum im Sommer 1998 - trotz anhaltender Niederschläge - und 1999, sowie das Minimum im Winter zeigen das eindeutige Strahlungsverhalten der Quelle.

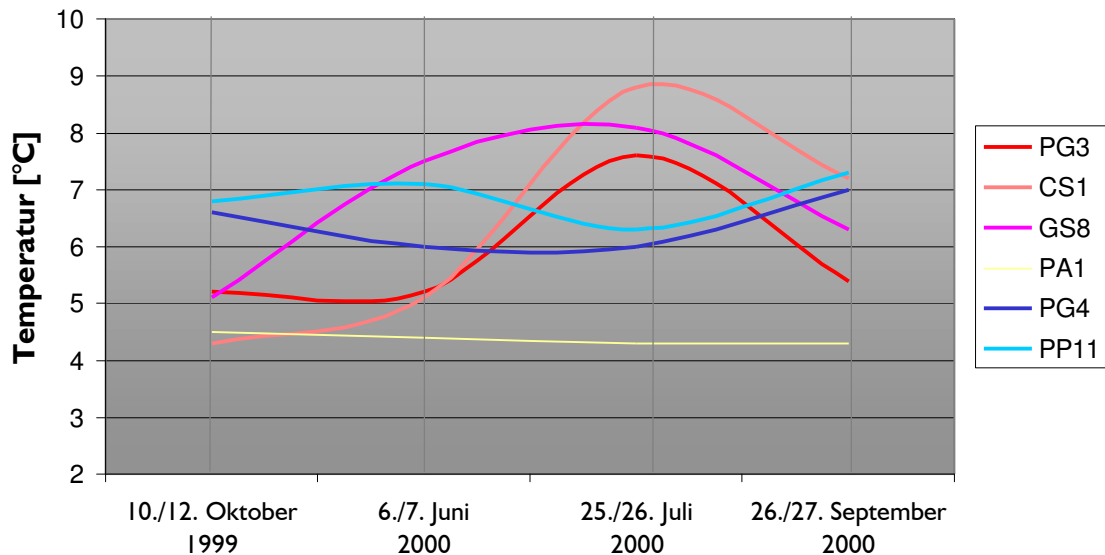


Abbildung 5-1 Temperaturschwankungen ausgewählter Quellen

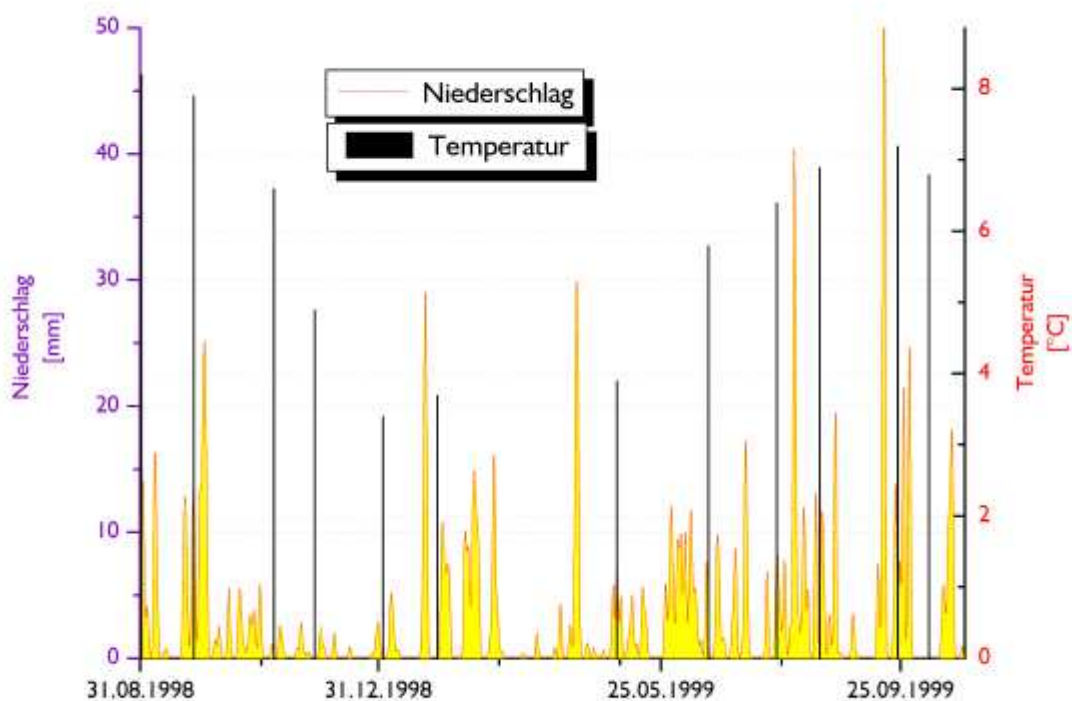


Abbildung 5-2 Temperatur-Niederschlagsganglinien der Jahre 1998/1999 der EKW-Quelle I (vgl. Lageplan: Quellen EKW, Beilage C [Anhang])



5.3.3 PH-WERT

Reines Wasser dissoziiert in geringem Umfang in H^+ und OH^- - Ionen. Der Dissoziationsgrad wird durch den negativen Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration mit dem pH-Wert angegeben. Die Dissoziation ist von der Temperatur abhängig. Der pH-Wert bestimmt die Löslichkeit vieler Elemente. Ausnahmen sind beispielsweise Natrium, Kalium, Nitrat und Chlorid, die über die gesamte Breite des pH-Wertes im Grundwasser in Lösung bleiben (Matthes, 1973). In natürlichen Grundwässern puffern die darin enthaltenen Hydrogenkarbonate die gewöhnlich vorhandene Kohlensäure ab und lassen ein angenähertes Säure-Basen-Gleichgewicht entstehen. Dies führt dazu, dass die pH-Werte bei gut gepufferten Systemen in einem verhältnismässig kleinen Bereich zwischen 5.5 und 8.0 schwanken (Hölting, 1992). Bei gut gepufferten Grundwässern liegt er oft in der Nähe des Neutralpunktes zwischen 6.5 und 7.5. Bei weichen aber CO_2 -reichen, aggressiven Wässern zwischen 5 und 6, in karbonatreichen Wässern kann er bis auf $pH = 9$ ansteigen (Hütter, 1990).

Die Kenntnis des pH-Wertes erlaubt also, neben einer Art Gesamtbeschreibung des Wasserzustandes, auch die Interpretation einzelner Analysewerte, z.B. ob die gebundene Kohlensäure in Form von Hydrogenkarbonat oder als Bikarbonat vorliegt (s. Kapitel 6.5.6). Der pH-Wert der untersuchten Quellen liegt zwischen 7.49 und 8.43, was auf karbonatreiche Wässer schliessen lässt. Bemerkenswert dabei ist die Tatsache, dass die tiefsten pH-Werte bei der Sommerfeldkampagne 2000, nach ausgeprägten Niederschlägen vorzufinden sind. Wiederum hat PG4, neben dem Temperaturrückgang (vgl. vorigen Abschnitt) auch eine massive Reduktion des pH-Wertes (-0.7) erfahren.

5.3.4 LEITFÄHIGKEIT

Die elektrische Leitfähigkeit von Wässern beruht auf deren Gehalt an Ionen. Sie ist abhängig von der Konzentration und dem Dissoziationsgrad der gelösten Elektrolyte, von deren elektrochemischen Wertigkeit, von der Ionenbeweglichkeit und der Temperatur (Hütter, 1990).

Echte und potentielle Elektrolyte dissoziieren in wässriger Lösung, die dabei entstehenden Ionen machen die Lösung elektrisch leitfähig. Die elektrische Leitfähigkeit einer Wasserprobe ergibt sich aus der Widerstandsmessung zwischen Elektroden mit einer Fläche von 1 cm^2 und einem Abstand von 1 cm . Die Einheit ist das „Siemens“ (S).

Die elektrische Leitfähigkeit ergibt einen Anhaltspunkt über die Gesamtmineralisierung einer wässrigen Lösung und setzt sich aus den Leitfähigkeitsbeiträgen der einzelnen Kationen und Anionen zusammen. Durch regelmässige Messungen kann sie dazu dienen, Änderungen im Elektrolytgehalt festzustellen.

Die untersuchten Quellen weisen variable Leitfähigkeiten im Bereich von $220 - 430\text{ }\mu\text{S/cm}^2$ auf.

Die Leitfähigkeit wird beeinflusst von der Länge des Transportweges oder von der Art des durchflossenen Grundwasserleiters. Quellen mit „langem“ Weg durch das Lockergestein weisen höhere Werte auf (PA6, PG4, PP10-II, PP10 oder PP11). Zudem findet die Mineralisation des Grundwassers durch die Verwitterung von Mineralien statt. Quellen, die aus gering verwitterten Bachschuttkegeln entspringen, wie PG5 oder PG6, weisen z.B. kleinere Leitfähigkeiten auf als PG3, die aus einer Verwitterungsschicht fliesst. Die relativ geringe Leitfähigkeit aller untersuchten Quellen beruht auf der kurzen Verweildauer des Wassers im Untergrund.



5.3.5 HÄRTE

Unter der Härte eines Wassers ist sein Gehalt an Calcium-, Magnesium-, Strontium- und Barium-Ionen zu verstehen. Strontium- und Barium-Ionen können - aufgrund ihrer meist geringen Konzentration im Quellwasser - vernachlässigt werden.

➤ Gesamthärte (GH)

Die Gesamthärte bezeichnet die Stoffmengenkonzentration der Erdalkalien Calcium (CaO) und Magnesium (MgO) in [mmol/l]. Da deren Verbindungen schwer wasserlöslich sind und beim Erwärmen meist als Karbonate ausfallen, gehören sie zu den Gesamthärtebildnern.

➤ Karbonathärte (KH)

Die Karbonathärte ist der Gehalt an Hydrogenkarbonaten und Bikarbonaten aller Kationen, insbesondere der Erdalkalitionen und Alkalien.

➤ Nichtkarbonathärte (NKH = GH-KH)

Die Nichtkarbonathärte definiert den Rest an Calcium- und Magnesium-Ionen, der gegebenenfalls nach Abzug der KH von der GH übrigbleibt. Das heisst, dass dieser Anteil nicht aus Auflösung von Karbonaten, sondern z.B. aus Sulfaten, Chloriden, Nitraten, Silikaten oder Phosphaten stammt.

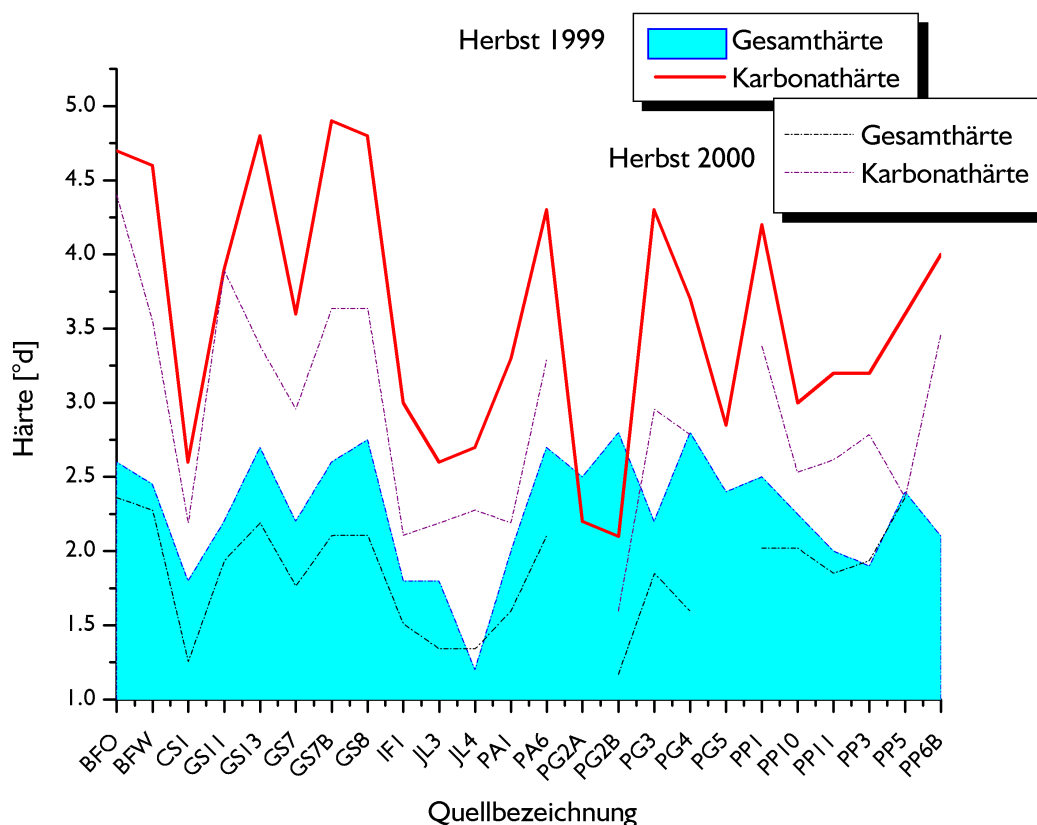


Abbildung 5-3 Vergleich: Gesamthärte - Karbonathärte der Messkampagne Herbst 1999 und Herbst 2000



Nach Klut-Olszewskis Härteklassen (1945) sind alle gemessenen Quellen als weich bis sehr weich einzustufen, was bei dem relativ „jungen“ Charakter der meisten Quellen auch sinnvoll ist. Mit Ausnahme der Quellen PG2A und PG2B weisen alle Quellen höhere Karbonathärten als Gesamthärten auf (vgl. Abb. 5-3). Das heisst, es sind mehr Äquivalente an Hydrogenkarbonat- und Karbonat-Ionen vorhanden als an Calcium- und Magnesium-Ionen vorliegen. Diese Härteumkehr kommt dadurch zustande, dass dem im Boden versickerten Niederschlagswasser an austauschfähigen Tonmineralien Calcium- und Magnesium-Ionen (z.B. aus Gips, Dolomit etc.) entzogen und vor allem gegen Natrium-Ionen ausgetauscht werden (vgl. Kap. 5.4.5).

5.4 PHYSIKALISCH-CHEMISCHE PROZESSE

5.4.1 EINLEITUNG

Die im Grundwasser gelösten Inhaltsstoffe sind Teil des geochemischen Stoffkreislaufes. Die chemische Beschaffenheit eines „Quellwassers“ hängt einerseits von der Beschaffenheit des Niederschlagswassers oder eventuell infiltriertem Oberflächenwasser (fluviale Gewässer) ab. Andererseits durchläuft das Grundwasser auf seinem Weg durch den Grundwasserleiter eine Reihe von geochemischen Prozessen, die seine Beschaffenheit verändern.

Das Ausmass dieser Veränderung durch Aufnahme oder Abgabe von gelösten Bestandteilen wird bestimmt von der chemischen und physikalischen Beschaffenheit der Gesteine, den Lagerungsverhältnissen im Grundwasserleiter, der Wassertemperatur, dem Salzgehalt, der chemischen Beschaffenheit des Wassers, Wassermenge und Durchflussgeschwindigkeit sowie anthropogenen Einflüssen (Matthes, 1973). Die wichtigsten Prozesse sollen nun kurz beschrieben werden.

5.4.2 NIEDERSCHLAG

In der Regel sind im Niederschlag geringe Anteile an Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- und HCO_3^- gelöst. Für Na^+ , Cl^- und Mg^{2+} zeigt sich mit der Entfernung zur Meeresküste eine Abnahme der Konzentrationen. Der Hydrogenkarbonatgehalt ergibt sich aus der Reaktion mit dem atmosphärischen Kohlendioxidgehalt und dem Regenwasser. Sulfat und Nitratgehalte sind zum Teil durch die Reaktion des Regenwassers mit Stick- und Schwefeldioxyden aus Industrie-Abgasen erhöht. Daneben findet eine Ionenaufnahme (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^-) durch Aerosole statt (Schmitt, 2001). Durch die Wechselwirkungen von Gasen und Aerosolen mit dem Niederschlagswasser kommt es zu einer Änderung des pH-Wertes gegenüber dem aus dem Gleichgewicht zum atmosphärischen CO_2 -Gehalt resultierenden Wert von pH 5.65 (DVWK, 1992).

Die Analyse einer Regenprobe vom 24. Juli 1999 aus der Val Laschadura zur Bestimmung der Hintergrundkonzentration ergab folgende Werte:

Ionen	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
Konz. [mg/l]	0.11	0.16	0.06	3.04	0.04	0.14	0.28	9.56

Der Gesamtionengehalt beträgt 0.33 [mmeq/l]. Regenwassermessungen aus dem Jahre 1955, von Schmassmann durchgeführt, sind in Tabelle 5-1 aufgeführt.



Parameter	19.7.1955 8:00 Uhr	25.7.1955 6:00 Uhr
T	10.3	10.4
pH	6.25	6.7
NH₃	3.08	0.6
NO₂	0.014	0.014
Cl⁻	-	0.9

Tabelle 5-1 Regenwassermessungen aus dem Jahre 1955
(Schmassmann, unveröffentlicht)

5.4.3 AUFLÖSUNG UND AUSFÄLLUNG (Hölting, 1992)

Nach der Infiltration des Nieferschlagswassers tritt es in Wechselwirkung mit dem umhüllenden Material. Die wichtigste Interaktion zwischen Grundwasser und Grundwasserleiter ist das Auflösen oder Lösen von Mineralien. Dabei sind vor allem karbonatische (CaCO_3 , $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), sulfatische (CaSO_4) und chloridische (NaCl) Verbindungen von Bedeutung.

Die Löslichkeit eines Stoffes wird bestimmt durch sein Löslichkeitsprodukt und seine Ionenaktivität und wird durch die Wassertemperatur, den Druck (bei Anwesenheit von v.a. CO_2) und z.T. durch den pH-Wert und das Redoxpotential beeinflusst.

Die Lösung von schwer wasserlöslichen Mineralien wie etwa die Feldspäte unter Einwirkung von H^+ , oder OH^- - Ionen wird als Hydrolyse bezeichnet. Dabei werden vor allem Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ schrittweise von der Kristalloberfläche gelöst. Die gelösten Bestandteile können wiederum - unter dem Einfluss von Kohlensäure - neue Verbindungen eingehen (z.B. Hydrogenkarbonat).

Das in der Regel weiche Niederschlagswasser reichert sich somit bei der Infiltration durch den Boden mit löslichen Alkali- und Erdalkalitionen an, wobei das löslichere Alkaliion zuerst gelöst wird.

5.4.4 ADSORPTION - DESORPTION

Das Wasser steht während des Fließens mit adsorbtiv wirksamen organischen und inorganischen Stoffen des Grundwasserleiters in Wechselwirkung. Dabei werden dissoziierte Ionen durch Van-der-Waalsche Kräfte an der Oberfläche von Kristallen gebunden oder auch im Kristallgitter eingebunden. Diese Einbindung ist die Voraussetzung für den Ionenaustausch. Neben der Bindung (Adsorption) ist auch ein Freiwerden (Desorption) von adsorbierten Wasserinhaltsstoffen unter geänderten Löslichkeitsverhältnissen oder Konzentrationen möglich. Desorption und Adsorption verlaufen nach der Freundlich – Isotherme, die das Verhältnis zwischen der Konzentration eines Elementes im Wasser und im durchflossenen Gestein darstellt und mit deren Hilfe verschiedene Beweglichkeitsstufen unterteilt werden können. Diese Stufen bestimmen die Neigung eines Elementes in Mineralneubildungen eingebaut zu werden, an wirksamen Oberflächen sorbiert oder bei Fällungsreaktionen mitgerissen zu werden (Matthes, 1973).

Praktisch alle im Wasser enthaltenen Stoffe unterliegen sorbtiven Prozessen. Sorbierend wirken u.a. Tonminerale, Zeolithe, Humusstoffe aber auch die gesteinsbildenden Mineralien Glimmer, Feldspat, tonerdehaltige Augite und Hornblenden. Vor allem grossflächige Moleküle haben aufgrund der Bedeutung von Dichte, Korngrösse, Porosität und Verteilung in der grundwasserleitenden Schicht ein grosses Sorptionsvermögen.



Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen in [mg/kg]								
Element	Beweglichkeit	Löslichkeit	Magmatite	Karbonatgesteine	Tongesteine	Sandsteine	Evaporite	Meerwasser
Chlorid	I		305	305	170	15	525000	19400
Sulfat	I		410	4550	1850	945	26800	904
Nitrat (N*)			46		600			16.17
Natrium	II	I	28100	393	4850	3870	310000	10800
Kalium	III	I	25700	2390	24900	13200	4280	392
Calcium	II	I	36200	272000	22500	22400	11100	411
Magnesium	II	I	17600	45300	16400	8100	3070	1290

Beweglichkeit	
I	Sehr bewegliche Stoffe
II	Genügend bewegliche Stoffe
III	Bewegliche Stoffe
IV	Wenig bewegliche Stoffe, inerte Stoffe

Löslichkeit		
	Ionenpotential	
1	0-3	Ionische Bindung, daher löslich
2	3-12	Hydroxylbindung, neigen zur Hydrolyse
3	> 12	Wasserstoffbindungen, bilden komplexe Anionen

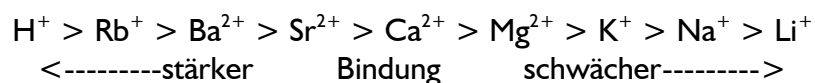
Tabelle 5-2 zeigt neben der mittleren Zusammensetzung von Gesteinen die Eigenschaften der Hauptinhaltsstoffe natürlicher Wässer.

Die geochemische Beweglichkeit der Elemente in einem gegebenen chemischen Umfeld, im Gestein oder in der Hydros- und Atmosphäre wird also bestimmt von der:

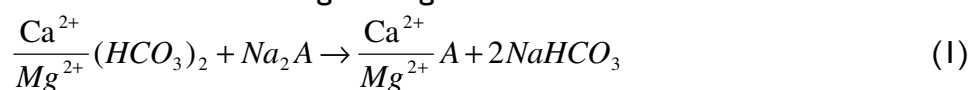
- Löslichkeit
- Beweglichkeit

5.4.5 IONENAUSTAUSCH

Austauschvorgänge zwischen den im Wasser gelösten und den im Austauscher gebundenen Ionen sind umkehrbar. Ionen im Kristallgitter können gegen andere ausgetauscht werden. Ionenaustauschvorgänge sind im Untergrund weit verbreitet. In der Regel werden nur Kationen ausgetauscht, vorzugsweise in Tonmineralien die im Sedimentgestein enthalten sind. Die Bindungsfähigkeit der natürlichen Austauscher ist umso grösser, je höher die Wertigkeit eines Ions und je schwerer es aus dem Kristallgitter zu verdrängen ist. Folgende Reihe zeigt die Bindungsintensität verschiedener Ionen:



Vor allem bei der Alkalisierung bzw. Erdalkalisierung ist dies von Bedeutung. Bei der Alkalisierung werden an austauschfähigen Tonmineralien dem durchsickernden Niederschlagswasser die Härtebildner entzogen. Folgender Prozess findet statt:



Fließt alkalisierendes Wasser in erdalkalireiches Milieu, findet der umgekehrte Vorgang, die Erdalkalisierung statt. Da jedoch Ca^{2+} die höhere Bindungsintensität als Mg^{2+} besitzt, weisen diese „Regenerationswässer“ häufig relativ höhere Mg^{2+} - als Ca^{2+} -Gehalte auf.



5.5 INHALTSSTOFFE NATÜRLICHER WÄSSER

Haupt- inhaltsstoffe (Häufig > 10 mg/l)	<u>Kationen</u>	<u>Anionen</u>	<u>Gase</u>	<u>Feststoffe</u>	<u>Suspension</u>
	Na ⁺	Cl ⁻	O ₂	SiO ₂ *xH ₂ O	Tone
	K ⁺	NO ₃ ⁻	N ₂		Feinsande
	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₂		Organische
	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻			Bodenbestandteile

Tabelle 5-3 Hauptinhaltsstoffe natürlicher Wässer (nach Haberer, 1969)

Alle im vorherigen Kapitel genannten chemischen und physikalischen Prozesse führen zu einem charakteristischen Erscheinungsbild der chemischen Beschaffenheit natürlicher Grundwässer. Oft ist dies ein Indikator für die Art und Tiefe des durchströmten Untergrundes, insbesondere der obersten Bodenschichten. Im besten Fall können Rückschlüsse auf die Geologie des durchflossenen Gesteines gezogen werden. Es können auch Hinweise auf die Verweildauer des Wassers im Boden gegeben sein. Im Folgenden wird auf die einzelnen gelösten Hauptbestandteile im Wasser eingegangen und charakteristische Eigenschaften der Quellwässer beschrieben. Neben den Inhaltsstoffen natürlicher Wässer wird zudem auf einzelne Ionenverhältnisse eingegangen. Durch Errechnung von Ionenverhältnissen können geohydrochemisch relevante Ionen oder Ionengruppen gesondert untersucht werden. Ionen, die im Vergleich zur Gesamtkonzentration vernachlässigt werden, können so isoliert betrachtet werden. Als fachliche Hilfen dienen Publikationen von Hütte (1990), Hölting (1992), Matthess (1973) und der DVWK (1986).

Zur Darstellung in Diagrammen wurden nur Quellen berücksichtigt, die bei allen vier Messkampagnen beprobt wurden.

5.5.1 ALKALIMETALLE: Na⁺, K⁺

Natrium

Natrium kommt von den Alkalimetallen weitaus am häufigsten im Grundwasser vor. Es entstammt vorwiegend aus Salzlagerstätten oder dem Verwitterungsprodukt von Na-Al-Feldspäten (Albit) in kristallinen Gesteinen. Mengenmässig von geringerer Bedeutung sind die natriumhaltigen Minerale wie Glaucophan, Jadeit oder die Zeolithe. In sedimentären Gesteinen, wie Sandsteinen oder Tonen ist Natrium in grosser Menge vorhanden. An die Tone beispielsweise ist Natrium sorbtiv gebunden. Es kann durch Verwitterung des Tones oder durch Ionenaustausch mit Calcium freigesetzt werden und in das Grundwasser gelangen. Im allgemeinen sind im Grundwasser jedoch nur geringe Konzentrationen von Natrium anzutreffen, in humiden Klimaten in der Grössenordnung von 1 bis 20 mg/l.

Aufgrund der lokalen Geologie, mit vorwiegend karbonatischen Lithologien, sind natriumhaltige Mineralien besonders in der Quartärbedeckung mit der kristallinen Moränenbedeckung zu suchen. Drei Quellen fallen durch besonders geringe Natriumwerte auf. PP11, PG4 sowie IF1. Diese stellen Lockergesteinsquellen dar, die aus Gehängeschutt-, bzw. Trockenschuttkegeln entspringen. Es ist davon auszugehen, dass die Quellen ihren Natriumgehalt nur in der Moränenbedeckung oder in der oberflächlichen, tonhaltigen Verwitterungsschicht aufnehmen.



Kalium

Kalium ist trotz etwa gleicher Verbreitung in Gesteinen (Feldspäte, Glimmer) wie Natrium in weit geringerer Menge als Natrium in Grundwasser und Oberflächenwasser anzutreffen. Ursache dazu ist die geringere Löslichkeit der Kalifeldspäte und die hohe Adsorptionsfähigkeit der Böden, die das Kalium an Tonminerale binden.

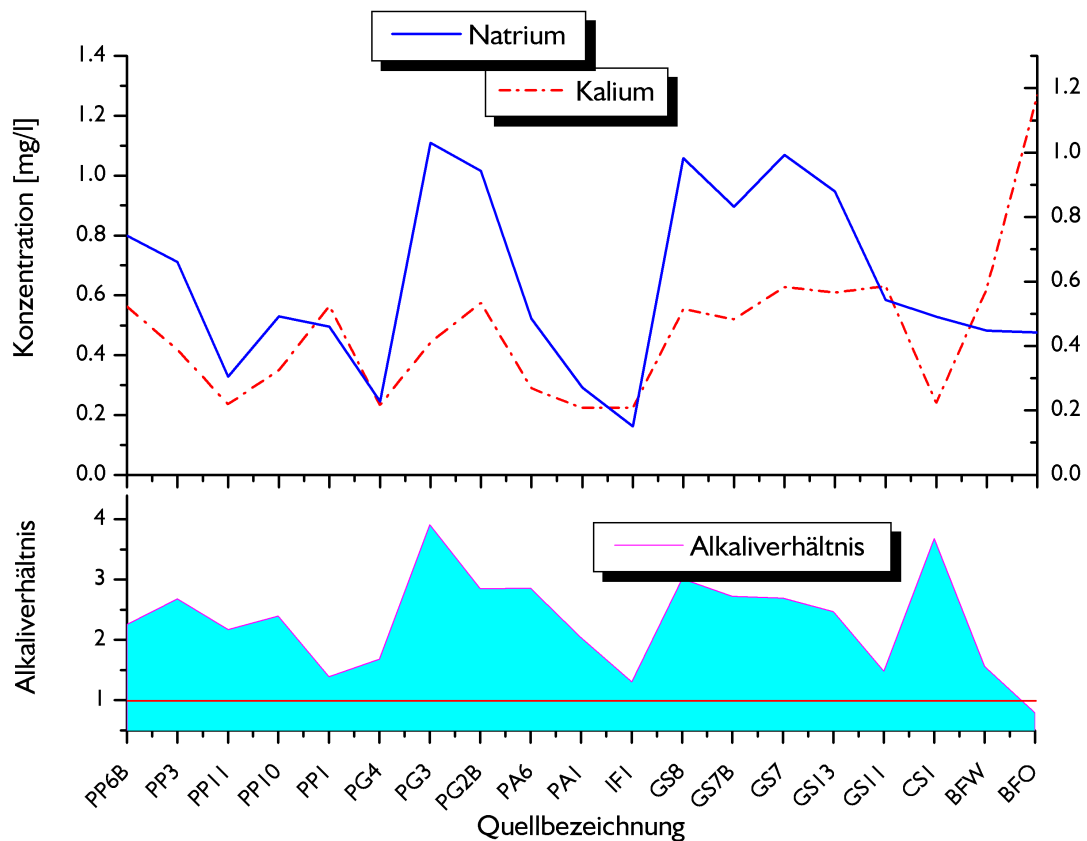


Abbildung 5-4 Mittelwerte der Kalium- und Natriumkonzentrationen und des Alkaliverhältnisses (Na/K)

Alkaliverhältnis (Na/K)

Beim Durchfluss des Wassers durch den Grundwasserleiter wird das Na/K-Verhältnis durch die Anreicherung von Natrium und die Abreicherung von Kalium angereichert. Die Endstufe dieser Abreicherung von Kalium ist im Meer zu sehen, wo wir mit 27.8 die höchsten Na/K-Verhältnisse finden. Geringe Alkaliverhältnisse sprechen dafür, dass die Quelle beispielsweise eine kleine Aufenthaltszeit im Lockergestein hatte. Der Grund dazu kann im grossen Gefälle liegen oder in der Beschaffenheit des Bodens. In lockerem Gehängeschutt ist mit einer kürzeren Aufenthaltszeit als in einer Verwitterungsschicht zu rechnen. Ein zweiter Grund kann auch die Beschaffenheit des durchflossenen Bodens sein. Ein grobblockiger Bachschuttkegel weist sehr wenig Tonminerale auf, die das Kalium binden könnten. In stark verwittertem Bodenmaterial hingegen kann Kalium schon in kurzer Zeit eingebunden werden. Das Wasser aus Quelle PG3 beispielsweise hat einen langen Transportweg in der Bodenbedeckung auf Moränenmaterial. Die hier offenbar vorhandene tonreiche Verwitterungsdecke fördert Ionenaustauschprozesse, der Kaliumgehalt wird



abgereichert bei einer gleichzeitigen Anreicherung von Natrium. Im Gegensatz dazu stellen IFI oder PPI oberflächliche Abflüsse in Bachschuttkegeln dar.

5.5.2 ERDALKALIMETALLE: Ca^{2+} , Mg^{2+}

Calzium

Calzium kommt als Karbonat in der Natur am häufigsten vor. So sind mehr als 700 Mineralverbindungen bekannt, die Calzium beinhalten. Die wichtigsten davon sind Calcit, Dolomit, Gips, Kreide, Mergel, Sulfate aber auch psephitische oder psammitische Sedimente beinhalten oft Calziumkarbonat oder –sulfat als Zement. In kristallinen Gesteinen ist Calzium vorwiegend im Anorthit oder in Angehörigen der Amphibolit- und der Pyroxengruppe gespeichert.

Ein kleiner Anteil von Calzium-Ionen wird dem Grundwasser über Niederschlag zugeführt. Die Analyse der Regenprobe vom 24. Juli 1999 ergab ca. 3 mg/l.

Ca-Mineralen sind - mit Ausnahme von relativ gut wasserlöslichem Sulfat – sehr schwer löslich. Die Ursache für die oft beträchtlichen Mengen von Ca^{2+} und Mg^{2+} im Grundwasser liegt im CO_2 , das im Niederschlagswasser gelöst oder in der Bodenluft zu finden ist. Im Laufe der Verwitterungsprozesse führt dieses CO_2 zur Bildung von leichter löslichen Hydrogenkarbonaten (Karbonathärte) (s. Gleichung 2). Die Calziumkonzentration wird somit über das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht gesteuert.



Bei Entfernung des CO_2 aus dem System kommt es zur Ausfällung von Karbonat (vgl. Kapitel 5.5.6: Hydrogenkarbonat).

Steht das Quellwasser in Kontakt mit Gips oder Anhydrit, so wird der Ca^{2+} -Gehalt über das Gipslöslichkeitsgleichgewicht gesteuert.

Magnesium

Magnesium ist wie Calzium in Karbonaten (Dolomit) vertreten, sein häufigstes Vorkommen ist jedoch in Silikaten (Olivin, Talk, usw.) zu finden. Mg^{2+} ist zwar leichter wasserlöslich als Ca^{2+} , aufgrund der geringeren Verbreitung, mit Ausnahme in silikatischen Grundwasserleitern, sind die Magnesiumgehalte gewöhnlich bedeutend tiefer. Geringe Magnesiumgehalte können zudem teilweise auf Kationenaustausch zurückgeführt werden, da Magnesium etwas fester von austauschfähigen Mineralien sorbiert wird als Calzium.



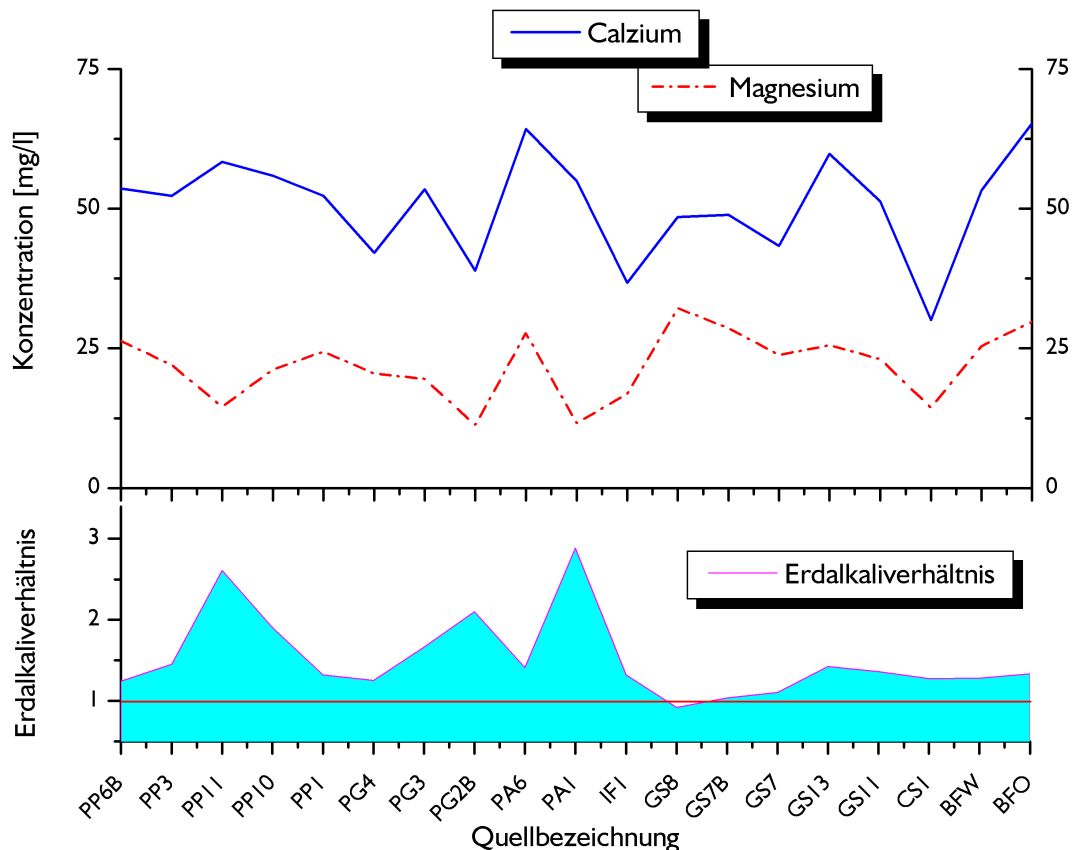


Abbildung 5-5 Mittelwerte der Calcium- und Magnesiumkonzentrationen und des Erdalkaliverhältnisses (Na/K) (berechnet über das Ionenäquivalentverhältnis der Erdalkalitionen)

Erdalkaliverhältnis

Das Ca/Mg- Verhältnis ist ein Anzeiger für das Vorkommen von magnesiumreichen Gesteinen, die von der Quelle durchflossen werden. Das ursprüngliche Erdalkali-Verhältnis im Regenwasser zeugt mit 28.65 von einer sehr hohen Ca-Konzentration. Mit Verhältnissen zwischen 0.9 bis 2.9 haben doch die meisten Quellen eine Magnesiumanreicherung erfahren, was durch die vorherrschenden dolomitischen Lithologien auch zu erwarten war. Eine Quelle mit „Gneischarakter“ bzw. einem recht hohen Ca/Mg - Verhältnis stellt PA1 dar. Ihr durchschnittliches Alkali-Verhältnis spricht für eine „mittlere“ Aufenthaltszeit. Das zugleich hohe Ca/Mg- Verhältnis zeigt zudem, dass ihr Transportweg nicht von dolomithaltigem Gestein geprägt wird, was zu einer Mg - Anreicherung geführt hätte. Es ist festzustellen, dass sie nur durch oberflächennahe, verwitterte Moränenbedeckung fließt und die Moränenbedeckung wenig dolomithaltige Gesteine enthält.

5.5.3 SULFAT

Sulfate sind Bestandteile einiger Feldspatvertreter, vor allem jedoch sind sie als Gips oder Anhydrit in Evaporiten oder als Bindemittel, Einlagen oder Kluftfüllungen in Sedimentgesteinen enthalten.

Beachtenswerte Mengen von Sulfat werden mit den Niederschlägen dem Wasserkreislauf zugeführt. Der grösste Bestandteil von Schwefel im Boden ist organisch in Aminosäuren gebunden. Bodenmikroorganismen nutzen den organisch gebundenen, auswaschbaren



Schwefel teilweise für den Zellaufbau und wandeln den Rest in Sulfationen um. Des weiteren erfährt das Grundwasser durch Zufuhr von auswaschbaren Sulfaten mit der Düngung und durch andere anthropogene Einflüsse eine Belastung.

Sulfat bildet den Hauptbestandteil der Nichtkarbonathärte (NKH). Aus diesem Grund übertrifft die Stoffmengenkonzentration Ca^{2+} meist die an SO_4^{2-} . Wo diese Differenz fehlt, kann auf eine Entfernung von Ca^{2+} durch Austauschvorgänge gegen Alkali-Ionen oder auf anthropogene Einflüsse geschlossen werden (vgl. Kap. 5.3.5).

Ausgesprochen hohe Sulfatwerte weist einzig die Quelle PP10 auf, die in allen 4 IC-Analysen mehr als die doppelte Sulfatkonzentration der restlichen Quellen aufweist (s. Abbildung 5-6). Mögliche Ursache ist eine erhöhte Aktivität von Mikroorganismen im Bereich der Quelle.

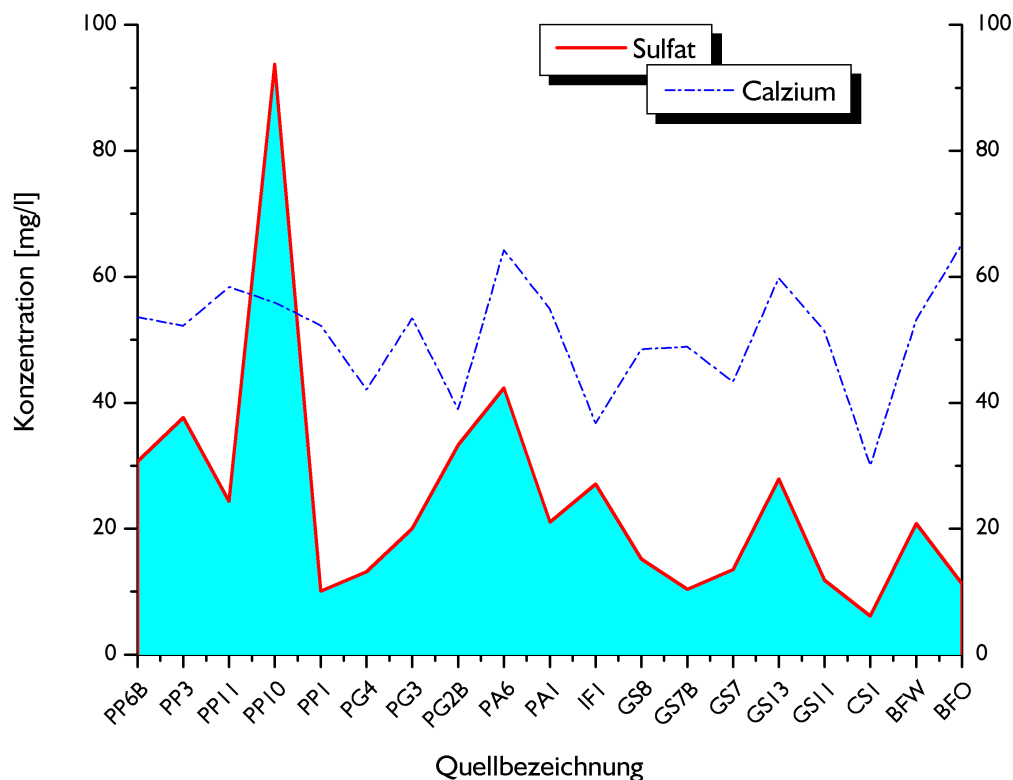


Abbildung 5-6 Mittelwerte der Sulfatkonzentrationen [mg/l] der 4 IC-Analysen; im Vergleich dazu die Calciumkonzentrationen [mg/l]

5.5.4 NITRAT

Ammonium wird im Boden überwiegend durch die Mineralisation von organisch gebundenem Stickstoff gebildet. Da es durch Mikroorganismen zu Nitrat oxidiert wird, ist es im Grundwasser kaum zu finden.

Abgesehen von einem direkten Eintrag durch Überdüngung ist diese mikrobielle Nitratoxidation (s. Gleichung 3) die Hauptursache für die Anwesenheit von Nitrat, das in fast allen Gewässern in geringer Menge nachweisbar ist.



Die Quellen des SNP weisen, wie zu erwarten war, geringe Nitratkonzentrationen im Bereich von 0.18 bis 3.43 mg/l auf. Zu beachten sind die bei allen vier Messkampagnen erreichten vergleichbar hohen Werte der Quelle II Fuorn IFI (2.06-2.29 mg/l). Der konstant höhere Wert ist möglicherweise durch organische Einträge von Wild zurückzuführen, das sich gehäuft im Infiltrationsgebiet aufhält. Interessant ist die Frage, ob im landwirtschaftlich genutzten Quellbereich Buffalora erhöhte Werte anzutreffen sind. Dabei ist vor allem der auf dem Schuttfächer liegende Quellhorizont BFO und der daneben liegende Quellhorizont BFW von Bedeutung. Zu sehen ist ein markanter Anstieg im Sommer 2000 (ca. Faktor 2 - 5). Gründe sind in der oberhalb gelegenen Alpe Buffalora zu suchen, die im Sommer bestossen wird. Zu beachten war zudem die möglicherweise abwasserbelastete Quelle CSI, die zwar Nitratwerte über dem Durchschnitt aufweist, aber mit einem Mittelwert von 1.2 [mg/l] als unbedenklich einzustufen ist. Vergleichsweise „hohe“ Nitratwerte weist ebenfalls PG2B auf, die in der Nähe des Livignostausees liegt und möglicherweise Seewasser führt.

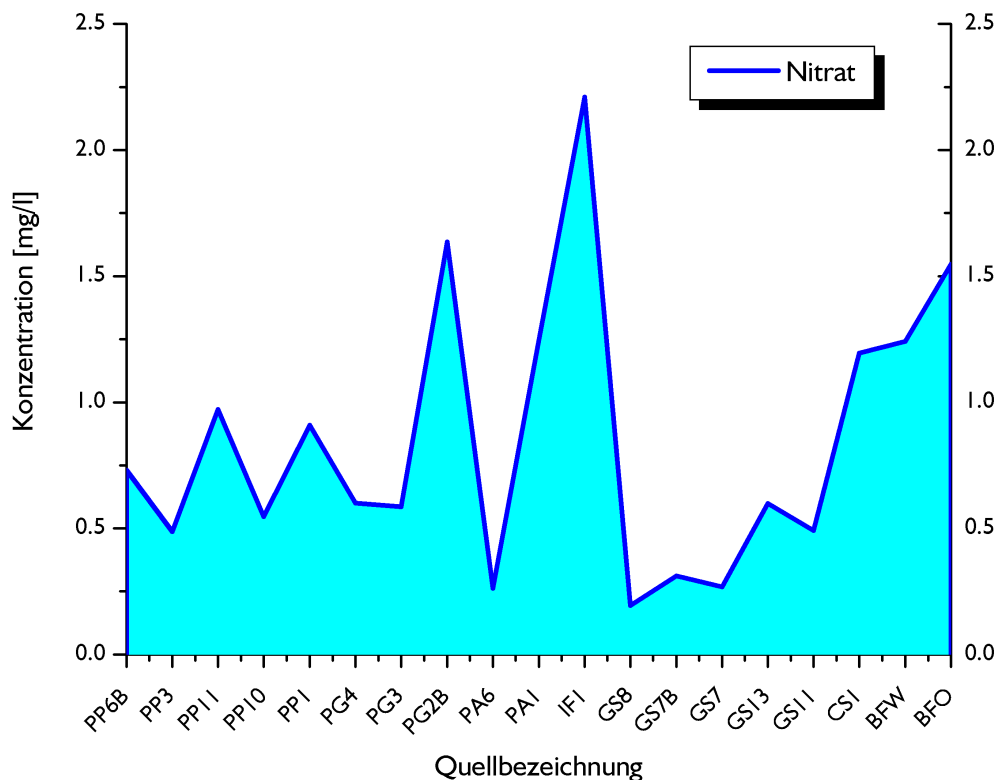


Abbildung 5-7 Mittelwerte der Nitratkonzentrationen [mg/l] der vier IC-Analysen

5.5.5 CHLORID

Chlorid ist ein hochmobiles Ion und in allen Binnengewässern enthalten. In kristallinen Gesteinen ist seine Konzentration gering, höhere Anteile sind in Sedimentgesteinen anzutreffen. $\frac{3}{4}$ der bekannten Chlormenge innerhalb der obersten 16 km Erdkruste der Hydrosphäre ist im Meerwasser als Chlorid gelöst.

Da Grundwässer in Magmatiten und Sedimentgesteinen häufig geringe Chloridgehalte (<30 mg/l) aufweisen, sind höhere Werte vor allem durch anthropogenen Eintrag mit chloridhaltigen Abfallstoffen, Düngemitteln oder Streusalzen eingetragen. In chloridreichen



Gesteinen - in der Umgebung von Salzlagerstätten - können Gehalte von mehreren 1000 mg/l Cl^- auftreten.

Chlorid wird beim Eintritt in das Grundwasser kaum adsorbiert, erhöhte Chloridkonzentrationen können nur durch Verdünnung beseitigt werden.

Abbildung 5-8 zeigt mit Variationen zwischen 0.3 und 0.7 die relativ geringen mittleren Chloridgehalte der vorgetroffenen Quellen. Die geringsten Konzentrationen wurden anlässlich der Analyse der Sommerproben festgestellt. Die starke Verdünnung durch vorgängige Sommergewitter führten zu z.T. markant kleineren Werten.

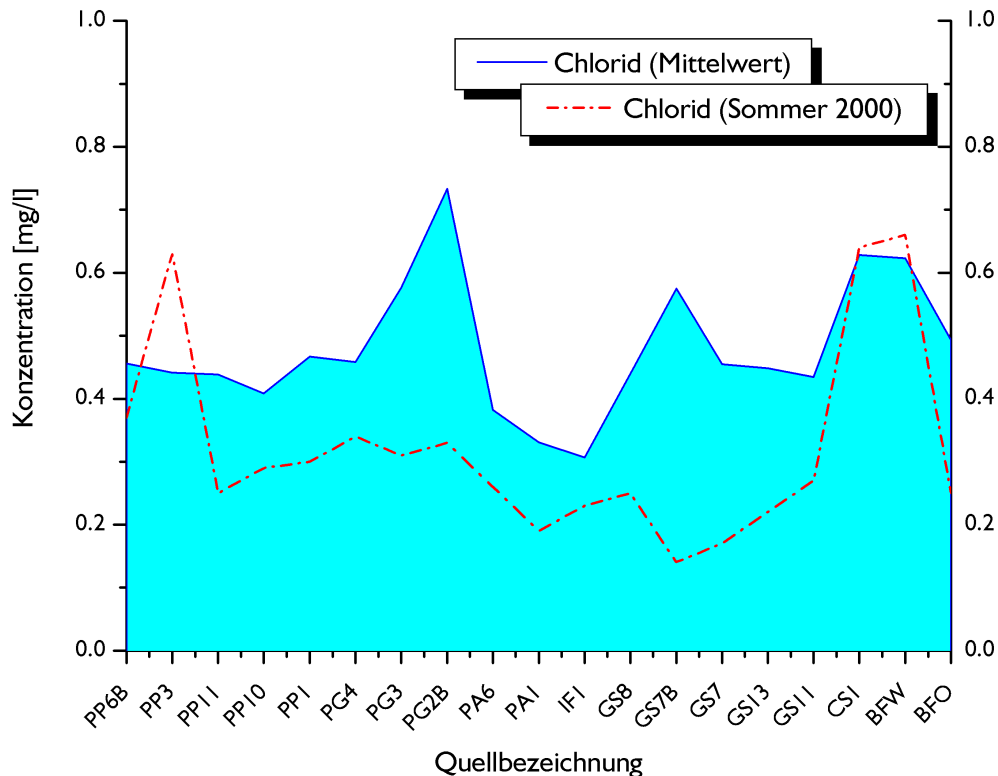


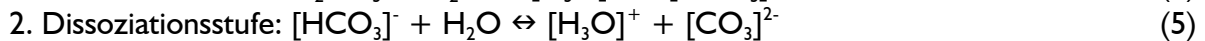
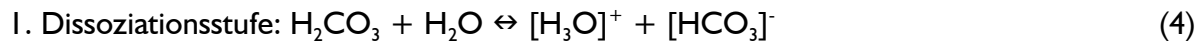
Abbildung 5-8 Mittelwerte der 4 IC-Analysen, und Resultate der Sommer 2000 Analysen der Chloridkonzentrationen [mg/l]

5.5.6 HYDROGENKARBONAT (HCO_3^-) UND KARBONAT (CO_3^{2-})

Die Stoffmengenkonzentrationen der Anionen der Kohlensäure sind weitgehend davon abhängig, wie lange und bei welcher Temperatur und pH-Wert ein CO_2 -haltiges Niederschlagswasser, das bei Durchsickerung durch die oberen Humusschichten weiter an CO_2 angereichert wird, in Kontakt mit karbonatischen Mineralien gestanden hat.

Wird atmosphärisches Kohlenstoffdioxid (CO_2) in Wasser geleitet, löst es sich, wobei diese Löslichkeit druck- und temperaturabhängig ist. Da sich ein sehr kleiner Teil des gelösten freien CO_2 's in schwache Kohlensäure umsetzt ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$), reagiert die wässrige Lösung von CO_2 sauer:





Die Kohlensäure bildet als zweiwertige Säure zwei Reihen von Salzen: Hydrogenkarbonate (HCO_3^-) und $[\text{CO}_3^{2-}]$ -Karbonate.

Sie ist befähigt, in tieferen Schichten lagernde, schwerlösliche (Erdalkali)karbonate unter Bildung von Hydrogenkarbonat (s. Gleichung 6, 7) und sogar Silikate zur Lösung zu bringen.



Die Konzentration von $[\text{HCO}_3^-]$ beginnt ab pH-Werten von 4.2 an zu steigen und erreicht ihr Maximum bei pH = 8.2. Analog sinkt die Konzentration von CO_2 und ist vernachlässigbar bei pH = 8.2. Ab pH-Werten von 8.2 steigt die Konzentration von $[\text{CO}_3^{2-}]$.

Da die anlässlich der vier Probenkampagnen gemessenen pH-Werte der untersuchten Quellen in einem Bereich zwischen 7.49 und 8.43 liegen, ist anzunehmen, dass das Karbonat vorwiegend in Form von Hydrogenkarbonat vorliegt. Zur Vereinfachung der untenstehenden Berechnungen wurde der Bikarbonatgehalt vernachlässigt.

Kalk-Kohlensäure – Gleichgewicht

Das Gleichgewicht wird durch das von Tillmans & Heublein (1912) aufgestellte und später erweiterte, *korrigierte Tillmannsche Gesetz* beschrieben.

$$C_{\text{CO}_2} = K_T / f [C_{\text{HCO}_3^-}]^2 [C_{\text{Ca}^{2+}}] \quad (8)$$

C_{CO_2} : Konzentration des im Wasser zu freier Kohlensäure gelösten Kohlenstoffdioxids, meist berechnet als CO_2

$C_{\text{HCO}_3^-}$: Konzentration der im Wasser gelösten, im HCO_3^- gebundenen Kohlensäure in [mmeq/l]

$C_{\text{Ca}^{2+}}$: Konzentration der Calciumionen in [mmeq/l]

K_T : temperaturabhängige Tillmans-Konstante

f : Die im Grundwasser gelösten Ionen Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- und SO_4^{2-} werden durch einen von der Ionenstärke abhängigen Korrekturfaktor f berücksichtigt.

Zur Berechnung des pH-Wertes eines natürlichen Wassers im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht wurde die Beziehung von Strohecker et al (1936), Langelier (1936) und Larson & Buswell (1942) angewandt :

$$\text{pH}_{\text{Sättigung}} = \text{pK} - \lg C_{\text{Ca}^{2+}} - \lg C_{\text{HCO}_3^-} + \lg f_L \quad (9)$$

pK : temperaturabhängige (Langelier)-Konstante

$$\lg f_L = \frac{2.5\sqrt{I}}{1 + 5.3\sqrt{I} + 5.5I}$$

I : Ionenstärke

Calciumkarbonat - Sättigungsindex

In natürlichen Gewässern wird das Kalk-Kohlensäure - Gleichgewicht häufig nicht erreicht, da oft ein Missverhältnis zwischen dem Kohlensäuregehalt im Wasser und dem Karbonatgehalt im Grundwasserleiter besteht, das oft nur durch lange Verweilzeiten ausgeglichen werden kann. Der Langelier-(Calciumkarbonat-Sättigungs)-Index zeigt die Beziehung zwischen



gemessenem und errechnetem pH-Wert. Da zur Berechnung des pH-Wertes HCO_3^- -Gehalte benutzt wurden, die über die Ionenbilanz berechnet wurden, darf der Sättigungsindex nur als abschätzender Indikator aufgefasst werden.

$$I_L = \Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{gemessen}} - \text{pH}_{\text{Gleichgewicht}} \quad (10)$$

Positive Werte weisen auf CaCO_3 -Übersättigung hin. Tabelle 5-4 zeigt eine Übersicht der errechneten Sättigungsindizes aller Analysen. Auffallend sind die positiven Werte aller Quellen, die auf eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Calciumkarbonatübersättigung hindeuten. Im Sommer sind die Übersättigungswerte kleiner als in den übrigen Jahreszeiten. Der Grund könnte in den starken Niederschlägen zu suchen sein, die aufgrund der erhöhten Schüttungsvolumina zu einer Verdünnung des Quellwassers geführt haben.

Quellbezeichnung	Herbst 1999			Frühling 2000			Sommer 2000			Herbst 2000		
	T [°C]	pH	Sättigungsindex	T [°C]	pH	Sättigungsindex	T [°C]	pH	Sättigungsindex	T [°C]	pH	Sättigungsindex
BFO	3.9	7.8	0.90	5.6	7.88	1.15	5.7	7.44	0.71	5.6	7.54	0.82
BFW	3.8	7.84	0.96	3.5	8	0.92	4.3	7.76	0.76	3.9	7.79	0.85
CS1	4.3	8.28	0.91	5.1	8.38	1.03	8.8	7.82	0.46	7.2	8	0.77
GS11	6.4	8.06	1.07	4.3	7.91	0.84	5.3	7.72	0.78	5.5	7.74	0.88
GS13	4.5	7.77	0.88	4	7.72	0.79	4.5	7.53	0.62	4.8	7.76	0.91
GS7	5.8	8.02	0.98	4.9	8.02	1.00	6.3	7.66	0.54	6.6	8.17	1.18
GS7B	5.5	8.43	1.52	6	8.25	1.32	6.9	7.86	0.90	6.2	8.31	1.38
GS8	5.1	8.49	1.55	7.5	8.46	1.59	8.1	8.16	1.26	6.3	8.49	1.58
IF1	4.9	8.16	0.86	5.1	8.03	0.76	5.5	7.57	0.31	5.3	7.94	0.69
PA1	4.5	8.19	1.21	4.4	8.14	1.04	4.3	7.94	0.82	4.3	8.08	1.04
PA6	4.5	8.23	1.36	5	8.05	1.32	4.7	7.64	0.70	4.6	7.95	1.09
PG2B	6.5	8.01	0.68	5.6	8.1	0.86	6.9	7.92	0.68	7.1	7.96	0.69
PG3	5.2	7.88	0.83	5.2	7.87	0.93	7.6	7.87	0.95	5.4	7.83	0.88
PG4	6.6	8.47	1.42	6	8.3	1.31	6	7.6	0.42	7	8.38	1.33
PP1	4.9	7.8	0.76	5.1	7.72	0.79	5.6	7.43	0.52	5.3	7.61	0.71
PP10	7.4	7.96	0.91	8.4	7.94	0.16	8.2	7.95	1.03	7.7	7.88	1.03
PP11	6.8	8.26	1.36	7.1	8.11	1.31	6.3	7.89	0.87	7.3	8.16	1.21
PP3	5.1	8.21	1.12	6.4	8.28	1.29	7	7.98	1.02	5.3	8.32	1.34
PP6B	6.9	7.96	1.04	6.7	8.03	1.06	7.2	7.53	0.66	7.5	7.68	0.84

Tabelle 5-4 berechnete Calciumkarbonatsättigungsindizes der vier Messkampagnen; Temperatur und pH-Wert gemessen.



5.5.7 TYPEN VON AUSTAUSCHWÄSSERN

Natriumhydrogenkarbonat-Typ

Die häufigsten Austauschwässer sind die des **NaHCO_3 -Typs**. Man erkennt sie daran, dass die Summe der Erdalkalien $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$ (mmeq/l) kleiner als die Äquivalentkonzentration der Hydrogenkarbonationen $[\text{HCO}_3^-]$ sind. Da in einer wässrigen Lösung die Summe der Anionen gleich der Summe der Kationen sein muss, müssen neben den Erdalkalien auch Alkalien durch $[\text{HCO}_3^-]$ gebunden sein. Da jedoch im Untersuchungsgebiet NaHCO_3 -Salze nicht in grossen Mengen vorkommen, müssen Austauschvorgänge stattgefunden haben. Diese Prozesse sind daran zu erkennen, dass die Karbonathärte grösser als die Gesamthärte ist.

Natriumsulfat-Typ

Weithin verbreitet sind **Na_2SO_4 -Wässer**, die bei fehlenden Glaubersalzlagerstätten nur durch Ionenaustausch entstanden sein können. Der Nachweis wird mit der Sulfathärte ($\{\text{Sulfatgehalt in [mg/l]}\}/17.2$) erbracht, die grösser sein muss, als die Nichtkarbonathärte. Ist neben Na_2SO_4 auch der NaHCO_3 -Wert erhöht, ergeben sich negative Nichtkarbonathärten. Der Nachweis erfolgt über das Verhältnis $[\text{Na}^+]/[\text{Cl}^-]$ (in mmeq/l), das grösser 1, sowie das Verhältnis $\frac{[\text{Na}^+] - [\text{Cl}^-]}{[\text{SO}_4^{2-}]}$ das kleiner als 1 sein muss.

Mit Ausnahme der Quellen PG2A und PG2B (Herbstkampagne 1999) weisen alle restlichen Quellen grössere Karbonathärten als Gesamthärten auf. Dies deutet auf Ionenaustauschvorgänge hin. Die positive Differenz der Summe der Erdalkalien mit dem Hydrogenkarbonatgehalt zeigt, dass die Erdalkalien Ca^{2+} und Mg^{2+} an Hydrogenkarbonat, sowie an Sulfat gebunden sind. Dafür spricht zudem das Salinarverhältnis, das mit Ausnahme der Quellen PG4, JL3, IF1, PP11 und PA1 grösser als 1 ist, sowie das Verhältnis $\frac{[\text{Na}^+] - [\text{Cl}^-]}{[\text{SO}_4^{2-}]}$, das bei allen Quellen der Herbstkampagne 1999 kleiner als 1 ist. Nach den

genannten Verfahren gehören somit alle Quellproben der Herbst 1999 Analyse mit Ausnahme der Quellen PG2A und PG2B zu Austauschwässern des Natriumsulfat-Typs. Eine Kontrollrechnung mit den Proben der Herbstkampagne 2000 zeigt ein ähnliches Bild. Mit Ausnahme von JL1 und JL3 weisen alle Quellen auf Austauschwässer des Natriumsulfat-Typs hin.



6 DARSTELLUNG DER ANALYSEERGEBNISSE

6.1.1 PIPER DIAGRAMM

In Piper-Diagrammen werden Hauptanionen- und Kationenanteile (in Prozentangaben) gegeneinander in den Dreiecken dargestellt. Das Total der Kationen (mmol/l) und der Anionen wird als 100 % gesetzt. Die Datenpunkte der Dreiecke werden in die Raute projiziert. In unten dargestellten Diagrammen sind die Hauptkationen (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) gegenüber den Anionen (Cl^- , SO_4^{2-} und HCO_3^-) eingetragen. Der Vorteil der Piper-Diagramme ist die Gegenüberstellung einer Vielzahl von Analyseresultaten.

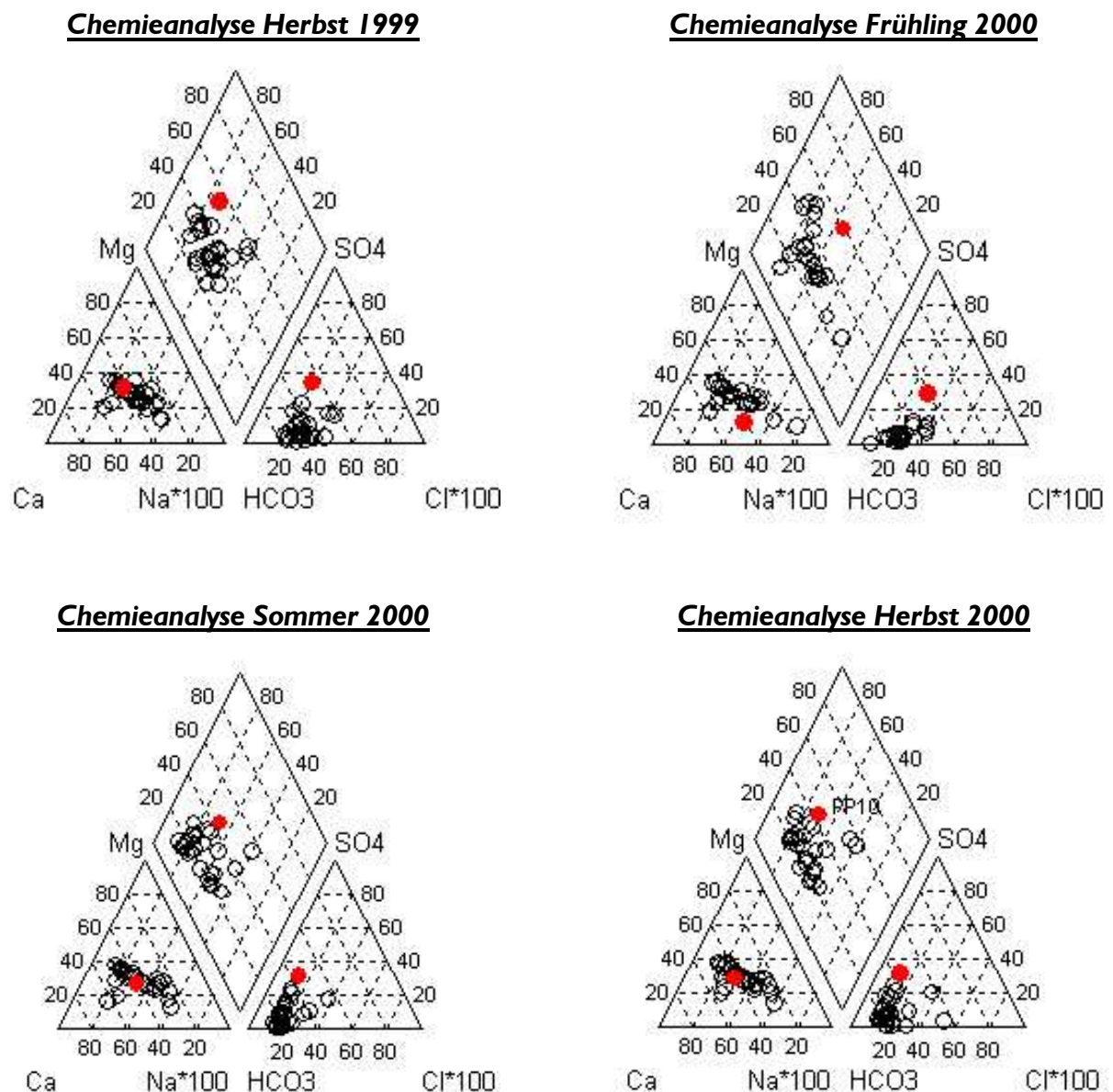


Abbildung 6-1 bis 6-4 IC-Analysen der vier Probenkampagnen aller untersuchten Quellen

In den vier Piper-Diagrammen (Abbildung 6-1 bis 6-4) sind die IC-Analysen aller untersuchten Quellwässer dargestellt. Die Na^+ - und Cl^- - Prozentanteile wurden zur besseren Visualisierung



mit 100 multipliziert. Alle Quellen weisen ähnliche Konzentrationen der gelösten Hauptionenbestandteile auf. Eindeutig ist die Dominanz der Erdalkalitionen Ca^{2+} und Mg^{2+} zu sehen. Die Quelle PPI0 (rot markiert) setzt sich von den übrigen Proben aufgrund ihres erhöhten Sulfatanteils leicht ab. Eine grobe Klassifizierung der Quellen anhand ihrer Gesamtionenbestandteile ergibt:

- *Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Wässer:* **PG2A, PG2B, PPI0,**
- *Mg-Ca- HCO₃- Wässer:* **GS8**
- *Ca- Mg- HCO₃- Wässer:* übrigen

Bei einzelnen Probenkampagnen sind z.T. unterschiedliche Konzentrationsverteilungen der Hauptionen anzutreffen. Vor allem die Proben der Frühjahrskampagne weisen z.T. geringere Sulfatwerte auf als die Analysen der restlichen Kampagnen, (GS13, PG2B, PA6, PP3, vgl. Kap. 7: Quellbericht). Eine mögliche Erklärung ist die jahreszeitlich bedingte geringere Aktivität von Bodenmikroorganismen.

Quell- bezeichnung	Mittelwerte	Herbst 99	Frühling 00	Sommer 00	Herbst 00
BFO	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
BFW	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
CS1	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
GS11	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
GS13	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
GS7	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
GS7B	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Mg-Ca-HCO ₃
GS8	Mg-Ca-HCO ₃	Mg-Ca-HCO ₃	Mg-Ca-HCO ₃	Mg-Ca-HCO ₃	Mg-Ca-HCO ₃
GS9	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Mg-Ca-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
IF1				Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
JL1		Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
JL2					Ca-Mg-HCO ₃
JL3			Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	
JL4				Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
PA1		Ca-Mg-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	
PA5			Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
PA6	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
PG2A		Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄			
PG2B	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
PG3	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
PG4	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
PG5		Ca-Mg-HCO ₃			Ca-Mg-HCO ₃
PP1	Ca-Mg-HCO ₃	Mg-Ca-HCO ₃	Ca-Mg	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
PP10	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
PP11	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
PP3	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
PP5		Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
PP6B	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
T1			Ca-Mg-HCO ₃		

Tabelle 6-1 Klassifizierung der Quellen nach Probenkampagnen unterteilt



6.1.2 SCHÖLLER-DIAGRAMM

Die Schöllersche Darstellung der Vertikaldiagramme ist eine verbreitete Form der Anordnung von Anionen und Kationen auf der Abszisse. Auf der Ordinate sind die zugehörigen Konzentrationen im logarithmischen Massstab eingetragen.

Das hier dargestellte Schöllerdigramm zeigt die Mittelwerte der Analyseresultate der vier Probenkampagnen. Eindeutig ist die Dominanz der Ca^{2+} - und Mg^{2+} -Kationen, sowie der HCO_3^- -Anionen. Vor allem PP10 (rot markiert) hebt sich mit seiner SO_4^{2-} -Konzentration von den restlichen Quellproben ab (vgl. Kap. 6.1.1: Piper-Diagramm).

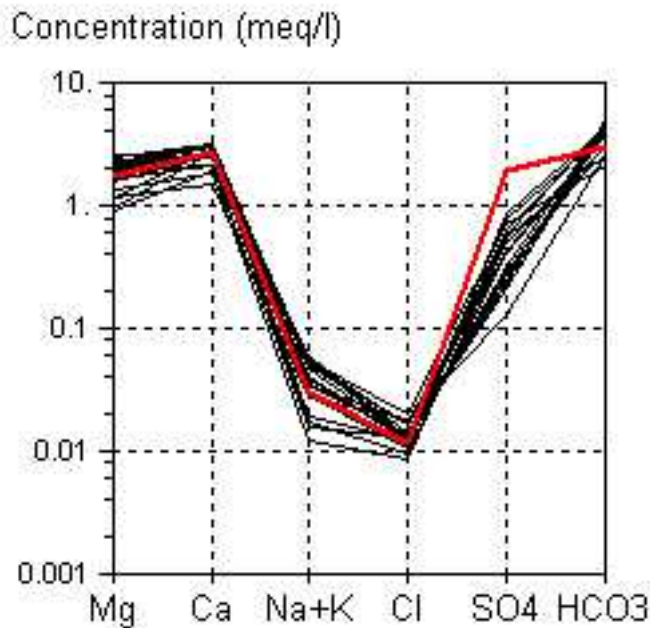


Abbildung 6-5 Schöllerdigramm: Mittelwerte aus den 4 Probenkampagnen (rot: PP10)

Ionenverhältnisse geben Aufschluss über Austauschvorgänge, die im System Grundwasserleiter-Grundwasser/Sickerwasser stattfinden. Auf dem Weg durch den Grundwasserleiter ändern sich diese Verhältnisse, so dass zudem Aussagen über Verweildauer und Art des durchflossenen Grundwasserleiters gemacht werden können (vgl. Kap. 5.5). Abbildung 6-6 und 6-7 zeigt die zur Analyse gängigen Anionen- und Kationenverhältnisse der Mittelwerte aller Quellen aus 4 Probenkampagnen. Die Analysen der untersuchten Quellen zeigen vor allem bei Erdalkali-Alkaliverhältnissen und Chlorit-Sulfatverhältnissen beträchtliche Unterschiede.



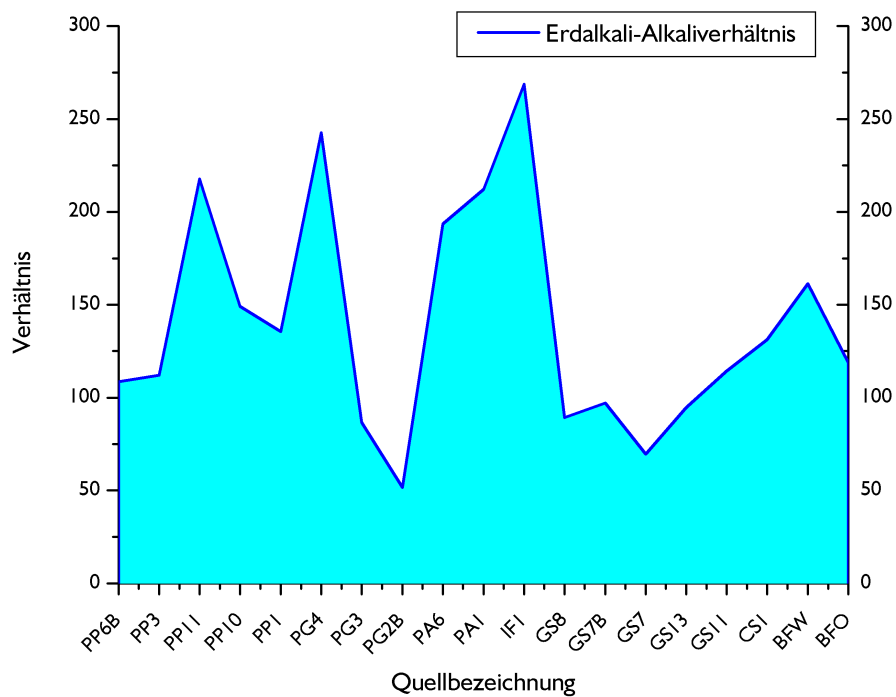


Abbildung 6-6 Erdalkali-Alkaliverhältnis der Mittelwerte aller 4 Probenkampagnen

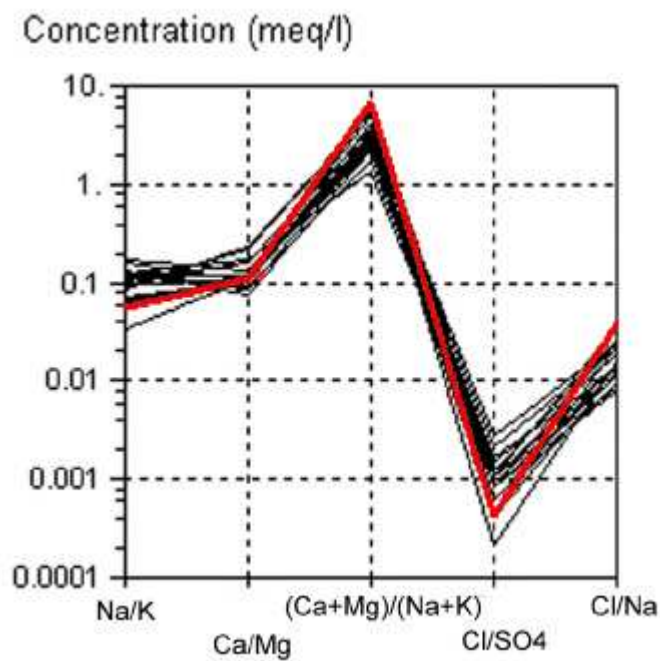


Abbildung 6-7 Schöller-Diagramm: Mittelwerte aus 4 Probenkampagnen der Alkaliverhältnisse (Na/K), Erdalkaliverhältnisse (Ca/Mg), Erdalkali-Alkaliverhältnisse (Ca+Mg)/(Na+K), Salinarverhältnisse (Cl/SO4), Chlorid-Natrium-Verhältnisse (Cl/Na); rot eingefärbt: IF1



7 QUELLBERICHT

Für jede untersuchte Quelle wurde mit Hilfe der Datenbanksoftware Access 2000 ein Datenblatt erstellt. Die Quellen sind nach Lokalitäten sortiert, eine Lokalitätsübersicht führt zu den einzelnen Quelldatenblättern. Neben generellen Angaben und Beschreibungen zur Quelle, finden sich die Analyseergebnisse der vier Messkampagnen in Diagrammform dargestellt.

Zusätzlich wurde ein numerischer Quellbericht (im Anhang P) erstellt.

8 EMPFEHLUNGEN

Ein Ziel dieser Diplomarbeit ist, eine Reihe von Quellen zu empfehlen, die für folgende Messkampagnen interessant sind. Bei der Auswahl sind mehrere Aspekte berücksichtigt worden, bspw.:

- Quelltyp
- Geographische Lage
- Physikalische oder chemische Untersuchungsergebnisse, die weitere Fragen aufwerfen, bzw. herausragen
- Schwankungen im jahreszeitlichen Verlauf

Lokalität	Quell- bezeich- nung	Quell- bericht S.	Num. - Bericht S.	Bemerkungen
Punt Periv	PP1	37	PI6	Gefasste Quelle
	PP10	38	PI7	Hohe Sulfatwerte
	PP5	41	-	Austrittsort: Fuss einer Hangrutschung im Bachbett d. Spöl
Punt dal Gall	PP6B	42	P20	Weideplatz f. Hirsche
	PG2B	46	PI3	GH<KH (Herbst '99), "hohe" Nitratwerte
	PG3	47	PI4	„hohes“ Alkaliverhältnis
Plan da l'Acqua	PA1	52	PI1	„hohes“ Erdalkaliverhältnis, "konstante" Temperatur
	PA6	54	PI2	rel. Hohe Calcium/Sulfatwerte
God la Schera	GS13	57	P6	Austrittsort aus Moränenbedeckung
	GS8	60	P9	Gefasste Quelle
Il Fuorn	IFI	63	PI0	"hohe" Nitratwerte
Buffalora	BFO	65	P2	"hohe" Nitratwerte
	BFW	66	P3	Entwässert Schuttfächer
	CSI	67	P4	„hohes“ Alkaliverhältnis
	JL3	70	-	Austrittsort bei „Bergsturzzunge“

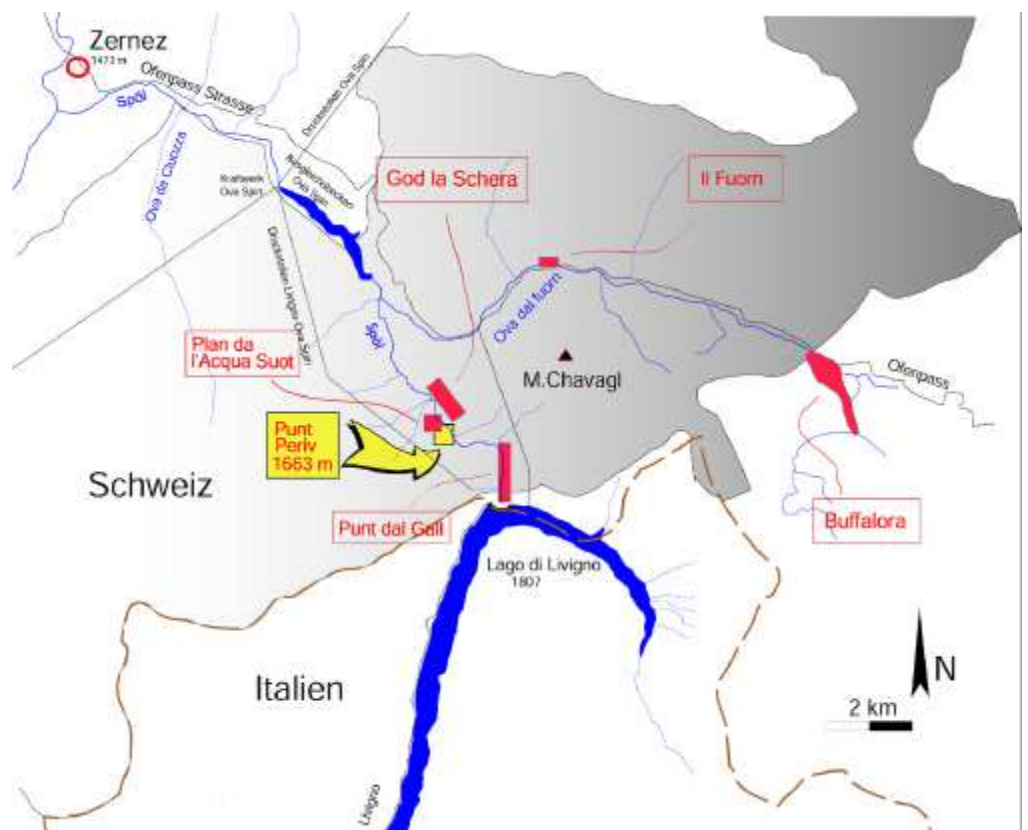
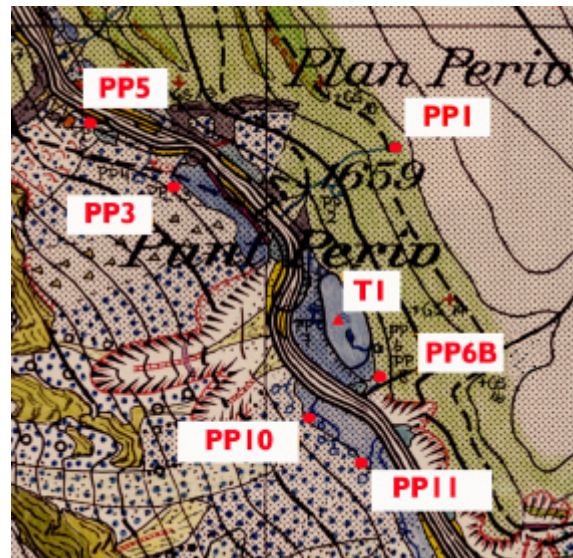


Lokalität

Punt Periv

Einleitung

Die Quellen des Perimeters Punt Periv sind rund um die Brücke über den Spölbach angesiedelt. Gehängeschutt und Gehängeschuttkegel charakterisieren die Geomorphologie der westlich des Spöls liegenden Quellen. Östlich davon fällt die Flussterrassenlandschaft ins Auge, die auch zur Ausbildung einer Schwemmebene geführt hat. Der in ihrem Zentrum liegende Teich wird häufig von Hirschen zur Wasseraufnahme genutzt, wovon die zahlreichen Spuren zeugen.



Quellbezeichnung

PP1

Meereshöhe: 1725 m

Koordinaten: 810122 / 168883

gefasste Quelle: ●

Quellbeschreibung

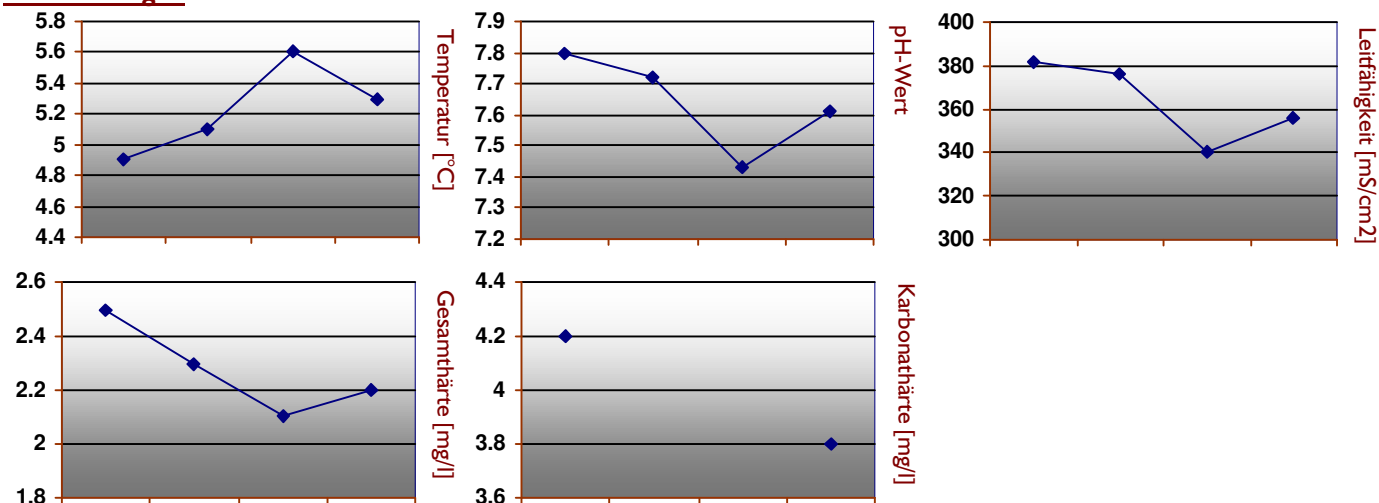
Brunnen am Wegrand, Quelle entspringt aus der oberflächlich verwitterten Moränenbedeckung.



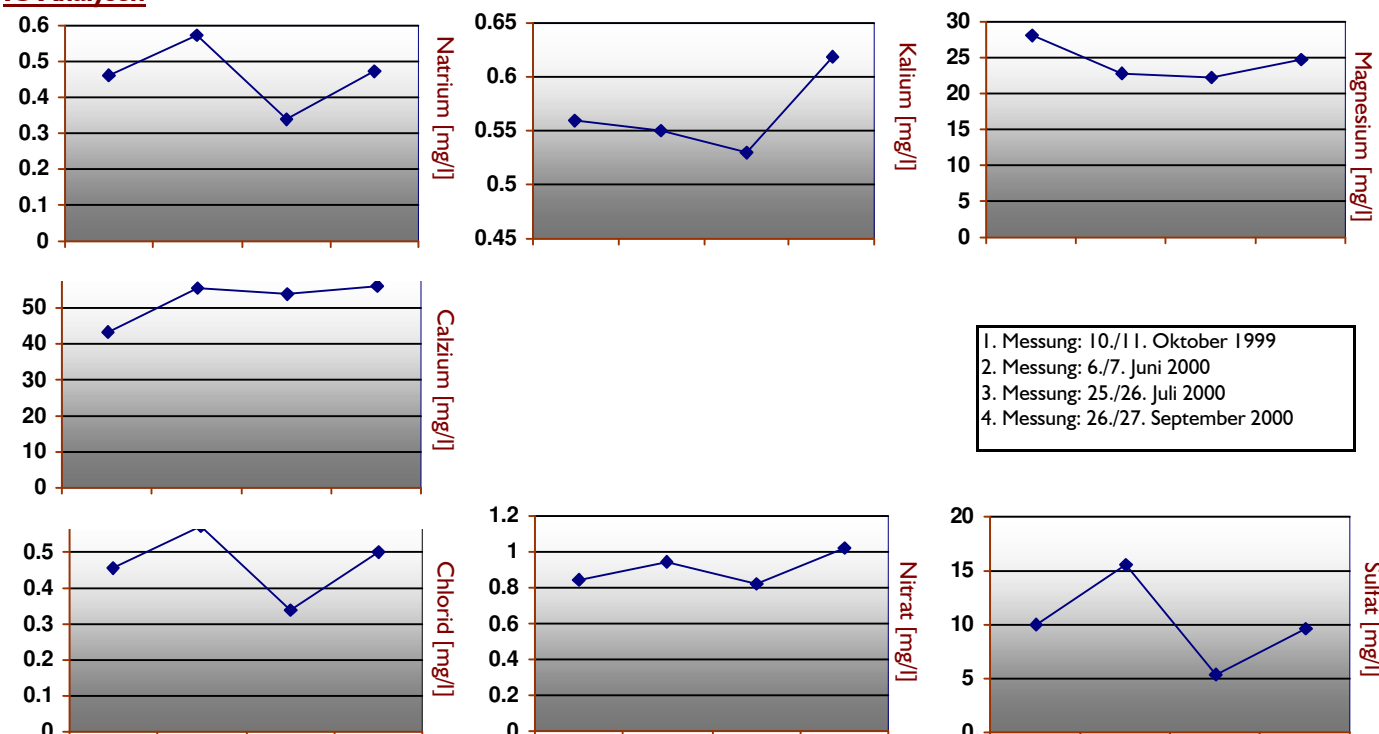
Exposition: NW

Quellentyp: Verengungsquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
 2. Messung: 6./7. Juni 2000
 3. Messung: 25./26. Juli 2000
 4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

PP10

Meereshöhe: 1670 m

Koordinaten: 810041 / 168622

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

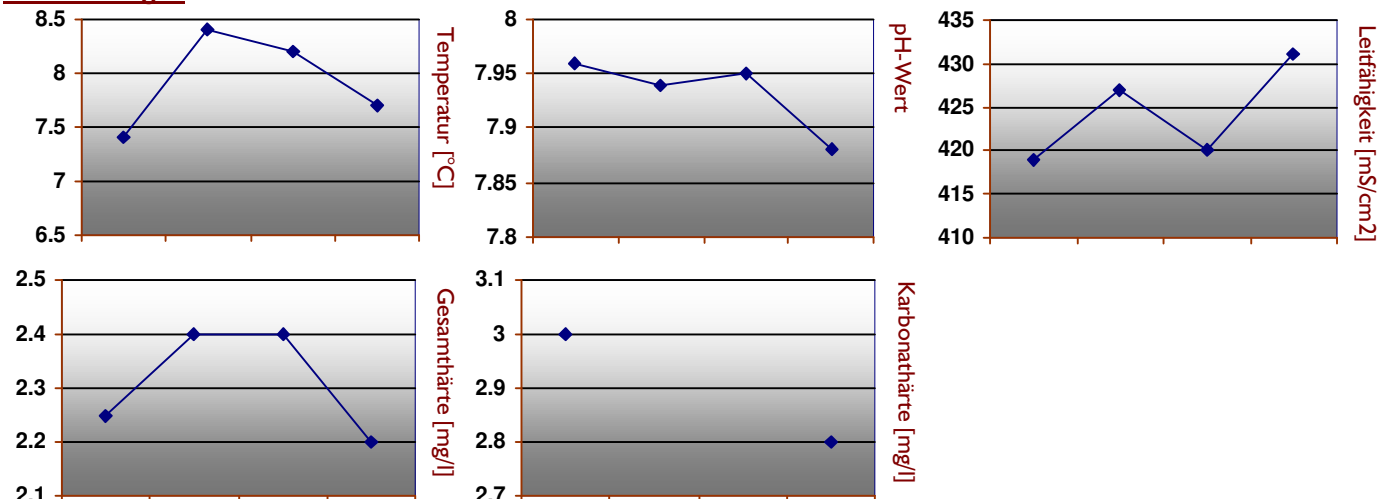
Quellhorizont am orographisch linken Ufer des Spöls, der den höherliegenden Gehängeschutthang entwässert. Vetter (1992) fertigte eine detaillierte Skizze aller Wasseraustrittsstellen des Quellhorizontes an.

(leider kein Bild verfügbar)

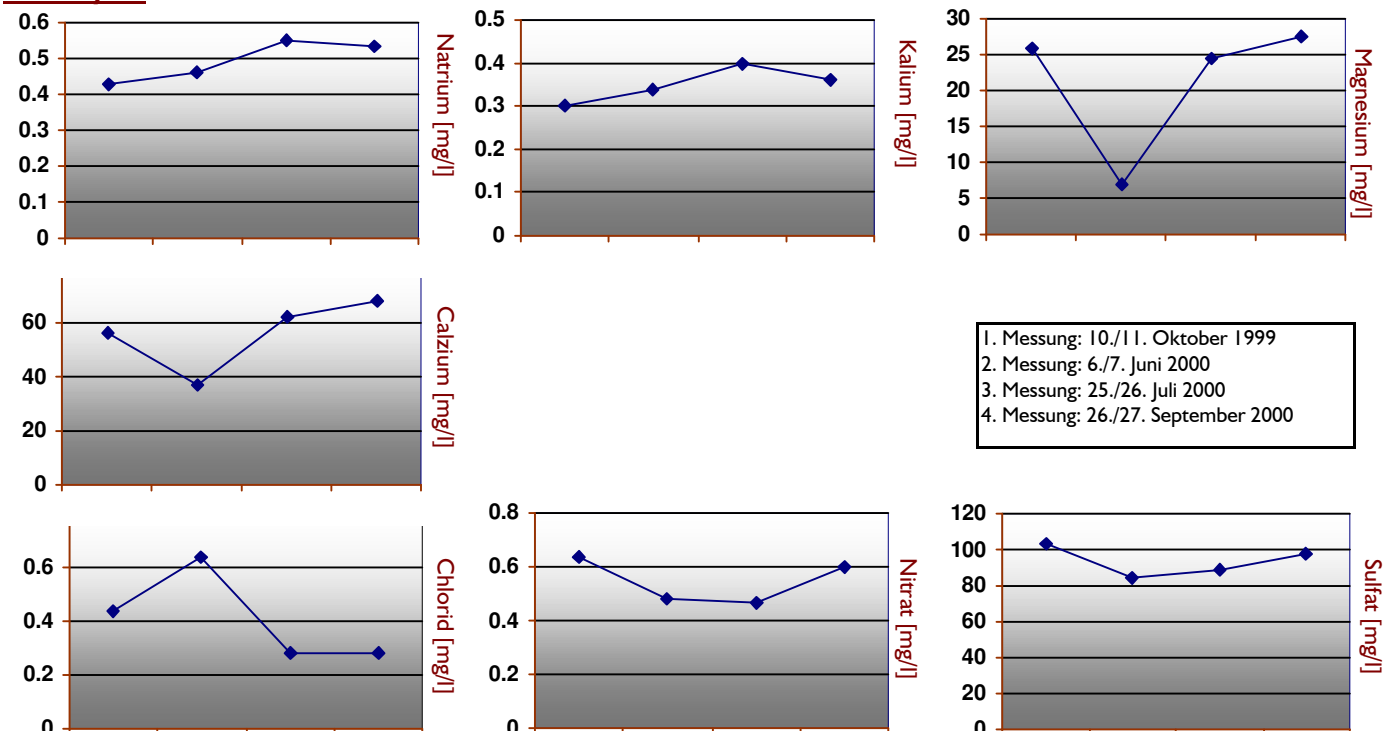
Exposition: E

Quelltyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung PP11

Meereshöhe: 1670 m

Koordinaten: 810118 / 168534

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

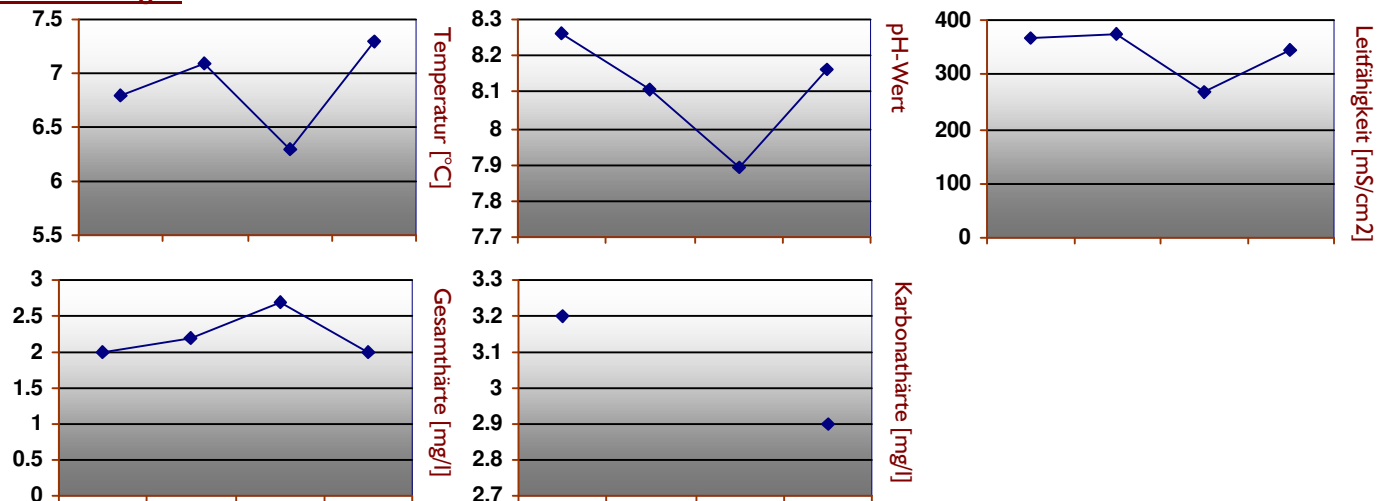
Vergleichbare geologische/geomorphologische Situation wie PP10. Quellhorizont, der 100m südlich von PP10 austritt.

(leider kein Bild verfügbar)

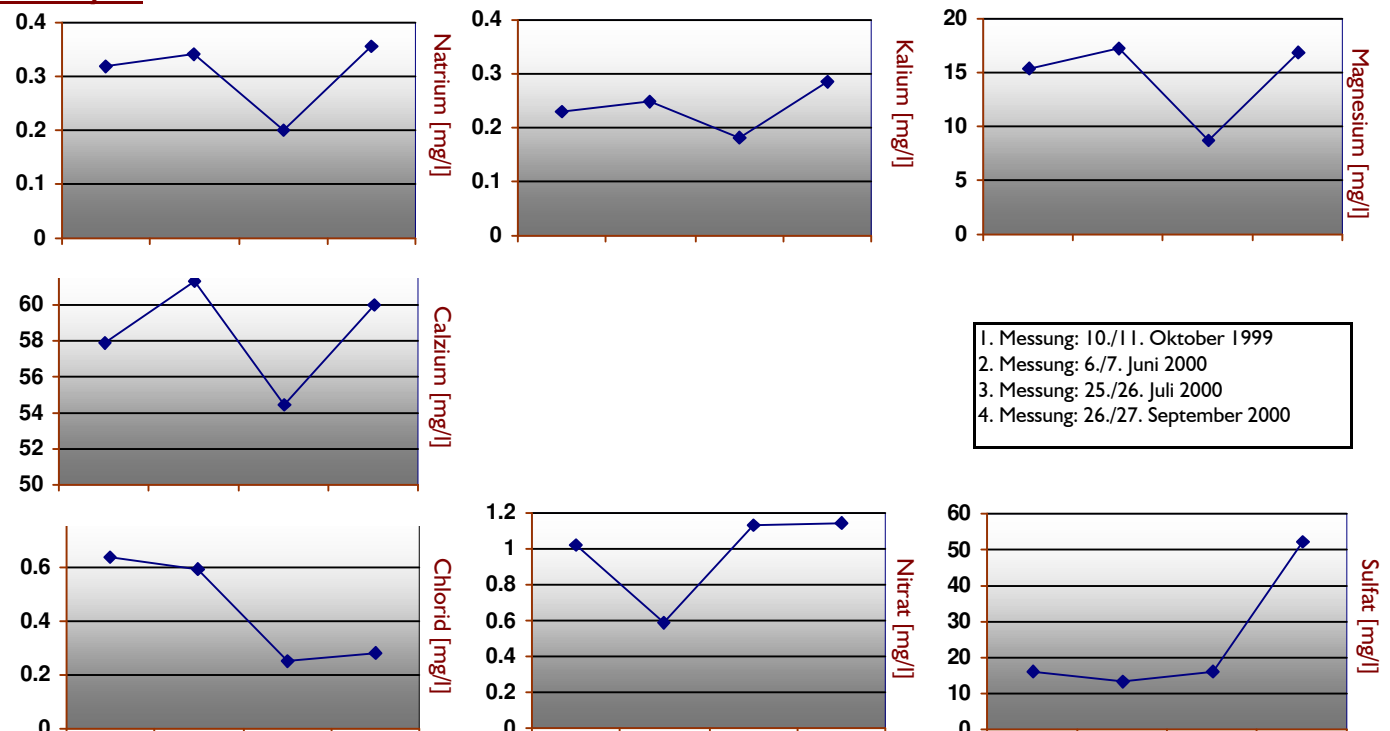
Exposition: SE

Quellentyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
 2. Messung: 6./7. Juni 2000
 3. Messung: 25./26. Juli 2000
 4. Messung: 26./27. September 2000

Sulfat [mg/l]

Quellbezeichnung

PP3

Meereshöhe: 1680 m

Koordinaten: 809911 / 168843

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

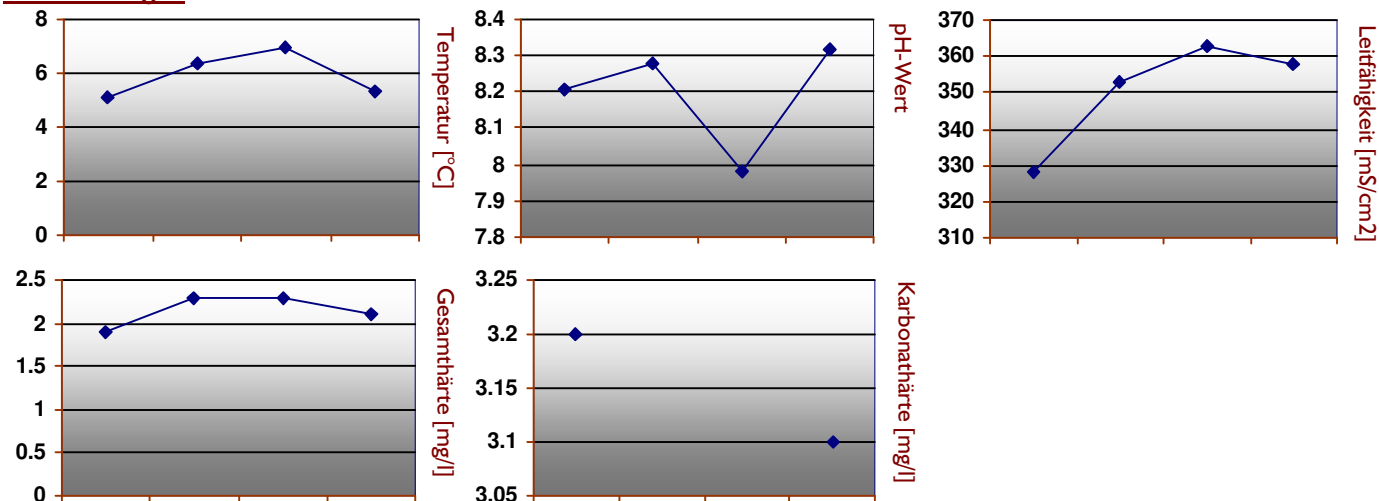
Quellhorizont, der aus dem Gehängeschutt unter einem Erosionsanriss austritt.

(leider kein Bild verfügbar)

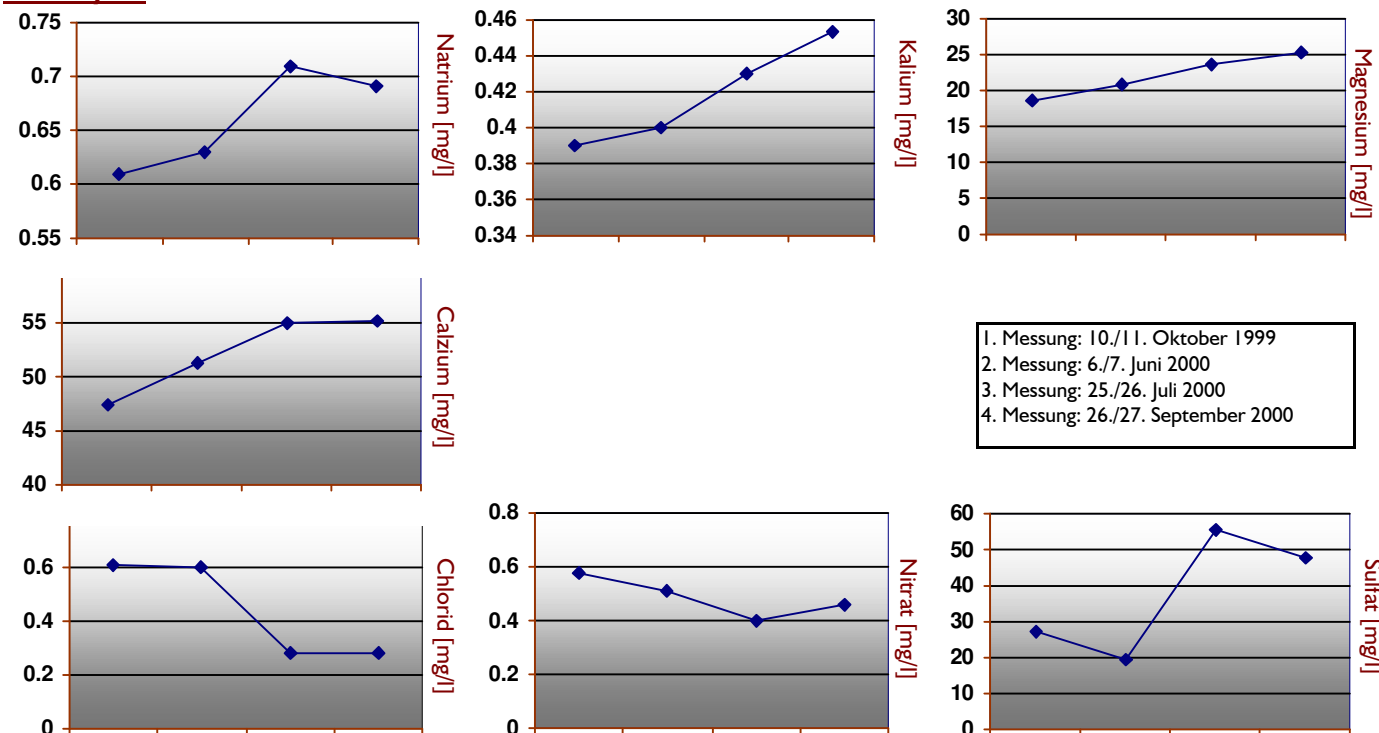
Exposition: NE

Quelltyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
 2. Messung: 6./7. Juni 2000
 3. Messung: 25./26. Juli 2000
 4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

PP5

Meereshöhe: 1655 m

Koordinaten: 809829 / 168906

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

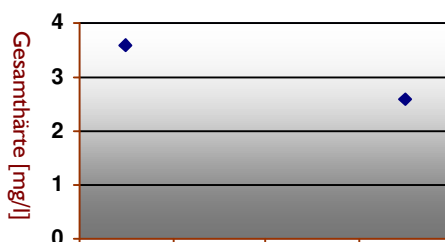
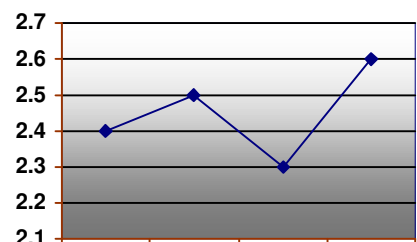
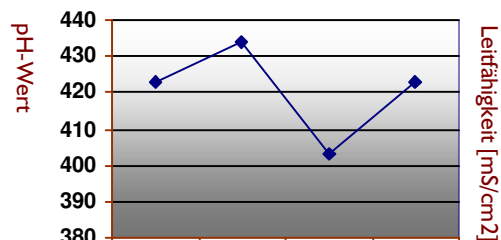
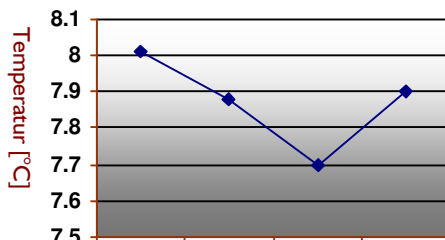
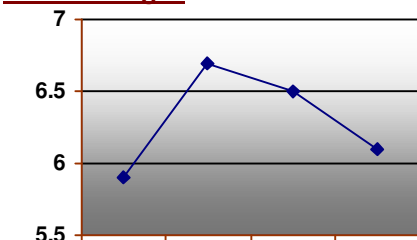
Austritt am Fuss einer Hangrutschung im Gehängeschutt. Da sich der Quellaustritt am orographisch linken Ufer des Spöls befindet, könnte das Wasser mit Flusswasser durchmischt sein.



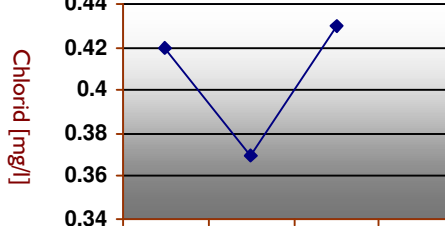
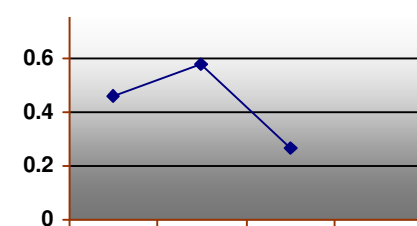
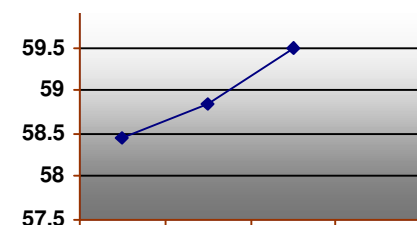
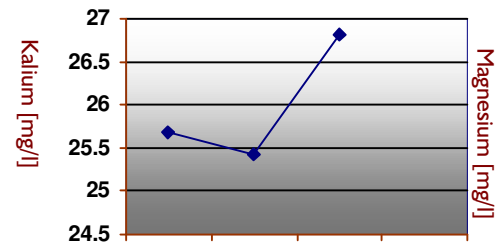
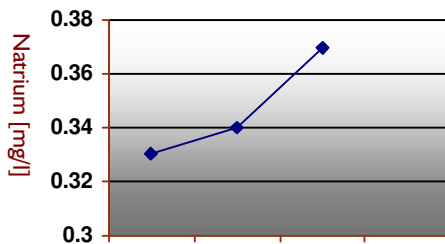
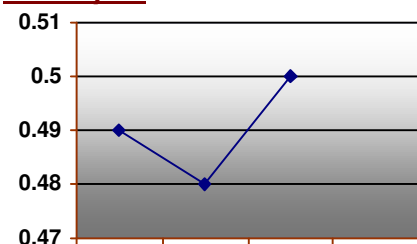
Exposition: NE

Quelltyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

PP6B

Meereshöhe: 1675 m

Koordinaten: 810107 / 168644

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

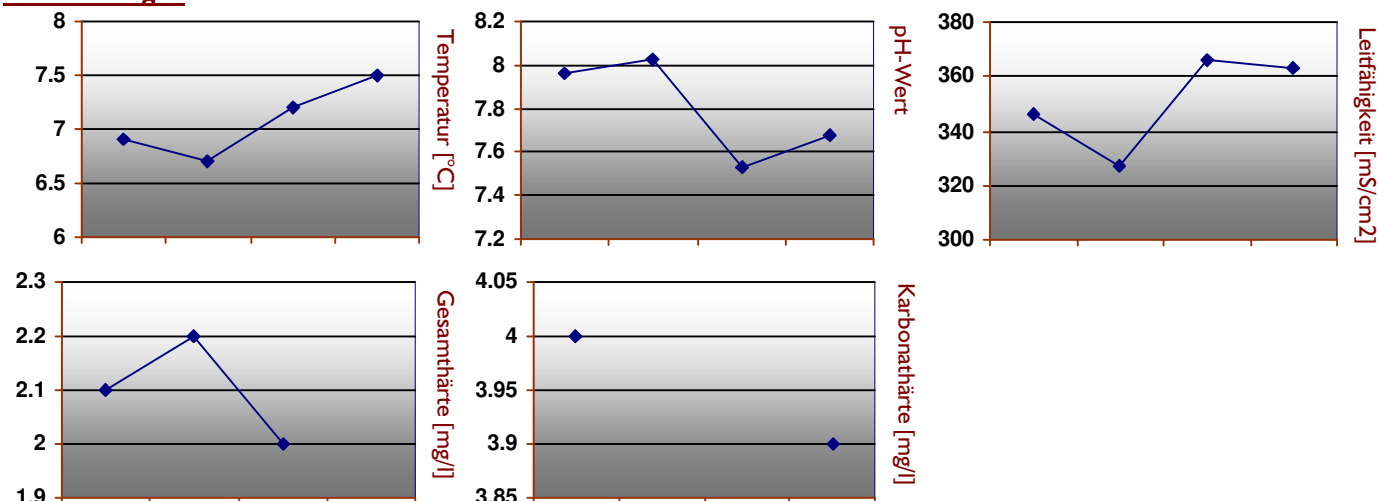
Entwässerung des moränenbedeckten Hanges in die inaktive Schotterflur, in der auch T I liegt. PP6B entspringt unterhalb des Flussterrassenrandes.



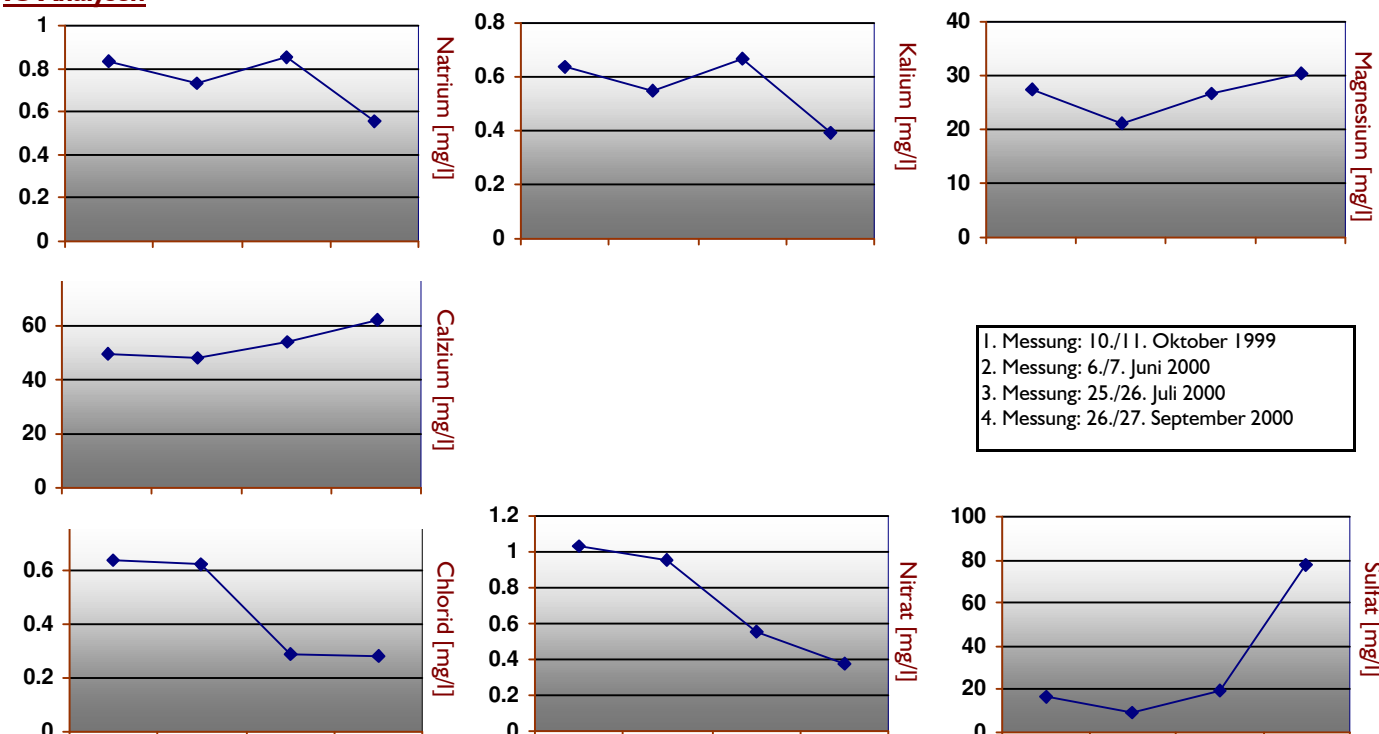
Exposition: SW

Quelltyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
 2. Messung: 6./7. Juni 2000
 3. Messung: 25./26. Juli 2000
 4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

T1

Meereshöhe: 1675 m

Koordinaten: 810069 / 168689

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

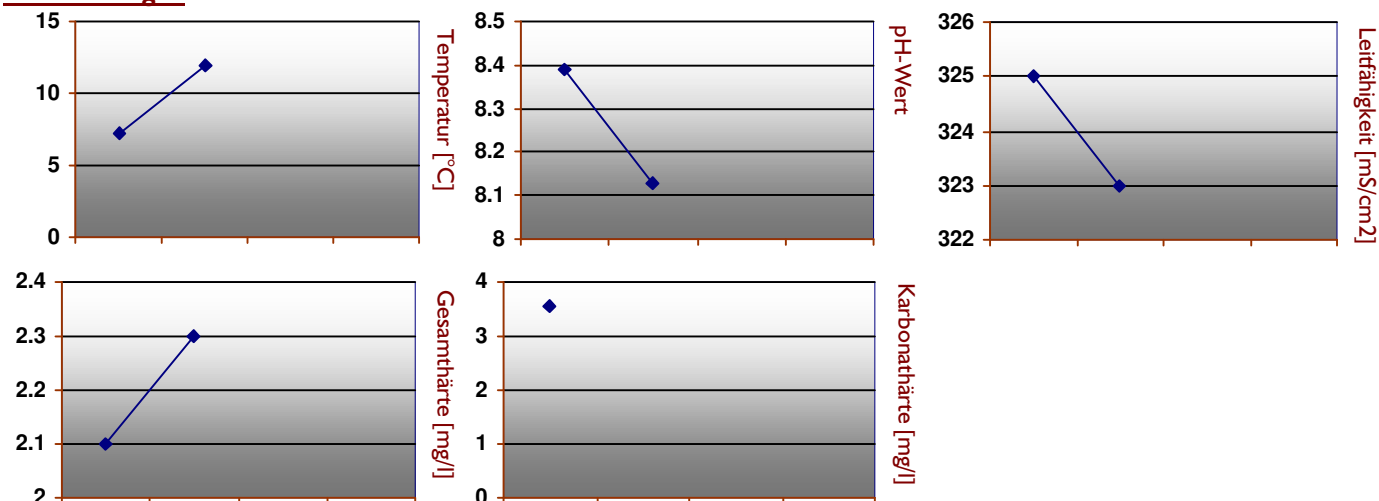
Kleine vernässte Schwemmebene, auf einer inaktiven Schotterflur, durch Entwässerung des oberflächlichen Grundwassers (Bodenwassers) aus dem naheliegenden grundmoränenbedeckten Hang entstanden. Der in ihrem Zentrum liegende Tümpel variiert stark in seiner jahreszeitlichen Ausdehnung.



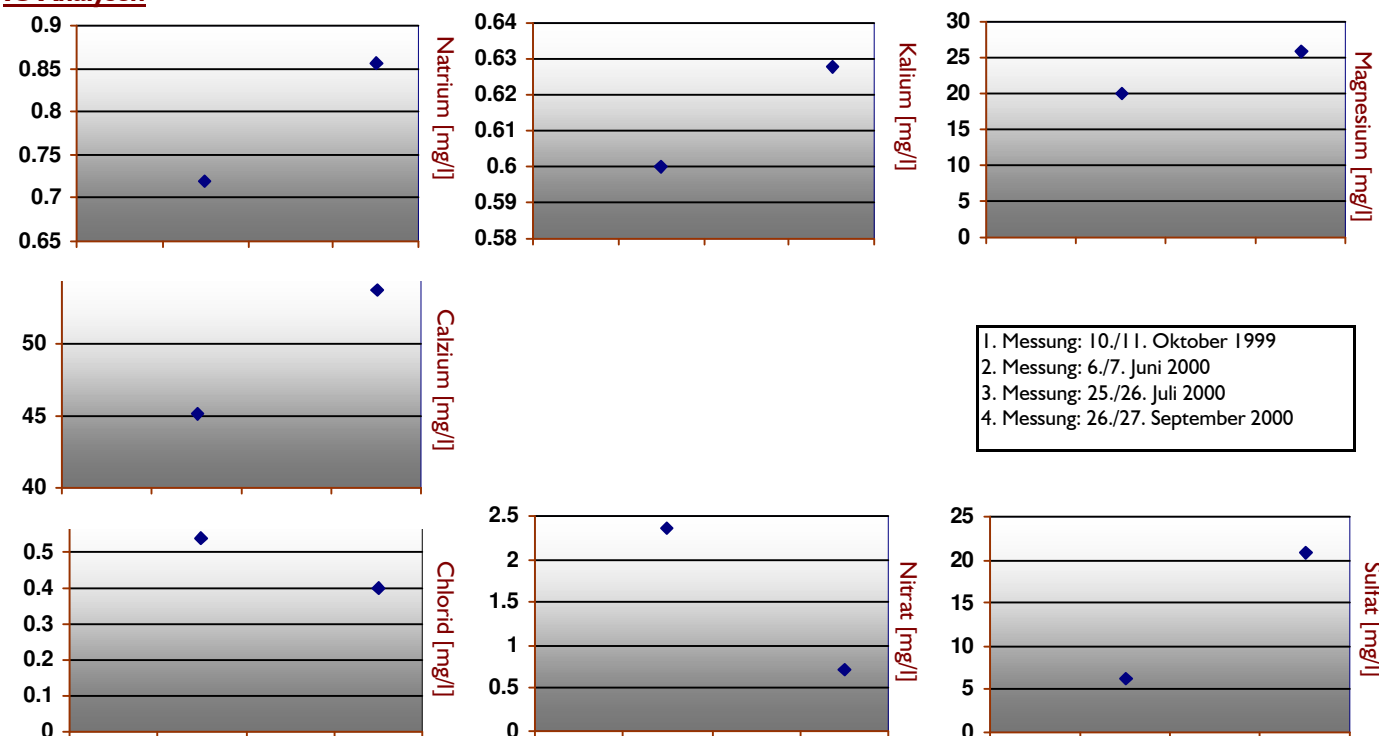
Exposition: SW

Quelltyp: Tümpel

Feldmessungen



IC-Analysen



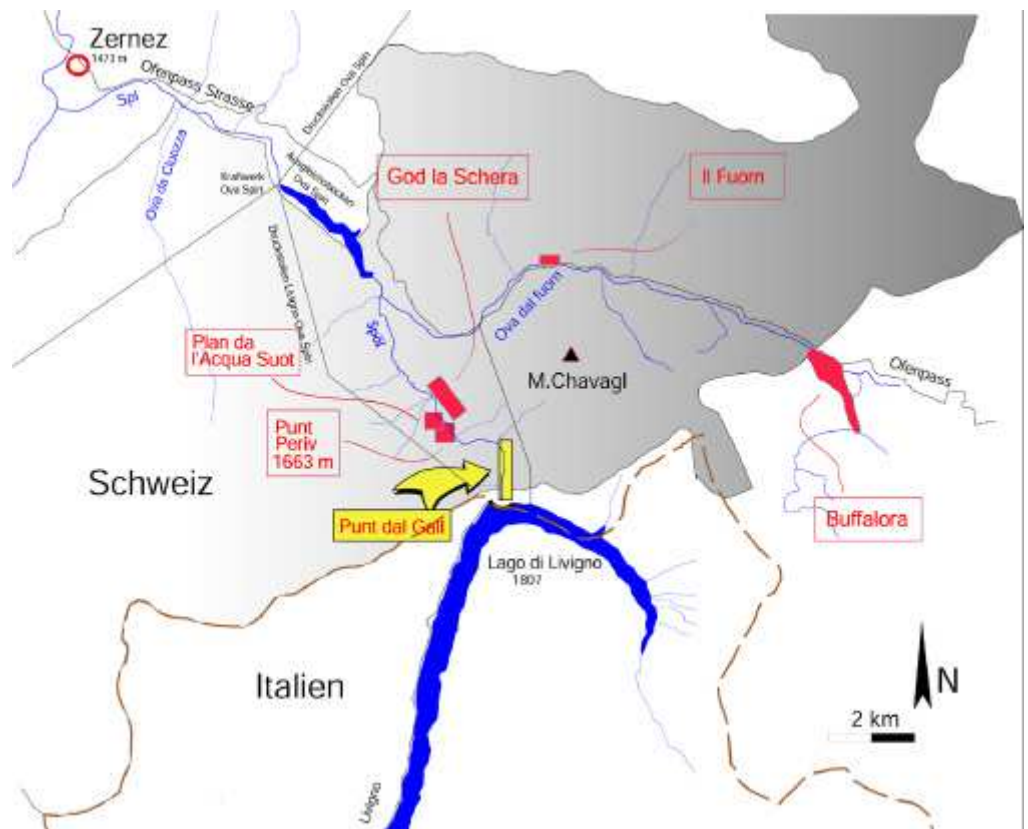
1. Messung: 10./11. Oktober 1999
 2. Messung: 6./7. Juni 2000
 3. Messung: 25./26. Juli 2000
 4. Messung: 26./27. September 2000

Lokalität

Punt dal Gall

Einleitung

Vorliegende Quellen werden von der Livignostaumauer „überschattet“, welche die Wasserbilanz des Spöls kontrolliert. Sie treten oberhalb des Ufers des Spölbachs aus dem Gehängeschutt oder der Verwitterungsschicht des Bodens aus.



Quellbezeichnung

PG2A

Meereshöhe: 1700 m

Koordinaten: 810945 / 167419

gefasste Quelle: ●

Quellbeschreibung

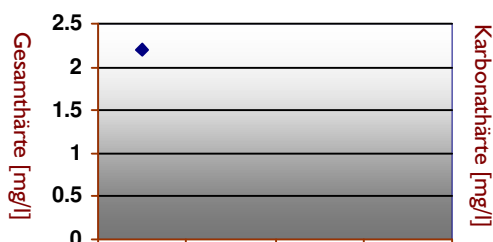
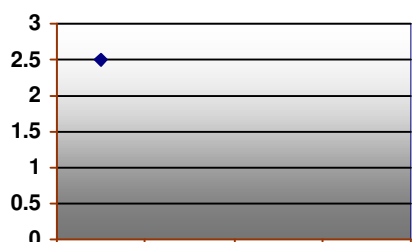
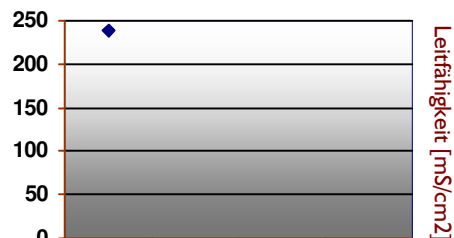
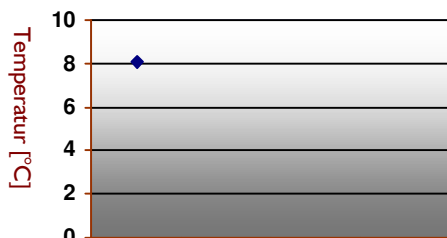
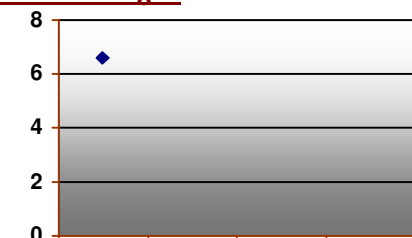
Die linke dreier gefasster Quellen am Fusse der Livigno-Staumauer, wurde nur einmal gemessen.



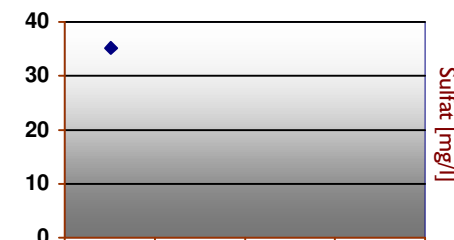
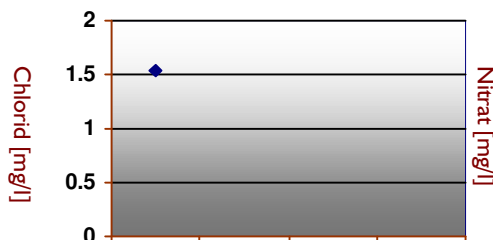
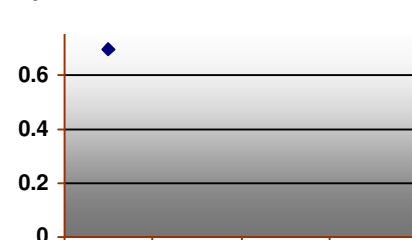
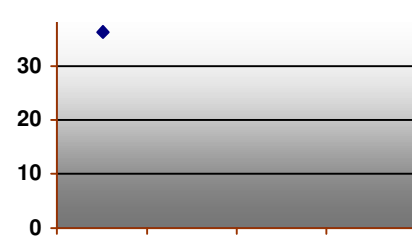
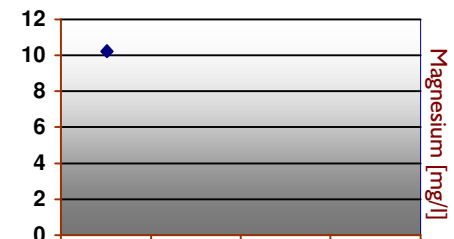
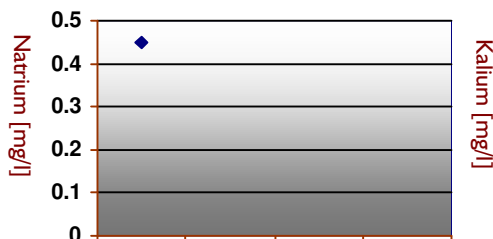
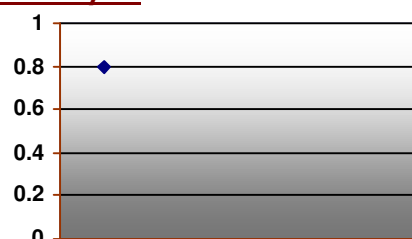
Exposition: W

Quellentyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

PG2B

Meereshöhe: 1700 m

Koordinaten: 810944 / 167423

gefasste Quelle: ●

Quellbeschreibung

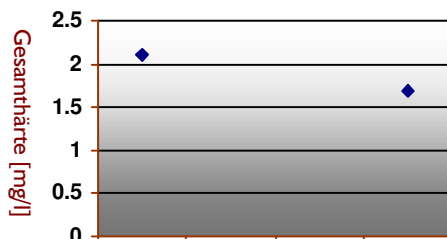
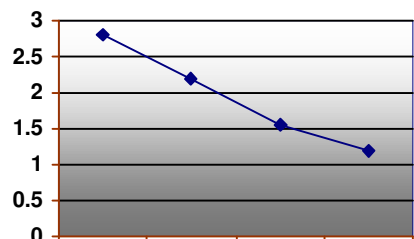
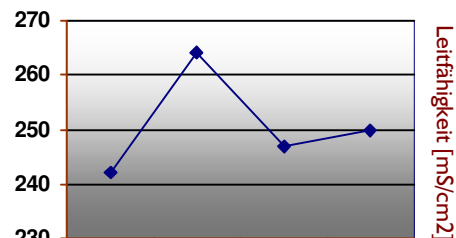
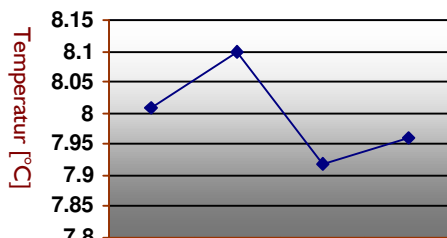
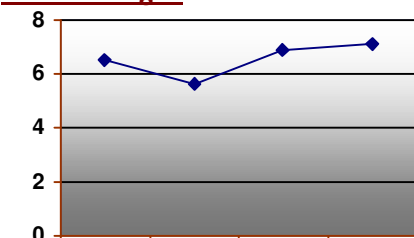
Mittlere dreier gefasster Quellen am Fusse der Livigno-Staumauer. Entwässert den westlich-exponierten Hang. Wurde nur einmal gemessen.



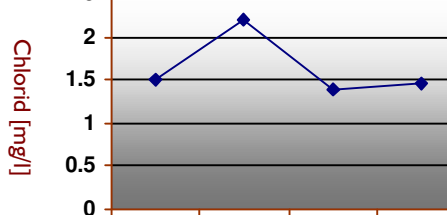
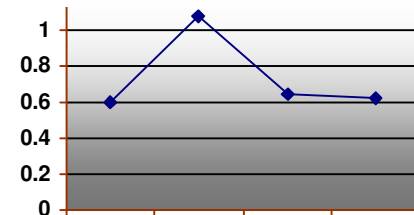
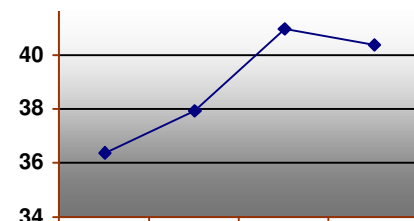
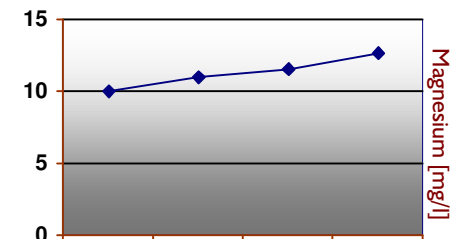
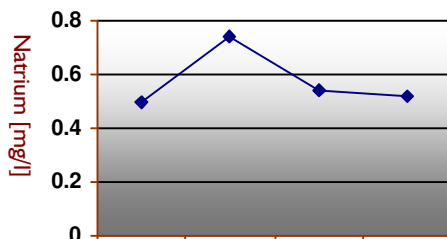
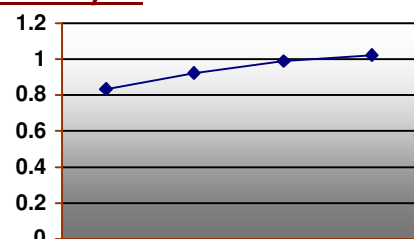
Exposition: W

Quellentyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

PG3

Meereshöhe: 1690 m

Koordinaten: 810991 / 167811

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

Oberflächliche Quelle.

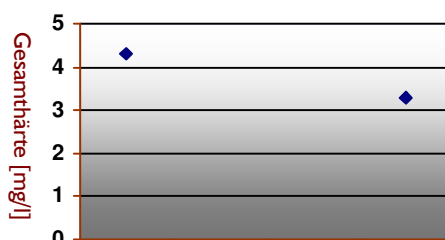
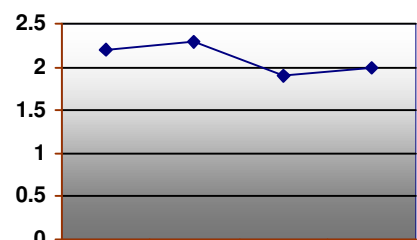
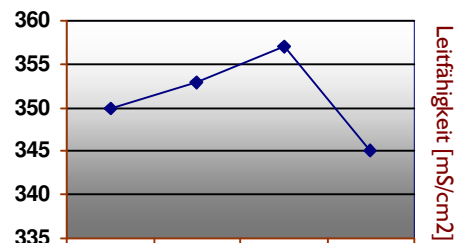
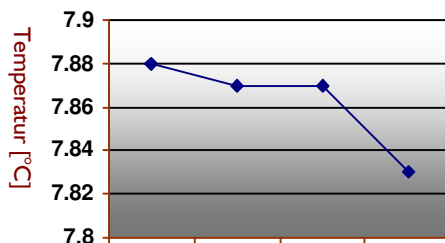
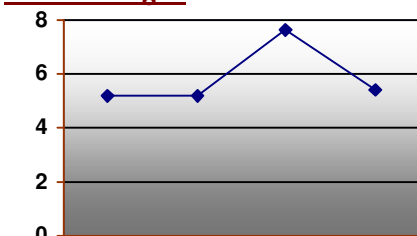
Läuft in der dünnen, den Felsgrund überlagernden, Boden/Humusschicht ab.



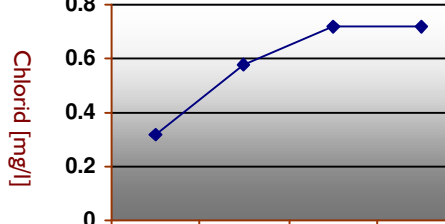
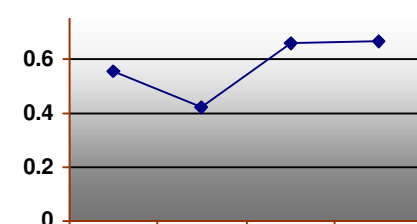
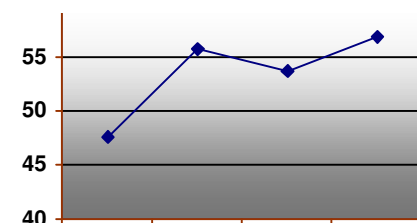
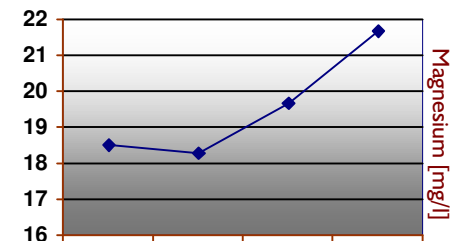
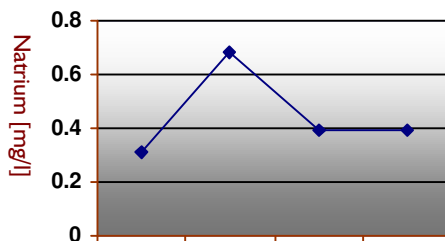
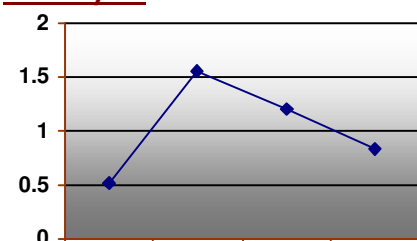
Exposition: E

Quellentyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

PG4

Meereshöhe: 1680 m

Koordinaten: 810973 / 168361

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

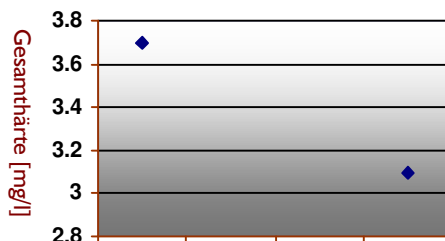
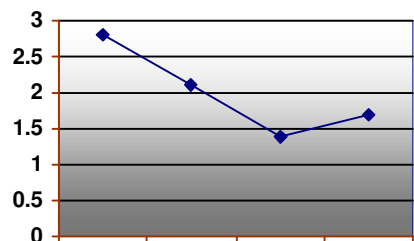
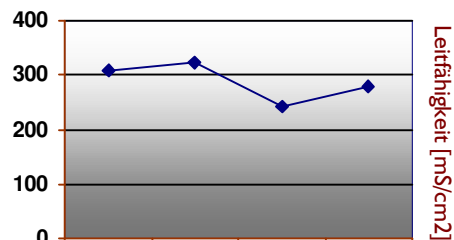
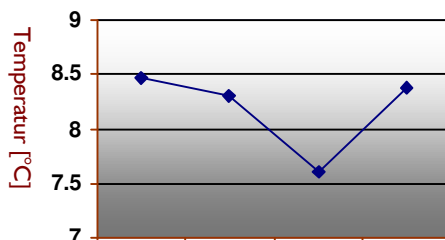
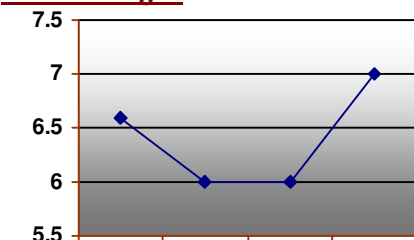
Quelle am Wegrand, die aus dem Gehängeschutt austritt.



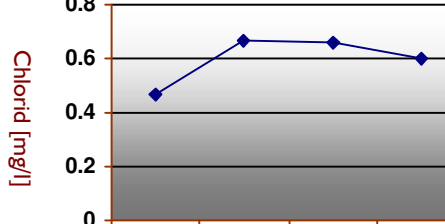
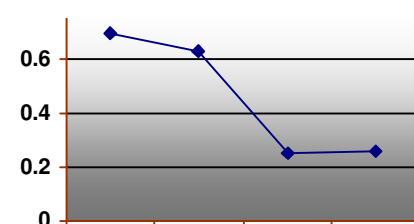
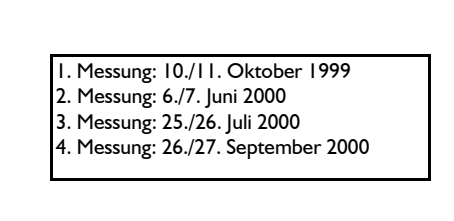
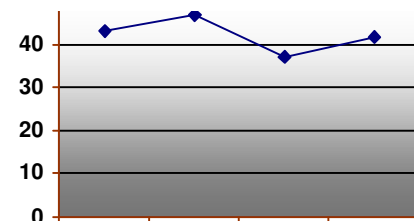
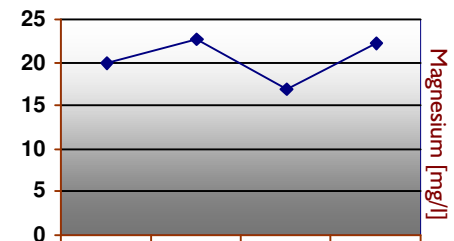
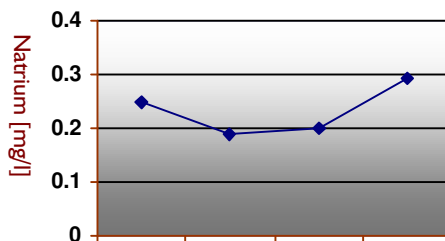
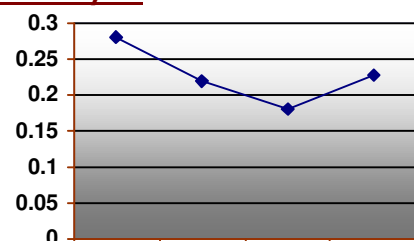
Exposition: S

Quellentyp: Verengungsquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

PG5

Meereshöhe: 1750 m

Koordinaten: 811075 / 167650

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

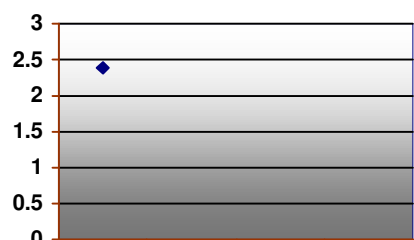
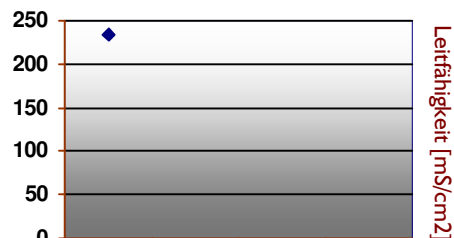
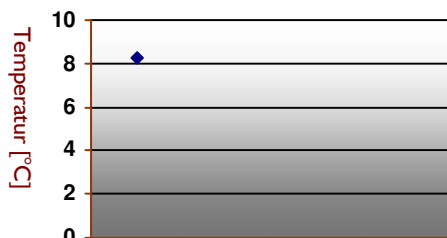
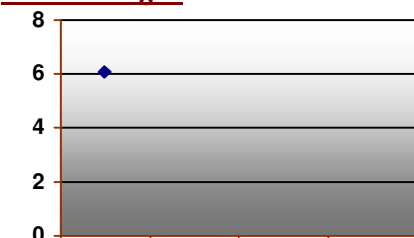
PG5 ist eine einmalig gemessene Quelle, die aus einem Bachschuttkegel austritt, jedoch an drei Probenahmen ausgetrocknet war. Sie dürfte mit der 100 m tieferliegenden Quelle PG6 am Wegrand korrelierbar sein.

(leider kein Bild verfügbar)

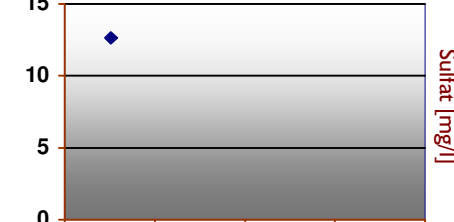
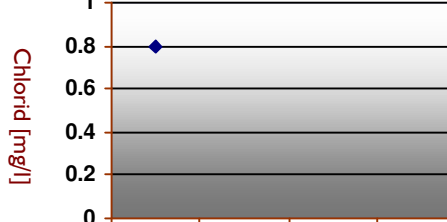
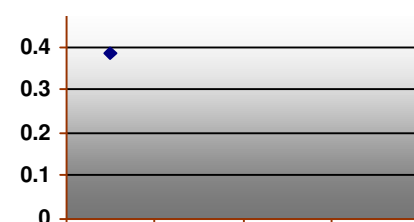
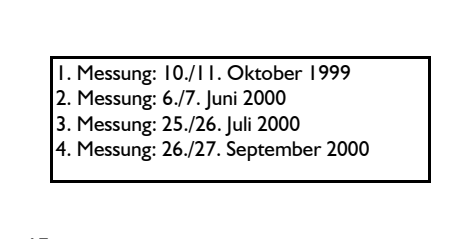
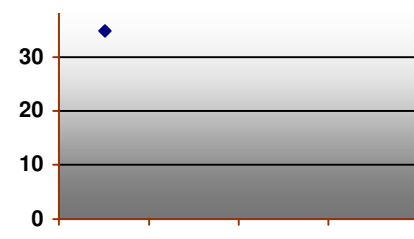
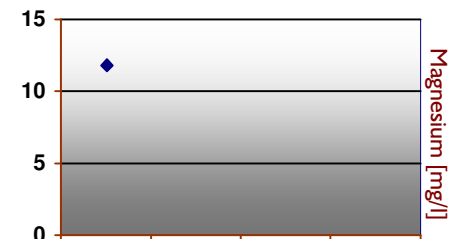
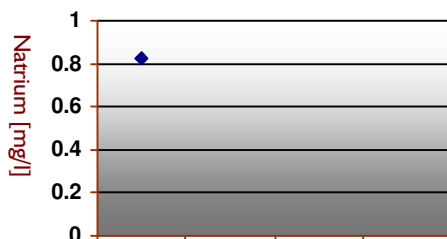
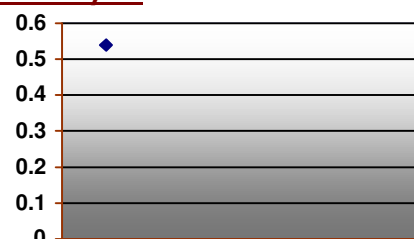
Exposition: W

Quellentyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

PG6

Meereshöhe: 1680 m

Koordinaten: 811015 / 167661

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

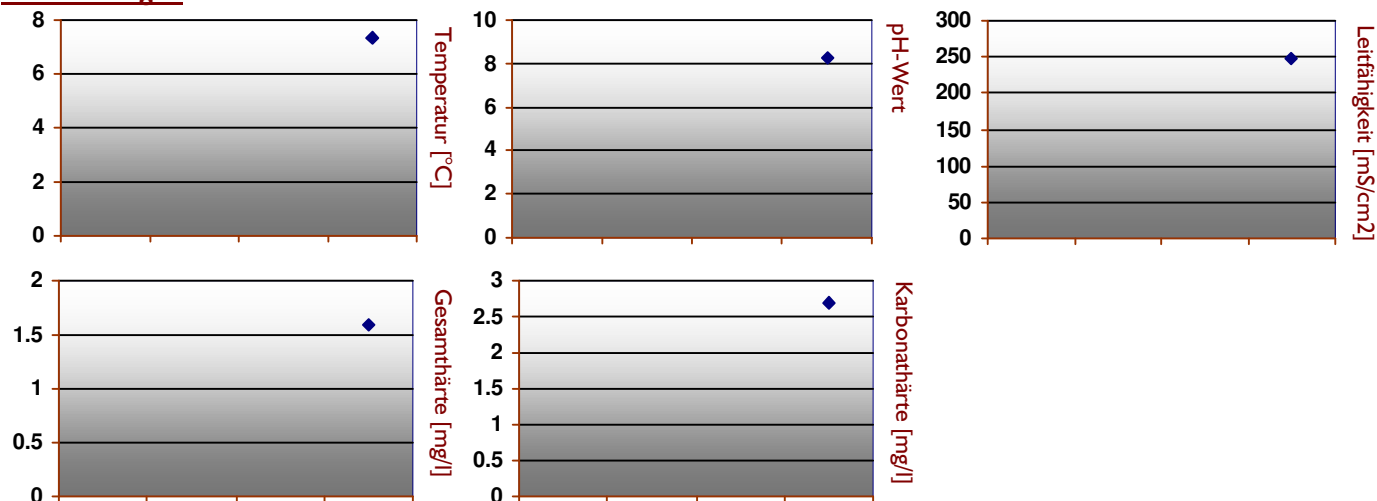
Diese am Wegrand austretende Quelle ist korrelierbar mit PG5, die etwas höher aus dem selben Trockenschuttkegel entspringt.



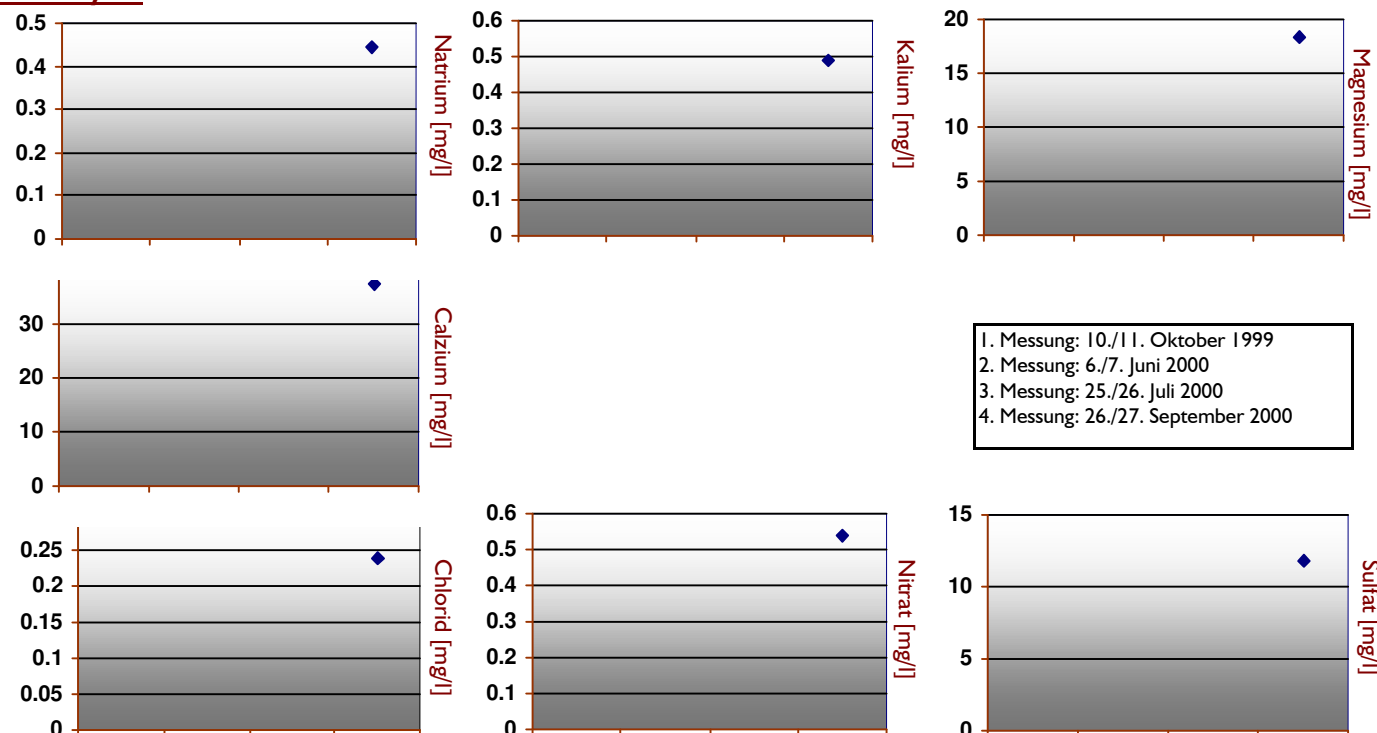
Exposition: W

Quellentyp: Verengungsquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
 2. Messung: 6./7. Juni 2000
 3. Messung: 25./26. Juli 2000
 4. Messung: 26./27. September 2000

Sulfat [mg/l]

Magnesium [mg/l]

Kalium [mg/l]

pH-Wert

Temperatur [°C]

Gesamthärte [mg/l]

Natrium [mg/l]

Calcium [mg/l]

Chlorid [mg/l]

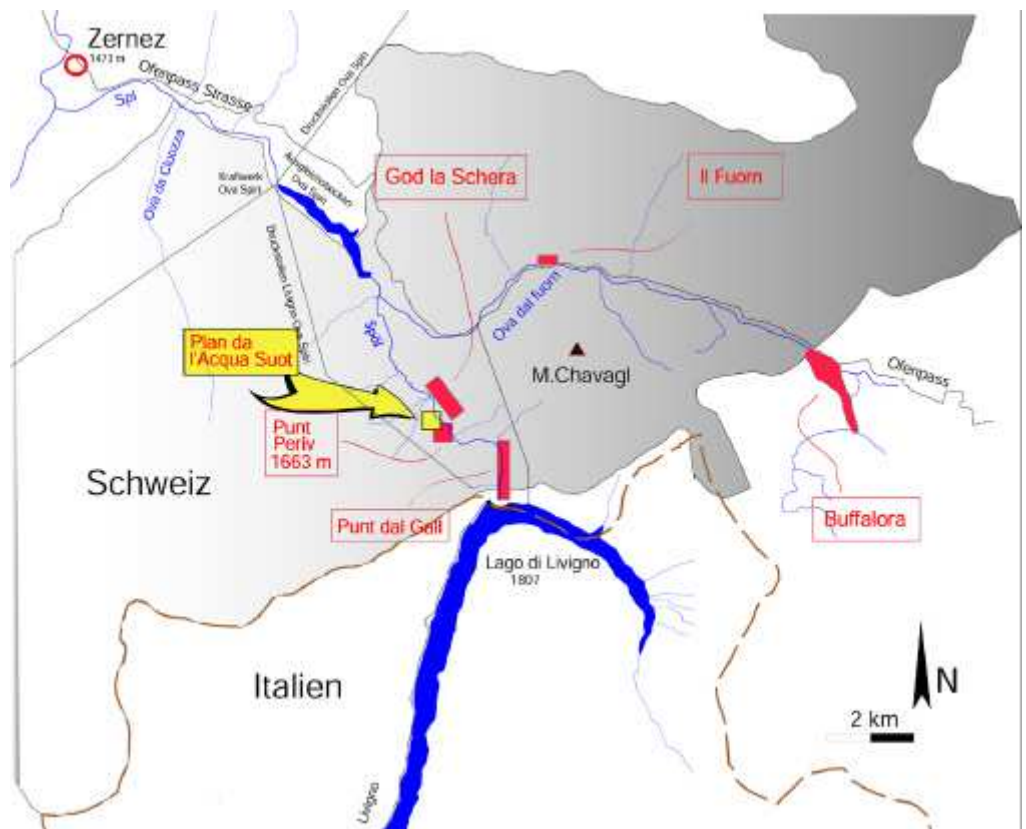
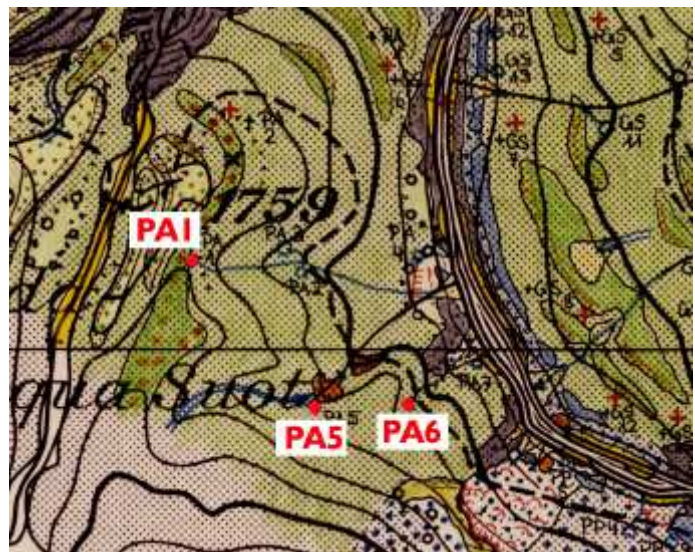
Nitrat [mg/l]

Lokalität

Plan da l'Acqua

Einleitung

Die nachfolgenden Quellen liegen oberhalb des Wanderweges, der von Plan Praspöl nach Punt la Drossa den nordostorientierten Hang quert. Sie werden charakterisiert durch ihre vergleichbaren geomorphologischen Austrittsstellen: Rezente fluviale Tälchenbildung, sowie Moränenbedeckung.



Quellbezeichnung

PA1

Meereshöhe: 1760 m

Koordinaten: 809521 / 169072

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

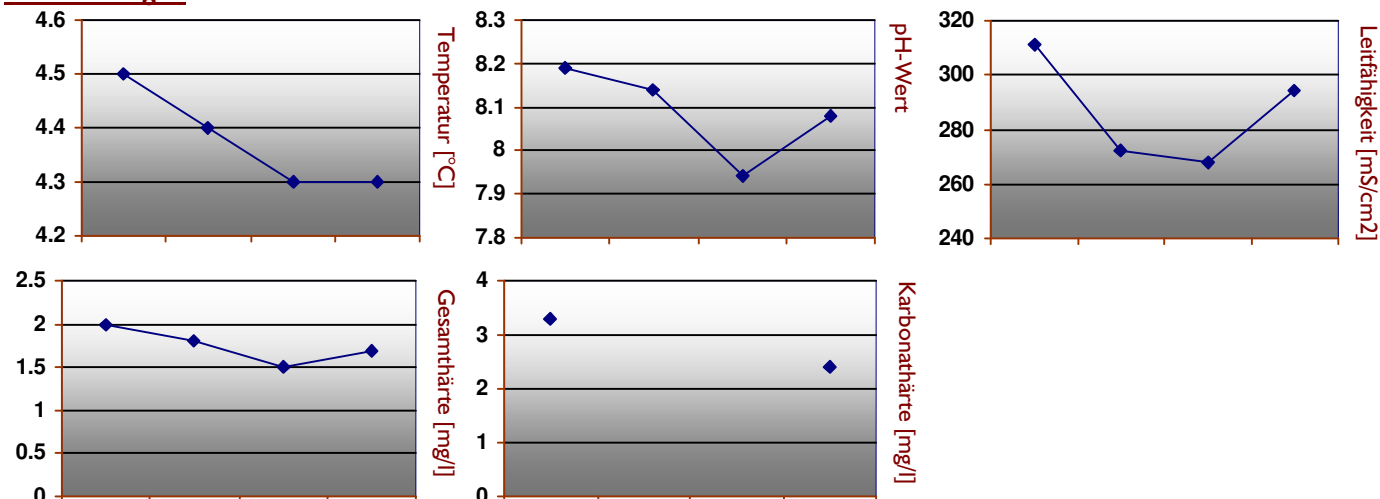
Quelle in Moränenmaterial, deren Austritt knapp unter einem Moränenwall liegt. PA1 entwässert in ein kleines Tälchen, das vielleicht einen ehemaligen Bachlauf darstellt.



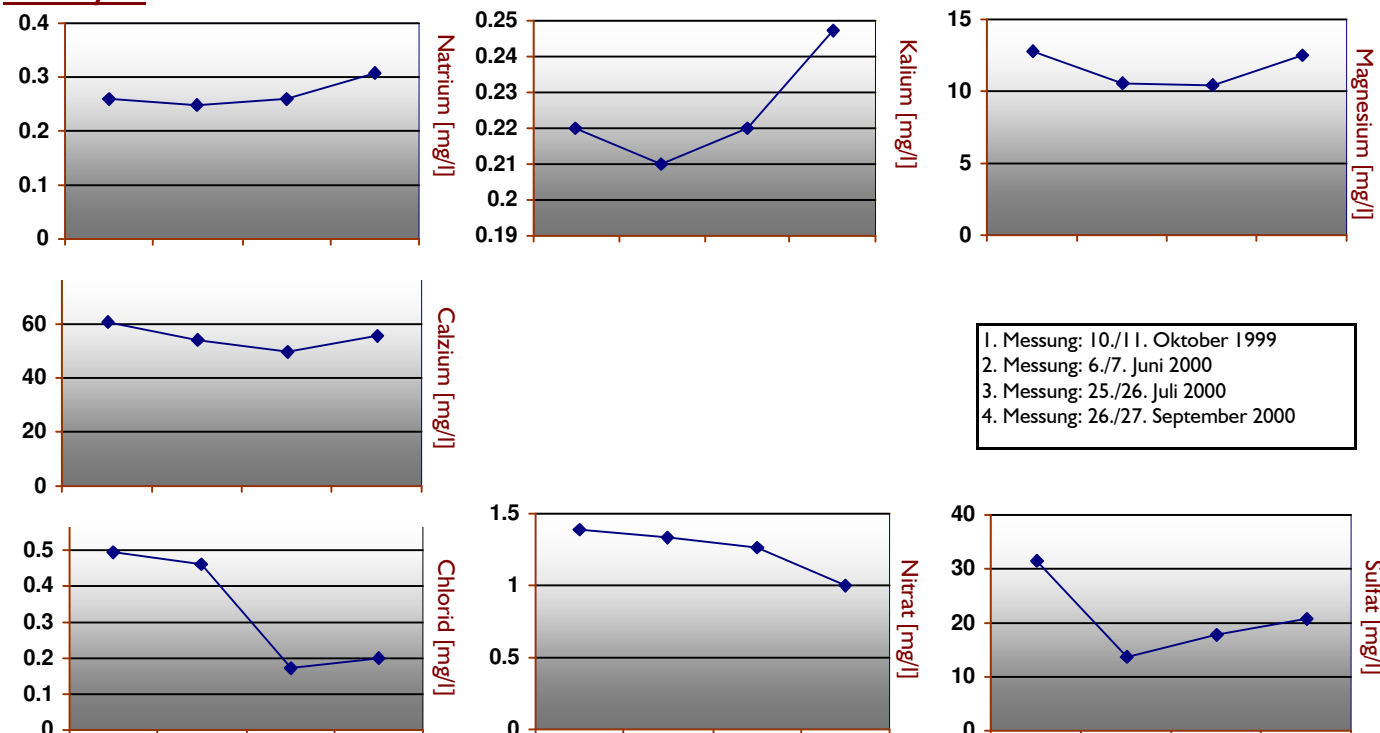
Exposition: E

Quellentyp: Verengungsquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
 2. Messung: 6./7. Juni 2000
 3. Messung: 25./26. Juli 2000
 4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

PA5

Meereshöhe: 1720 m

Koordinaten: 809620 / 168956

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

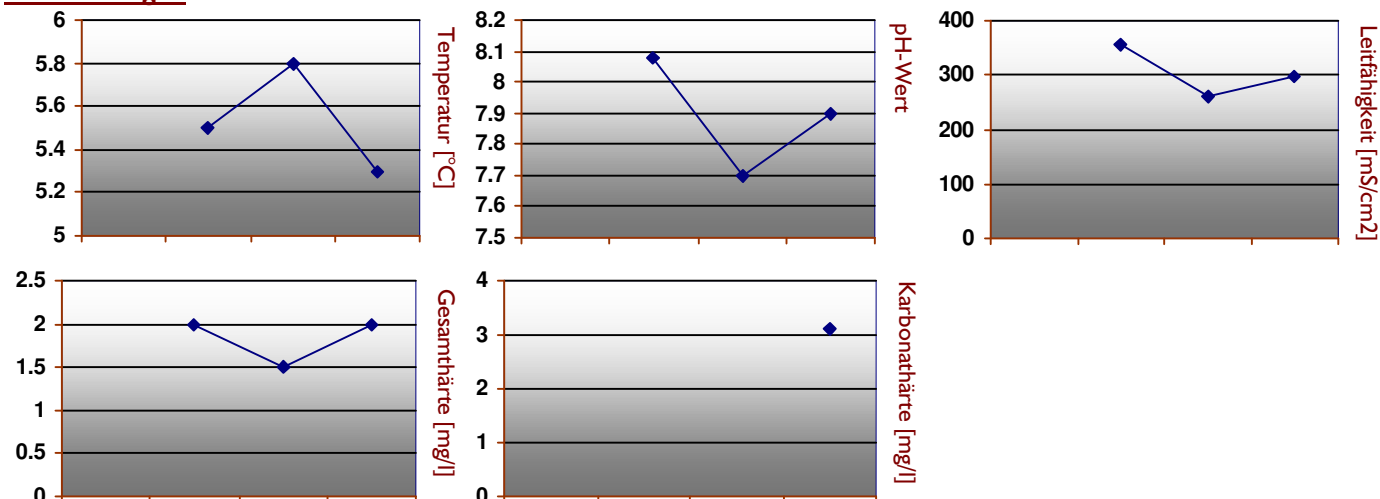
Quelle, die in einem ehemaligen Bachlauf zutage tritt. Austritt an der Grenze des Festgesteins (Fuorn-Formation), zur geringmächtigen, überlagernden Moränenbedeckung.



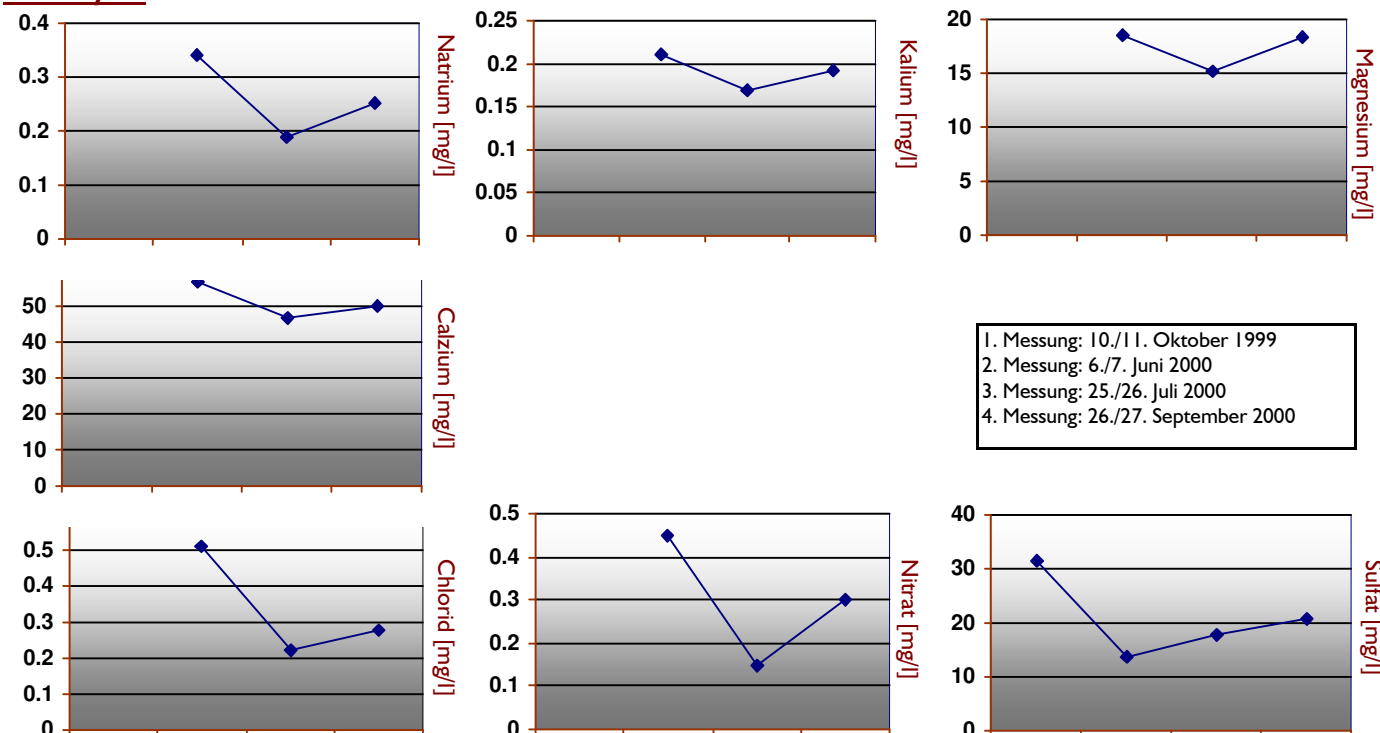
Exposition: NE

Quellentyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
 2. Messung: 6./7. Juni 2000
 3. Messung: 25./26. Juli 2000
 4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung PA6

Meereshöhe: 1710 m

Koordinaten: 809695 / 168955

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

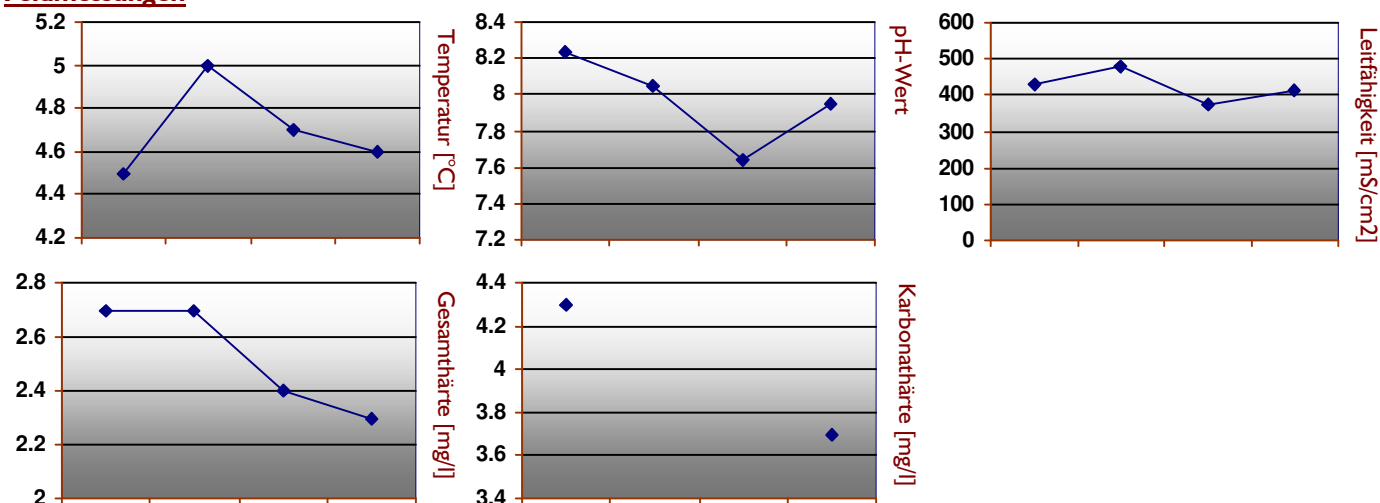
Oberflächliche Quelle in der Moränenbedeckung. Der Quellaustritt wird bedingt durch eine kleine Tälchenbildung und die daraus folgende Verkleinerung des Abflussquerschnittes.

(leider kein Bild verfügbar)

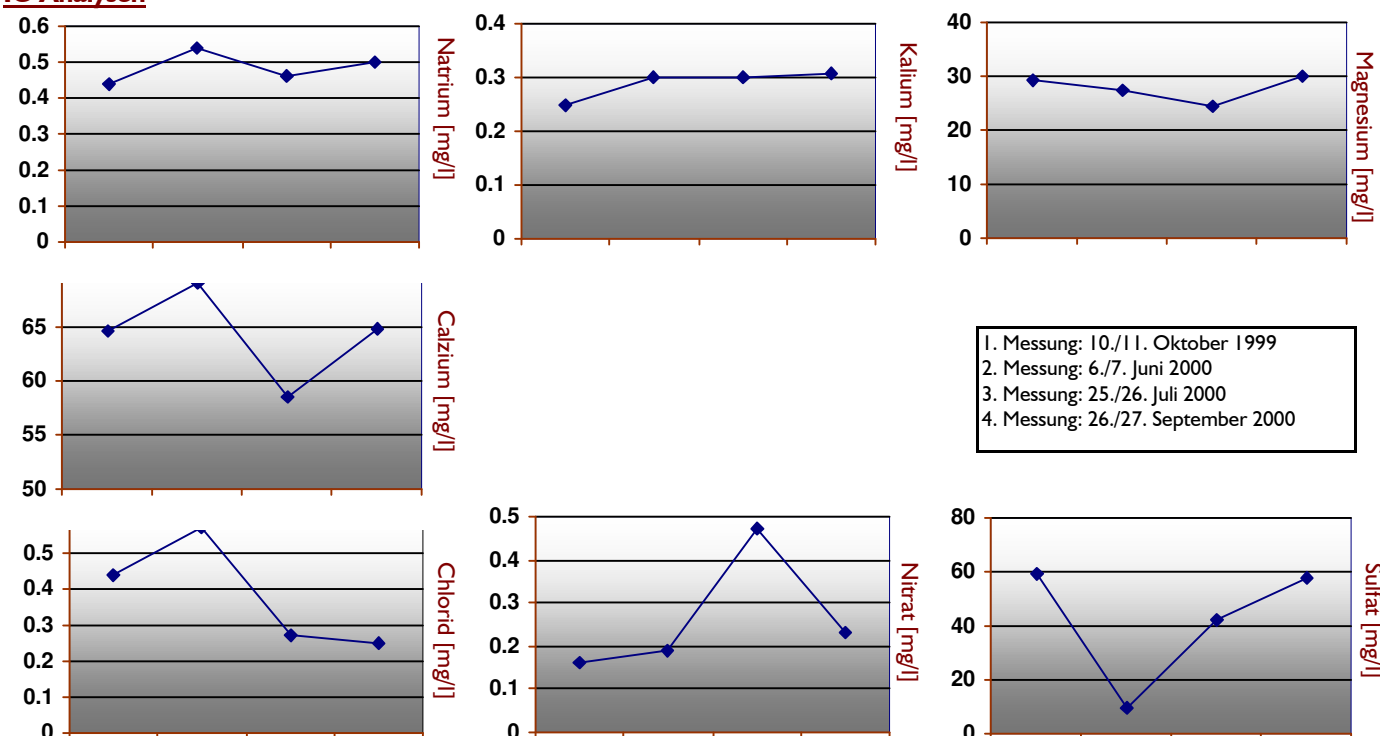
Exposition: NE

Quellentyp: Verengungsquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



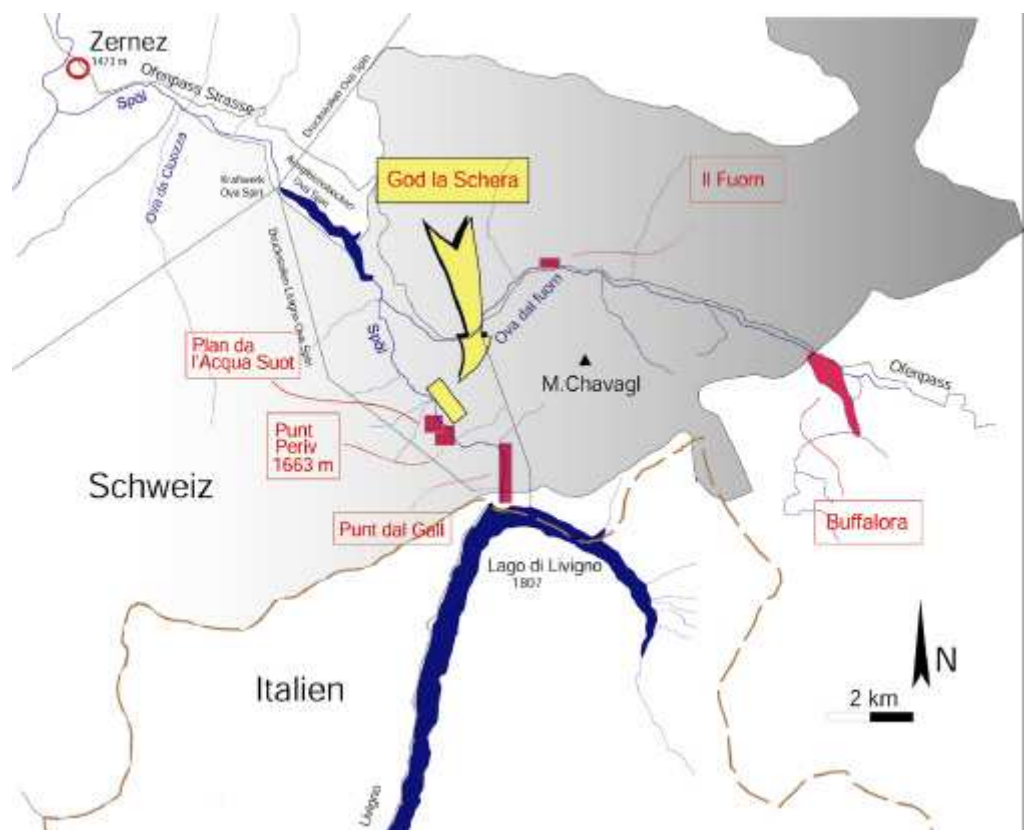
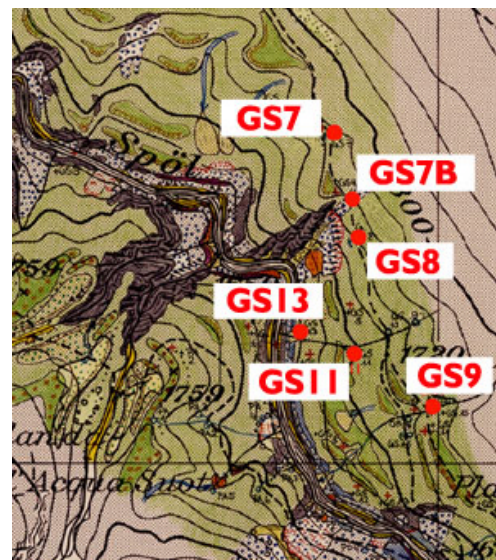
1. Messung: 10./11. Oktober 1999
 2. Messung: 6./7. Juni 2000
 3. Messung: 25./26. Juli 2000
 4. Messung: 26./27. September 2000

Lokalität

God la Schera

Einleitung

Die sechs untersuchten Quellen der Lokalität God la Schera liegen alle am oder unterhalb des Weges, der von der Staumauer nach Punt la Drossa führt. Der westexponierte, mehrheitlich stark bewaldete Hang wird von seiner hochglazialen Überprägung charakterisiert. Eisrandterrassen und Moränenwälle gliedern ihn und beeinflussen den Austrittsort der Quellen.



Quellbezeichnung

GS11

Meereshöhe: 1700 m

Koordinaten: 809858 / 169178

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

Flächenhafte Nassstelle; die Quelle tritt oberhalb einer Eisrandterrasse aus der vernässten Grundmoränenbedeckung aus.

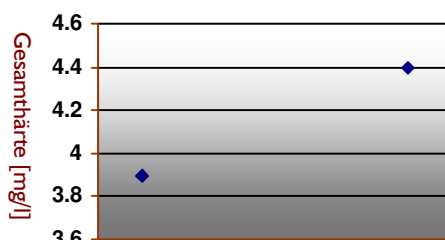
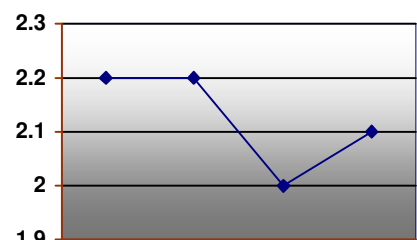
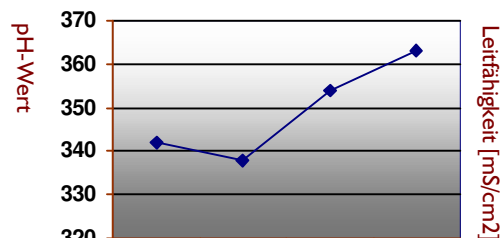
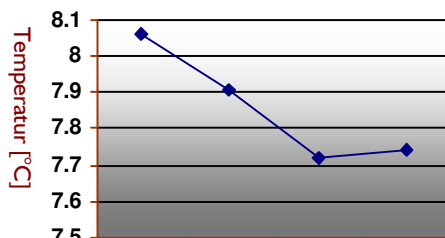
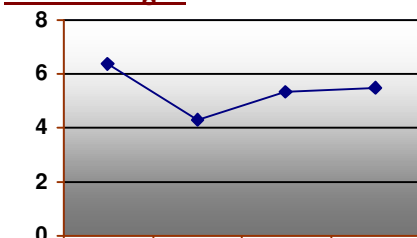
Sie wird wahrscheinlich vom seitlich gelegenen Bach gespeisen.



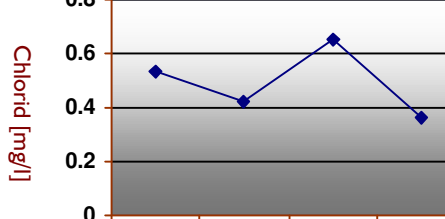
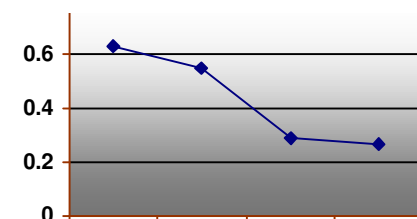
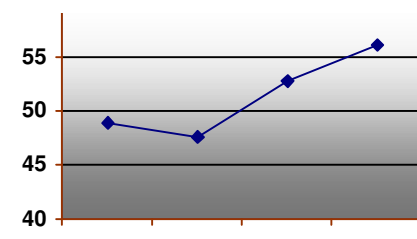
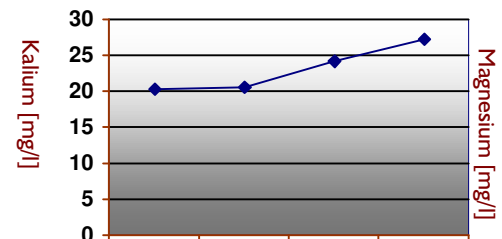
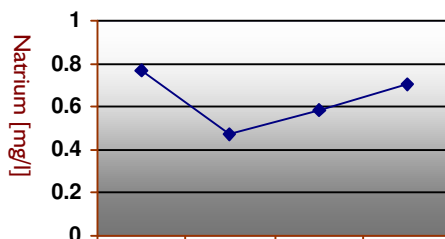
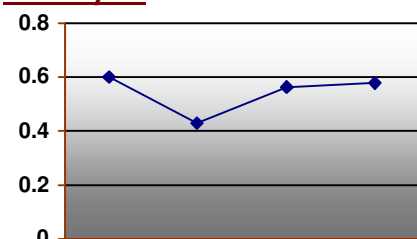
Exposition: SW

Quellentyp: Stauquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

GS13

Meereshöhe: 1655 m

Koordinaten: 809768 / 169224

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

Quelle auf der rechten Seite des Baches, der GS I wie GS13 zu beeinflussen scheint.

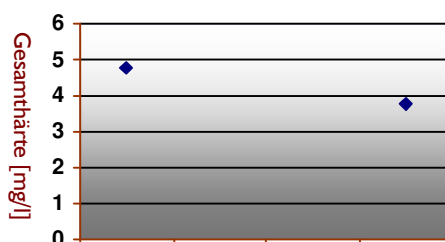
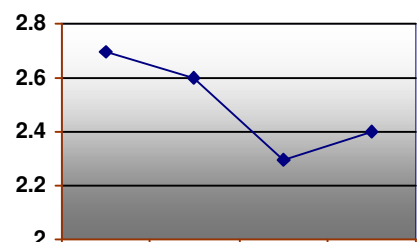
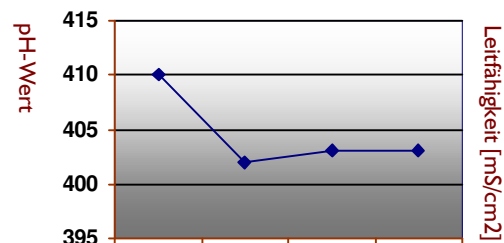
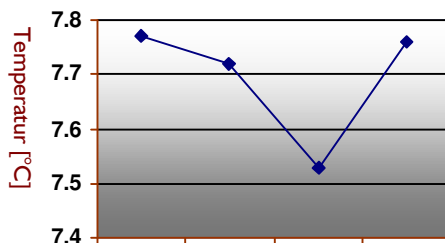
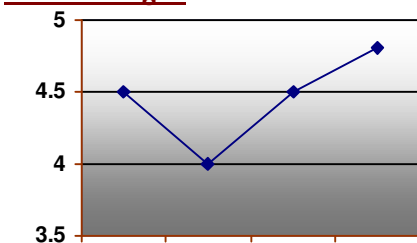
Vorliegende Quelle tritt 40 Höhenmeter tiefer als GS I unterhalb einer Erosionskante aus der Moränenbedeckung aus.



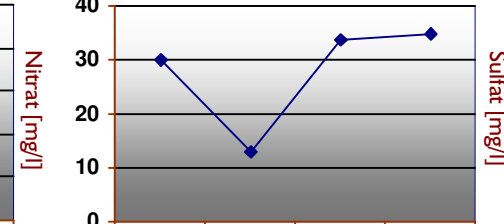
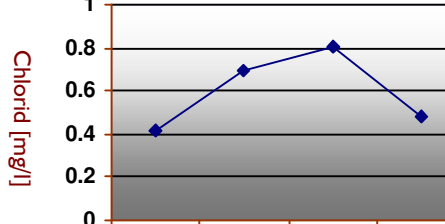
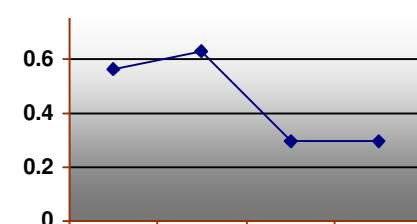
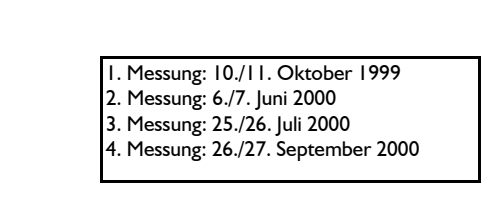
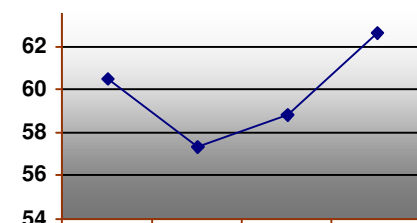
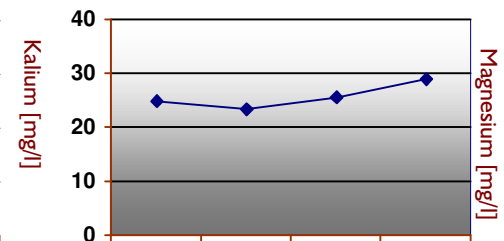
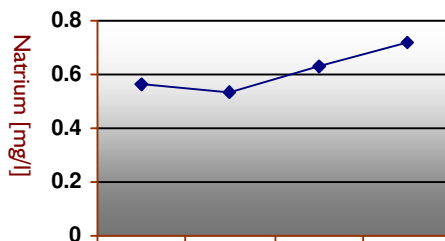
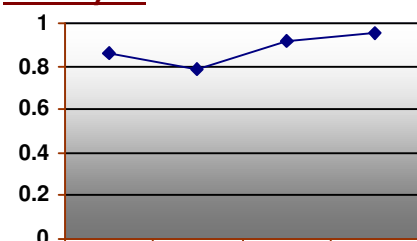
Exposition: W

Quellentyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

GS7

Meereshöhe: 1770 m

Koordinaten: 809824 / 169554

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

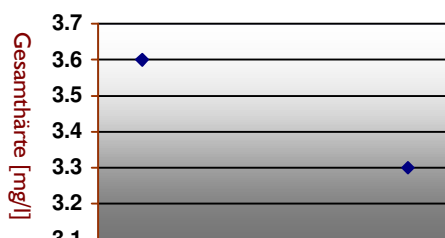
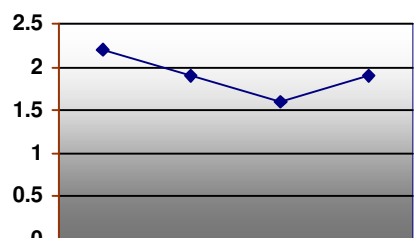
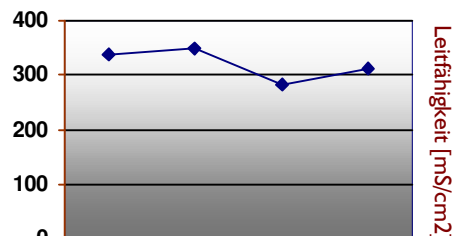
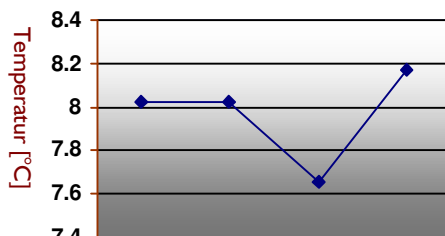
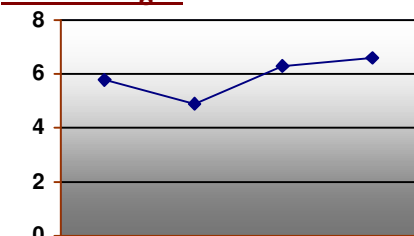
Quelle am Wegrand, deren Austritt durch zwei Gründe erzwungen wird. 1. eine leichte Talbildung, was zu einer Kanalisierung des Bodenwassers führt. 2. Der durchfließbare Querschnitt, bzw. die Durchlässigkeit ist durch die Verringerung der Neigung im Hang erniedrigt. Der Austritt findet in der Moränenbedeckung statt.



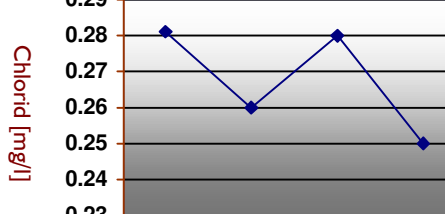
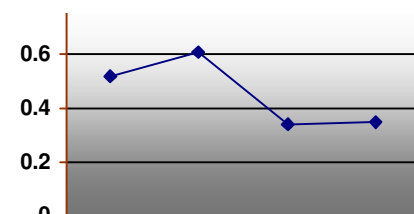
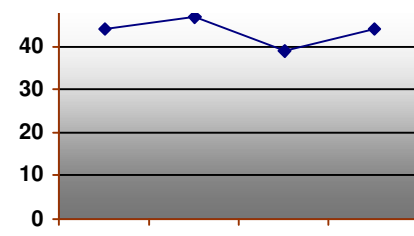
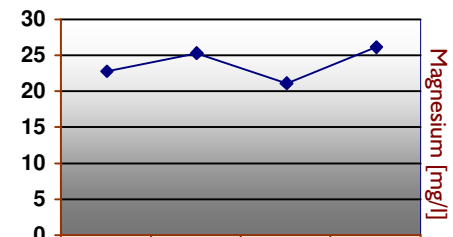
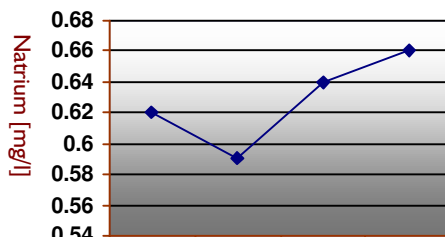
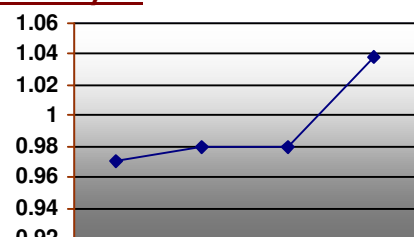
Exposition: W

Quellentyp: Verengungsquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

GS7B

Meereshöhe: 1760 m

Koordinaten: 809847 / 169443

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

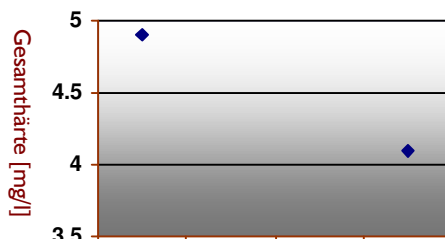
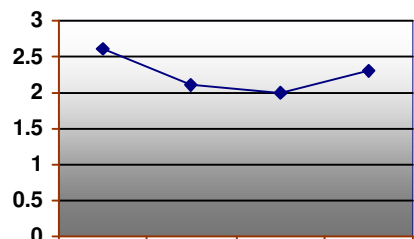
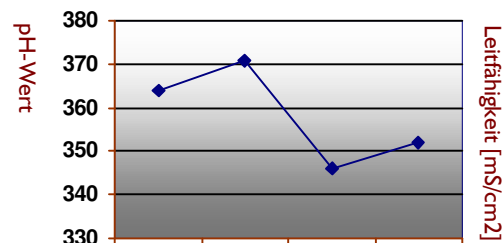
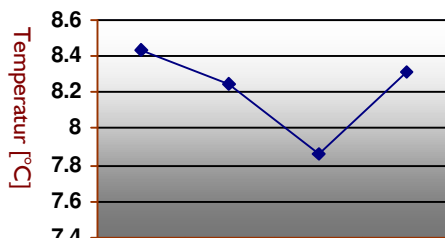
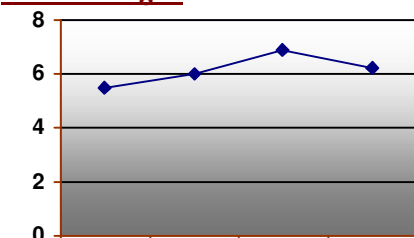
Kleine Quelle am Weg, die aus dem Gehängeschutt austritt.



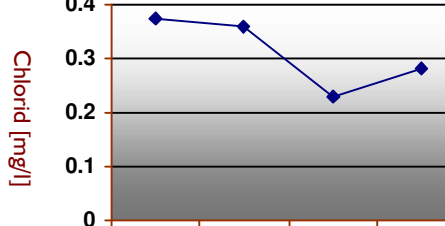
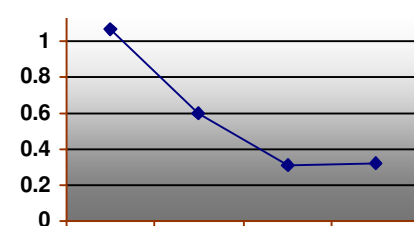
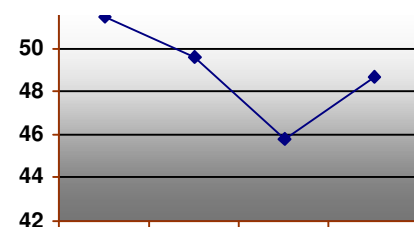
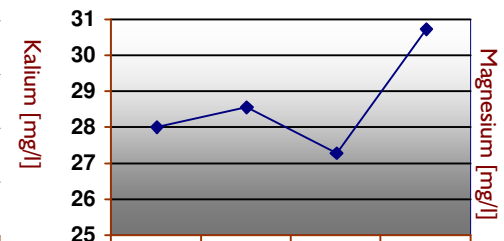
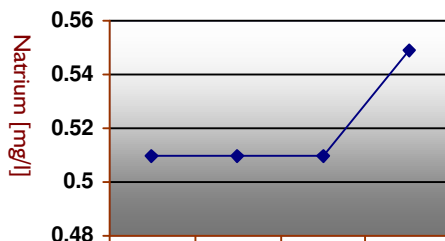
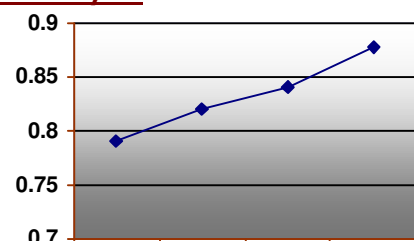
Exposition: W

Quellentyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

GS8

Meereshöhe: 1740 m

Koordinaten: 809867 / 169379

gefasste Quelle: ●

Quellbeschreibung

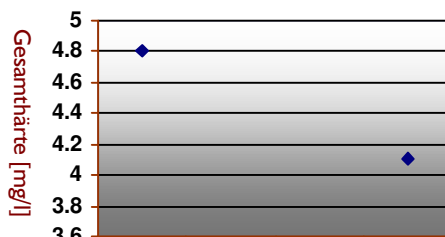
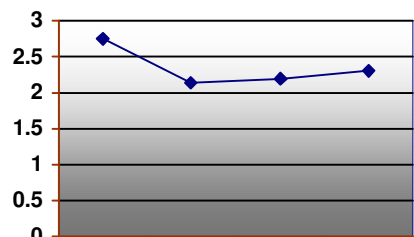
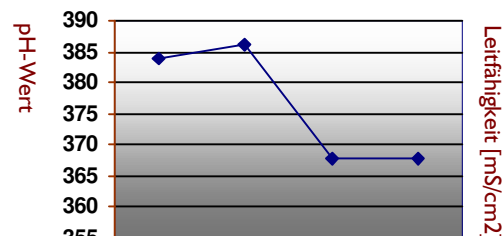
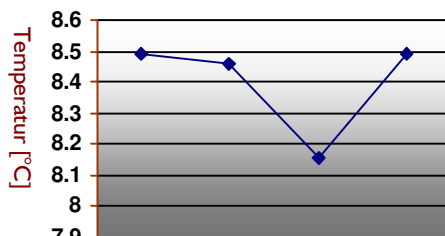
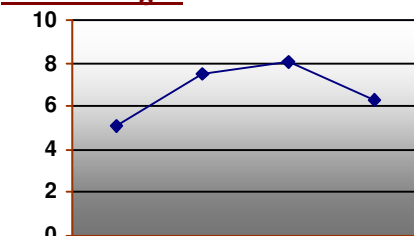
Gefasste Quelle; Brunnen am Weg, tritt aus der oberflächennahen Verwitterungsschicht aus.



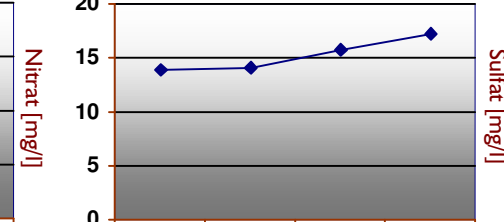
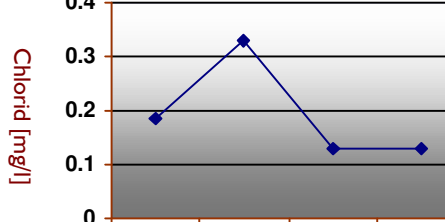
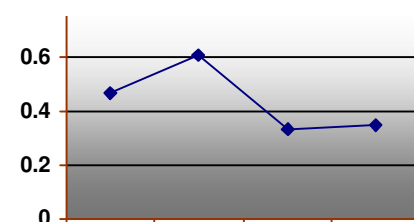
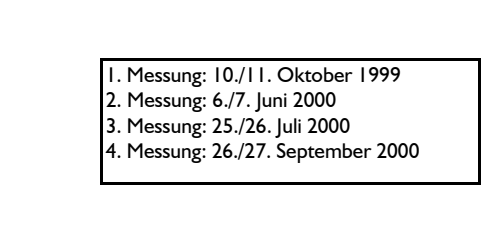
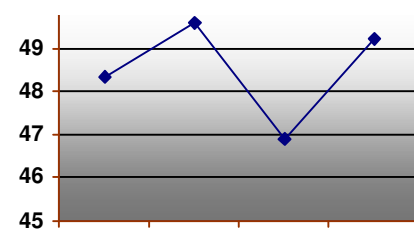
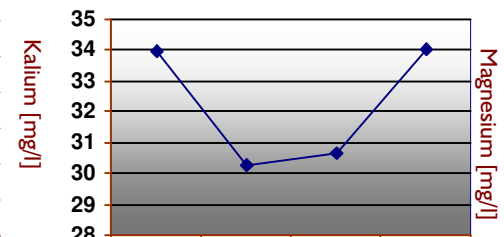
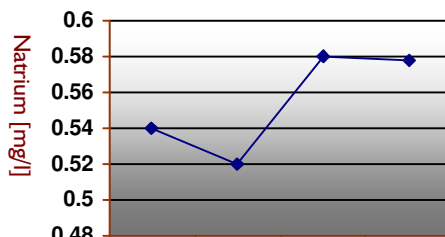
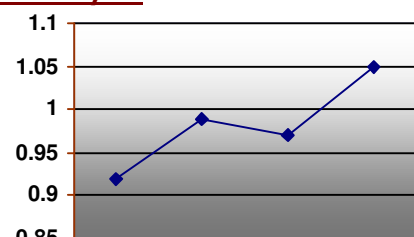
Exposition: W

Quellentyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

GS9

Meereshöhe: 1720 m

Koordinaten: 809916 / 169218

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

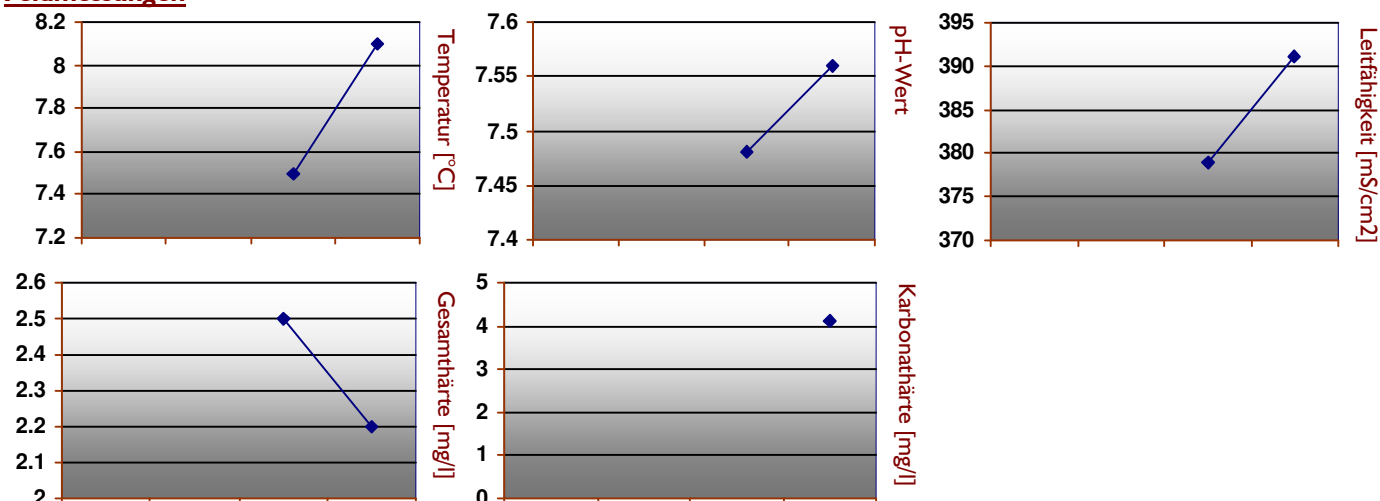
Quellaustritt am Wegrand, neben dem Bach, der in einem kleine Tal abfließt. Die Kanalisierung durch das Tälchen führt zu einer Erhöhung des Piezometerspiegels, die zusammen mit der Abflachung des Hanges (kleines „Podest“) die Wasserteilchen zum Austritt aus der Moränenbedeckung fordert.



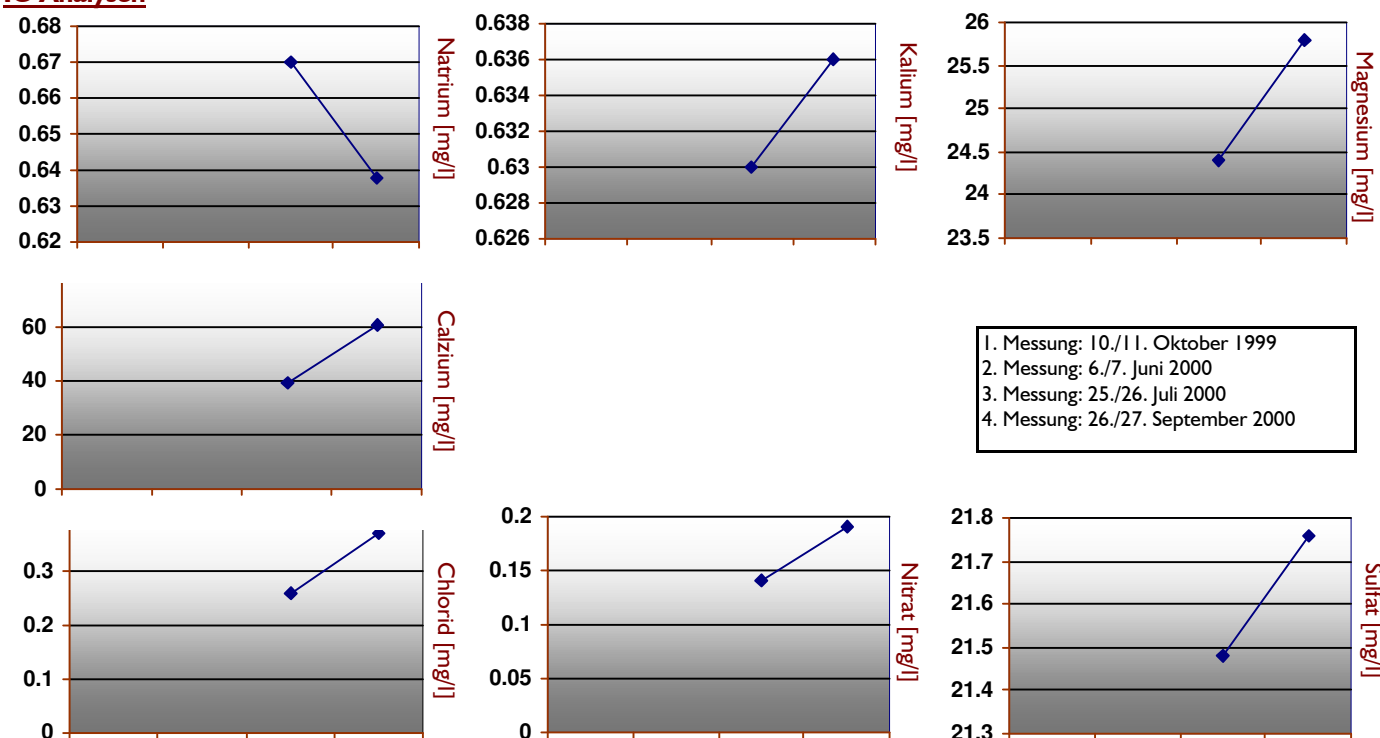
Exposition: W

Quelltyp: Verengungsquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



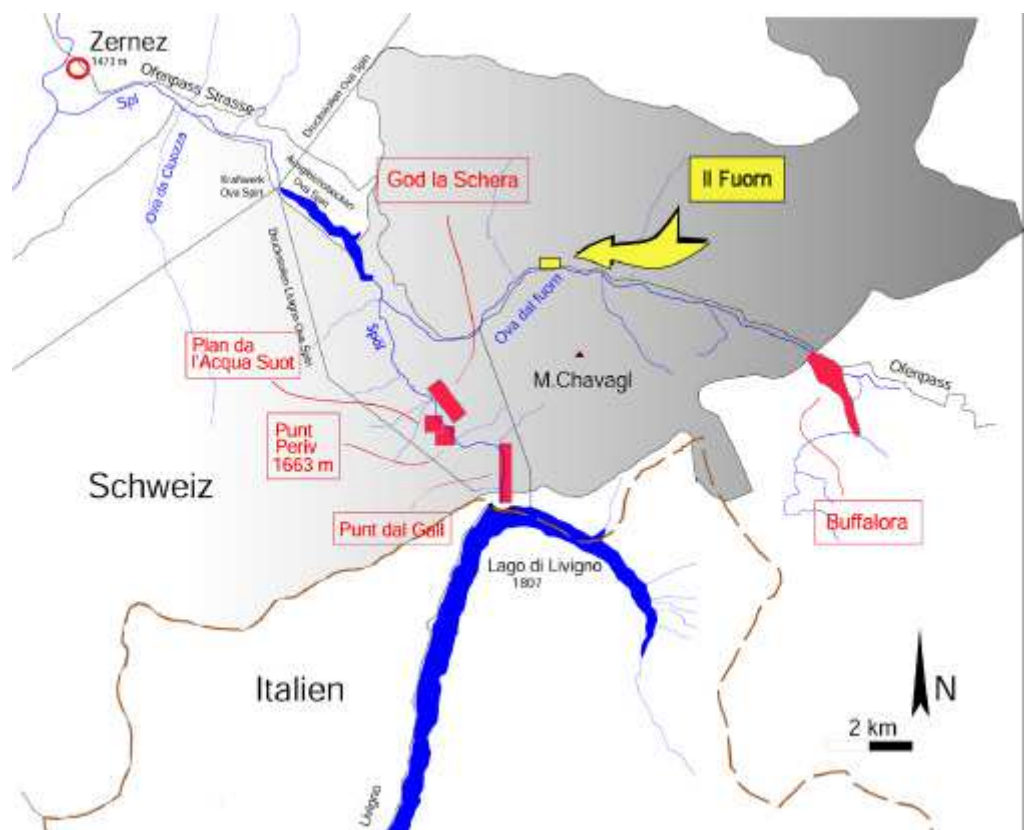
1. Messung: 10./11. Oktober 1999
 2. Messung: 6./7. Juni 2000
 3. Messung: 25./26. Juli 2000
 4. Messung: 26./27. September 2000

Lokalität

Il Fuorn

Einleitung

Eine wilde Landschaft prägt die Lokalität Il Fuorn. Der Fuornbach einerseits, der bei Hochwasser seine Ufer markant erodieren kann und durch kleine Gerinnekorrekturen, die den ufernahen Weg zum Labor schützen nur mühsam in Zaum gehalten wird. Andererseits überprägen Murgangereignisse, die sich in die Gehängeschuttüberdeckung eingraben und ihr Geschiebe im Uferbereich des Fuornbaches ablagern, stetig die sich oft verändernde Umgebung. Die einzige gemessene Quelle liegt auf dem Weg, der vom Hotel Il Fuorn zum Labor des Schweizerischen Nationalparks



Quellbezeichnung

IF1

Meereshöhe: 1790 m

Koordinaten: 811584 / 171846

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

Quelle, welche die grösste Schüttung der erfassten Quellen aufweist. Austritt aus dem Gehängeschutt am Hangfuss des Punt dal Fuorns.

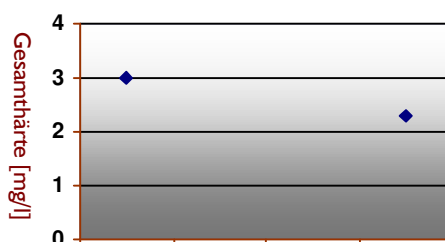
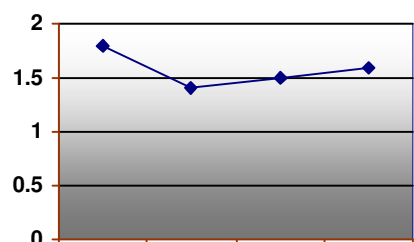
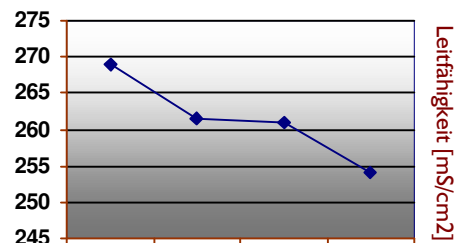
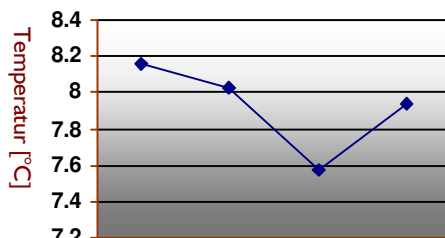
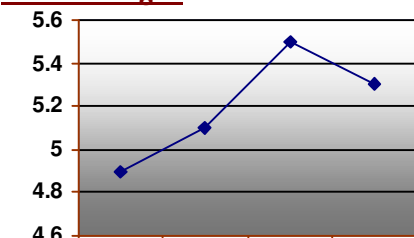
Sie wird wahrscheinlich vom nahen Bach gespiesen.



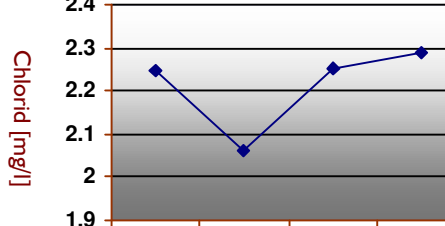
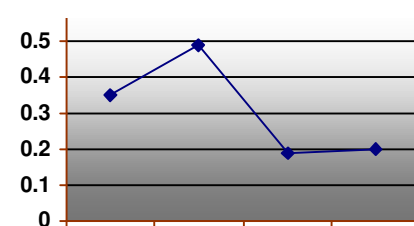
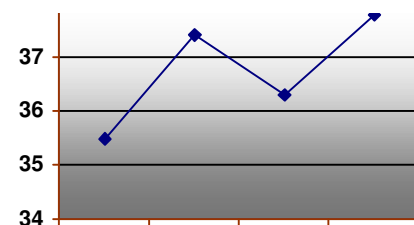
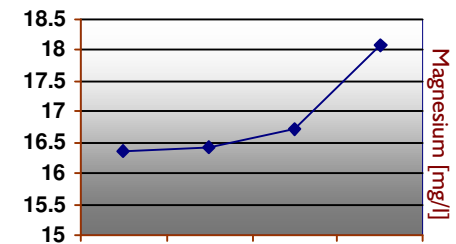
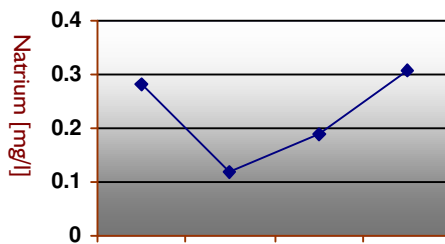
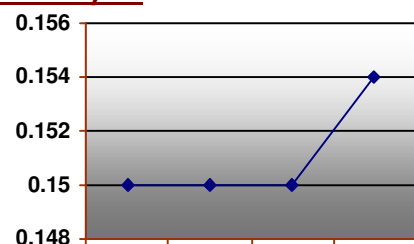
Exposition: W

Quellentyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

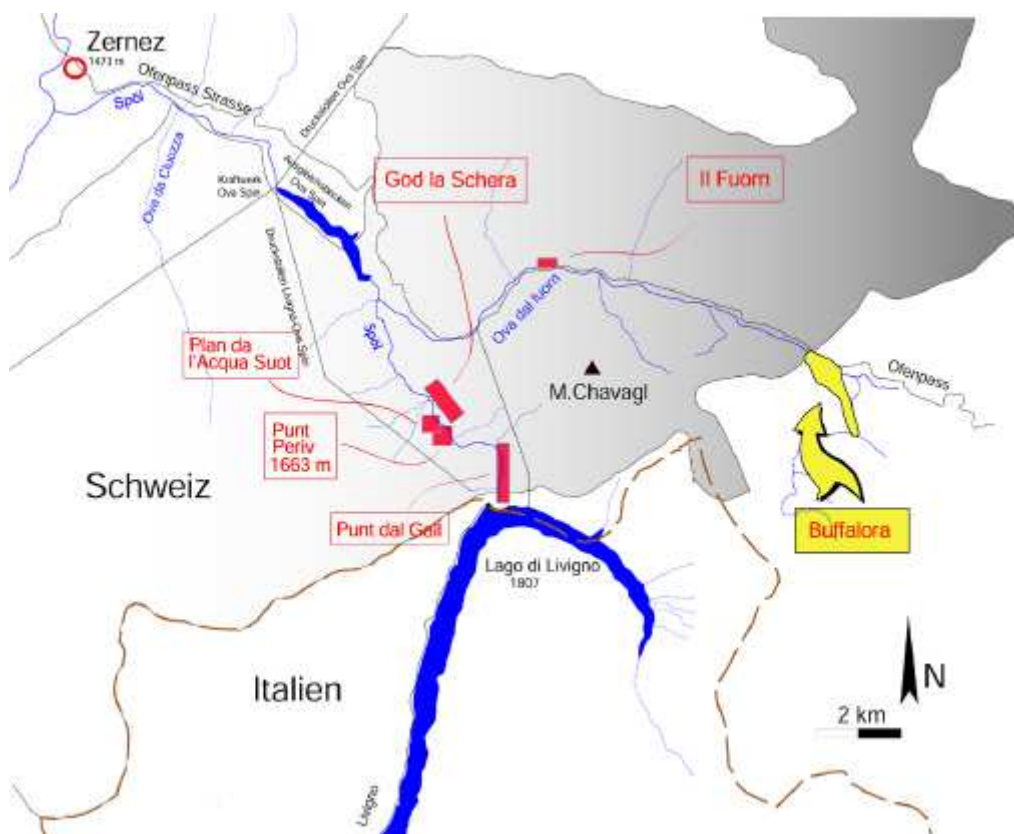
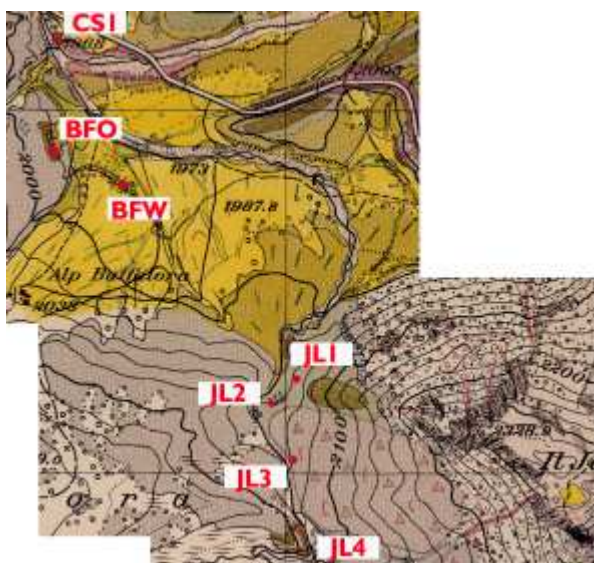
Lokalität

Buffalora

Einleitung

Die unter der Lokalität Buffalora zusammengefassten Quellen befinden sich südlich der Ofenpassstrasse, bei der Alpe Buffalora. Die in diesem Quellperimeter aufgeschlossenen Lithologien lassen sich in Verrucano der Chazfora-Formation, Bundsandsteine der Fuorn-Formation, S-Charl Kalke sowie Dolomite der Turettas-, Vallatscha- und Raibler-Formation unterscheiden.

Alle untersuchten Quellen treten aus der oberflächlichen Quartärbeckung aus.



Quellbezeichnung

BFO

Meereshöhe: 1980 m

Koordinaten: 816546 / 169809

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

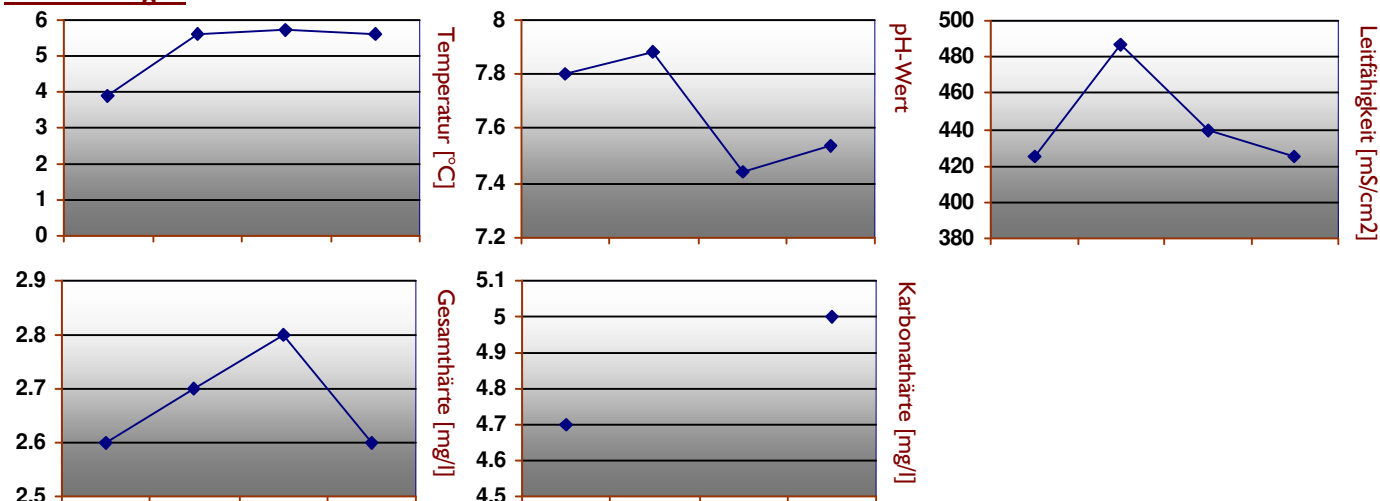
BFO ist ein Quellhorizont (QH), der zusammen mit einer Reihe von weiteren QH'en, den grossen fluvialen Schuttfächer, der sich über die gesamte Alpe Buffalora erstreckt, entwässert. Der Quellaustritt wird provoziert durch die Ausbildung eines kleinen Tälchens, das talseitig von der obersten Flussterrasse des Fuornbaches abgeschnitten wird. Das vorliegende Bild zeigt den Standort der Probenahme im Sommer und Herbst 2000. Die vorherigen Proben wurden etwa 50m rechts davon aus demselben QH entnommen.



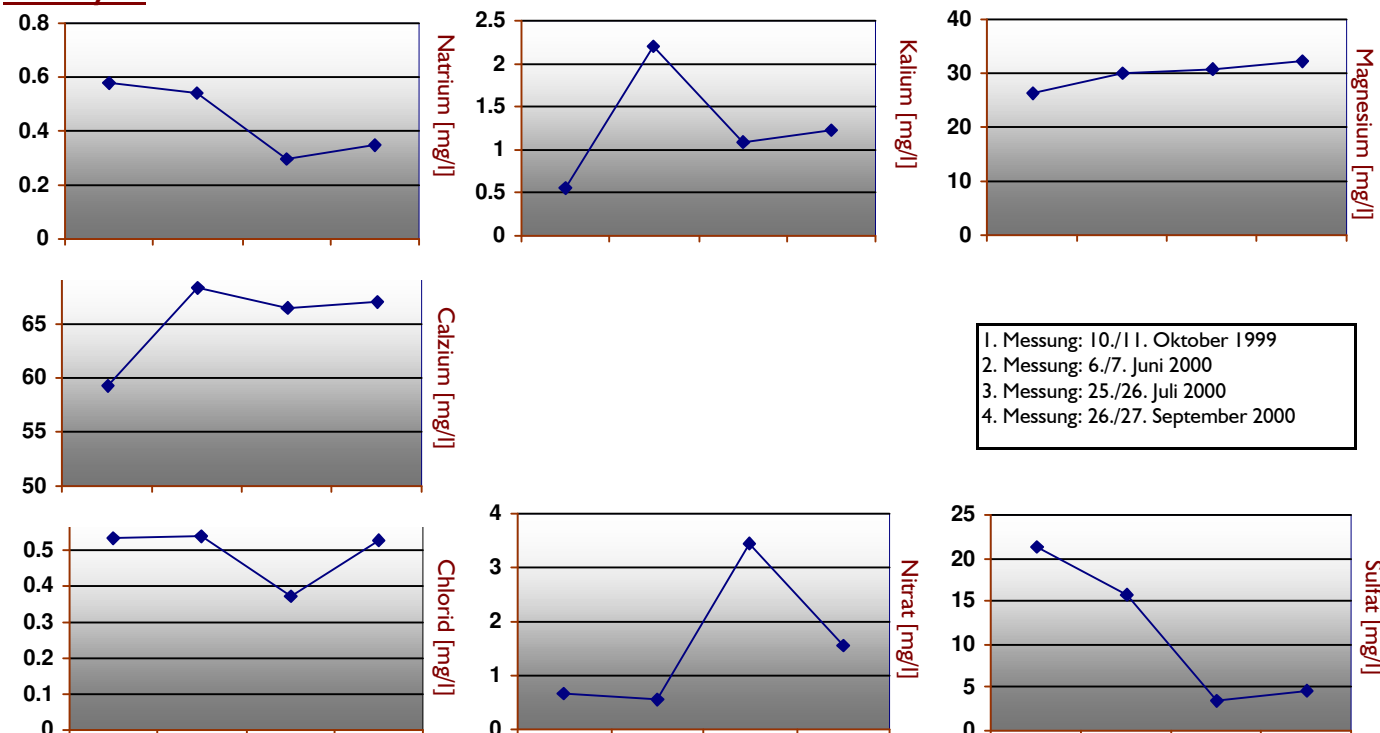
Exposition: NE

Quellentyp: Verengungsquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
 2. Messung: 6./7. Juni 2000
 3. Messung: 25./26. Juli 2000
 4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

BFW

Meereshöhe: 1980 m

Koordinaten: 816345 / 169885

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

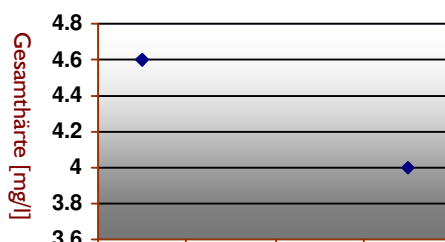
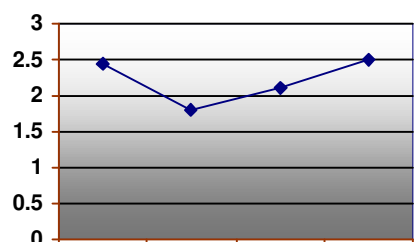
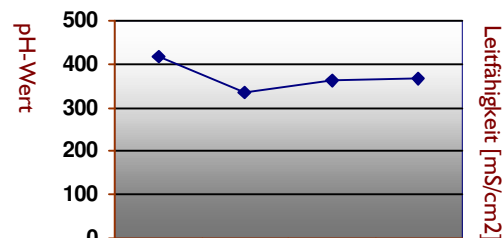
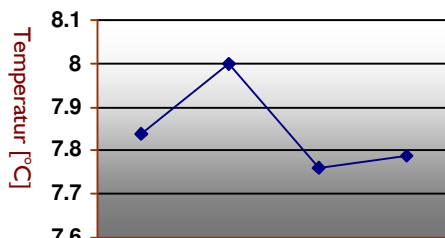
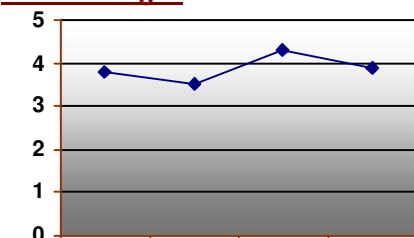
Der Quellhorizont BFW drainiert den flacher werdenden Hang und entwässert in eine vernässte Schwemmebene.



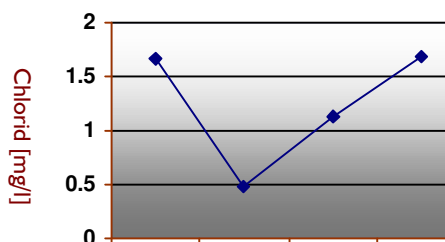
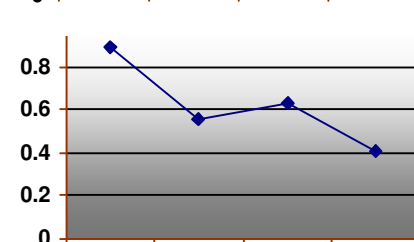
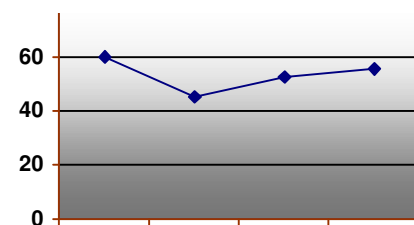
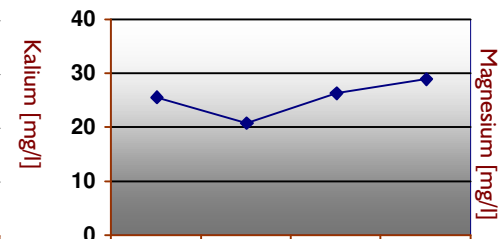
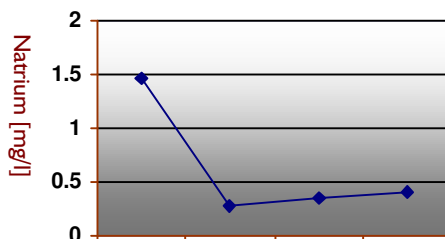
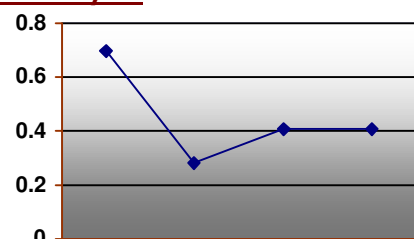
Exposition: E

Quellentyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

CS1

Meereshöhe: 1960 m

Koordinaten: 816358 / 170216

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

CS1 liegt in einem komplex strukturierten 4-teiligen Quellhorizont. Jakob Frey (1992) hat eine Detailkartierung der Lokalität angefertigt sowie bei mehreren Quellen Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Schüttung und das Ionenpotential gemessen.

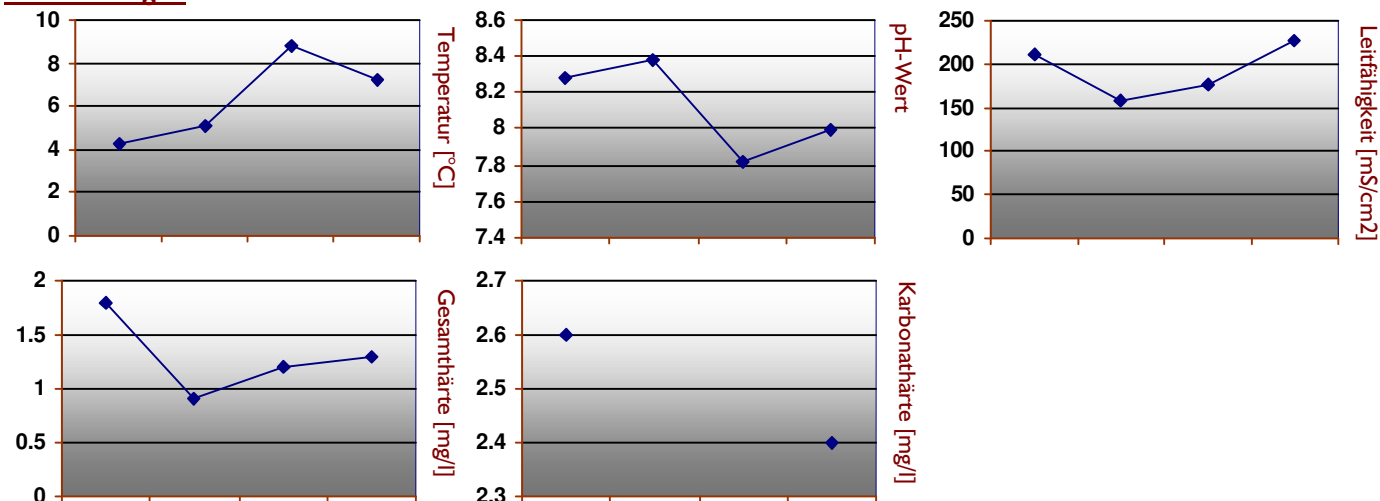
Die untersuchte Quelle befindet sich in einem Quellhorizont am unteren Rand der Flussterrasse.



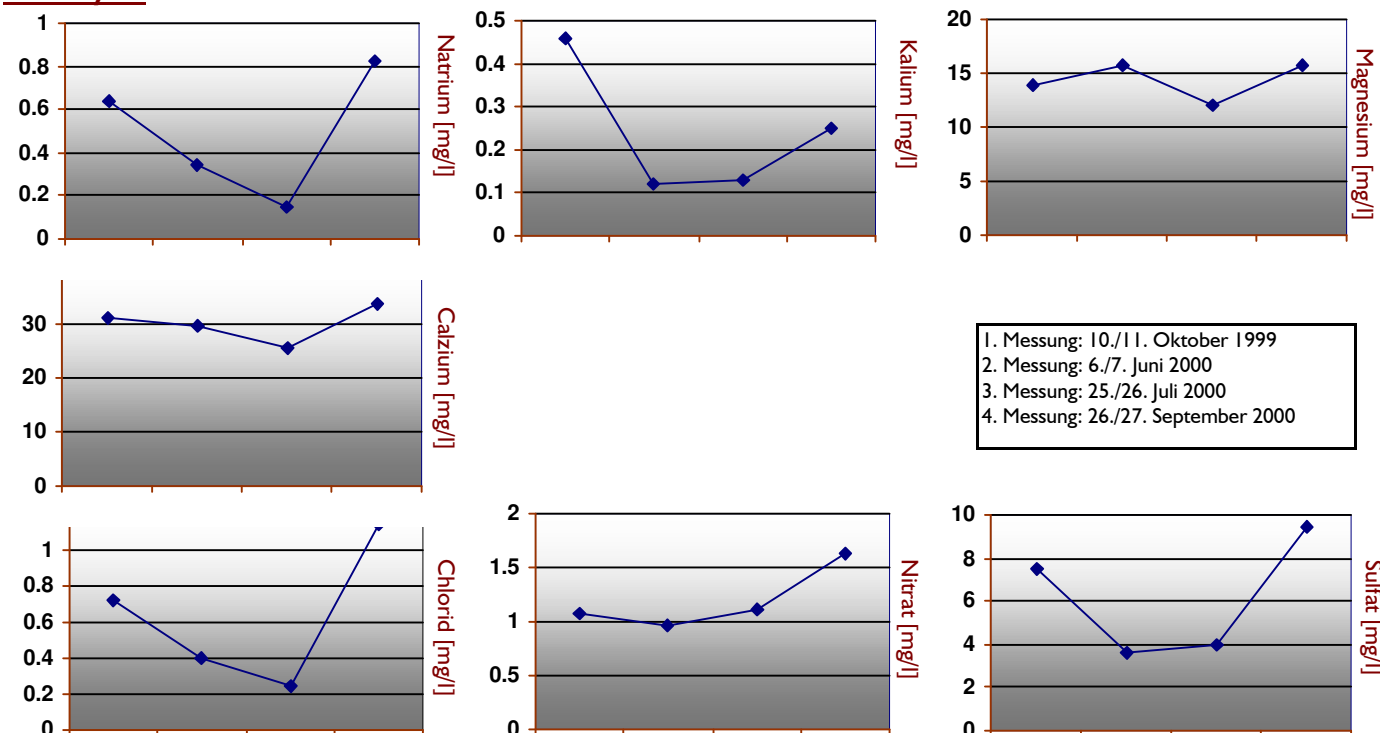
Exposition: NW

Quellentyp: Verengungsquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
 2. Messung: 6./7. Juni 2000
 3. Messung: 25./26. Juli 2000
 4. Messung: 26./27. September 2000

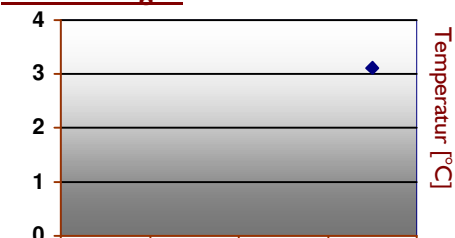
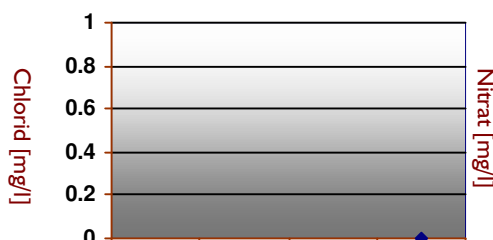
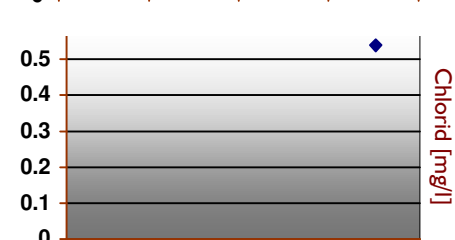
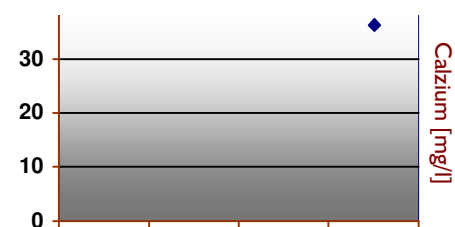
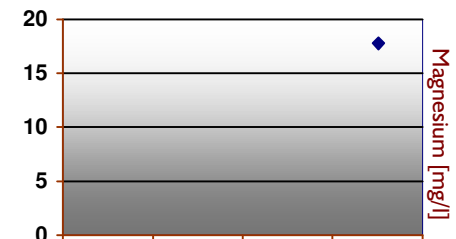
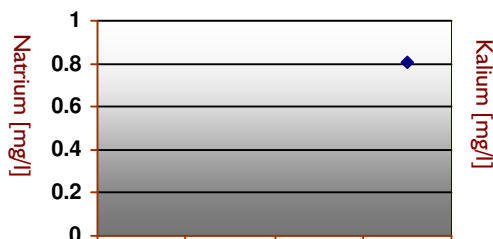
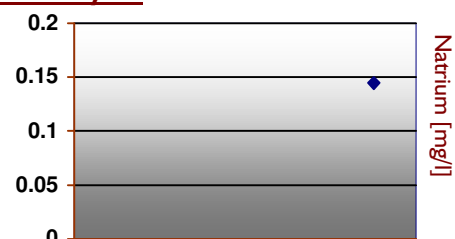
Quellbezeichnung

JL1

Meereshöhe: 2040 m**Koordinaten:** 817008 / 169241**gefasste Quelle:** ○**Quellbeschreibung**

JL1 wurde einmal gemessen, um allfällige Unterschiede zur unweit entfernten JL2 festzustellen. Sie bezeichnet ebenfalls einen Quellhorizont, der aus der Moränenbedeckung austritt und nicht mehr vom Bergsturz IL Jalet geprägt ist.

(leider kein Bild verfügbar)

Exposition: W**Quellentyp:** Schichtquelle**Feldmessungen****IC-Analysen**

1. Messung: 10./11. Oktober 1999
 2. Messung: 6./7. Juni 2000
 3. Messung: 25./26. Juli 2000
 4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

JL2

Meereshöhe: 2040 m

Koordinaten: 816953 / 169191

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

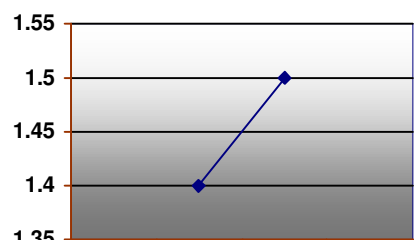
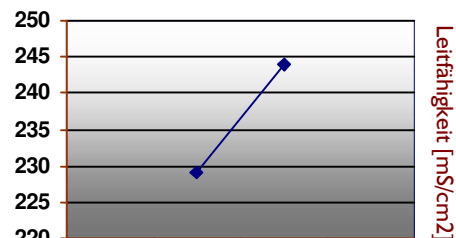
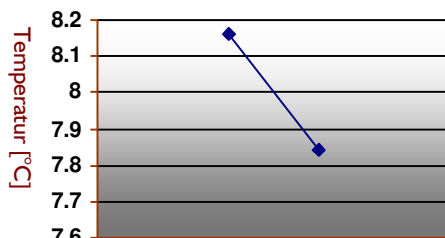
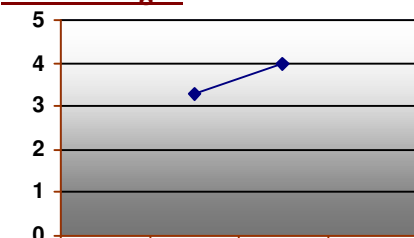
JL2 bezeichnet einen Quellhorizont, der wahrscheinlich ebenfalls wie JL3 den Bergsturz von Il Jalet drainiert, die Austrittsstelle wurde jedoch von Heinz Vetter als Moränenbedeckung kartiert.

(leider kein Bild verfügbar)

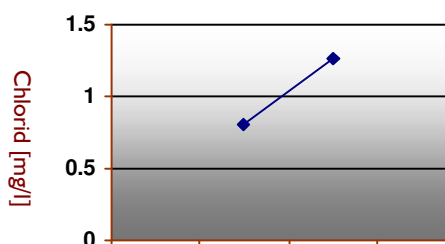
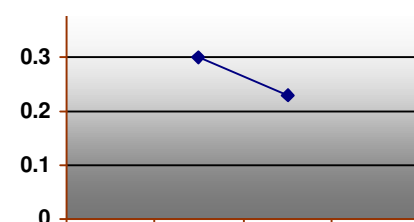
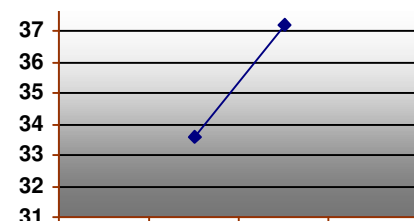
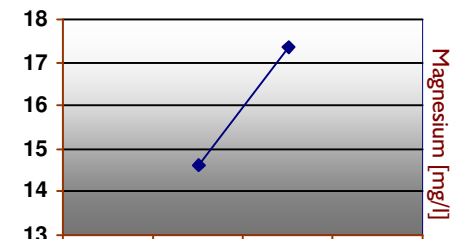
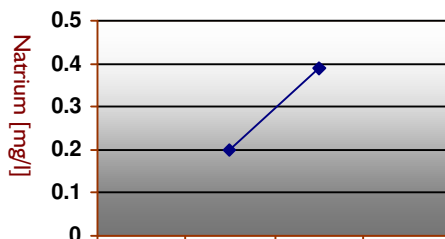
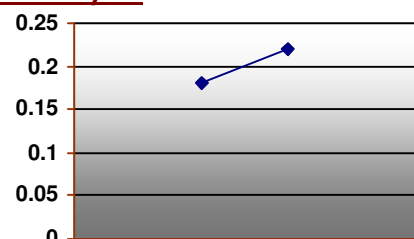
Exposition: W

Quelltyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

JL3

Meereshöhe: 2060 m

Koordinaten: 817002 / 169021

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

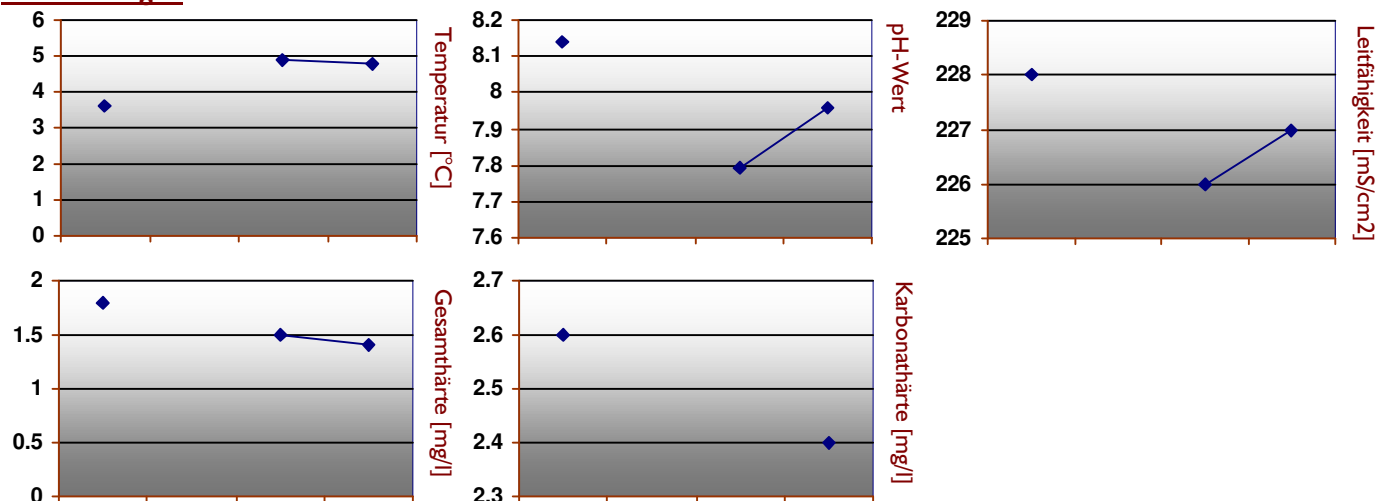
Der Bergsturz vom Il Jalet ist mit seiner typischen unregelmässigen Oberfläche das augenscheinliche landschaftsbildende Merkmal der vorliegenden Lokalität. JL3 entspringt an seiner Stirn und entwässert in den Murtaröl, der den Bergsturz umfliesst.



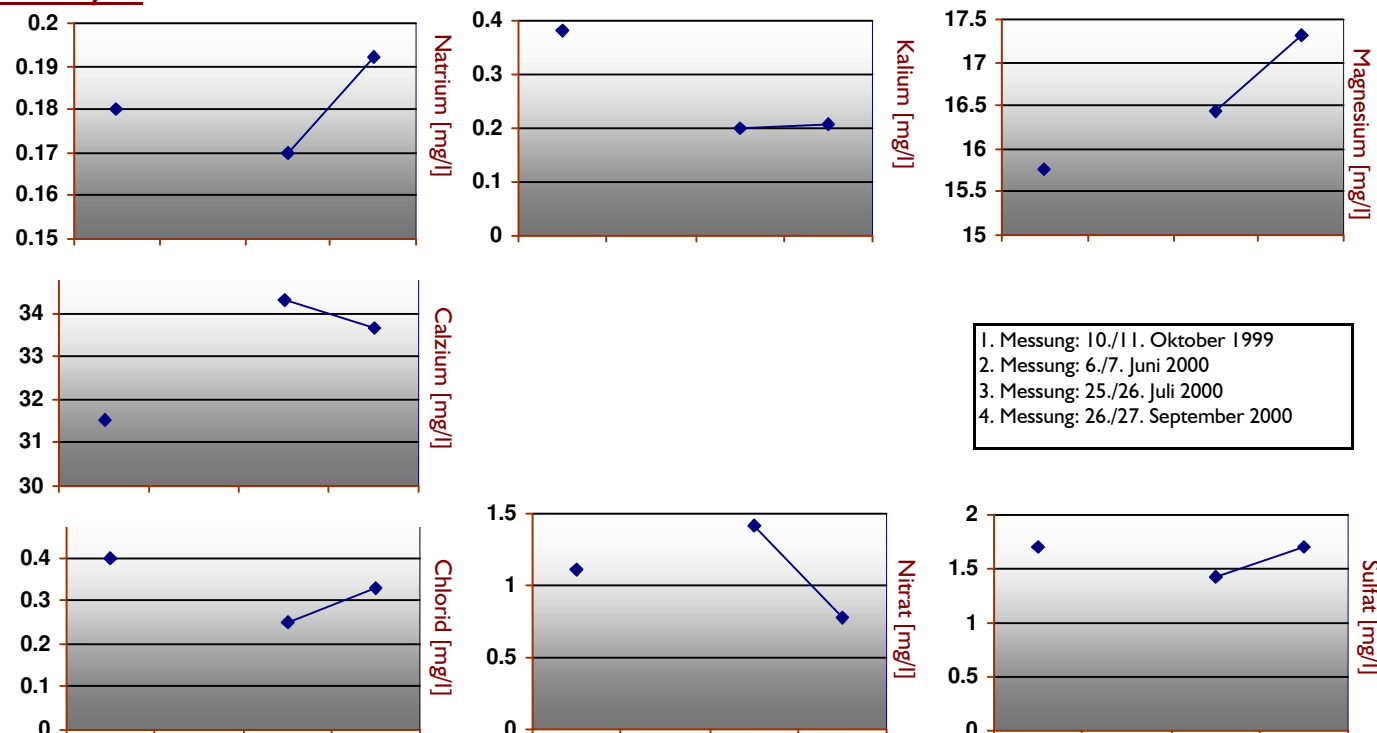
Exposition: SW

Quellentyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
 2. Messung: 6./7. Juni 2000
 3. Messung: 25./26. Juli 2000
 4. Messung: 26./27. September 2000

Quellbezeichnung

JL4

Meereshöhe: 2095 m

Koordinaten: 817090 / 168753

gefasste Quelle: ○

Quellbeschreibung

JL4 entspringt am oberen Ende der Flussterrasse des Murtarölbaches, der einen Trockenschuttkegel durchschnitten hat.

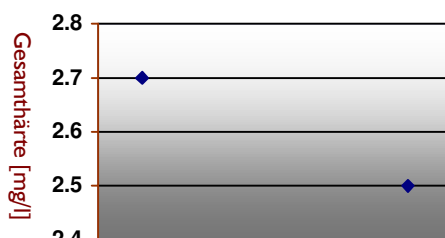
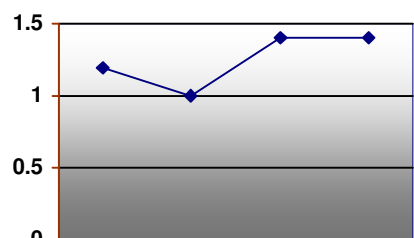
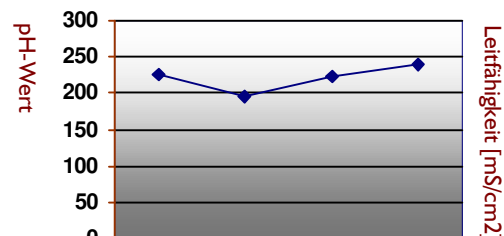
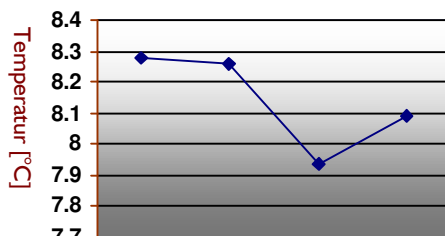
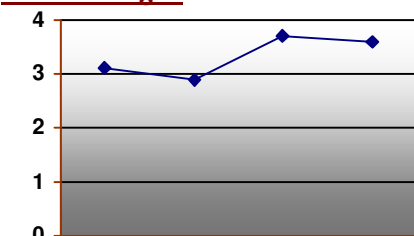
Auffallend ist die sehr geringe Schüttung und der ständig wechselnde Austrittsort der Quelle.



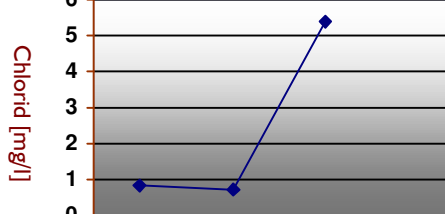
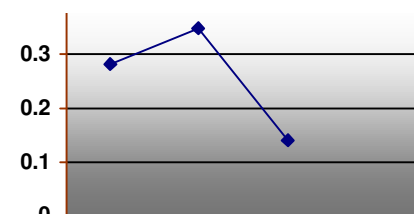
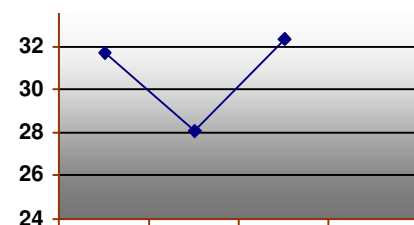
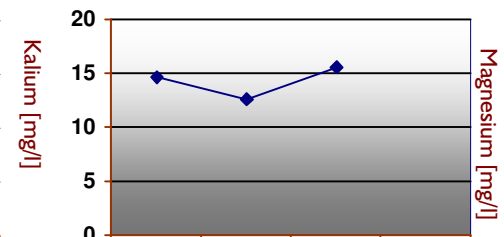
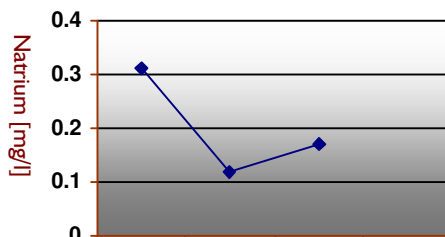
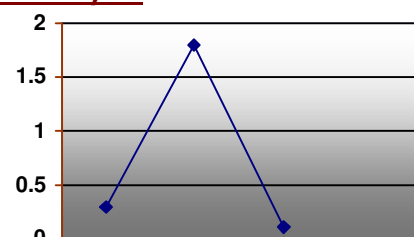
Exposition: N

Quellentyp: Schichtquelle

Feldmessungen



IC-Analysen



1. Messung: 10./11. Oktober 1999
2. Messung: 6./7. Juni 2000
3. Messung: 25./26. Juli 2000
4. Messung: 26./27. September 2000

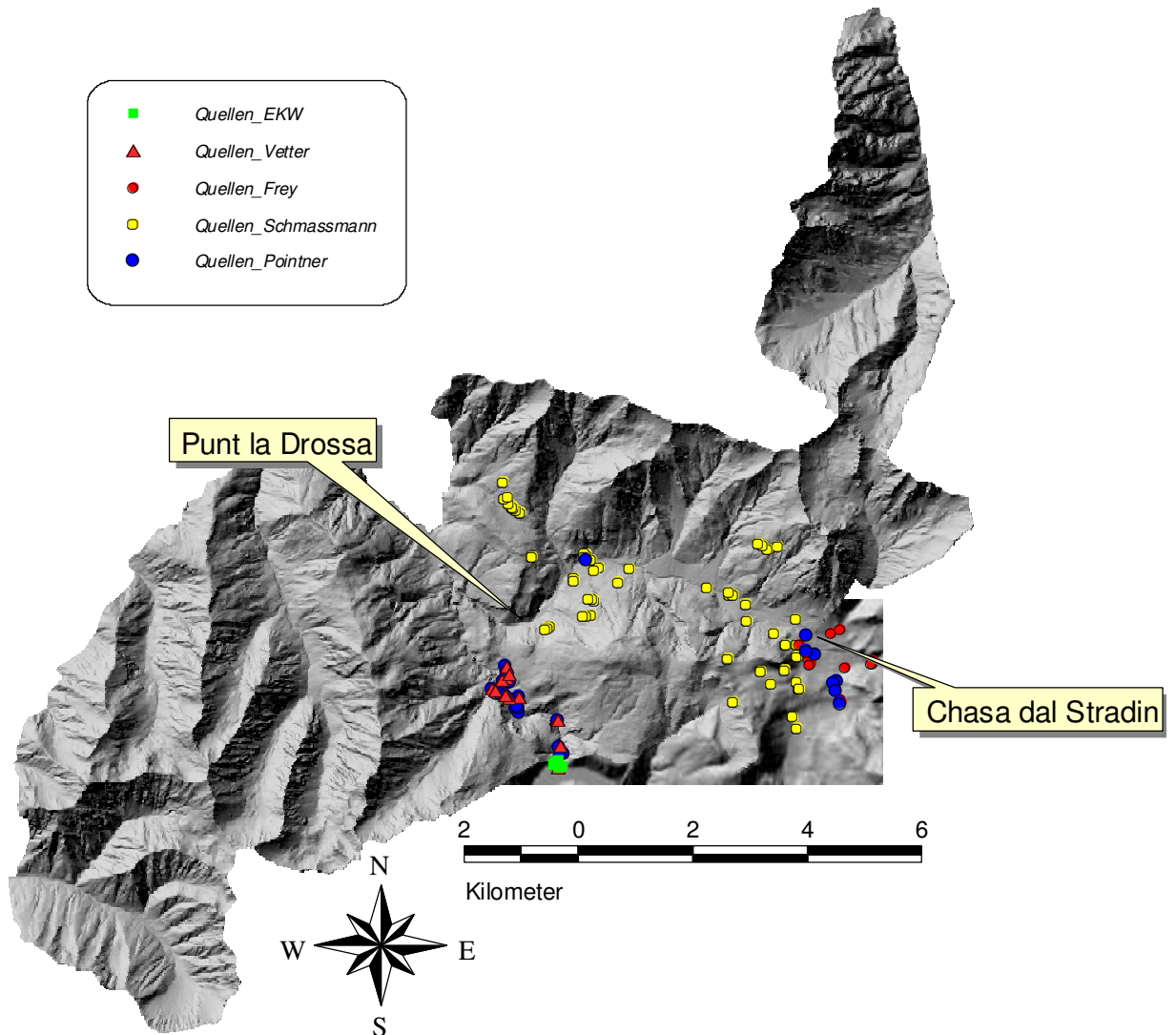
ANHANG

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	A
Lage der untersuchten Quellen im Schweizerischen Nationalpark	B
Situationsplan der EKW-Quellen.....	C
Thematische Karten	D
Lage und Exposition der Quellen im Bereich Spöltal.....	D
Lage und Exposition der Quellen im Bereich Buffalora	E
Alkaliverhältnisse der Quellen im Bereich Spöltal.....	F
Alkaliverhältnisse der Quellen im Bereich Buffalora	G
Erdalkaliverhältnisse der Quellen im Bereich Spöltal.....	H
Erdalkaliverhältnisse der Quellen im Bereich Buffalora	I
Sulfatwerte der Quellen im Bereich Spöltal	J
Sulfatwerte der Quellen im Bereich Buffalora	K
Nitratwerte der Quellen im Bereich Spöltal	L
Nitratwerte der Quellen im Bereich Buffalora.....	M
Quelltypen im Bereich Spöltal.....	N
Quelltypen im Bereich Buffalora	O
Numerischer Quellbericht.....	P
Abbildungsverzeichnis	Q
Tabellenverzeichnis	Q
Literaturverzeichnis.....	R



LAGE DER UNTERSUCHTEN QUELLEN IM SCHWEIZERISCHEN NATIONALPARK

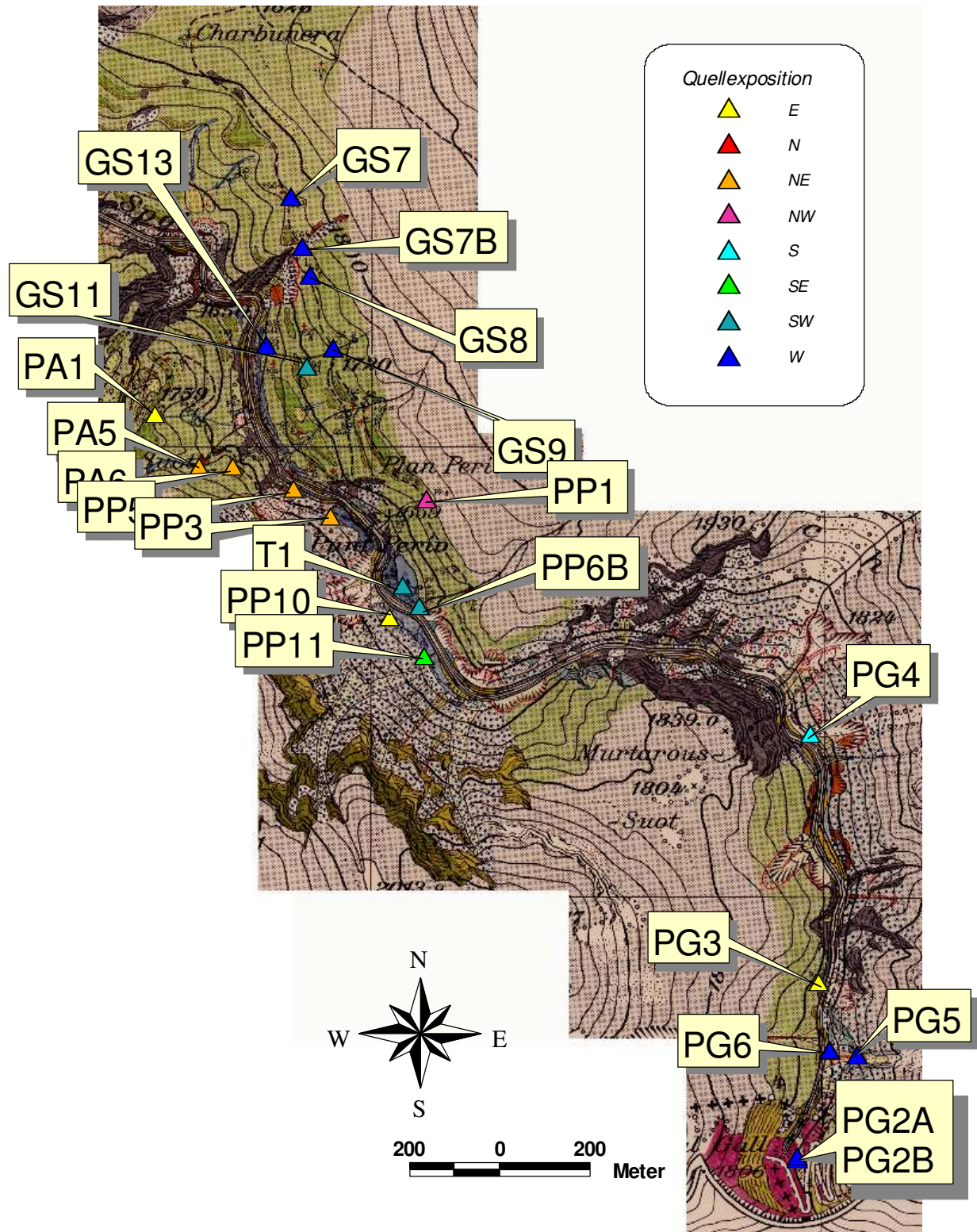


Autor	Untersuchungs-dauer	Durchgeführte Analysen
Schmassmann	1957-1961	Anionen/Kationen-Analyse, Temperatur, pH-Wert, freie Kohlensäure, Sauerstoffsättigung
Vetter	1992	Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Schüttung
Frey	1992	Temperatur Leitfähigkeit pH-Wert, Schüttung, Ionenpotential
EKW	? bis heute, 2-monatliche Messungen	Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert
Pointner	1999/2000	IC-Analyse (Anionen, Kationen), Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Schüttung, (Sauerstoffsättigung)



THEMATISCHE KARTEN

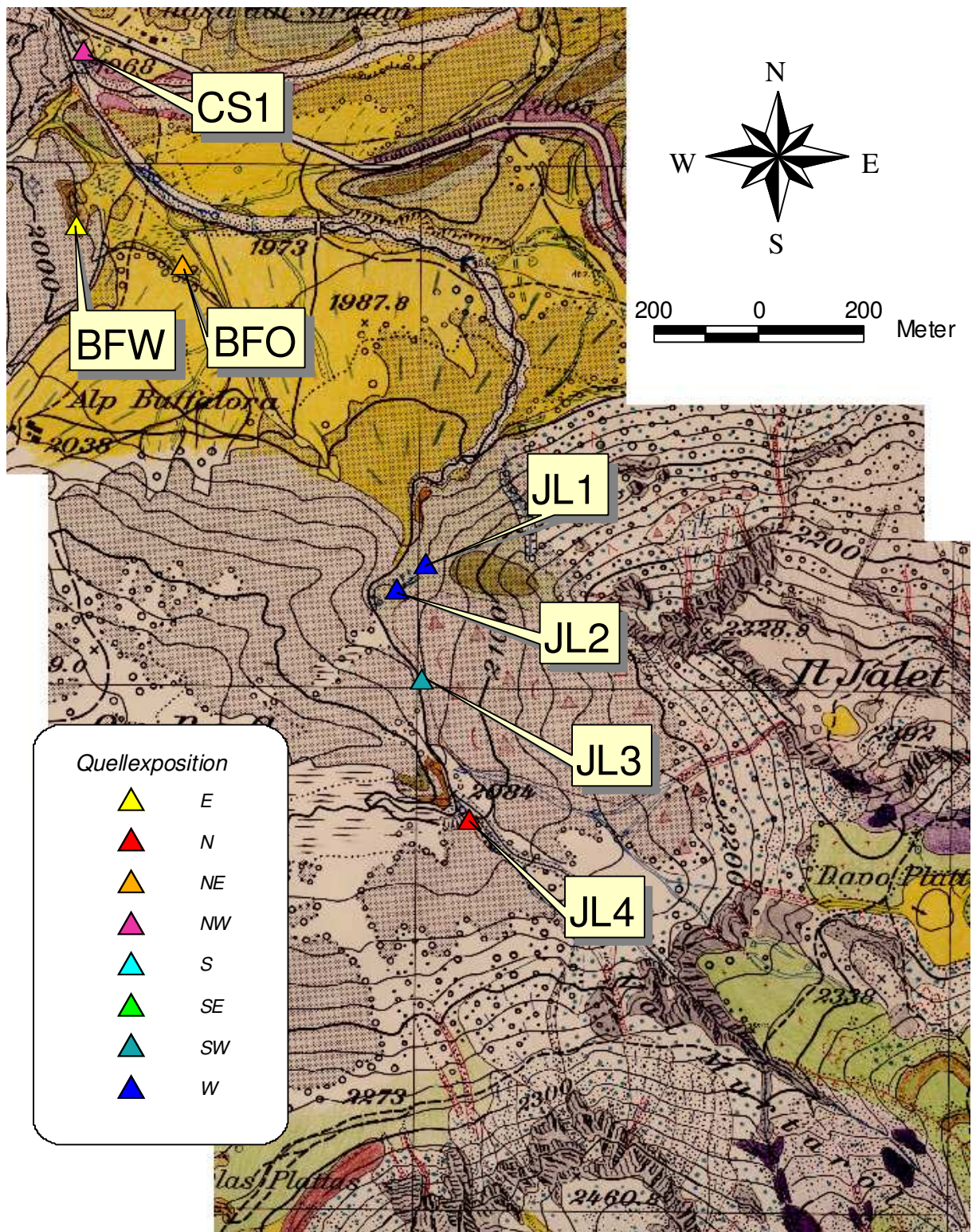
LAGE UND EXPOSITION DER QUELLEN IM BEREICH SPÖLTAL



Kartengrundlage: geologische Kartierung v. H.Vetter (1992)



LAGE UND EXPOSITION DER QUELLEN IM BEREICH BUFFALORA

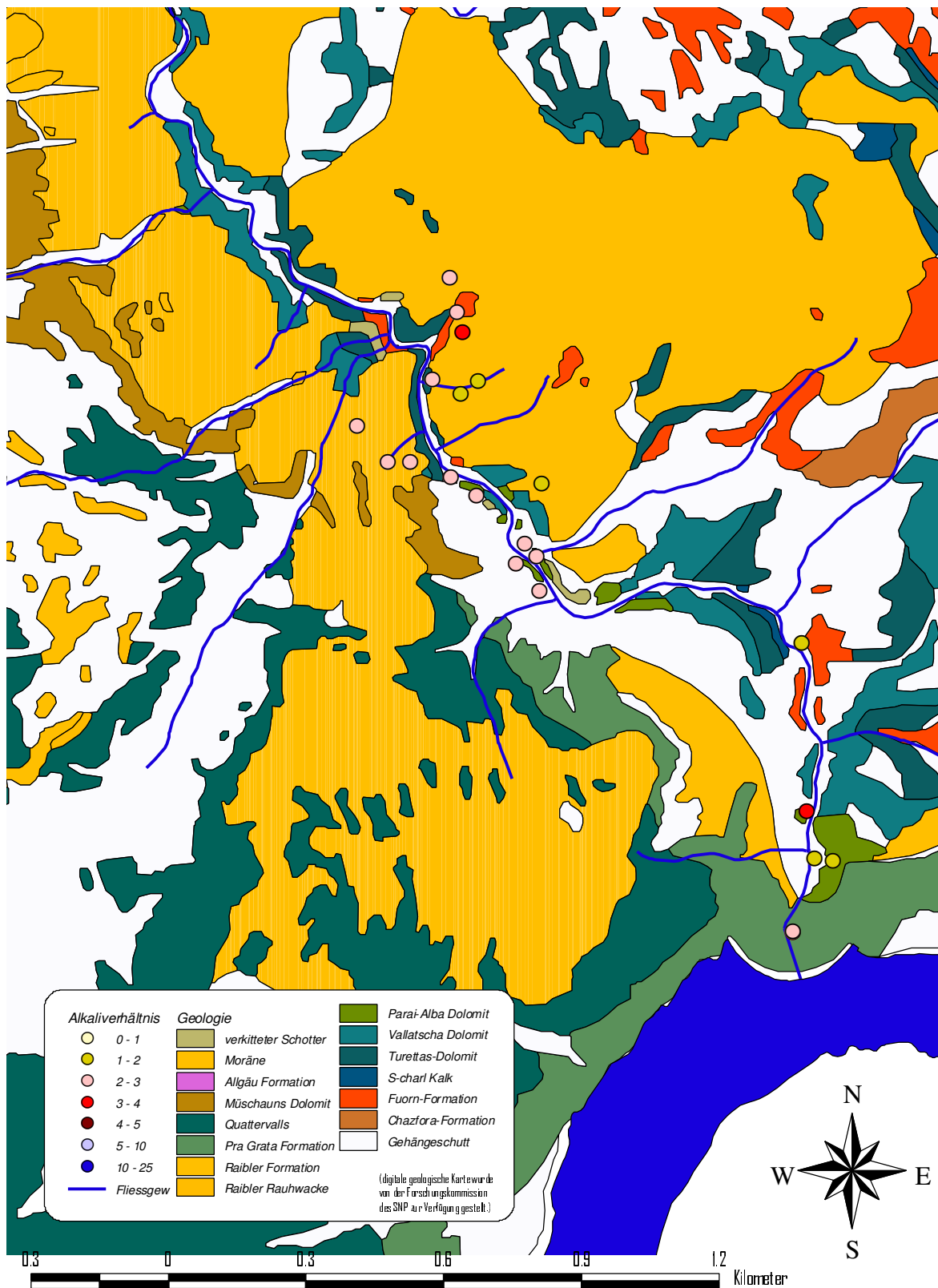


Kartengrundlage: geologische Kartierung v. J. Frey (1992)



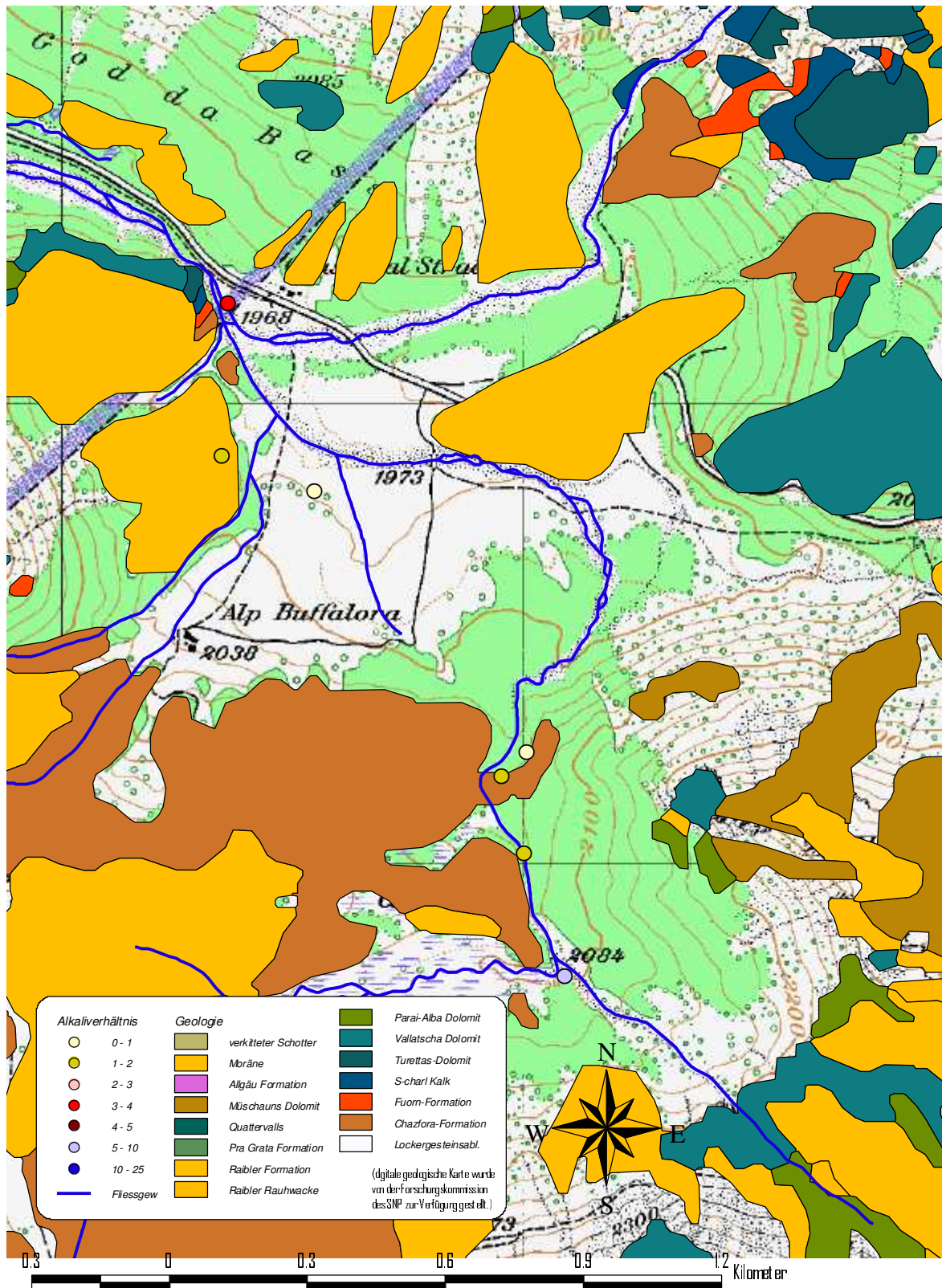
ALKALIVERHÄLTNISSE DER QUELLEN IM BEREICH SPÖLTAL

(Karte 1:15'000)



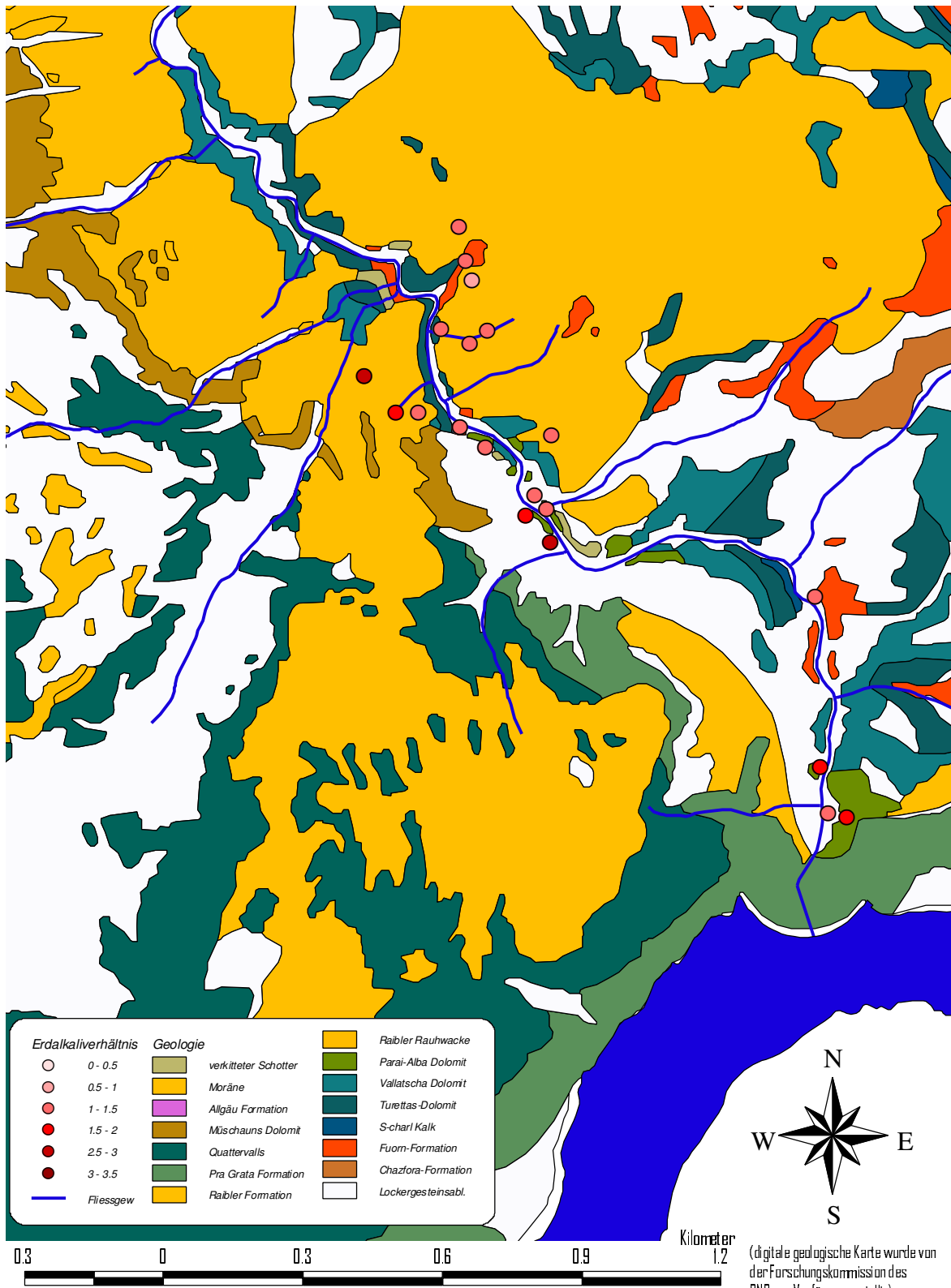
ALKALIVERHÄLTNISSE DER QUELLEN IM BEREICH BUFFALORA

(Karte 1:10'000)



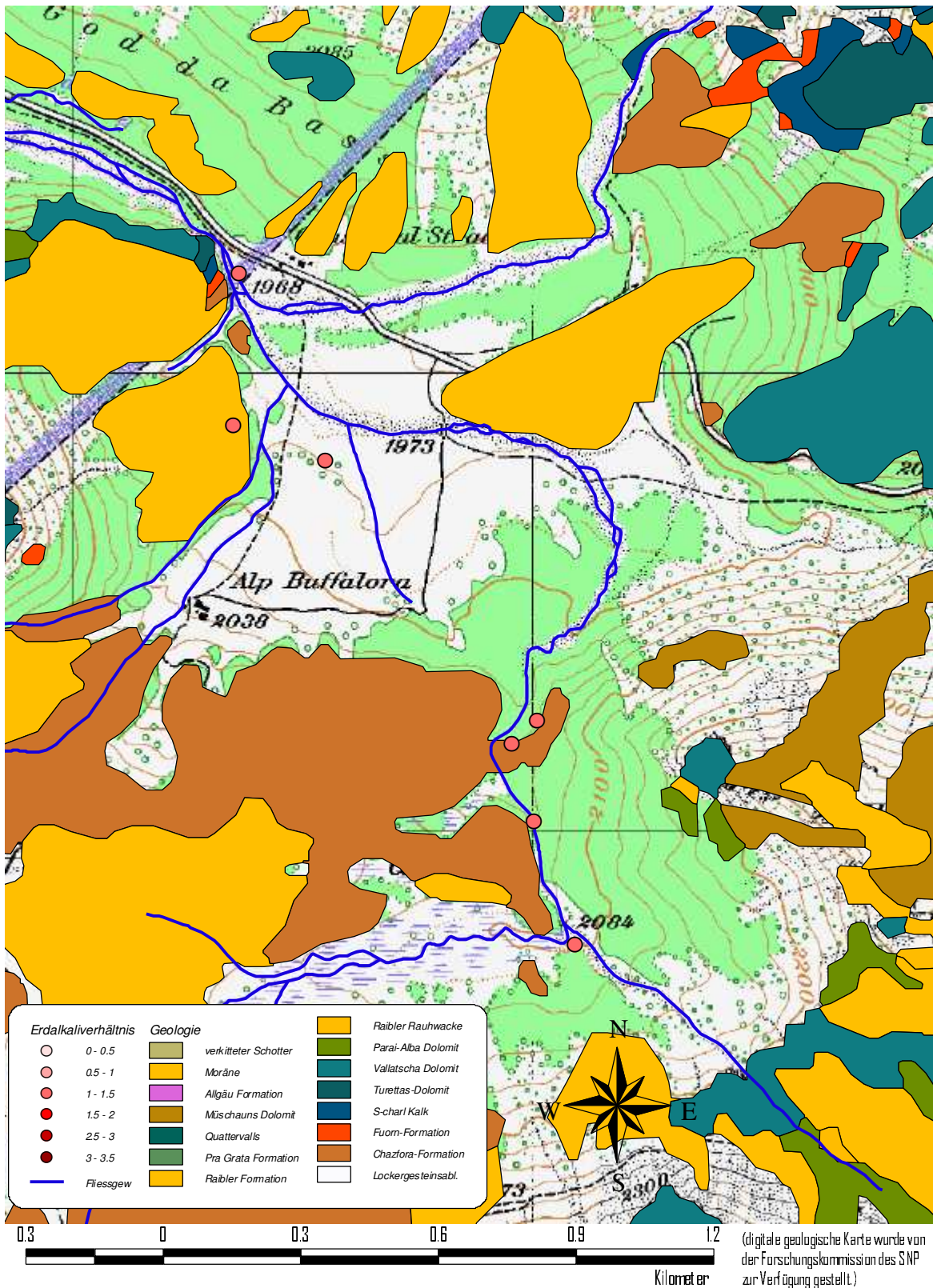
ERDALKALIVERHÄLTNISSE DER QUELLEN IM BEREICH SPÖLTAL

(Karte 1:15'000)



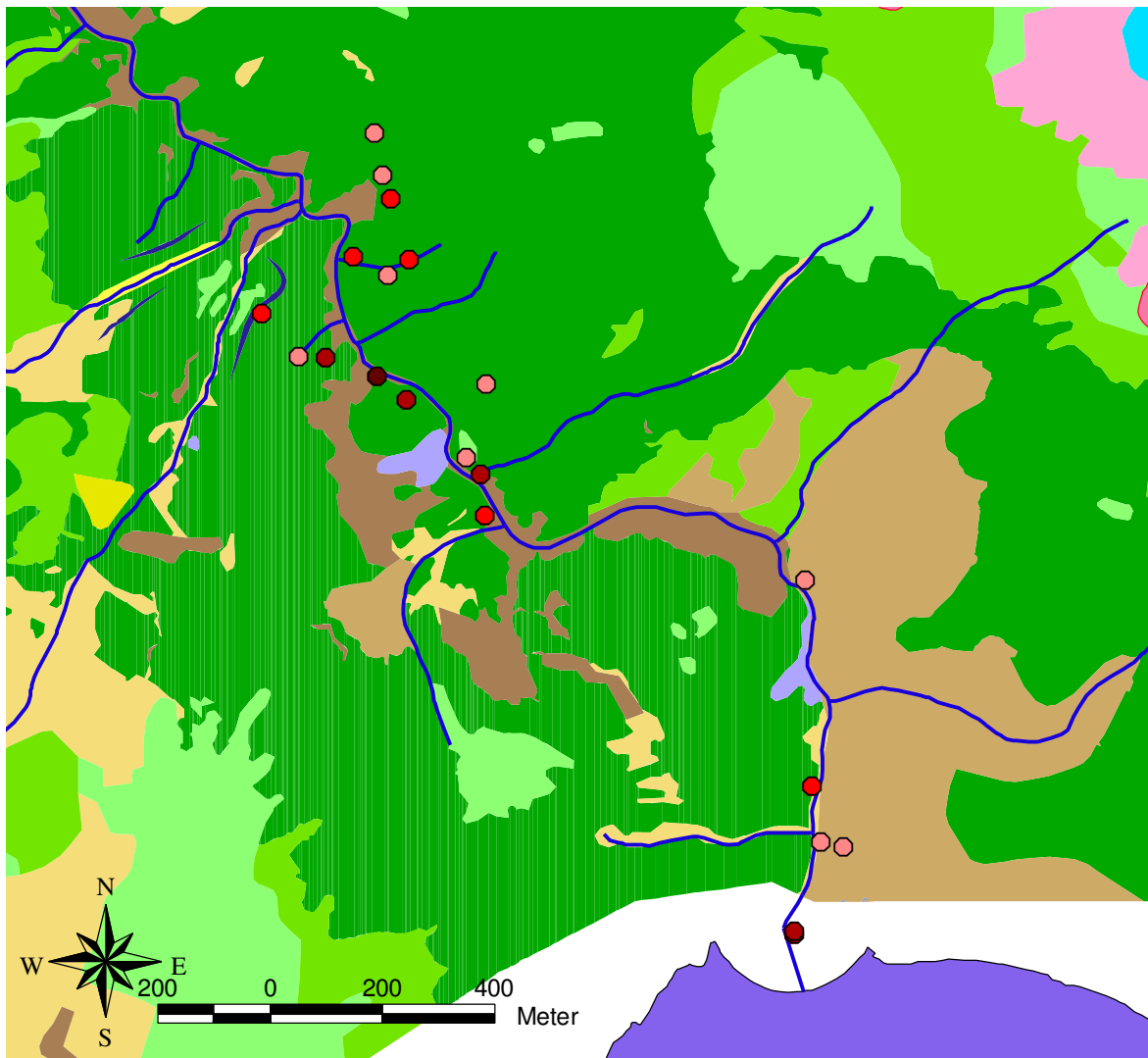
ERDALKALIVERHÄLTNISSE DER QUELLEN IM BEREICH BUFFALORA

(Karte 1:10'000)



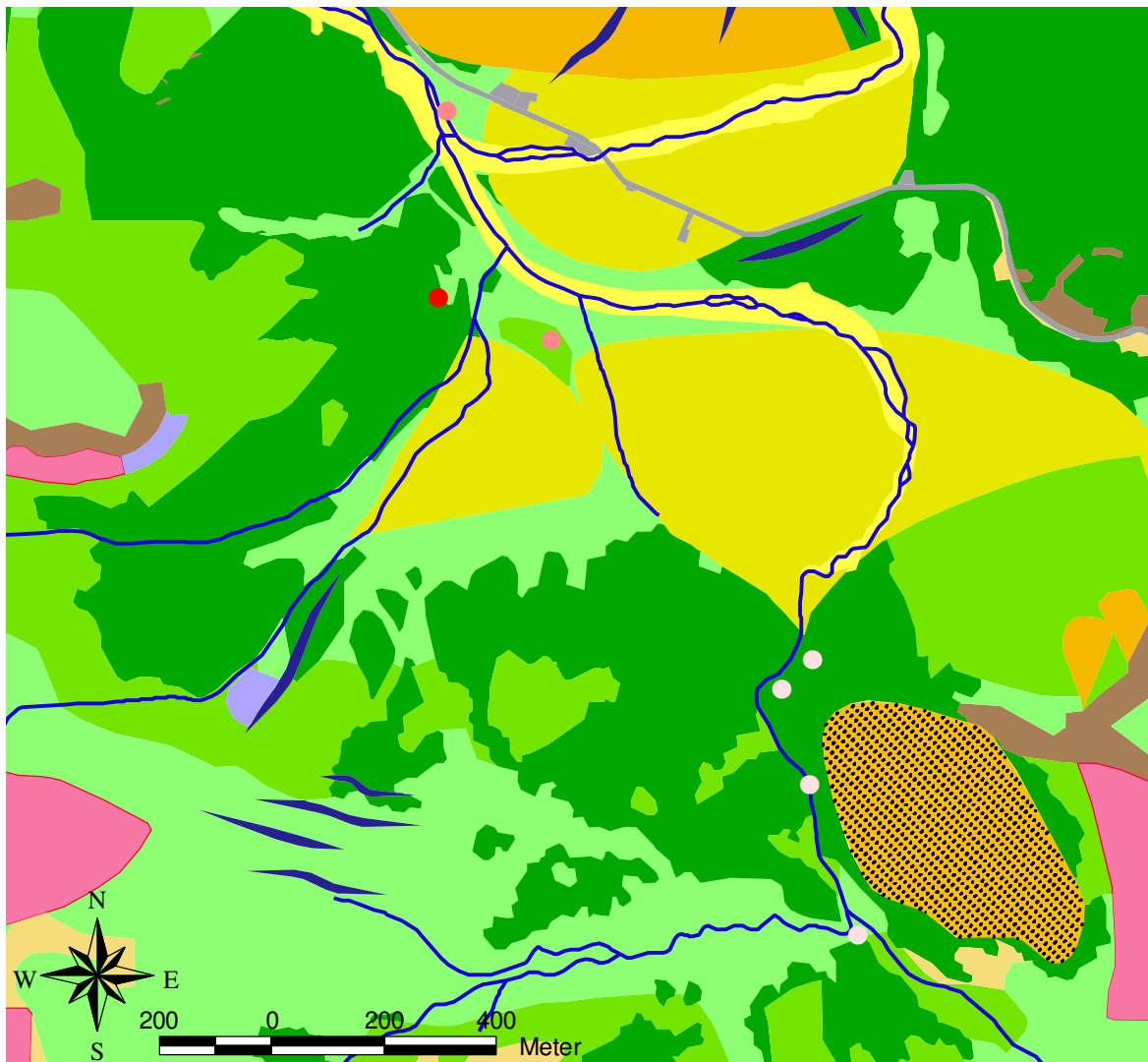
SULFATWERTE DER QUELLEN IM BEREICH SPÖLTAL

(Karte 1:15'000)



SULFATWERTE DER QUELLEN IM BEREICH BUFFALORA

(Karte 1:10'000)



Sulfatgehalt

- 0.6 - 6
- 6 - 15
- 15 - 30
- 30 - 53
- 53 - 93
- Fließgew

Prozesse

- rezente Gletscher
- glazial geprägte Oberfläche
- Moränenwall
- Blockgletscher 1. Ordnung
- Blockgletscher 2. Ordnung

Glatthänge

Steinpolygone

Streifenböden

Girlandenböden

Solifluktsströme

Bülten

See

Stausee

Alluvione

Schwemmfächer

Hanganriss

Denudationsflächen in Lockermaterial

Denudationstrichter in Fels

Felsbänder und -wände

Bergsturablagerungen

Schuttkegel

künstlicher Wall

Karst allgemein

Karrenfelder

menschlicher Einfluss

inaktive Bereiche im Wald

inaktive Gebüschgürtel

inaktive Wiesen und alpine Matten

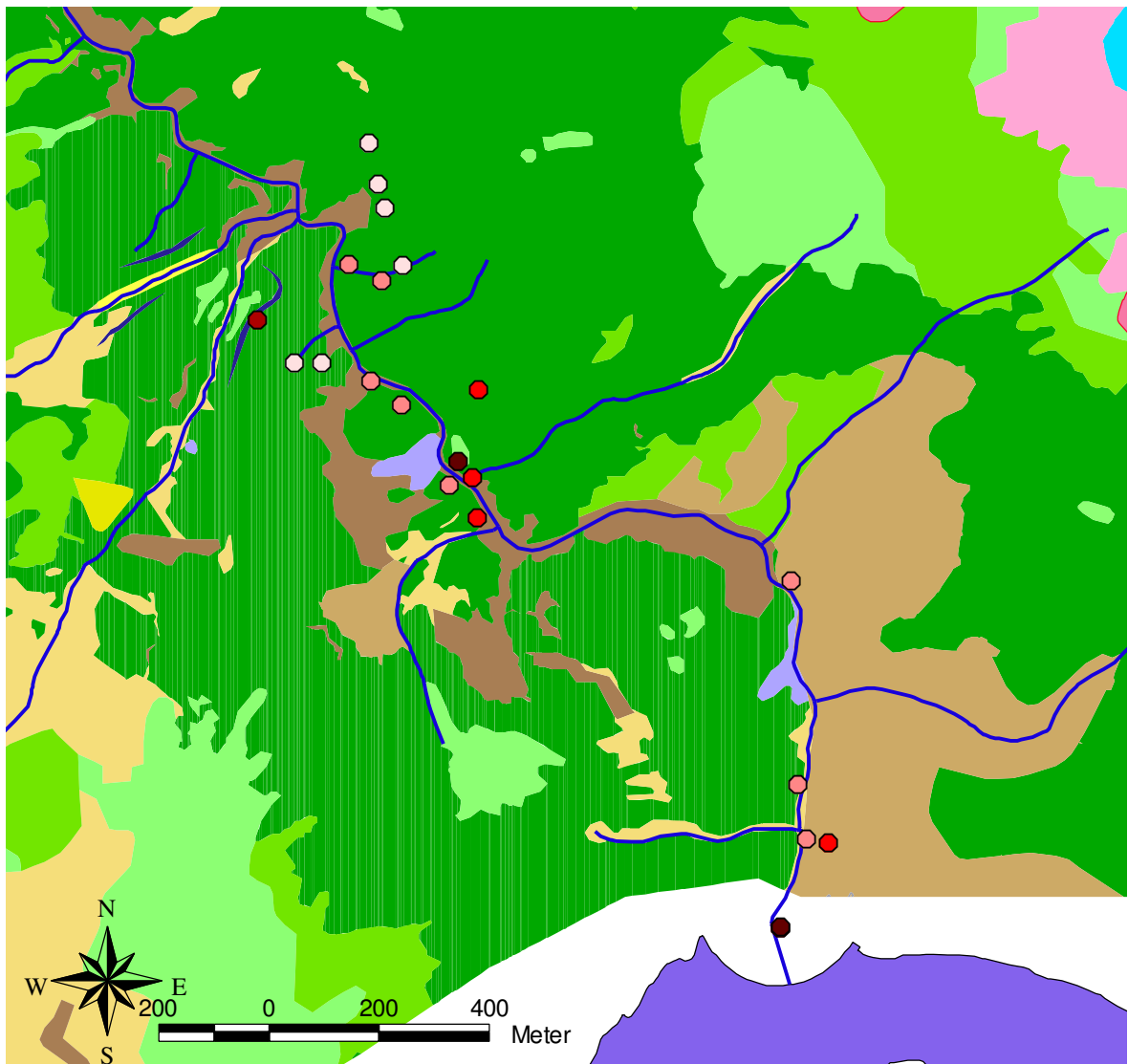
Waldbrandfläche

(digitale Karte der Prozesse wurde von der Forschungskommission des SNP zur Verfügung gestellt.)



NITRATWERTE DER QUELLEN IM BEREICH SPÖLTAL

(Karte 1:15'000)



Nitratgehalt

- 0 - 0.31
- 0.31 - 0.6
- 0.6 - 0.97
- 0.97 - 1.25
- 1.25 - 2.33

Fließgew

Prozesse

- rezente Gletscher
- glazial geprägte Oberfläche
- Moränenwall
- Blockgletscher 1. Ordnung
- Blockgletscher 2. Ordnung
- Glatthänge
- Steinpolygone
- Streifenböden
- Girlandenböden
- Solifluktsströme
- Bülten
- See
- Stausee
- Alluvione
- Schwemmfächer
- Hanganriss
- Denudationsflächen in Lockermaterial
- Denudationstrichter in Fels

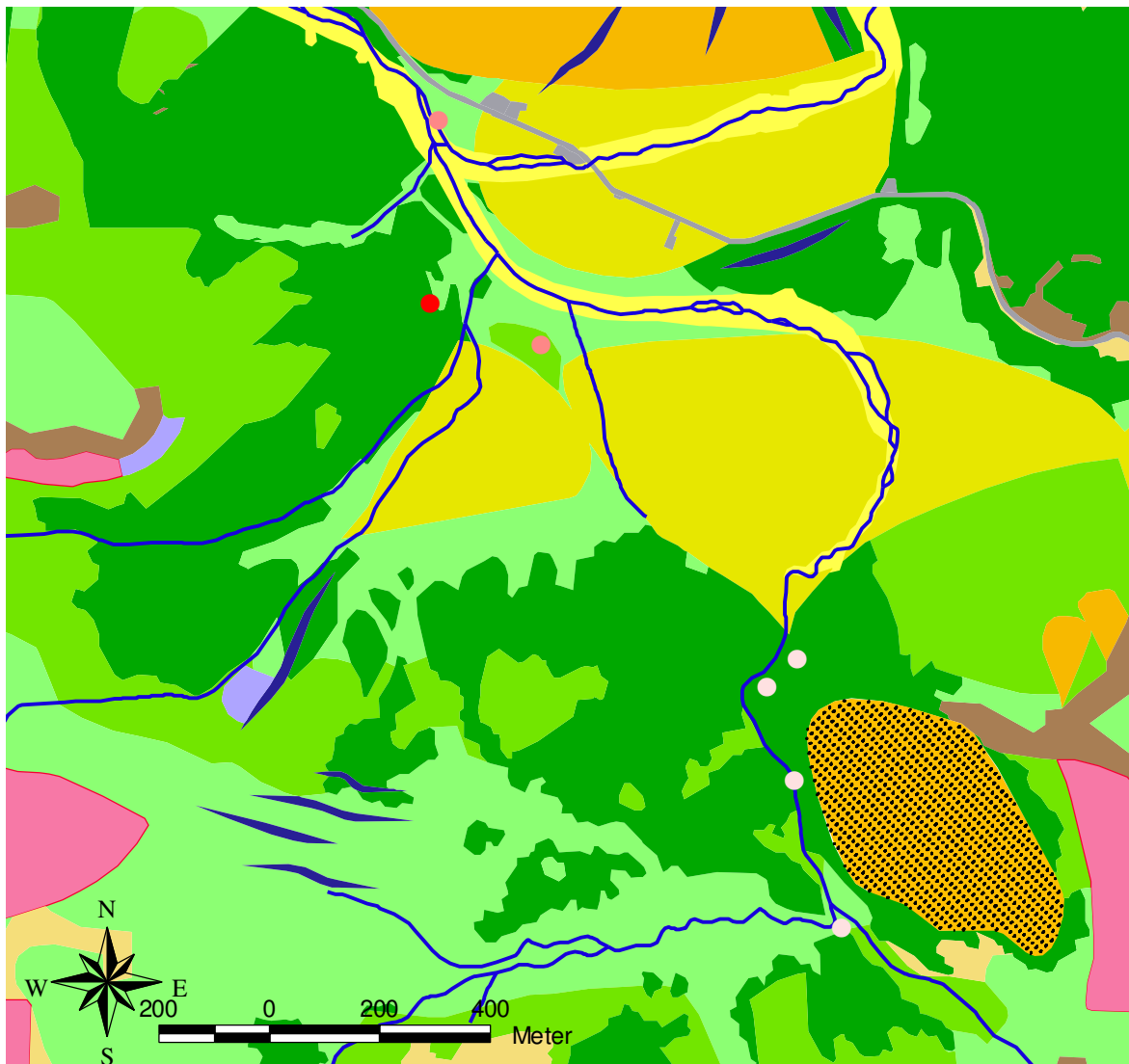
Felsbänder und -wände

- Bergsturzlagerungen
- Schutzkegel
- künstlicher Wall
- Karst allgemein
- Karrenfelder
- menschlicher Einfluss
- inaktive Bereiche im Wald
- inaktive Gebüschgürtel
- inaktive Wiesen und alpine Matten
- Waldbrandfläche



NITRATWERTE DER QUELLEN IM BEREICH BUFFALORA

(Karte 1:10'000)



Nitratgehalt

- 0 - 0.31
- 0.31 - 0.6
- 0.6 - 0.97
- 0.97 - 1.25
- 1.25 - 2.33

Fließgew

Prozesse

- rezente Gletscher
- glazial geprägte Oberfläche
- Moränenwall
- Blockgletscher 1. Ordnung
- Blockgletscher 2. Ordnung

- Glatthänge
- Steinpolygone
- Streifenböden
- Girlandenböden
- Solifluktsströme
- Bülten
- See
- Stausee
- Alluvione
- Schwemmfächer
- Hanganriss
- Denudationsflächen in Lockermaterial
- Denudationstrichter in Fels

- Felsbänder und -wände
- Bergsturzlagerungen
- Schuttkegel
- künstlicher Wall
- Karst allgemein
- Karrenfelder
- menschlicher Einfluss
- inaktive Bereiche im Wald
- inaktive Gebüschgürtel
- inaktive Wiesen und alpine Matten
- Waldbrandfläche

(digitale Karte der Prozesse wurde von der Forschungskommission des SNP zur Verfügung gestellt.)



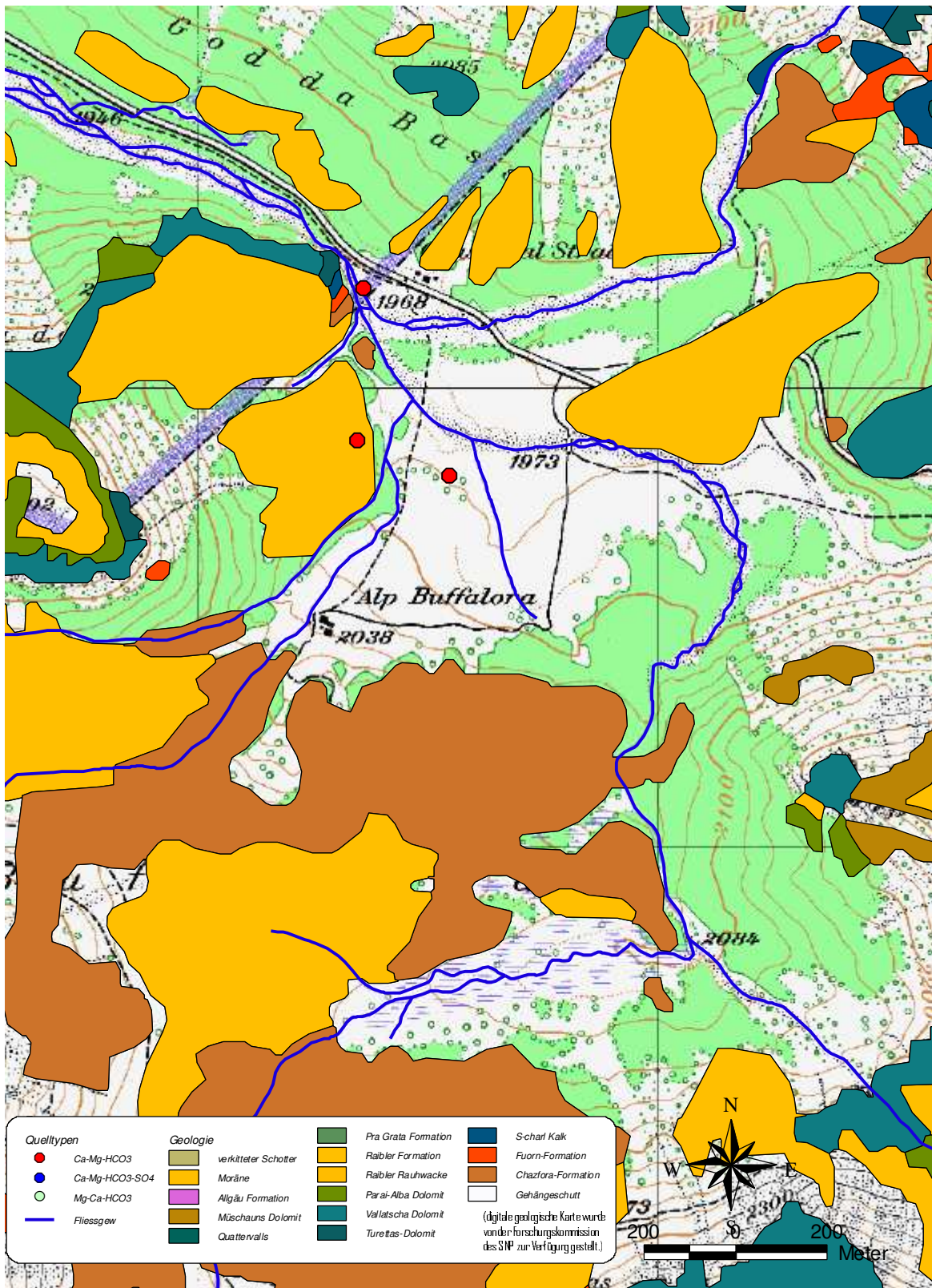
QUELLTYPEN IM BEREICH SPÖLTAL

(Karte 1:15'000)



QUELLTYPEN IM BEREICH BUFFALORA

(Karte 1:10'000)



NUMERISCHER QUELLBERICHT

Im numerischen Quellbericht finden sich alle gemessenen, analysierten und berechneten Parameter tabellarisch aufgegliedert.

Es wurden nur Quellen berücksichtigt, die in allen vier Probenkampagnen gemessen wurden.

Lokalität	Quell- bezeichnung	Seite	Lokalität	Quell- bezeichnung	Seite
Buffalora	BFO	P2	Plan da l'Acqua	PA1	P11
	BFW	P3		PA6	P12
	CSI	P4	God la Schera	PG2B	P13
God la Schera	GS11	P5		PG3	P14
	GS13	P6		PG5	P15
	GS7	P7	Punt Periv	PP1	P16
	GS7B	P8		PP10	P17
	GS8	P9		PP11	P18
Il Fuorn	IFI	P10		PP3	P19
				PP6B	P20



Quellbezeichnung **BFO**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	3.9	5.6	5.7	5.6
pH-Wert:	7.8	7.88	7.44	7.54
Leitfähigkeit (mS/cm2)	425	487	439	425
Gesamthärte (°d):	2.6	2.7	2.8	2.6
Karbonathärte (°d):	4.7			5
Sauerstoff (%):		114		
Schüttung (l/s):	QH	<0.05	0.05	<0.01

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.53	0.54	0.37	0.53	0.493	0.01
Nitrat:	0.65	0.54	3.43	1.57	1.547	0.02
Sulfat:	21.32	15.80	3.43	4.59	11.284	0.23
Hydrogenkarbonat:	286.00	341.75	350.35	359.88	334.49	5.48
Kalium:	0.55	2.21	1.09	1.23	1.270	0.03
Natrium:	0.58	0.540	0.30	0.35	0.442	0.02
Calcium:	59.19	68.40	66.45	66.96	65.251	3.26
Magnesium:	26.25	29.93	30.68	32.18	29.761	2.45
Total:					444.54	11.51
Ionenstärke:						0.017

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	1.33
Alkaliverhältnis	0.79
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	118.762
Salinarverhältnis:	0.10
Cl/Na-Verhältnis:	0.76

pH

pH_Sättigung:	6.77
Sättigungsindex:	0.89

Quelltyp

Ca-Mg-HCO₃

Quellbezeichnung **BFW**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	3.8	3.5	4.3	3.9
pH-Wert:	7.84	8	7.76	7.79
Leitfähigkeit (mS/cm2)	419	336	363	368
Gesamthärte (°d):	2.45	1.8	2.1	2.5
Karbonathärte (°d):	4.6			4
Sauerstoff (%):		111		
Schüttung (l/s):	QH	<0.05	<0.001	<0.01

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.89	0.56	0.63	0.41	0.623	0.02
Nitrat:	1.66	0.49	1.13	1.68	1.241	0.02
Sulfat:	8.21	23.81	27.57	23.79	20.846	0.43
Hydrogenkarbonat:	301.00	212.50	255.98	282.00	262.87	4.31
Kalium:	1.46	0.27	0.36	0.40	0.623	0.02
Natrium:	0.70	0.280	0.41	0.40	0.449	0.02
Calcium:	59.82	45.40	52.47	55.30	53.248	2.66
Magnesium:	25.56	20.89	26.27	28.80	25.381	2.09
Total:					365.28	9.56
Ionenstärke:						0.014

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	1.28
Alkaliverhältnis	1.56
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	161.259
Salinarverhältnis:	0.06
Cl/Na-Verhältnis:	0.94

pH

pH_Sättigung:	6.98
Sättigungsindex:	0.86

Quelltyp

Ca-Mg-HCO₃

Quellbezeichnung **CSI**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	4.3	5.1	8.8	7.2
pH-Wert:	8.28	8.38	7.82	8
Leitfähigkeit (mS/cm2)	212	158	177	227
Gesamthärte (°d):	1.8	0.9	1.2	1.3
Karbonathärte (°d):	2.6			2.4
Sauerstoff (%):		104.1		
Schüttung (l/s):	0.1	0.2	0.2	0.1

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.72	0.40	0.25	1.14	0.628	0.02
Nitrat:	1.07	0.96	1.12	1.63	1.195	0.02
Sulfat:	7.47	3.62	3.98	9.49	6.141	0.13
Hydrogenkarbonat:	155.00	164.04	132.90	169.08	155.25	2.55
Kalium:	0.46	0.12	0.13	0.25	0.241	0.01
Natrium:	0.64	0.340	0.15	0.83	0.489	0.02
Calcium:	31.16	29.63	25.73	33.75	30.066	1.50
Magnesium:	13.87	15.74	12.07	15.82	14.375	1.18
Total:					208.39	5.42
Ionenstärke:						0.008

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	1.27
Alkaliverhältnis	3.68
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	131.250
Salinarverhältnis:	0.13
Cl/Na-Verhältnis:	0.87

pH

pH_Sättigung:	7.33
Sättigungsindex:	0.79

Quelltyp

Ca-Mg-HCO₃

Quellbezeichnung **GSII**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	6.4	4.3	5.3	5.5
pH-Wert:	8.06	7.91	7.72	7.74
Leitfähigkeit (mS/cm2)	342	338	354	363
Gesamthärte (°d):	2.2	2.2	2	2.1
Karbonathärte (°d):	3.9			4.4
Sauerstoff (%):	116.1	111.2		
Schüttung (l/s):	n.m	QH	<0.001	0.1

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.63	0.55	0.29	0.27	0.435	0.01
Nitrat:	0.53	0.42	0.65	0.36	0.491	0.01
Sulfat:	11.14	11.19	12.62	12.45	11.849	0.25
Hydrogenkarbonat:	238.00	234.43	267.82	293.06	258.33	4.23
Kalium:	0.77	0.47	0.58	0.70	0.630	0.02
Natrium:	0.60	0.430	0.56	0.57	0.541	0.02
Calcium:	48.97	47.54	52.83	56.12	51.365	2.56
Magnesium:	20.25	20.61	24.27	27.15	23.070	1.90
Total:					346.71	9.00
Ionenstärke:						0.013

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	1.36
Alkaliverhältnis	1.48
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	114.379
Salinarverhältnis:	0.05
Cl/Na-Verhältnis:	0.54

pH

pH_Sättigung:	6.96
Sättigungsindex:	0.89

Quelltyp

Ca-Mg-HCO₃

Quellbezeichnung **GS13**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	4.5	4	4.5	4.8
pH-Wert:	7.77	7.72	7.53	7.76
Leitfähigkeit (mS/cm2)	410	402	403	403
Gesamthärte (°d):	2.7	2.6	2.3	2.4
Karbonathärte (°d):	4.8			3.8
Sauerstoff (%):	133.6	123		
Schüttung (l/s):	0.1	0.2	0.4	0.3

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.56	0.63	0.30	0.30	0.448	0.01
Nitrat:	0.41	0.69	0.81	0.48	0.599	0.01
Sulfat:	29.98	13.08	33.83	34.74	27.908	0.58
Hydrogenkarbonat:	272.00	276.01	266.48	293.13	276.90	4.54
Kalium:	0.56	0.53	0.63	0.72	0.609	0.02
Natrium:	0.86	0.790	0.92	0.95	0.881	0.04
Calcium:	60.52	57.29	58.83	62.58	59.804	2.98
Magnesium:	24.64	23.33	25.56	28.72	25.562	2.10
Total:					392.72	10.28
Ionenstärke:						0.015

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	1.42
Alkaliverhältnis	2.47
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	94.712
Salinarverhältnis:	0.03
Cl/Na-Verhältnis:	0.34

pH

pH_Sättigung:	6.89
Sättigungsindex:	0.80

Quelltyp

Ca-Mg-HCO₃

Quellbezeichnung **GS7**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	5.8	4.9	6.3	6.6
pH-Wert:	8.02	8.02	7.66	8.17
Leitfähigkeit (mS/cm2)	339	349	284	312
Gesamthärte (°d):	2.2	1.9	1.6	1.9
Karbonathärte (°d):	3.6			3.3
Sauerstoff (%):	94.1	144		
Schüttung (l/s):	0.2	0.2	0.2	0.1

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.52	0.61	0.34	0.35	0.455	0.01
Nitrat:	0.28	0.26	0.28	0.25	0.268	0.00
Sulfat:	12.89	18.29	10.34	12.40	13.479	0.28
Hydrogenkarbonat:	235.00	247.44	213.75	251.55	236.94	3.88
Kalium:	0.62	0.59	0.64	0.66	0.628	0.02
Natrium:	0.97	0.980	0.98	1.04	0.992	0.04
Calcium:	44.02	46.75	38.77	43.84	43.346	2.16
Magnesium:	22.88	25.14	21.15	26.09	23.814	1.96
Total:					319.92	8.36
Ionenstärke:						0.012

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	1.11
Alkaliverhältnis	2.69
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	69.660
Salinarverhältnis:	0.05
Cl/Na-Verhältnis:	0.30

pH

pH_Sättigung:	7.05
Sättigungsindex:	0.92

Quelltyp

Ca-Mg-HCO₃

Quellbezeichnung **GS7B**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	5.5	6	6.9	6.2
pH-Wert:	8.43	8.25	7.86	8.31
Leitfähigkeit (mS/cm2)	364	371	346	352
Gesamthärte (°d):	2.6	2.1	2	2.3
Karbonathärte (°d):	4.9			4.1
Sauerstoff (%):	140.8	145		
Schüttung (l/s):	0.05	0.1	0.2	0.1

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	1.07	0.60	0.31	0.32	0.575	0.02
Nitrat:	0.38	0.36	0.23	0.28	0.311	0.01
Sulfat:	9.70	10.90	10.25	10.82	10.417	0.22
Hydrogenkarbonat:	286.00	281.79	265.61	290.84	281.06	4.61
Kalium:	0.51	0.51	0.51	0.55	0.520	0.01
Natrium:	0.79	0.820	0.84	0.88	0.832	0.04
Calcium:	51.46	49.57	45.82	48.66	48.878	2.44
Magnesium:	28.01	28.53	27.28	30.71	28.632	2.36
Total:					371.23	9.69
Ionenstärke:						0.014

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	1.04
Alkaliverhältnis	2.72
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	96.993
Salinarverhältnis:	0.08
Cl/Na-Verhältnis:	0.46

pH

pH_Sättigung:	6.93
Sättigungsindex:	1.28

Quelltyp

Ca-Mg-HCO₃

Quellbezeichnung **GS8**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	5.1	7.5	8.1	6.3
pH-Wert:	8.49	8.46	8.16	8.49
Leitfähigkeit (mS/cm2)	384	386	368	368
Gesamthärte (°d):	2.75	2.15	2.2	2.3
Karbonathärte (°d):	4.8			4.1
Sauerstoff (%):	96.1	129		
Schüttung (l/s):	0.23	0.2	0.5	0.4

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.47	0.61	0.33	0.35	0.440	0.01
Nitrat:	0.18	0.33	0.13	0.13	0.193	0.00
Sulfat:	13.81	14.03	15.66	17.15	15.163	0.32
Hydrogenkarbonat:	302.00	287.22	279.30	301.76	292.57	4.80
Kalium:	0.54	0.52	0.58	0.58	0.554	0.01
Natrium:	0.92	0.990	0.97	1.05	0.983	0.04
Calcium:	48.32	49.60	46.88	49.21	48.503	2.42
Magnesium:	33.95	30.29	30.63	34.03	32.226	2.65
Total:					390.63	10.26
Ionenstärke:						0.015

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	0.92
Alkaliverhältnis	3.02
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	89.237
Salinarverhältnis:	0.04
Cl/Na-Verhältnis:	0.29

pH

pH_Sättigung:	6.91
Sättigungsindex:	1.49

Quelltyp

Mg-Ca-HCO₃

Quellbezeichnung **IFI****Resultate der 4 Probennahmen**

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	4.9	5.1	5.5	5.3
pH-Wert:	8.16	8.03	7.57	7.94
Leitfähigkeit (mS/cm2)	269	261.6	261	254
Gesamthärte (°d):	1.8	1.4	1.5	1.6
Karbonathärte (°d):	3			2.3
Sauerstoff (%):		124		
Schüttung (l/s):	2	2	2	2

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.35	0.49	0.19	0.20	0.307	0.01
Nitrat:	2.25	2.06	2.25	2.29	2.212	0.04
Sulfat:	26.24	27.68	27.27	27.17	27.090	0.56
Hydrogenkarbonat:	155.00	158.80	157.94	169.48	160.31	2.63
Kalium:	0.28	0.12	0.19	0.31	0.224	0.01
Natrium:	0.15	0.150	0.15	0.15	0.151	0.01
Calcium:	35.48	37.40	36.29	37.79	36.741	1.83
Magnesium:	16.35	16.42	16.73	18.07	16.891	1.39
Total:					243.92	6.47
Ionenstärke:						0.009

Berechnungen(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)**Ionenverhältnisse**

Erdalkaliverhältnis:	1.32
Alkaliverhältnis	1.31
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	268.680
Salinarverhältnis:	0.02
Cl/Na-Verhältnis:	1.32

pH

pH_Sättigung:	7.27
Sättigungsindex:	0.66

QuelltypCa-Mg-HCO₃

Quellbezeichnung **PAI**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	4.5	4.4	4.3	4.3
pH-Wert:	8.19	8.14	7.94	8.08
Leitfähigkeit (mS/cm2)	311	272	268	294
Gesamthärte (°d):	2	1.8	1.5	1.7
Karbonathärte (°d):	3.3			2.4
Sauerstoff (%):	112.8	115.3		
Schüttung (l/s):	0.5	QH	0.8	0.5

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.49	0.46	0.17	0.20	0.331	0.01
Nitrat:	1.40	1.34	1.26	1.00	1.249	0.02
Sulfat:	31.63	13.80	17.82	20.84	21.023	0.44
Hydrogenkarbonat:	207.00	198.13	180.93	205.05	197.78	3.24
Kalium:	0.22	0.21	0.22	0.25	0.224	0.01
Natrium:	0.26	0.250	0.26	0.31	0.270	0.01
Calcium:	60.53	53.84	49.86	55.40	54.907	2.74
Magnesium:	12.82	10.54	10.42	12.56	11.584	0.95
Total:					287.36	7.42
Ionenstärke:						0.011

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	2.89
Alkaliverhältnis	2.04
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	212.275
Salinarverhältnis:	0.02
Cl/Na-Verhältnis:	0.82

pH

pH_Sättigung:	7.05
Sättigungsindex:	1.04

Quelltyp

Ca-Mg-HCO₃

Quellbezeichnung **PA6**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	4.5	5	4.7	4.6
pH-Wert:	8.23	8.05	7.64	7.95
Leitfähigkeit (mS/cm2)	427	478	374	412
Gesamthärte (°d):	2.7	2.7	2.4	2.3
Karbonathärte (°d):	4.3			3.7
Sauerstoff (%):	125.6	104.9		
Schüttung (l/s):	<0.01	QH	<0.001	.05

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.44	0.57	0.27	0.25	0.382	0.01
Nitrat:	0.16	0.19	0.47	0.23	0.263	0.00
Sulfat:	59.55	9.34	42.49	58.09	42.367	0.88
Hydrogenkarbonat:	268.00	336.24	247.99	275.46	281.92	4.62
Kalium:	0.25	0.30	0.30	0.31	0.289	0.01
Natrium:	0.44	0.540	0.46	0.50	0.485	0.02
Calcium:	64.62	69.08	58.61	64.73	64.261	3.21
Magnesium:	29.14	27.32	24.47	30.10	27.758	2.28
Total:					417.73	11.04
Ionenstärke:						0.016

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	1.41
Alkaliverhältnis	2.86
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	193.521
Salinarverhältnis:	0.03
Cl/Na-Verhältnis:	0.51

pH

pH_Sättigung:	6.86
Sättigungsindex:	1.11

Quelltyp

Ca-Mg-HCO₃-SO₄

Quellbezeichnung **PG2B**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	6.5	5.6	6.9	7.1
pH-Wert:	8.01	8.1	7.92	7.96
Leitfähigkeit (mS/cm2)	242	264	247	250
Gesamthärte (°d):	2.8	2.2	1.55	1.2
Karbonathärte (°d):	2.1			1.7
Sauerstoff (%):	96.6	78		
Schüttung (l/s):	0.25	.25	3	1

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.59	1.08	0.64	0.62	0.734	0.02
Nitrat:	1.51	2.19	1.38	1.46	1.636	0.03
Sulfat:	34.62	12.29	39.91	46.54	33.341	0.69
Hydrogenkarbonat:	118.00	154.36	132.92	128.01	133.32	2.18
Kalium:	0.50	0.74	0.54	0.52	0.574	0.01
Natrium:	0.83	0.920	0.99	1.02	0.941	0.04
Calcium:	36.40	37.94	40.93	40.35	38.906	1.94
Magnesium:	10.03	10.94	11.56	12.61	11.284	0.93
Total:					220.74	5.85
Ionenstärke:						0.008

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	2.10
Alkaliverhältnis	2.86
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	51.700
Salinarverhältnis:	0.05
Cl/Na-Verhältnis:	0.51

pH

pH_Sättigung:	7.27
Sättigungsindex:	0.73

Quelltyp

Ca-Mg-HCO₃-SO₄

Quellbezeichnung **PG3**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	5.2	5.2	7.6	5.4
pH-Wert:	7.88	7.87	7.87	7.83
Leitfähigkeit (mS/cm2)	350	353	357	345
Gesamthärte (°d):	2.2	2.3	1.9	2
Karbonathärte (°d):	4.3			3.3
Sauerstoff (%):	103.6	89.8		
Schüttung (l/s):	~0.2	0.2	0.1	0.2

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.55	0.42	0.66	0.67	0.576	0.02
Nitrat:	0.32	0.58	0.72	0.72	0.585	0.01
Sulfat:	12.51	8.13	29.81	29.55	19.999	0.42
Hydrogenkarbonat:	223.00	254.85	226.02	245.14	237.25	3.89
Kalium:	0.31	0.68	0.39	0.39	0.443	0.01
Natrium:	0.52	1.550	1.21	0.84	1.029	0.04
Calcium:	47.64	55.69	53.63	56.85	53.452	2.67
Magnesium:	18.52	18.29	19.66	21.65	19.531	1.61
Total:					332.87	8.66
Ionenstärke:						0.013

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	1.66
Alkaliverhältnis	3.91
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	86.597
Salinarverhältnis:	0.05
Cl/Na-Verhältnis:	0.44

pH

pH_Sättigung:	6.96
Sättigungsindex:	0.90

Quelltyp

Ca-Mg-HCO₃

Quellbezeichnung **PG4**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	6.6	6	6	7
pH-Wert:	8.47	8.3	7.6	8.38
Leitfähigkeit (mS/cm2)	308	323	244	280
Gesamthärte (°d):	2.8	2.1	1.4	1.7
Karbonathärte (°d):	3.7			3.1
Sauerstoff (%):	125.1	121.7		
Schüttung (l/s):	0.16	0.1	1	0.3

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.69	0.63	0.25	0.26	0.459	0.01
Nitrat:	0.47	0.67	0.66	0.60	0.600	0.01
Sulfat:	13.21	19.84	6.14	13.44	13.158	0.27
Hydrogenkarbonat:	213.00	230.11	189.80	221.67	213.65	3.50
Kalium:	0.25	0.19	0.20	0.29	0.233	0.01
Natrium:	0.28	0.220	0.18	0.23	0.227	0.01
Calcium:	42.87	46.62	36.97	41.89	42.086	2.10
Magnesium:	19.96	22.77	17.01	22.16	20.476	1.68
Total:					290.88	7.60
Ionenstärke:						0.011

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	1.25
Alkaliverhältnis	1.68
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	242.673
Salinarverhältnis:	0.05
Cl/Na-Verhältnis:	1.28

pH

pH_Sättigung:	7.08
Sättigungsindex:	1.11

Quelltyp

Ca-Mg-HCO₃

Quellbezeichnung **PP1****Resultate der 4 Probennahmen**

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	4.9	5.1	5.6	5.3
pH-Wert:	7.8	7.72	7.43	7.61
Leitfähigkeit (mS/cm2)	382	376	340	356
Gesamthärte (°d):	2.5	2.3	2.1	2.2
Karbonathärte (°d):	4.2			3.8
Sauerstoff (%):	97.4	118		
Schüttung (l/s):	0.4	0.25	0.8	1

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.46	0.57	0.34	0.50	0.467	0.01
Nitrat:	0.85	0.95	0.82	1.02	0.909	0.01
Sulfat:	9.98	15.60	5.39	9.54	10.128	0.21
Hydrogenkarbonat:	259.00	264.56	269.21	283.74	269.13	4.41
Kalium:	0.56	0.55	0.53	0.62	0.564	0.01
Natrium:	0.46	0.570	0.34	0.47	0.461	0.02
Calcium:	43.06	55.72	54.00	56.32	52.275	2.61
Magnesium:	27.97	22.78	22.19	24.72	24.416	2.01
Total:					358.35	9.30
Ionenstärke:						0.014

Berechnungen(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)**Ionenverhältnisse**

Erdalkaliverhältnis:	1.32
Alkaliverhältnis	1.39
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	135.506
Salinarverhältnis:	0.07
Cl/Na-Verhältnis:	0.66

pH

pH_Sättigung:	6.94
Sättigungsindex:	0.70

QuelltypCa-Mg-HCO₃

Quellbezeichnung **PP10**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	7.4	8.4	8.2	7.7
pH-Wert:	7.96	7.94	7.95	7.88
Leitfähigkeit (mS/cm2)	419	427	420	431
Gesamthärte (°d):	2.25	2.4	2.4	2.2
Karbonathärte (°d):	3			2.8
Sauerstoff (%):	114.6	113		
Schüttung (l/s):	0.12	0.1	0.2	0.2

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.44	0.64	0.28	0.28	0.409	0.01
Nitrat:	0.63	0.48	0.47	0.60	0.546	0.01
Sulfat:	103.10	84.80	88.91	98.32	93.783	1.95
Hydrogenkarbonat:	171.00	41.05	199.71	220.52	158.07	2.59
Kalium:	0.30	0.34	0.40	0.36	0.350	0.01
Natrium:	0.43	0.460	0.55	0.53	0.493	0.02
Calcium:	56.53	37.40	61.86	67.79	55.895	2.79
Magnesium:	25.90	6.92	24.55	27.53	21.225	1.75
Total:					330.77	9.13
Ionenstärke:						0.012

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	1.91
Alkaliverhältnis	2.40
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	149.085
Salinarverhältnis:	0.01
Cl/Na-Verhältnis:	0.56

pH

pH_Sättigung:	7.13
Sättigungsindex:	0.80

Quelltyp

Ca-Mg-HCO₃-SO₄

Quellbezeichnung **PP11**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	6.8	7.1	6.3	7.3
pH-Wert:	8.26	8.11	7.89	8.16
Leitfähigkeit (mS/cm2)	367	375	268	344
Gesamthärte (°d):	2	2.2	2.7	2
Karbonathärte (°d):	3.2			2.9
Sauerstoff (%):	107	131.7		
Schüttung (l/s):	0.3	0.3	0.5	0.2

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.63	0.59	0.25	0.28	0.438	0.01
Nitrat:	1.03	0.59	1.13	1.14	0.972	0.02
Sulfat:	16.19	13.14	15.98	52.10	24.353	0.51
Hydrogenkarbonat:	232.00	256.39	187.85	200.87	219.28	3.59
Kalium:	0.23	0.25	0.18	0.29	0.237	0.01
Natrium:	0.32	0.340	0.20	0.36	0.304	0.01
Calcium:	57.90	61.31	54.41	59.96	58.395	2.91
Magnesium:	15.33	17.29	8.62	16.89	14.532	1.20
Total:					318.51	8.26
Ionenstärke:						0.012

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	2.61
Alkaliverhältnis	2.17
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	217.684
Salinarverhältnis:	0.04
Cl/Na-Verhältnis:	0.93

pH

pH_Sättigung:	6.93
Sättigungsindex:	1.18

Quelltyp

Ca-Mg-HCO₃

Quellbezeichnung **PP3****Resultate der 4 Probennahmen**

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	5.1	6.4	7	5.3
pH-Wert:	8.21	8.28	7.98	8.32
Leitfähigkeit (mS/cm2)	328	353	363	358
Gesamthärte (°d):	1.9	2.3	2.3	2.1
Karbonathärte (°d):	3.2			3.1
Sauerstoff (%):	109.1	108		
Schüttung (l/s):	QH	QH	<0.001	<0.001

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.61	0.60	0.28	0.28	0.441	0.01
Nitrat:	0.58	0.51	0.40	0.46	0.487	0.01
Sulfat:	27.35	19.57	55.73	48.03	37.669	0.78
Hydrogenkarbonat:	203.00	235.81	216.51	235.55	222.72	3.65
Kalium:	0.39	0.40	0.43	0.45	0.418	0.01
Natrium:	0.61	0.630	0.71	0.69	0.660	0.03
Calcium:	47.37	51.26	55.09	55.26	52.244	2.61
Magnesium:	18.60	20.70	23.50	25.26	22.015	1.81
Total:					336.65	8.91
Ionenstärke:						0.013

Berechnungen(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)**Ionenverhältnisse**

Erdalkaliverhältnis:	1.45
Alkaliverhältnis	2.68
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	111.978
Salinarverhältnis:	0.02
Cl/Na-Verhältnis:	0.45

pH

pH_Sättigung:	7.00
Sättigungsindex:	1.20

QuelltypCa-Mg-HCO₃

Quellbezeichnung **PP6B**

Resultate der 4 Probennahmen

	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000
Temperatur (°C):	6.9	6.7	7.2	7.5
pH-Wert:	7.96	8.03	7.53	7.68
Leitfähigkeit (mS/cm2)	346	327	366	363
Gesamthärte (°d):	2.1	2.2	2	
Karbonathärte (°d):	4			3.9
Sauerstoff (%):	82.2	111		
Schüttung (l/s):	<0.01	<0.7	<0.001	.05

IC-Analysen

(Angaben in [mg/l])	10./12. Oktober 1999	6./7. Juni 2000	25./26. Juli 2000	26./27. September 2000	Mittelwerte der Laboranalysen	
					mg/l	mmeq/l
Chlorid:	0.63	0.62	0.29	0.28	0.456	0.01
Nitrat:	1.03	0.96	0.55	0.38	0.731	0.01
Sulfat:	16.35	9.16	19.88	77.51	30.724	0.64
Hydrogenkarbonat:	269.00	240.76	276.03	245.12	257.73	4.23
Kalium:	0.64	0.55	0.67	0.39	0.563	0.01
Natrium:	0.83	0.730	0.85	0.56	0.742	0.03
Calcium:	49.82	47.94	54.30	62.53	53.647	2.68
Magnesium:	27.35	21.06	26.65	30.29	26.337	2.17
Total:					370.93	9.78
Ionenstärke:						0.014

Berechnungen

(ausgehend von den Mittelwerten
aller Probenkampagnen)

Ionenverhältnisse

Erdalkaliverhältnis:	1.24
Alkaliverhältnis	2.26
Erdalkali-Alkaliverhältnis:	108.678
Salinarverhältnis:	0.04
Cl/Na-Verhältnis:	0.40

pH

pH_Sättigung:	6.90
Sättigungsindex:	0.90

Quelltyp

Ca-Mg-HCO₃

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 2-1	GEOLOGISCHER ÜBERBLICK; DIE QUELLGEBIETE SIND MIT SCHWARZEN RECHTECKEN DARGESTELLT.....	3
ABBILDUNG 3-1	MITTLERE JÄHRLICHE KORRIGIERTE NIEDERSCHLAGSKARTE AUS DEM HYDROLOGISCHEN ATLAS DER SCHWEIZ	5
ABBILDUNG 3-2	MONATLICHE NIEDERSCHLÄGE DER JAHRE 1995- 2000 (CLAUSEN, 2001)	6
ABBILDUNG 3-3	TAGESNIEDERSCHLÄGE IM ZEITRAUM 15.9.1999 BIS 25.9.2000 (MITTELWERTE DER MESSSTATIONEN ZERNEZ, PUNT LA DROSSA, BUFFALORA).....	6
ABBILDUNG 4-1	SCHEMATISCHER AUFBAU IC-ANALYSE	9
ABBILDUNG 5-1	TEMPERATURSCHWANKUNGEN AUSGEWÄHLTER QUELLEN	15
ABBILDUNG 5-2	TEMPERATUR-NIEDERSCHLAGSGANGLINIEN DER JAHRE 19998/1999 DER EKW-QUELLE I (VGL. LAGEPLAN: QUELLEN EKW, BEILAGE C [ANHANG])	15
ABBILDUNG 5-3	VERGLEICH: GESAMTHÄRTE - KARBONATHÄRTE DER MESSKAMPAGNE HERBST 1999 UND HERBST 2000	17
ABBILDUNG 5-4	MITTELWERTE DER KALIUM- UND NATRIUMKONZENTRATIONEN UND DES ALKALIVERHÄLTNISSES (NA/K).....	22
ABBILDUNG 5-5	MITTELWERTE DER CALZIUM- UND MAGNESIUMKONZENTRATIONEN UND DES ERDALKALIVERHÄLTNISSES (NA/K) (BERECHNET ÜBER DAS IONENÄQUIVALENTVERHÄLTNIS DER ERDALKALIENEN).....	24
ABBILDUNG 5-6	MITTELWERTE DER SULFATKONZENTRATIONEN [MG/L] DER 4 IC-ANALYSEN; IM VERGLEICH DAZU DIE CALZIUMKONZENTRATIONEN [MG/L]	25
ABBILDUNG 5-7	MITTELWERTE DER NITRATKONZENTRATIONEN [MG/L] DER VIER IC-ANALYSEN ..	26
ABBILDUNG 5-8	MITTELWERTE DER 4 IC-ANALYSEN, UND RESULTATE DER SOMMER 2000 ANALYSEN DER CHLORITKONZENTRATIONEN [MG/L]	27
ABBILDUNG 6-1 BIS 6-4	IC-ANALYSEN DER VIER PROBENKAMPAGNEN ALLER UNTERSUCHTEN QUELLEN.....	31
ABBILDUNG 6-5	SCHÖLLER-DIAGRAMM: MITTELWERTE AUS DEN 4 PROBENKAMPAGNEN (ROT: PPI0).....	33
ABBILDUNG 6-6	ERDALKALI-ALKALIVERHÄLTNIS DER MITTELWERTE ALLER 4 PROBENKAMPAGNEN	34
ABBILDUNG 6-7	SCHÖLLER-DIAGRAMM: MITTELWERTE AUS 4 PROBENKAMPAGNEN DER ALKALIVERHÄLTNISSE (NA/K), ERDALKALIVERHÄLTNISSE (CA/MG), ERDALKALI-ALKALIVERHÄLTNISSE (CA+MG)/(NA+K), SALINARVERHÄLTNISSE (CL/SO4), CHLORID-NATRIUM-VERHÄLTNISSE (CL/NA); ROT EINGEFÄRBT: IF I	34

TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 4-1	ÜBERSICHT: MESSSONDEN DES MULTILINE P4	7
TABELLE 4-2	ÜBERSICHT ÜBER DIE PLAUSIBILITÄTSKONTROLLEN	10
TABELLE 4-3	FAKTOREN K_f ZUR ERRECHNUNG DER ÄQUIVALENTLEITFÄHIGKEIT.....	11
TABELLE 5-1	REGENWASSERMESSUNGEN AUS DEM JAHRE 1955 (SCHMASSMANN, UNVERÖFFENTLICHT).....	19
TABELLE 5-2	MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN.....	20
TABELLE 5-3	HAUPTINHALTSSTOFFE NATÜRLICHER WÄSSER (NACH HABERER, 1969)	21
TABELLE 5-4	BERECHNETE CALZIUMKARBONATSÄTTIGUNGSINDIZES DER VIER MESSKAMPAGNEN; TEMPERATUR UND PH-WERT GEMESSEN.	29
TABELLE 6-1	KLASSIFIZIERUNG DER QUELLEN NACH PROBENKAMPAGNEN UNTERTEILT	32



LITERATURVERZEICHNIS

- **Clausen, M. (2001):** Quartär- und Hydrogeologie in der Val Laschadura (GR). - Diplomarbeit, Geologisches Institut Bern.
- **Dössegger R. und Müller W.H. (1992):** Die Sedimentserien der Engadiner Dolomiten und ihre lithostratigraphische Gliederung [Teil I]. *Eclogae geol. Helv.* 69/1.
- **Dössegger, R. (1987):** Geologische Karte des Schweizerischen Nationalparks, 1:50'000. Schweizerische Geologische Kommission.
- **DVWK (1986):** Hydrogeologische Aspekte zur Grundwasserchemie. 7. Fortbildungslehrgang Grundwasser, Bonn.
- **DVWK (1992):** Anwendung hydrogeochemischer Modelle. Schriftenreihe des DVWK, 100, 344 S.; Hamburg, Berlin: Parey.
- **Frey J. (1992):** Quartär-, Aktuo- und Hydrogeologie am Pass dal Fuorn – Piz Daint. – Diplomarbeit, Geol. Inst. ETH Zürich, 65S., + 1 Geol. Karte 1:5'000.
- **Gerb L. (1958):** Grundwassertypen. – Vom Wasser. Weinheim/Bergstrasse (Chemie).
- **Haberer K (1969):** Physikalische und chemische Eigenschaften des Wassers. Handbuch der Lebensmittelchemie, Springer Verlag, Berlin.
- **Henning A. & Limberg A. (1995):** Das Grundwasser-Temperaturfeld von Berlin. Brandenburgische Geowiss. Beitr., Kleinmachnow.
- **Höiting (1992):** Hydrogeologie, Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 5. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart.
- **Hütter L.A (1990):** Wasser und Wasseruntersuchung. 4.Auflage; Otto Salle Verlag, Frankfurt am Main; Verlag Sauerländer, Aarau.
- **Karte J. (1979):** Räumliche Abgrenzung und regionale Differenzierung des Periglazials. Bochumer Geogr. Arb., Paderborn.
- **Klut-Olszewski (1945):** Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle, seine Beurteilung und Aufbereitung. Springer Verlag, Berlin.
- **Langelier W.F. (1936):** The analytical control of anti-corrosion water treatment. J. amer. Water works Assoc., Baltimore.
- **Larson T.E. & Buswell A.M. (1942):** Calcium carbonate saturation index and alkalinity interpretations. J.amer.Water works Assoc., Baltimore.
- **Matthess G. (1973):** Die Beschaffenheit des Grundwassers. Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Kiel, Gebrüder Bornträger Verlag, Berlin / Stuttgart.
- **Matthess G. (1983):** Allgemeine Hydrogeologie, Grundwasserhaushalt. Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Kiel, Gebrüder Bornträger Verlag, Berlin / Stuttgart.
- **Rossum J.R. (1975):** Checking the accuracy of water analysis through the use of conductivity. J. Americ. Water Works Assoc., Washington D.C.
- **Schmitt H. (2001):** Mobilisation von Schwermetallen im Bereich Rheinhessisches Hügelland als Folge anthropogen bedingten Nitrateintrages – Folgen für den Grundwasserschutz. - Dissertation, Johannes Gutenberg - Universität, Mainz.
- **Stiny J. (1933):** Die Quellen. Springer Verlag, Wien.
- **Strohecker R. (1936):** Ein neuer Weg zur Ermittlung der Angriffslust (Aggressivität) von Wässern. Z. analyt. Chemie, München.
- **Thurner A. (1967):** Hydrogeologie. Springer Verlag, Wien / New York.



- **Tillmans J. & Heublein O. (1912):** Über die kohlen sauren Kalk angreifende Kohlensäure der natürlichen Wässer. Gesundh.-Ing., München / Berlin.
- **Trümpy et al. (1997):** Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:50'000 des Schweizerischen Nationalparks (Geologische Spezialkarte Nr.122). Kommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften SANW; BUWAL.
- **Vetter H. (1992):** Quartär-, Aktuo- und Hydrogeologie im Val dal Spöl (Schweizerischer Nationalpark). – Diplomarbeit, Geol. Inst. ETH Zürich, 86S., + Anhang A1-31, + 1 Geol. Karte 1:5'000.
- **Wilhelm F. (1956):** Physikalisch-chemische Untersuchungen an Quellen in den bayerischen Alpen und im Alpenvorland. Münchner geogr. H., Regensburg.

