

# Hydrogeologie und -geochemie von ausgewählten Quellen im Schweizerischen Nationalpark

Teil 1

**Diplomarbeit**

der Philosophisch-naturwissenschaftlichen  
Fakultät der Universität Bern

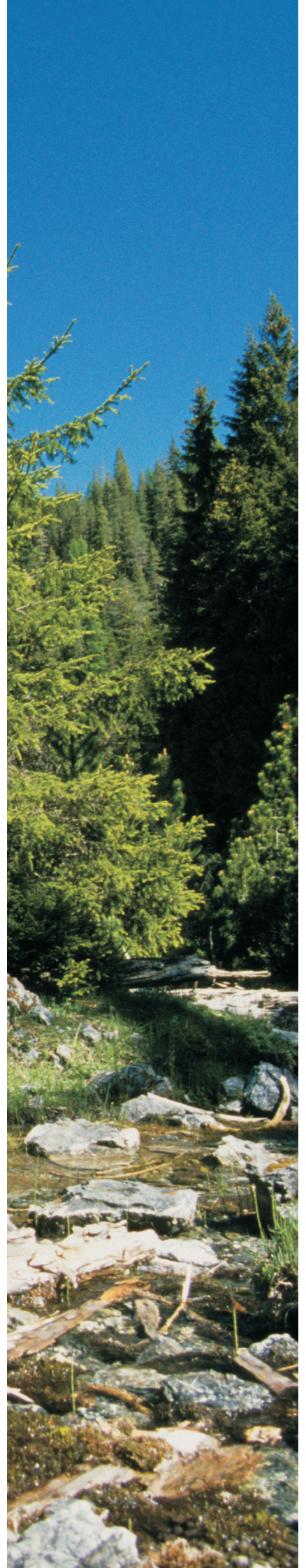
vorgelegt von

**Benno Steiner**

2005

Leiter der Arbeit:

Prof. Dr. Christian Schlüchter  
Institut für Geologie



## Zusammenfassung

Wasser, das an Quellen austritt, trägt verschiedene Signale, die es auf seinem Weg aus der Atmosphäre bis zum Austritt aufgenommen hat. Die Zusammensetzung des Niederschlags, die Geologie des Grundwasserleiters und die Verweildauer im Untergrund sind dabei wichtige Parameter. Der Schweizerische Nationalpark bietet dabei einen geschützten Rahmen, da die dortigen Quellen seit bald 100 Jahren nicht mehr direkt vom Menschen beeinflusst werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden drei Quellmesstouren im Sommer 2004 und eine im April 2005 durchgeführt. Dabei wurden Quellen im Gebiet von Buffalora, im Spöltal, auf der Plan da l'Acqua, auf Macun sowie in der Val Mingèr und der Val Ftur gemessen. Vor Ort wurden Temperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Redoxpotential, Gesamt- und Carbonathärte sowie die Schüttung bestimmt. Eine Wasserprobe jeder Quelle wurde im Anschluss im Labor am Institut für Geologie der Universität ionenchromatographisch analysiert. Alle Messresultate dieser Arbeit sind in einem Quellbericht dieser Arbeit angehängt.

Ein Ziel dieser Arbeit war, den Nachlass von Hans-Jörg Schmassmann zu sichten und die dort vorhandenen Daten zu Quellmessungen aufzuarbeiten. Zwischen 1955 und 1964 wurden über 100 Quellen im gesamten Ofenpassgebiet aufgesucht und beprobt. Die Analysen wurden mit den damals üblichen, nasschemischen Methoden durchgeführt, deren Resultate sich nicht mit heutigen vergleichen lassen. Weiter wurden alle bisherigen Quellmessdaten in einer Datenbank erfasst und stehen so für weitere Untersuchung als Grundlage zur Verfügung. Neben den „Schmassmann-Daten“ (Schmassmann, unver.) sind folgende Arbeiten mit Quelluntersuchungen berücksichtigt worden: Vetter (1992), Frey (1992), Clausen (2001), Pointner (2002), Strasky (2003), Haemmig (2003) und Margreth (2004).

Es hat sich gezeigt, dass sich die Aussagekraft der Mess- und Analyseresultate auf einige grundlegende Eigenschaften beschränkt. Die begrenzte Regelmässigkeit und die grossen Abstände zwischen den Messungen machen Interpretationen der Quelleigenschaften schwierig.

Zum Schluss werden Empfehlungen für ein weiteres Vorgehen gegeben. Dabei wäre es wichtig, einzelne Quellen mit grösserer Regelmässigkeit zu untersuchen, damit Schwankungen der Parameter erfasst werden können.

## Vorwort

Diese Arbeit ist unter der Leitung von Prof. Dr. Christian Schlüchter entstanden. Ihm danke ich herzlich für die Betreuung meiner Diplomarbeit, die gemeinsamen Feldbegehungen und alle wertvollen Anregungen und Vorschläge.

Ohne die Unterstützung und den Einsatz der Wissenschaftlichen Nationalparkkommission (WNPk) sowie den Mitarbeitenden des Schweizerischen Nationalparks wären die Untersuchungen im Parkgebiet nicht möglich gewesen. Besonders möchte ich Dr. Thomas Scheurer und Dr. Flurin Filli für die Koordination, sowie Ruedi Haller für die computertechnische Unterstützung danken.

Bei Daniel Locher, Valentin Burki und Andreas Graf möchte ich mich herzlich für die Begleitung bei meinen Quelltouren bedanken.

Meinem Vorgänger in Sachen Quellmessungen Stefan Strasky danke ich für die Tipps, wenn es wieder mal nicht weiterging.

Die „Mitbewohner des Terrariums“ an der Uni Bern erleichterten mir das Arbeiten, besonders in stressigen Phasen, ungemein. Besonders möchte ich dabei meinen beiden Leidensgenossen Mario Schneider und Thomas Ninck für die gegenseitige Unterstützung danken.

Meiner Schwester Isabelle danke ich herzlich für die Hilfe bei graphischen Problemen.

Schliesslich möchte ich meinen Eltern von ganzem Herzen für die grossen Freiheiten, die sie mir gaben, sowie die andauernde Unterstützung meines Studiums danken.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	i
Vorwort	ii
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	v
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Geographischer Überblick	3
1.2 Geologischer Überblick	7
1.3 Hydrologischer Überblick	10
<b>2 „Schmassmann-Quellen“</b>	<b>12</b>
2.1 Einleitung	12
2.2 Durchgeführte Untersuchungen	13
2.3 Methoden	14
2.3.1 Feldmessungen	14
2.3.2 Laboranalysen	15
2.4 Verwendbarkeit der Daten	17
<b>3 Methoden</b>	<b>19</b>
3.1 Feldmessungen	19
3.1.1 Temperatur	20
3.1.2 pH	21
3.1.3 elektrische Leitfähigkeit	21
3.1.4 Redoxpotential	22
3.1.5 Sauerstoffkonzentration	23
3.1.6 Wasserhärte	23
3.1.7 Schüttung	24
3.2 Laboranalysen	26
3.2.1 Ionenchromatographie	26
3.2.2 Titration des Hydrogencarbonats	27
3.3 Datenbank	28

<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>29</b>
4.1	Signale im Wasser	29
4.1.1	Niederschlag	29
4.1.2	Prozesse und Gleichgewichte	30
4.1.3	Wassertypen	33
4.1.4	Quellentypen	35
4.2	Herkunft der gemessenen Ionen	36
4.2.1	Anionen	37
4.2.2	Kationen	39
4.2.3	Ionenbilanz	42
4.3	Quellbericht	43
4.3.1	Buffalora	43
4.3.2	Spöltal	44
4.3.3	Restliche Messungen	45
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>47</b>
5.1	Verwendbarkeit der Messwerte und deren Aussagekraft	47
5.2	Empfehlungen	47
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>49</b>
	<b>Anhang</b>	<b>51</b>

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

- Tab. 1.1 Messtouren  
 Abb. 1.1 Übersichtskarte SNP  
 Abb. 1.2 Das Untersuchungsgebiet Buffalora  
 Abb. 1.3 Das Untersuchungsgebiet Spöltal und Plan da l'Acqua  
 Abb. 1.4 Das Untersuchungsgebiet Macun  
 Abb. 1.5 Die Untersuchungsgebiete Val Minger und Val Ftur  
 Abb. 1.6 Tektonische Übersichtskarte des SNP  
 Abb. 1.7 Stratigraphisches Sammelprofil der S-charl-Decke (Trümpy et al., 1997)  
 Abb. 1.8 Jahressummen des Niederschlags  
 Abb. 2.1 Übersichtskarte der "Schmassmann-Quellen"  
 Abb. 2.2 Probenahme und Messung einer "Schmassmann-Quelle"  
 Abb. 2.3 Piper-Diagramm der "Schmassmann-Quellen"  
 Abb. 3.1 Vergleich von pH-Werten aus Labor- und Feldmessungen.  
 Abb. 3.2 Vergleich der Temperaturmessungen zweier Quellen.  
 Tab. 3.1 Die Härtekategorien von Wasser nach dem SLMB (BUWAL, 2003)  
 Abb. 3.3 Die Acquamerck-Härtetests im Einsatz (Foto: A. Graf)  
 Abb. 3.4 Vergleich der Schüttungen der Quelle CS1 vom 16.4.05 und 16.6.04.  
 Abb. 3.5 Typisches Chromatogramm einer Wasseranalyse (Kationen der Quelle CS1, Messung vom 16.6.2004)  
 Tab. 3.2 Verteilung der Kohlenstoffspezies (Hölting, 1996)  
 Tab. 4.1 Mögliche Quellen für Ionen im Niederschlag (Berner & Berner, 1987)  
 Tab. 4.2 Analyseresultate von Regen und Schneemessungen  
 Abb. 4.1 Verteilung der Karbonatspezies in Abhängigkeit vom pH-Wert (nach Goldscheider & Hunkeler, 2002)  
 Tab. 4.3 Wassertypen der einzelnen Quellen nach Jäckli (1970)  
 Abb. 4.2 Schema des Piper-Diagramms  
 Abb. 4.3 Abgrenzung der sieben Grundwassertypen nach Jäckli (1970)  
 Abb. 4.4 Summe der gelösten Ionen (TDS)  
 Abb. 4.5 Natrium- und Chloridanalysen der Quelle CS1  
 Abb. 4.6 Piper-Diagramm der Messungen im Bereich Buffalora  
 Abb. 4.7 Temperaturmessungen der Quellen bei Buffalora  
 Abb. 4.8 Vergleich der Ionenkonzentrationen im Bach oben und unten im Schöller-Diagramm  
 Abb. 4.9 Piper-Diagramm der Messungen im Spöltal und der Plan da l'Acqua.  
 Abb. 4.10 Temperaturen und pH-Werte der Quelle PG3  
 Abb. 4.11 Piper-Diagramm der restlichen Messungen  
 Abb. 4.12 Fotovergleich der Quellen in der Val Ftur  
 Tab. 4.4 Datenvergleich der beiden in der Val Ftur beprobten Quellen

# 1 Einleitung

Quellen sind diese Stellen, wo Wasser aus dem Untergrund wieder an die Oberfläche tritt. Dieses trägt zu diesem Zeitpunkt Signale, die Rückschlüsse über die Beschaffenheit des Untergrunds geben. Auch lassen sich Eigenschaften des Einzugsgebiets anhand der Parameter des Grundwassers erörtern. Im Schweizerischen Nationalpark (SNP) herrschen für die Erforschung dieser Charakteristika optimale Bedingungen. Das Gebiet ist seit bald 100 Jahren geschützt und wird seit dann nicht mehr vom Menschen direkt beeinflusst.

Darum ist es auch nicht verwunderlich, dass sich die Forschung seit längerer Zeit dafür interessiert. Etliche Arbeiten sind zu diesem Thema in der Vergangenheit entstanden. In der vorliegenden Arbeit werden diese aufgearbeitet, welche sich mit den anorganisch-chemischen und den physikalischen Parametern des Quellwassers beschäftigen. In den Jahren von 1952 bis 1964 fanden erste umfangreiche Untersuchungen über die Hydrologie im SNP statt (Schmassmann, unver.): über 100 Quellen und Fliessgewässer wurden erfasst und beprobt. Dazu wurden auch noch Bäche und Flüsse erforscht. Die Aufarbeitung und Konsolidierung dieser Unterlagen ist ein wichtiger Teil der vorliegenden Arbeit. Später wurden im Rahmen zweier Diplomarbeiten der ETH Zürich (Vetter, 1992 und Frey, 1992) im Gebiet von Buffalora resp. des Spöltals Quellen bearbeitet. Seit 1999 werden nun ausgewählte Quellen regelmässig untersucht. Daraus sind mittlerweile drei weitere Diplomarbeiten an der Universität Bern (Pointner, 2002, Haemmig, 2003 und Strasky, 2003) und eine Diplomarbeit an der ETH Zürich (Margreth, 2004) entstanden. Die Messtour im April wurde zusammen mit Andreas Graf (2005) durchgeführt und die Messdaten werden für beide Arbeiten verwendet. Hier sei ihm herzlich für die Erlaubnis dafür gedankt. Strasky & Haemmig (2003) kartierten und beprobten zusätzlich die Quellen in der Val Chaschauna. Clausen (2001) untersuchte die Quellen in der Val Laschadura. Diese beiden Täler liegen zwar ausserhalb der Parkgrenzen, sind aber für die Forschung trotzdem von grossem Interesse. Im Laufe der oben genannten Arbeiten wurden vereinzelt neue Quellen ins Untersuchungsprogramm miteinbezogen.

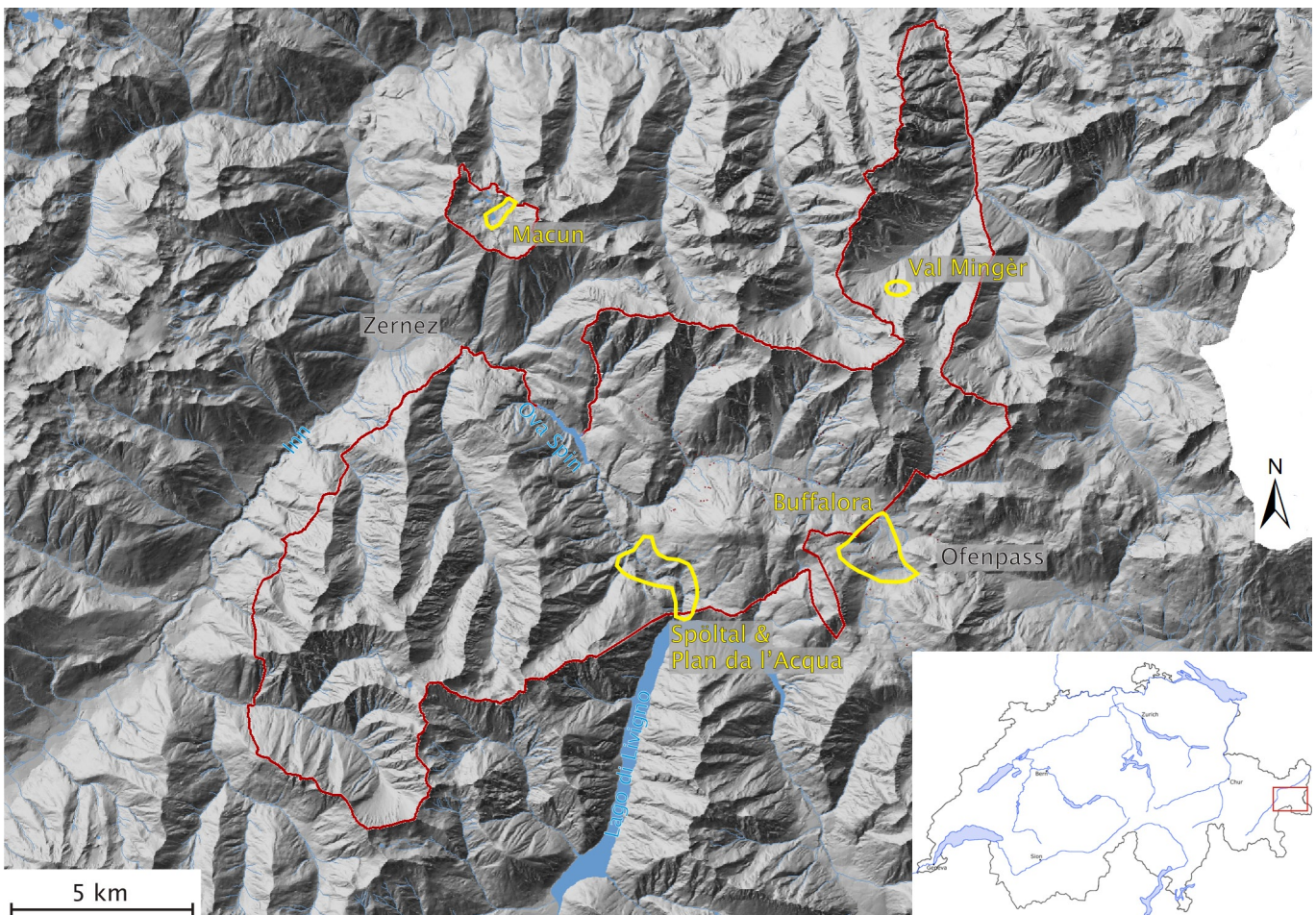
Zusätzlich zur Aufarbeitung und Zusammenfassung der bisherigen Messungen wurden weitere Messtouren durchgeführt. Die Tabelle 1.1 zeigt die Daten und Untersuchungsgebiete, sowie die Anzahl der untersuchten Quellen.

Datum	Untersuchungsgebiete	Anzahl Quellen
16./17. Juni 2004	Buffalora, Spöltal und Val Mingèr	14
23. - 25. August 2004	Buffalora, Spöltal und Macun	16
25./26. Oktober 2004	Buffalora und Spöltal	15
16. April 05	Buffalora	9

Tabelle 1.1  
Die vier im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Messtouren.

Direkt vor Ort wurden Temperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Redoxpotential, Gesamt- und Karbonathärte des austretenden Wassers bestimmt, sowie die Schüttung der jeweiligen Quelle abgeschätzt. Zurück am Institut für Geologie der Universität Bern wurden die Anionen- und Kationenkonzentrationen mittels Ionenchromatographie analysiert und der Gehalt an Hydrogencarbonat mittels Titration bestimmt.

Abbildung 1.1  
Übersichtskarte über den SNP und die Untersuchungsgebiete (Quelle: DHM25 © swisstopo, Parkgrenze © Schweizerischer Nationalpark)





## 1.1 Geographischer Überblick

Der Schweizerische Nationalpark befindet sich im Unterengadin im Kanton Graubünden. Er umfasst das Gebiet zwischen der rechten Talseite des Inntals von S-chanf bis Zernez, der Schweizer Grenze am Lago di Livigno und dem Ofenpass im Osten. Der Schweizerische Nationalpark ist mit 172 km<sup>2</sup> das grösste Schutzgebiet und vorerst der einzige Nationalpark der Schweiz. Seit der Gründung im Jahre 1914 ist das Gebiet geschützt und somit vom Menschen nicht beeinflusst. Dies muss allerdings leicht eingeschränkt werden, da immerhin die viel befahrene Ofenpassstrasse durch den Park führt. Für den Wasserhaushalt des Parks von Bedeutung ist sicher auch, dass seit 1970 die Staumauer des Lago di Livigno das Wasser des Spöls weitgehend zurückhält.

Die Quellen, die im Rahmen dieser Arbeit beprobt wurden, befinden sich mehrheitlich im Gebiet um Buffalora und im Spöltal. Dazu wurden drei Quellen auf Macun und eine im Val Mingèr untersucht. Im Anschluss an dieses Kapitel finden sich Übersichtspläne der Untersuchungsgebiete (Abb. 1.2 bis 1.5).

### Buffalora

Das Untersuchungsgebiet Buffalora erstreckt sich von Chasa dal Stradin nach Süden bis an die Hänge des Munt Buffalora, die Talsenke bei Buffalora und unter den Piz Daint. Die meisten Quellen befinden sich im Wald südöstlich der Alp Buffalora. Die höchste Quelle (BU4) befindet sich auf einer Höhe von ca. 2180 m ü.M. an der Waldgrenze, die tiefste gerade südlich der Ofenpassstrasse bei Chasa dal Stradin auf ca. 1970 m ü.M.. Alle Quellen entwässern in den Ofen-Bach (Ova dal Fuorn), der von der Jufplaun nach Norden und ab Chasa dal Stradin nach Nordwesten abfließt. In diesem Gebiet wurden 9 Quellen untersucht.

### Spöltal

Dieses Untersuchungsgebiet befindet sich im Tal des Spöls. Es erstreckt sich von der Staumauer des Lago di Livignio bis nördlich der Brücke bei Punt Periv. Dazu kommen zwei weitere Quellen auf der Plan da l'Acqua, einem Seitental des Spöltals. Das Spöltal ist vor allem im oberen Bereich durch sehr steile Talflanken charakterisiert. Nördlich von Punt Periv öffnet es sich etwas. Die Hänge sind meist mit Lärchen und Fichten bewaldet und nur vereinzelt von vegetationslosen Schutthalden durchzogen.

## Andere Untersuchungsgebiete

Neben diesen beiden Hauptschwerpunkten kamen noch wenige Quellen in anderen Gebieten zur Untersuchung. Im Juni 2004 wurde eine Kluftquelle in der Val Mingèr untersucht, auf der Seenplatte von Macun wurden im August 2004 drei Stellen beprobt, die in Beziehung zu den dortigen Blockgletschern stehen. Im Oktober 2004 wurde versucht, zwei Quellen zu untersuchen, die bereits in den 1950er Jahren H. Nold untersucht hatte. Diese Suche gestaltete sich aufgrund der nur ungenauen geografischen Angaben als schwierig, von zwei Quellen wurde dennoch je eine Probe genommen.

Die in den vorangehenden Arbeiten untersuchten Quellen befinden sich einerseits in den oben erwähnten Untersuchungsgebieten, decken aber auch andere Gebiete ab. Insbesondere sei hier erwähnt, dass die „Schmassmann-Quellen“ (Schmassmann, unver.) mit seinen Quelluntersuchungen weite Gebiete des Nationalparks im Bereich Ofenpass abdeckte.

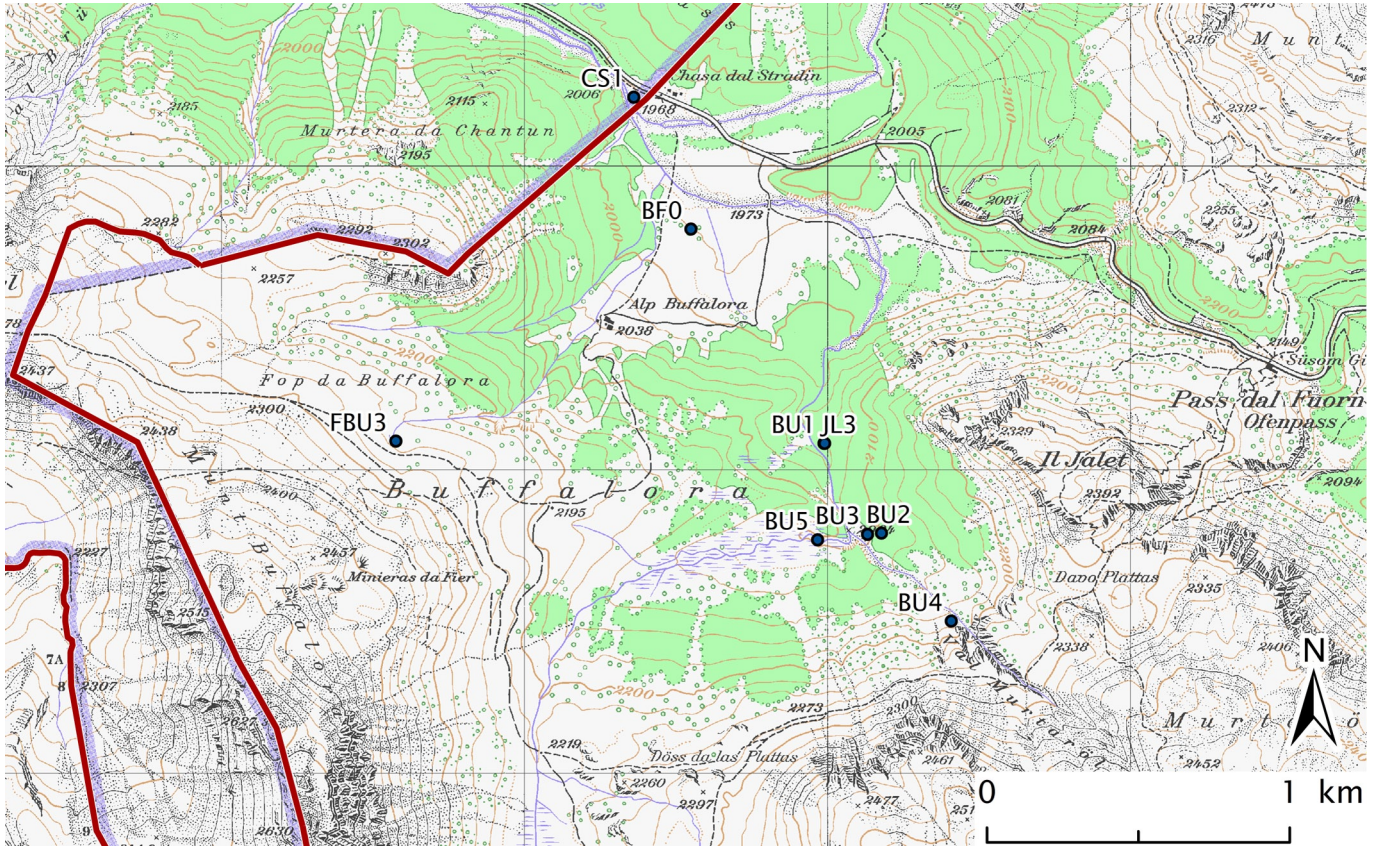


Abbildung 1.2  
Das Untersuchungsgebiet Buffalora  
(Quelle: PK25 © swisstopo)

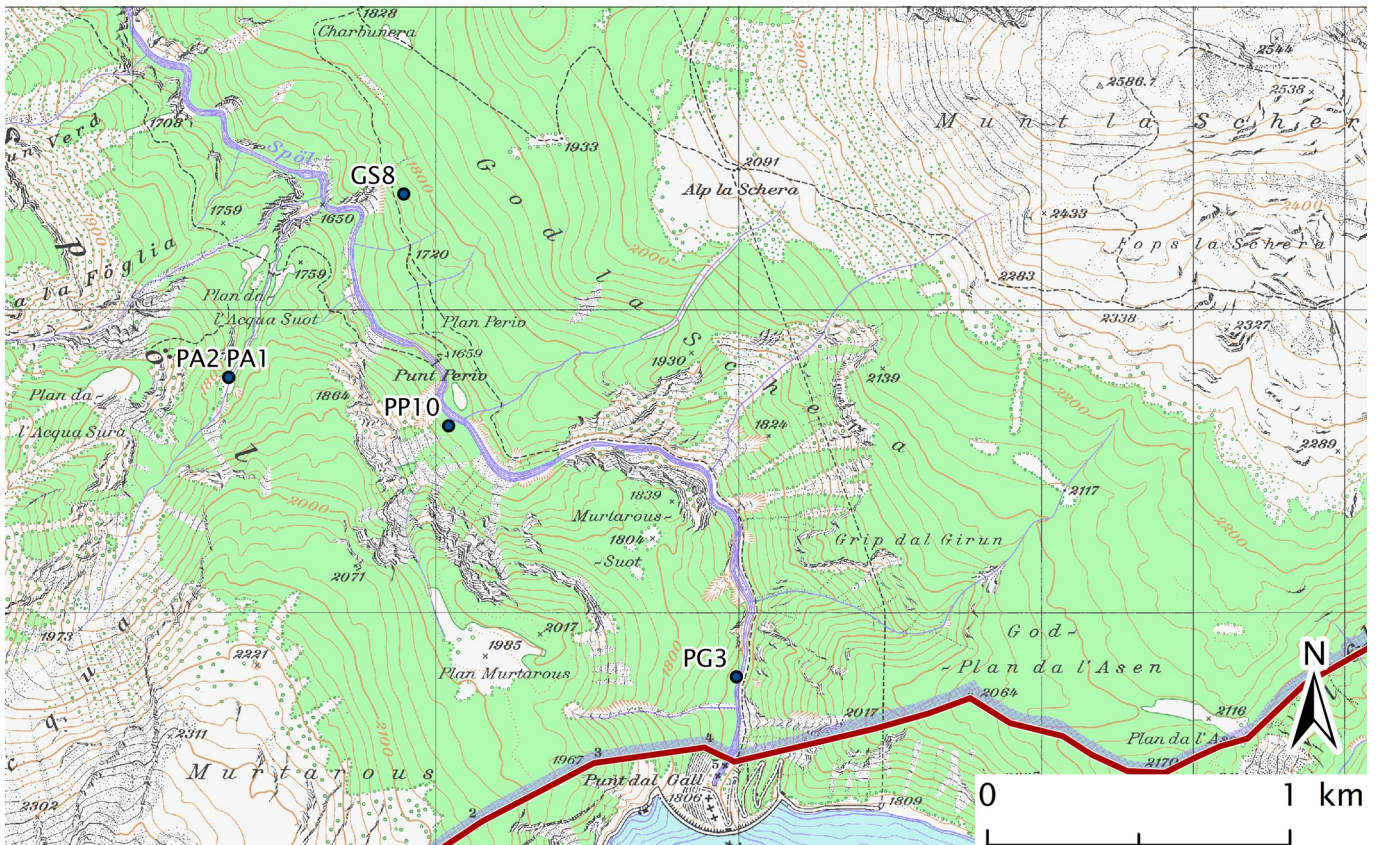


Abbildung 1.3  
Das Untersuchungsgebiet Spötal und  
Plan da l'Acqua (Quelle: PK25 © swisstopo)

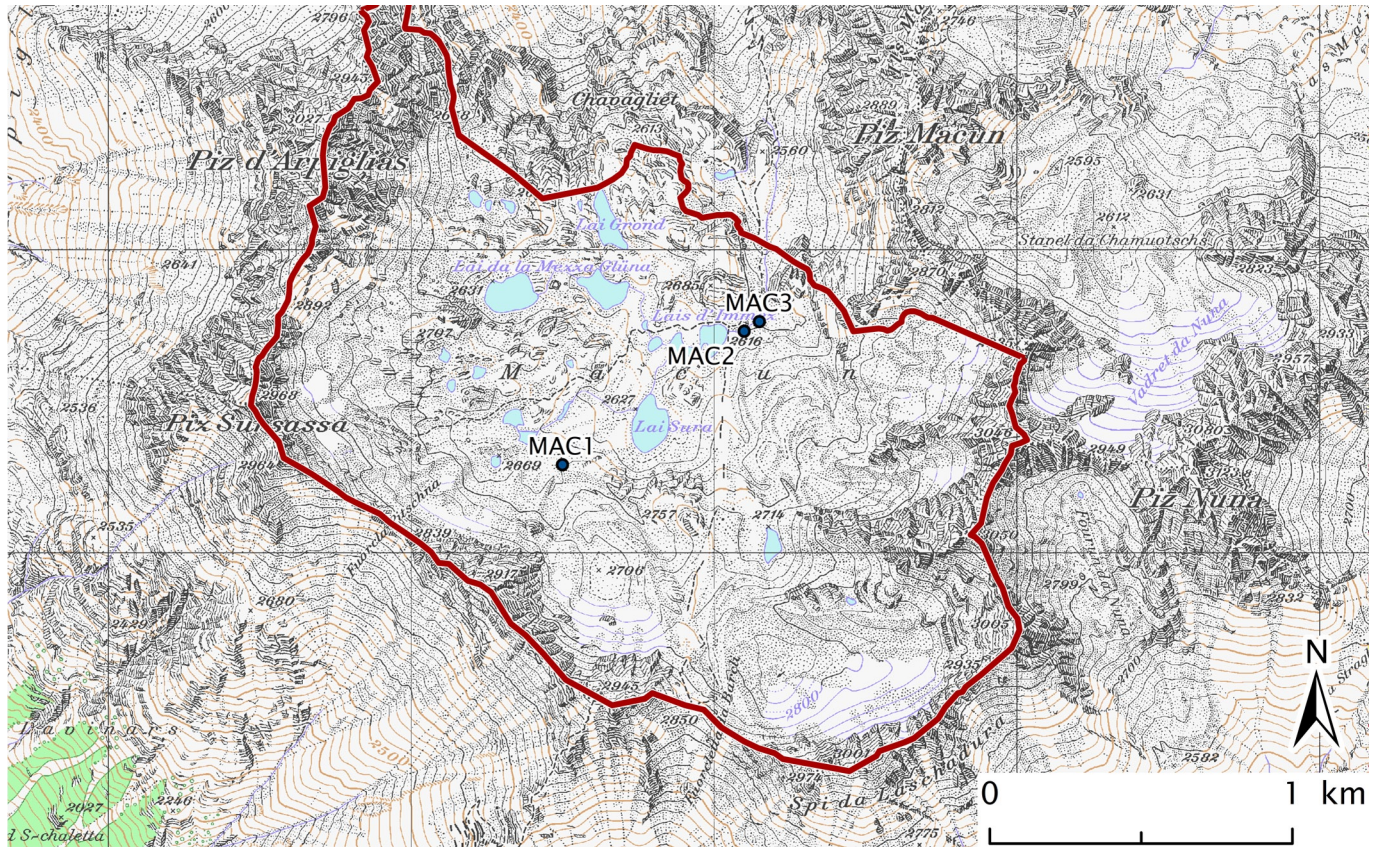


Abbildung 1.4  
Das Untersuchungsgebiet Macun  
(Quelle: PK25 © swisstopo)

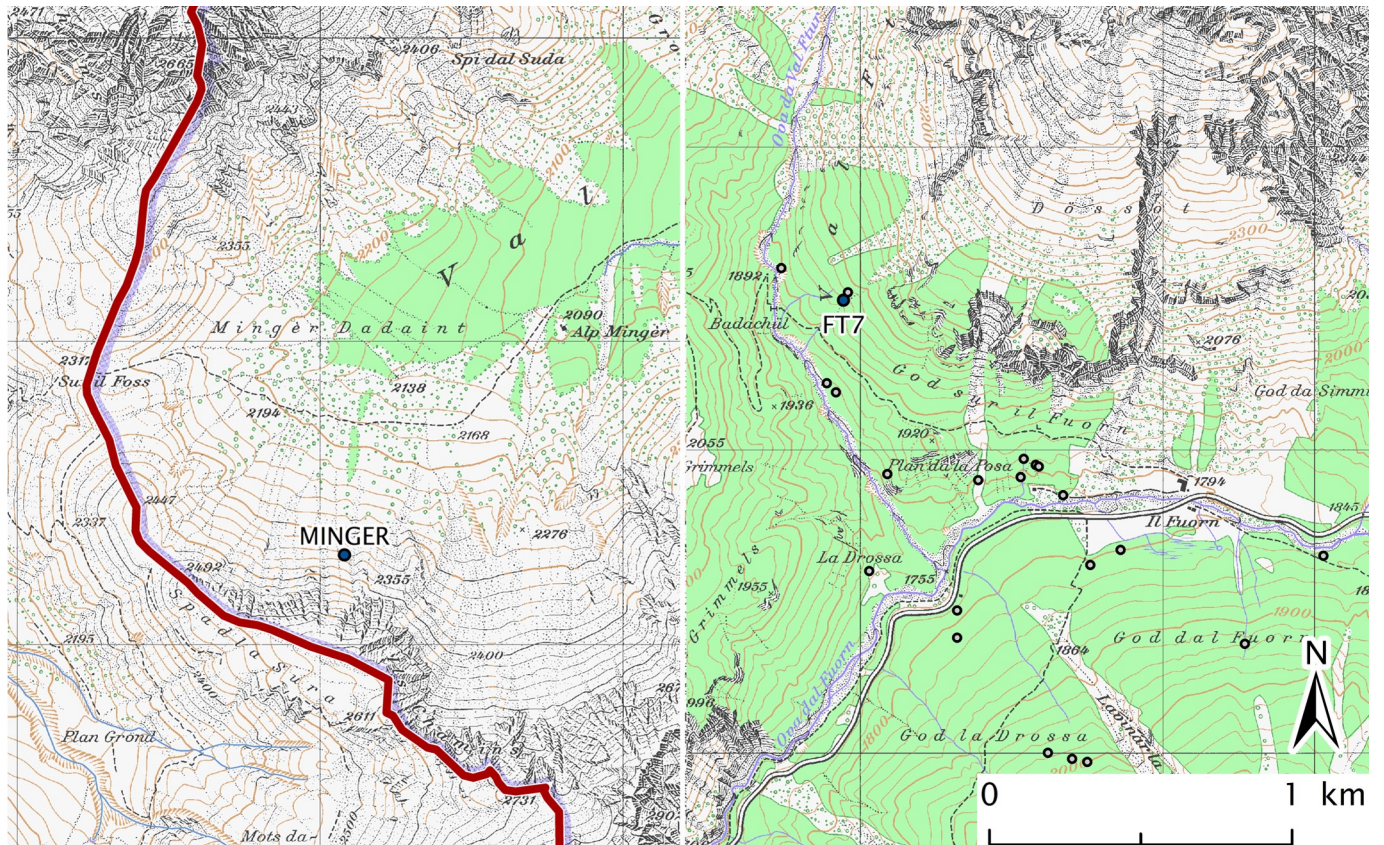


Abbildung 1.5  
Die Untersuchungsgebiete Val Mingèr  
und Val Ftur (Quelle: PK25 © swisstopo)

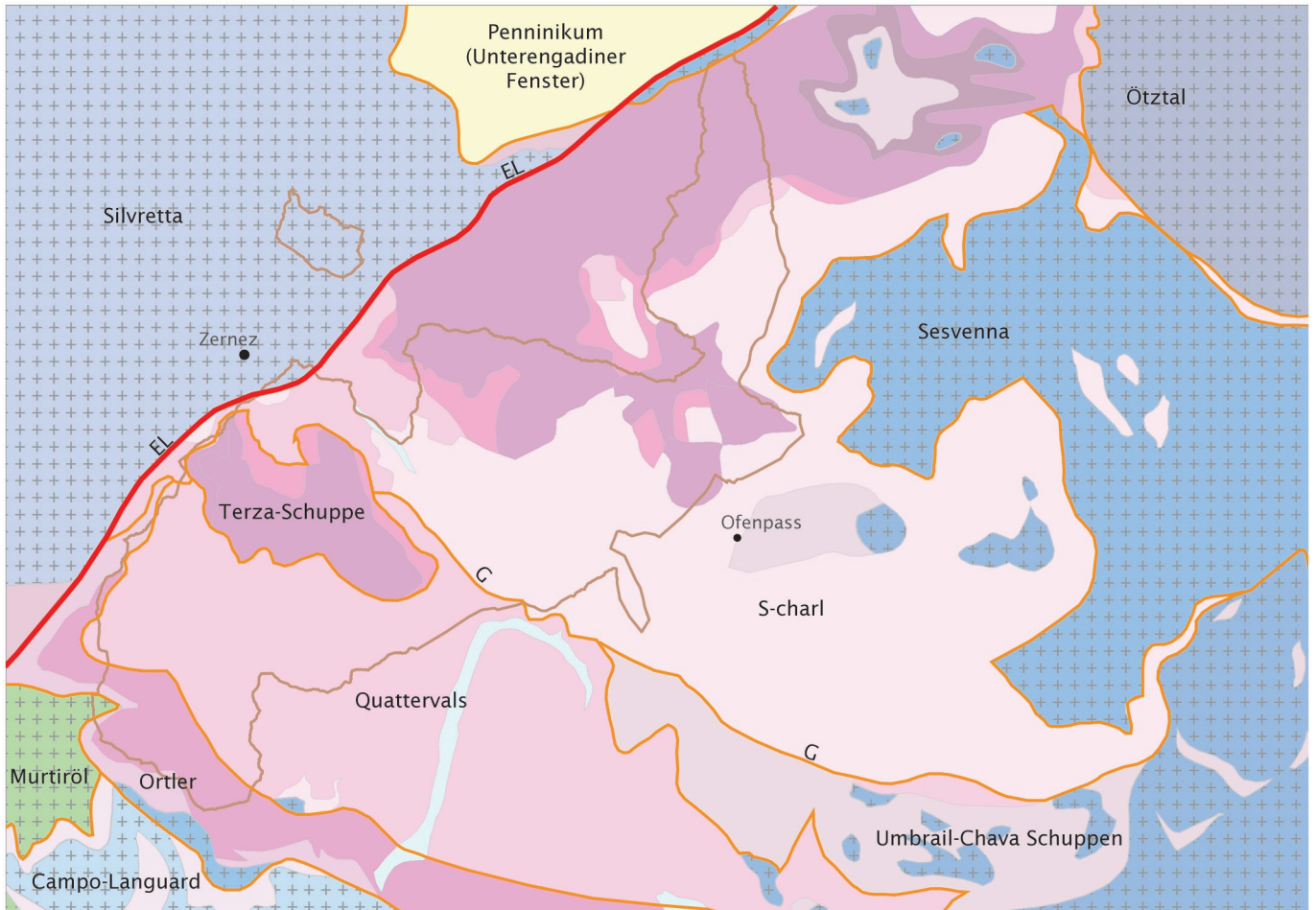
## 1.2 Geologischer Überblick

Morphologisch wie auch geologisch gehört der SNP zu den Ostalpen. Die mesozoischen Sedimente der ostalpinen Decken bedeckten einst den afrikanischen Kontinentalrand. Sie bilden heute die höchsten Bauelemente des alpinen Deckenstapels. Darum sind sie auch kaum alpin metamorph überprägt. Sedimentologische Strukturen und stratigraphische Beziehungen sind daher auch noch gut beschreibbar.

### Der mesozoische Sedimentstapel

Die Sedimentation des mesozoischen Sedimentstapels begann im Laufe des Perm. Damals war die Schweiz Teil des Superkontinents Pangaea. Es herrschten kontinentale, zum Teil wüstenähnliche Bedingungen, welche zu vermehrter Oxidation der Sedimente führte. Komplexe Bewegungen führten zur Öffnung von unregelmässigen Gräben und Trögen, die danach mit klastischen Sedimenten (Verrucano) verfüllt wurden. Vereinzelt sind darin auch Vulkanite zu finden. Dieser Untergrund bildet das Grundgebirge, auf dem sich der mesozoische Sedimentstapel ablagern konnte.

Mit Beginn des Mesozoikums drang die Paläotethys von Osten her in den heutigen Mittelmeerraum vor. Ein epikontinentales Flachmeer mit homogenen Ablagerungsbedingungen breitete sich aus. Während der mittleren Trias bildeten sich vor allem Karbonate. Etwas später, konkret in der oberen Trias lagerte sich dann das charakteristische Gesteinspaket der Ostalpen ab, der Hauptdolomit, in einem flachmarinen Milieu. Es zeichnete sich auch der Zerfall des alten Superkontinents ab; es entstanden Bruchsysteme und die Landmasse senkte sich als Ganzes langsam ab. Im Jura beginnt sich die Tethys zu öffnen und die Ablagerungsräume der späteren Zonen der Alpen wurden geschaffen. Der Ablagerungsraum des Ostalpins (wie auch des Südalpins) befand sich am passiven Kontinentalrand der Tethys. Während dem Lias zerbrach die vormals stabile Karbonatplattform und es formte sich eine komplizierte submarine Landschaft mit Becken und Hochzonen. In diese Becken wurden mächtige Brekzienabfolgen sedimentiert, die typisch für das Ostalpin sind. Im Dogger und Malm herrschen im ostalpinen Ablagerungsraum Tiefseebedingungen vor, die zur Ablagerung von Radiolarit und Aptychenkalk führten. Im ostalpinen Raum dauerte die Sedimentation bis in die untere Kreide, danach wurde das Ostalpin bereits in die Einengung der beginnenden Schliessung der Tethys einbezogen und die ersten Decken angelegt.



## Tektonik der oberostalpinen Decken

Die ostalpinen Decken wurden bereits in einer sehr frühen Phase der alpinen Gebirgsbildung auf das Penninikum überschoben. Damals bedeckte das Ostalpin den gesamten Deckenstapel im alpinen Raum, was durch einige noch vorhandene Klippen bewiesen wird (Dt. Blanche-Klippe). Die ostalpinen Decken werden heute aufgrund ihrer heutigen tektonischen Lage in unter- und oberostalpinen Decken unterteilt. Das Unterengadin wird mit wenigen Ausnahmen von oberostalpinen Decken aufgebaut.

Im Oberostalpin sind grosse zusammenhängende Grundgebirgsdecken erhalten geblieben (z.B. die Silvretta- oder die Ötztal-Decke) und auch die Sedimente bilden grosse zusammenhängende Komplexe, wie die Engadiner Dolomiten oder Kalkalpen. Das Gebiet des SNP wird vor allem von den Engadiner Dolomiten eingenommen. Einzig das Gebiet von Macun sowie die nördlichsten Teile im Val S-charl liegen nördlich der Engadiner Linie und gehören zur kristallinen Silvretta-Decke.

Zum Oberostalpin zählen der riesige Deckenstapel der nördlichen Kalkalpen im nördlichen Teil der Ostalpen, die Arosener Dolomiten (Ela-Decke) und die Engadiner Dolomiten (S-charl- und Ortler-Decken),

Abbildung 1.6  
Tektonische Übersichtskarte über die wichtigsten Einheiten im Gebiet des SNP: gelb eingefärbt das Unterengadiner Fenster, grün Elemente der Err-Bernina-Decke. Blau sind die Kristallineinheiten des Oberostalpins, rosa-violett dessen mesozoische Sedimente. EL: Engadiner Linie, G: Gallo-Linie (Quelle: Tektonik © Schweizerischer Nationalpark)

sowie die enormen Grundgebirgsblöcke der Silvrettadecke im östlichen Mittelbünden, der Ötztaldecke im Tirol und der Campo-Languard-Decken in Südbünden und Italien. Das Oberostalpin zeigt einen Internbau mit mehreren verfalteten Decken aus Sedimenten, die im Süden von einer Kristallindecke überfahren werden.

## Quartäre Entwicklung im Unterengadin

Die jüngste Phase der Erdgeschichte ist von wesentlicher Bedeutung für die Entstehung der heutigen Landschaft im alpinen Gebiet. Während der letzten Eiszeiten war das Unterengadin bis auf die steil aufragenden Gipfel mit Eis bedeckt. Unzählige Formen und Relikte sind Zeugen vergangener glazialer Prozesse. Hier sollen nur einige davon erwähnt werden, die in früheren Arbeiten untersucht wurden (z.B. Frey, 1992, Vetter, 1992, Clausen, 2001, Strasky, 2003 und Haemmig, 2003): Moränen, Rundhöcker und Erratiker. Ebenfalls wichtige Prozesse und Formen finden sich im Bereich des Periglazials: Erdzungen, Girlandenrasen, Wanderblöcke und Strukturböden. Grosse Bereiche sind heute noch oberflächlich von Grundmoräne bedeckt.

## Buffalora

Das Gebiet ist von Frey (1992) geologisch kartiert, sowie quartär- und hydrogeologisch untersucht worden. Im Bereich der gemessenen Quellen von Buffalora sind Gesteine des Unterbaus der S-charl-Decke aufgeschlossen. Die Gesteine der Chazforà-Formation, als die tiefsten Einheiten, befinden sich in der Talsenke zwischen dem Piz Daint und dem Munt Buffalora und ziehen vom Jufplaun im Süden bis zur Chasa dal Stradin an der Ofenpassstrasse. Darüber folgen auf beiden Talseiten in stratigraphisch korrekter Abfolge Buntsandsteine der Fuorn-Formation (gegen Norden auslaufend), S-charl-Kalke und Dolomite der Turettas-, Vallatscha- und Raibler-Formation. Die Dolomite sind durch spröde Deformation stark ineinander verschuppt worden (Frey, 1992).

## Spöltal

Die Untersuchungen in diesem Gebiet wurden von Vetter (1992) durchgeführt. Wie das Gebiet bei Buffalora sind auch im Spöltal vor allem Gesteine des Unterbaus der S-charl-Decke aufgeschlossen. Es sind dies die Fuorn-Formation, die Dolomite des Ladin (Vallatscha- und Turettas-Dolomit), die Raibler Rauhwacke und die meist kalkigen Dolomite des Nor (Müschauns-Dolomit, Pra-Grata-Formation und Quattervals-Formation).

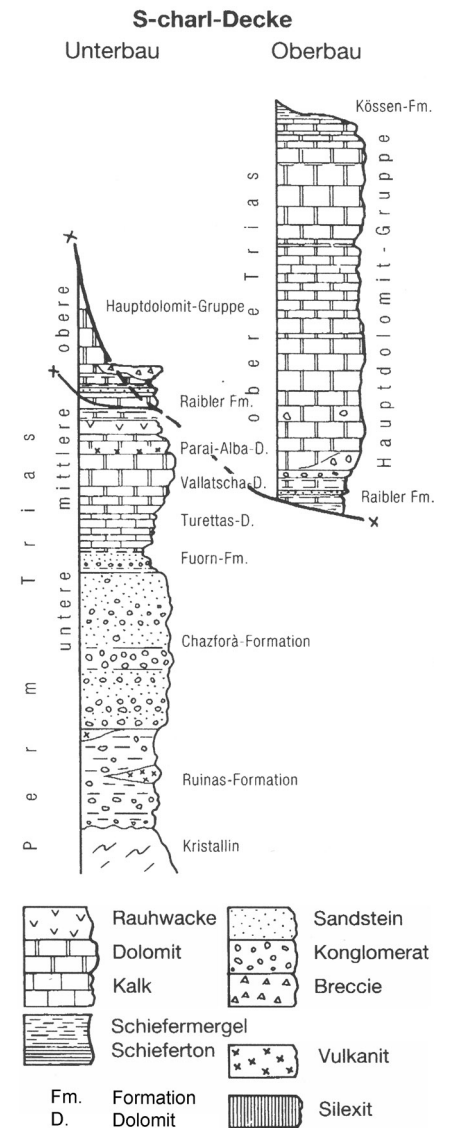


Abbildung 1.7  
Stratigraphisches Sammelprofil der S-charl-Decke (Trümpy et al., 1997)

## 1.3 Hydrologischer Überblick

Grundwasser ist ein wichtiger Teil des globalen Wasserkreislaufs. Wasserdampf wird in der Atmosphäre transportiert. Über dem Land wird das Wasser dann ausgereget. Teile davon sickern durch den Boden ins Grundwasser. An den Quellen tritt dann dieses Wasser wieder an die Oberfläche und gehört von da an zum oberflächlichen Abfluss. Die Quellen sind wichtige Schnittstellen zwischen dem unterirdischen und dem oberirdischen Wasserkreislauf.

Ein wichtiger Faktor für die Eigenschaften des Grundwassers und somit auch der Quellen ist das Klima, das im Einzugsgebiet herrscht. Das Engadin ist ein inneralpines Trockental mit vergleichsweise geringen Niederschlagsmengen. Zernez erhält mit 700 mm Jahresniederschlag nur 30 bis 50 Prozent der Niederschläge am Alpennordhang. Diese Trockenheit ist eine Folge der Abschirmung durch die hohen Berge ringsherum. Niederschläge fallen vorwiegend bei Südstau, wenn warme Mittelmeerluft am Alpensüdhang abgekühlt wird (SNP, 2001). Mit zunehmender Höhe nimmt auch die Niederschlagsmenge markant zu. Auf Buffalora, das 500 m höher liegt als Zernez, fallen laut den Normwerten von 1961 der MeteoSchweiz durchschnittlich 900 mm Regen. Am Regenreichsten sind dabei die Monate Mai bis August. Die Jahre 2003 und 2004 waren im Engadin ausgesprochen niederschlagsarm (Abb. 1.8). Hält dieser Trend in den nächsten Jahren an, könnte das schwerwiegende Konsequenzen für den Wasserhaushalt im Engadin haben. Besonders trockene Winter können sich negativ auf den Wintertourismus auswirken.

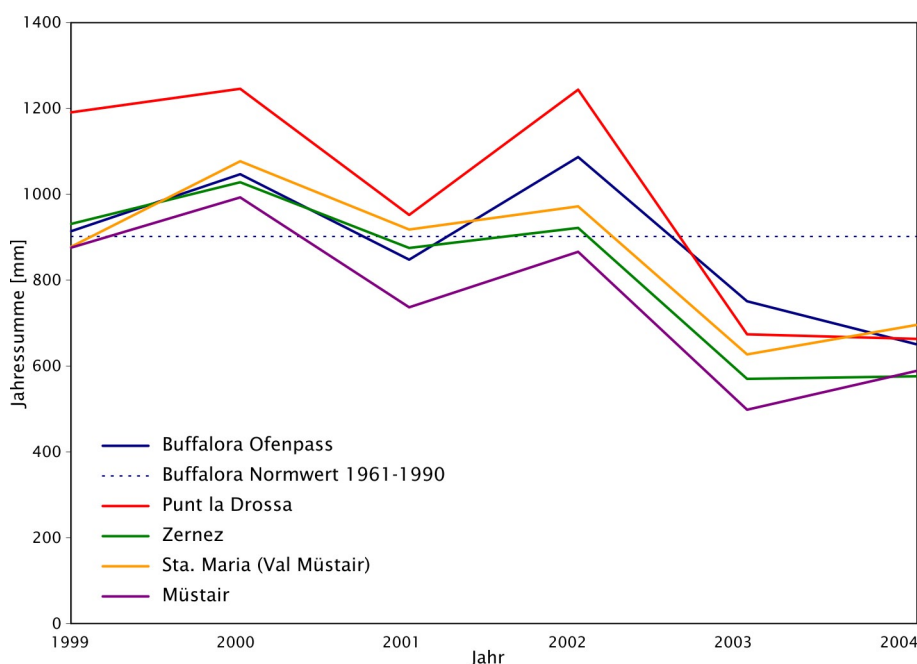


Abbildung 1.8  
Jahressummen des Niederschlags von ausgewählten Stationen in der Region des SNP (Quelle: Niederschlagsdaten © MeteoSchweiz)



Die beiden wichtigsten Bäche, die den SNP entwässern, sind die Ova dal Fuorn und der Spöl. Seit 1970 hat sich der Spöl stark verändert. Damals wurde mit dem Bau der Talsperre bei Punt dal Gall begonnen und seither fließt nur noch eine Restwassermenge durch sein Bett. Die Ova dal Fuorn fließt bis zum Ova Spin in uneingeschränkten Bahnen. Das Ausgleichsbecken bei Ova Spin unterbricht aber dieses uneingeschränkte Fließen. Das Wasser dieser beiden Bäche fließt, wie alles andere Wasser im Nationalpark, zuletzt in den Inn.

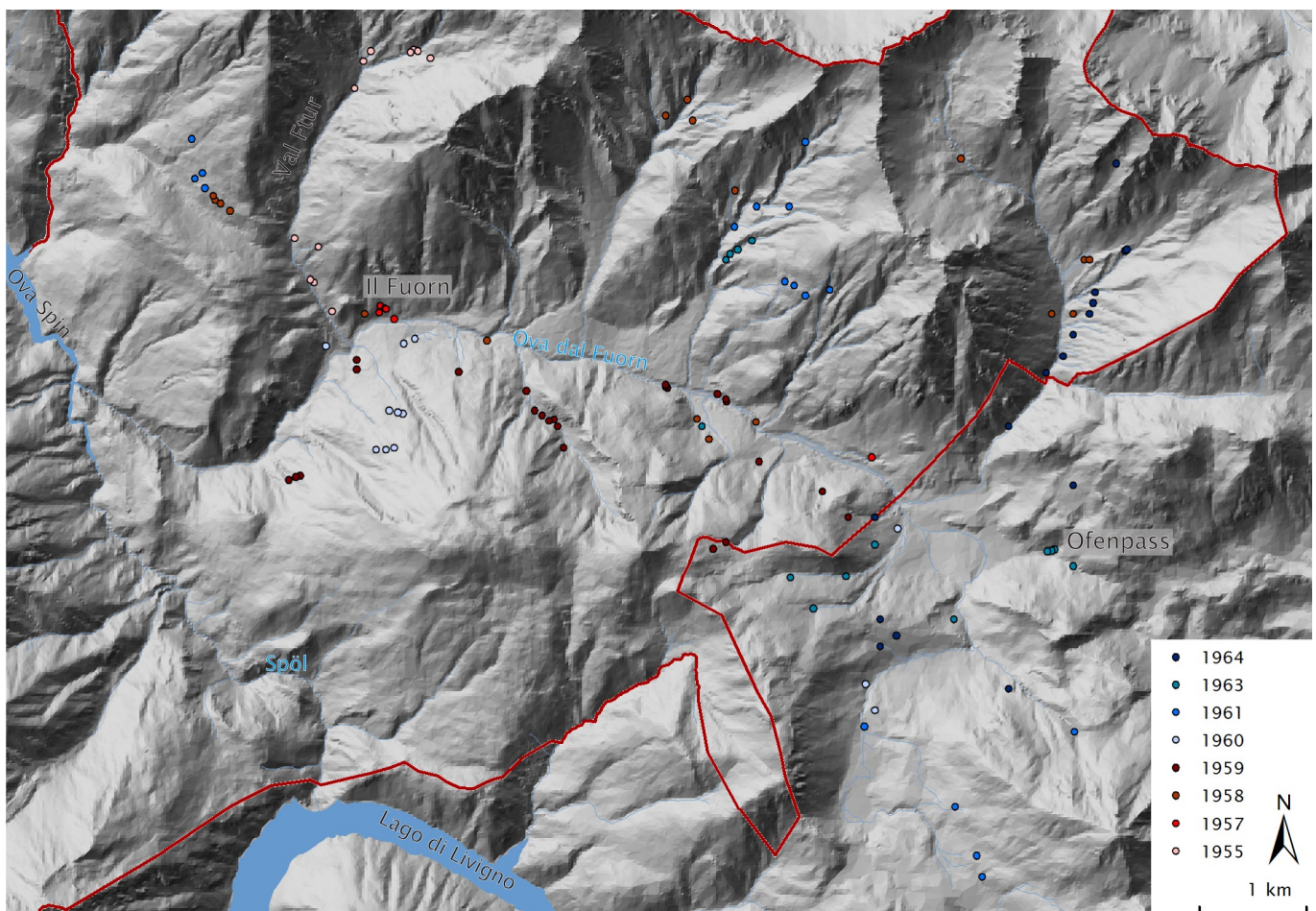
## 2 „Schmassmann-Quellen“

### 2.1 Einleitung

Aus dem Nachlass von Hans-Jörg Schmassmann befinden sich umfangreiche Dokumente, die die Hydrologie des SNP betreffen. Sie sind im Besitz der Forschungskommission des SNP. Die Unterlagen stammen zum grössten Teil von Walter Schmassmann, Hans-Jörg Schmassmanns Vater. Walter Schmassmann war während vielen Jahren Präsident der hydrobiologischen Subkommission der Wissenschaftlichen Nationalpark-Kommission.

Wichtigster Bestandteil des Nachlasses sind sicher die Analyseresultate des Quellinventars, das von 1955 bis 1964 entstanden ist (Abbildung 2.1). Weiter finden sich Untersuchungsberichte zu anderen hydrologischen Untersuchungen, Anleitungen zu den angewandten Analysemethoden, Kartenmaterial und umfangreiche Korrespondenz. Hier soll ein Überblick über den Nachlass gegeben und Möglichkeiten über eine «Reaktivierung» gewisser Quellen erörtert werden. Der

Abbildung 2.1  
Übersichtskarte der „Schmassmann-Quellen“. Die Quellen sind farblich nach den Untersuchungsjahren unterschieden (Quelle: DHM25 © swisstopo, Parkgrenze © Schweizerischer Nationalpark)



Einfachheit halber werden die Quelldaten aus dem Nachlass von H.J. Schmassmann in der Folge als „Schmassmann-Quellen“ bezeichnet.

Alle Quellmessdaten wurden aus dem Nachlass zusammengetragen, in einer Datenbank erfasst und abgelegt. Dem Anhang ist ein Übersichtsblatt mit allen Angaben beigelegt.

## 2.2 Durchgeführte Untersuchungen

Walter Schmassmann nahm in seiner Position an der Spitze der hydrobiologischen Subkommission vor allem eine planende und koordinierende Rolle wahr. Auch sein Sohn war nur wenig an den Feldarbeiten direkt beteiligt. Sie führten aber einen Grossteil der Analysen des Wassers in ihrem Labor durch. Die wichtigste Person für die Aufnahme, Beobachtung und Untersuchung der Quellen war Hans Nold. Er stellte sich zur Verfügung, während seiner Ferien die Untersuchungen im Nationalpark durchzuführen. Er war als Techniker-Colorist bei der damaligen Ciba in Basel tätig. Er war es dann auch, der jeden Sommer von 1952 bis 1964 im Engadin Untersuchungen durchführte. Dabei war er meist von einer weiteren Person begleitet worden, da die Ausrüstung zu schwer für eine Person war und Sicherheitsaspekte bereits damals eine Rolle spielten.

Die Val Ftur war das erste Untersuchungsgebiet. Das Ziel dieser Untersuchungen war es, den Stoffhaushalt fließender Gewässer besser zu verstehen, insbesondere die tägliche Periodizität der Gaskonzentrationen. Dazu wurden im Sommer 1952 in der Ova da Val Ftur zweimal während je 26 Stunden stündlich die Temperatur, die Sauerstoff- und die Kohlensäure-Konzentration untersucht. Zusätzlich wurden Untersuchungen zur Bestimmung des Abflusses, der Fließgeschwindigkeit und zum Einfluss einzelner Quellen am Bachlauf durchgeführt. Die Resultate und Erkenntnisse wurden schliesslich 1955 in einer kleinen Publikation zusammengefasst (Nold & Schmassmann, 1955).

Diese Untersuchungen scheinen das Interesse an weiterführender Forschung geweckt zu haben. W. Schmassmann schrieb dann auch: „... [Es handelt sich] um eine Grundlagenforschung, die für die Beurteilung aller weiteren Gewässer in- oder ausserhalb des Nationalparks massgebend sein wird, ...“. An der Ova da Val Ftur wurden auch in den folgenden Jahren weitere Arbeiten vorgenommen.

Anfangs Sommer 1955 wurde bestimmt, dass mit Quelluntersuchungen begonnen werden sollte, die «den Anfang eines Quell-Kataster bilden, welcher, allmählich ausgebaut, in Verbindung mit der Vegetation und der geologischen Struktur gebracht werden soll.» Erste Messungen ausserhalb der Val Ftur waren dann 1958 Tatsache. Im Jahresbericht der Subkommission zu diesem Jahr schreibt W. Schmassmann: «... Das günstige Wetter ermöglichte ihm [H. Nold], an 25 weit auseinander gelegenen Quellen von verschiedenartigem Charakter Untersuchungen durchzuführen und Proben zur weiteren Bearbeitung im Laboratorium in Basel zu fassen.» Bis 1964 wurden so jeden Sommer Quellen untersucht, insgesamt über 100.

Nach dem tragischen Tod von H. Nold im Jahre 1965 entschloss sich W. Schmassmann, seine Aktivitäten im Nationalpark zu beenden. Er stellte einzig die von Nold gesammelten Daten zusammen. Diese sind nun wichtigster Teil des Nachlasses von H.J. Schmassmann.

## 2.3 Methoden

Verglichen mit heute waren die angewandten Methoden für die Analyse der Schmassmann-Quellen sehr aufwändig und basierten auf einer völlig anderen Bestimmungsart als die heutigen Messungen. An Ort und Stelle wurde die Wassertemperatur gemessen, das freie Kohlendioxid bestimmt und der Sauerstoff fixiert. Die übrigen Analysen erfolgten sofort nach Rückkehr aus dem Nationalpark in Basel. Die meisten Bestimmungen wurden durch nasschemische Analysen gemacht. Ob über die gesamte Zeit der Messungen immer exakt die gleichen Methoden zum Einsatz kamen, ist leider nicht nachvollziehbar. Die wichtigsten Methoden werden hier kurz beschrieben, für detailliertere Anleitungen sei auf den Nachlass von Schmassmann verwiesen.



Abbildung 2.2  
Probenahme und Messung einer  
„Schmassmann-Quelle“

### 2.3.1 Feldmessungen

Die Temperaturangaben basierten auf Ablesungen von Quecksilberthermometern, die vollständig ins Wasser gelegt wurden. Die Ablesegenauigkeit betrug ca.  $\pm 0.1$  °C. Neben der Wassertemperatur wurde auch die Lufttemperatur in der Umgebung der Quelle gemessen.

Der gelöste Sauerstoff im Wasser ist nach dem Prinzip der WINKLER-Methode bestimmt worden:

Der im Wasser gelöste Sauerstoff wird in alkalischem Medium mit Mangan(II) zur Reaktion gebracht. Dabei wird dieses äquivalent zum gelösten Sauerstoff zu Mangan(III) oxidiert. Nach der Ansäuerung reagiert dieses mit dem vorgelegten Jodid. Das dabei frei werdende Jod wird anschliessend mit Thiosulfat titrimetrisch bestimmt. Der Verbrauch an Thiosulfat ist dann proportional zum gelösten Sauerstoff im Wasser.

Bei der Berechnung der Sauerstoff-Sättigungs-Konzentration wurde der nach der barometrischen Höhenformel ermittelte Gesamtdruck der trockenen Atmosphäre verwendet. Die Sauerstoff-Sättigung ergibt sich dann aus folgender Formel:

$$\text{Ionenbilanz [\%]} = \frac{\text{Kationen [meq/l]} - \text{Anionen [meq/l]}}{0.5 \times (\text{Kationen [meq/l]} + \text{Anionen [meq/l]})} \times 100$$

Ist die Sauerstoff-Sättigung höher als 100 %, ist das Wasser übersättigt, wenn kleiner als 100 % untersättigt.

Das freie Kohlendioxid wurde durch Titration mit 0.02n-Natronlauge bestimmt. Die Natronlauge führt dazu, dass sich das gelöste CO<sub>2</sub> in HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> umwandelt. Die Messung erfolgte an 200 ml frisch gefasstem Wasser. Als Indikator diente eine alkoholische Phenolphthalein-Kitongrün-Lösung. Der Umschlagspunkt dieses Indikators entspricht demjenigen des Phenolphthalein (pH 8.2), ist aber eindeutiger. Der Verbrauch an Natronlauge bis zum Umschlagspunkt kann dann in eine Konzentration umgerechnet werden.

Ab 1957 wurden auch pH-Messungen am Wasser der Quellen durchgeführt. In den Unterlagen ist leider nicht ersichtlich, welche Methode oder welches Messgerät dafür verwendet wurde.

### 2.3.2 Laboranalysen

Calcium und Magnesium wurden mit Hilfe von Komplexon titriert: Dabei werden die Ca- und Mg-Ionen durch Komplexbildung inaktiviert. Wird ein geeigneter Indikator beigegeben, ändert sich mit der vollständigen Bindung aller Ca- und Mg-Ionen durch das zugegebene Komplexon scharf die Farbe und zeigt so den Endpunkt der Titration an. Für optimale Ergebnisse muss die Probe auf einen pH von 10 gebracht werden. Für die gleichzeitige Bestimmung von Ca und Mg wird Eriochromschwarz T verwendet. Mit Diesem bilden ein Teil der gelösten Ionen eine weinrot gefärbte Verbindung. Das Komplexon verbindet sich zuerst mit den freien Ca- und Mg-Ionen, entzieht dann aber der Mg-Eriochromschwarz T-Verbindung das Mg, was zu einer Farbänderung von weinrot nach blau führt. Für die Bestimmung des Ca

eignet sich Murexid (Ammoniumpurpurat) besser als Indikator. Dieser schlägt von blauviolett nach rotviolett um.

Die Bestimmung von Hydrogencarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) wurde durch Titration der Wasserprobe mit 0.1 n HCl bis zum Umschlagspunkt von Methylorange durchgeführt.

Sulfat wurde als Bariumsulfat gefällt und der zugesetzte Überschuss an Barium mit Komplexon zurückgemessen: In die siedende Wasserprobe wird Bariumchlorid ( $\text{BaCl}_2$ ) gegeben. Die Sulfat-Ionen verbinden sich mit den Ba-Ionen zu Bariumsulfat, das ausfällt. Das überschüssige Barium wird dann durch Rücktitration mit Komplexon bestimmt. Die Ba-Ionen verhalten sich komplexometrisch gleich gegenüber Eriochromschwarz T wie die Ca-Ionen. Aus der Differenz zwischen dem zugegebenen und dem rücktitrierten Barium ergibt sich der Sulfat-Gehalt.

Chlorid wurde ebenfalls durch Titration mit Silbernitrat-Lösung bestimmt: Cl-Ionen bilden mit Ag-Ionen das unlösliche Silberchlorid. Als Indikator wird Kaliumchromatlösung verwendet. Sind alle Cl-Ionen aufgebraucht, so wird rotes Silberchromat gebildet. Der Verbrauch an Silbernitrat bis zum Farbumschlag lässt sich dann in Chlorid-Gehalte umrechnen.

Für die Nitratbestimmung wurde die Natriumsalicylat-Methode verwendet: Das zu untersuchende Wasser wird mit Natriumsalicylat versetzt und anschliessend zu einem trockenen Rückstand eingedampft. Das Natriumsalicylat reagiert in saurem Milieu zu Nitrosalicylsäure. Zum Rückstand wird also konzentrierte Schwefelsäure gegeben, anschliessend gespült und durch Zugabe von Natronlauge alkalisch gemacht. Dabei entsteht das farbige (gelbe) Ion der Nitrosalicylsäure. Die entstandene Färbung wird mit denjenigen der Vergleichslösungen verglichen.

Gelöste Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) führt zu einer Gelbfärbung wenn der angesäuerten Wasserprobe Ammonmolybdat beige setzt wird. Will man quantitativ messen, muss man die Gelbfärbung mit einer Lösung aus Kaliumchromat und Borax vergleichen. Das verwendete Volumen dieser Lösung ist dann proportional zum Kieselsäuregehalt, welcher dann in  $\text{SiO}_2$  umgerechnet werden kann. Die Genauigkeit ist dabei auf ganze mg beschränkt.

## 2.4 Verwendbarkeit der Daten

Abbildung 2.3 zeigt ein Piper-Diagramm (siehe Kapitel 4.1.3) mit den Analysen aller „Schmassmann-Quellen“. Zum Vergleich wurden zusätzlich die jüngeren Messungen eingetragen. Es zeigt sich, dass bei den Anionen ähnliche Konzentrationsverteilungen auftreten, während bei den Kationen der Natriumgehalt massiv höher ist. Dies kann zwei Ursachen haben: Einerseits könnte sich das Wasser in den letzten fünfzig Jahren tatsächlich verändert haben, andererseits kann die Veränderung auch ein rein methodisches Problem sein. Erstere scheint doch eher unwahrscheinlich, da sich die geologischen Kriterien über diesen Zeitraum kaum wesentlich verändern. Aus den Unterlagen von Schmassmann geht nicht hervor, wie und ob das Natrium analysiert wurde. In der Publikation zur Val Ftur (Nold & Schmassmann, 1955) werden in einer Tabelle „Alkalien ergänzt (als  $\text{Na}^+$ )“ erwähnt. Dies deutet darauf hin, dass Natrium nicht bestimmt, sondern nur bis zu einer ausgeglichenen Ionenbilanz aufgerechnet wurde. So ist das Diagramm mit Vorsicht zu genießen. Ebenfalls sollten allzu spekulative Aussagen anhand der „Schmassmann-Daten“ vermieden werden. Die Messungen sind wirklich als zeitlich und räumlich punktuelle Information anzusehen. Sie widerspiegeln die Hauptcharakteristika einer Quelle, nicht aber deren zeitliche Veränderung.

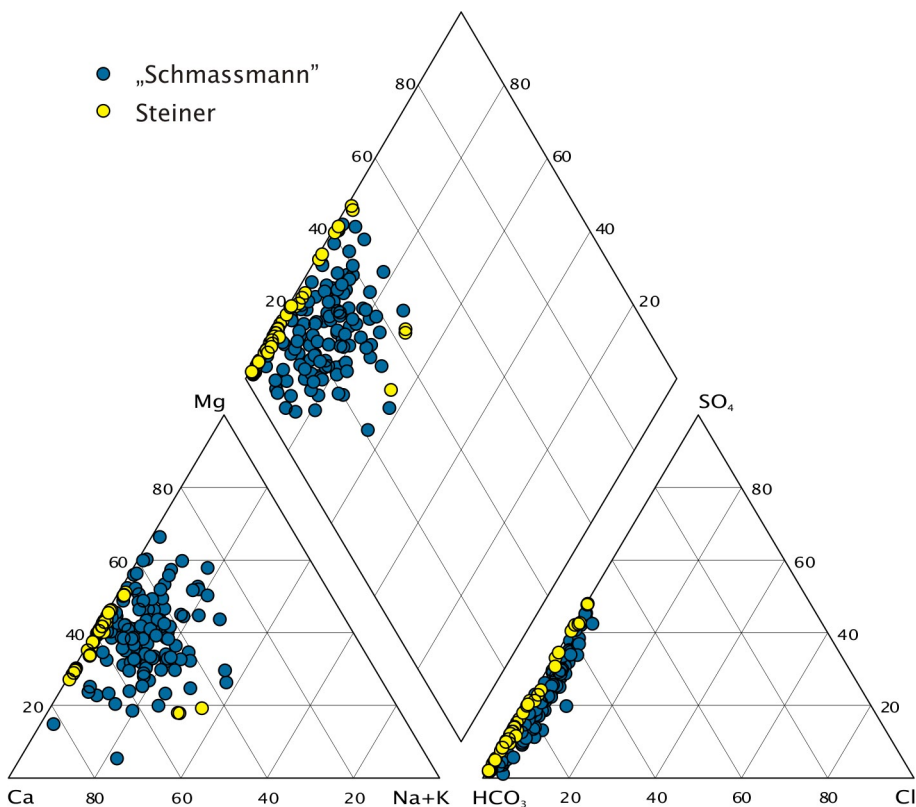


Abbildung 2.3  
Piper-Diagramm der „Schmassmann-Quellen“. Zum Vergleich sind die Messwerte dieser Arbeit ebenfalls aufgeführt.

Mehr Aussagekraft könnten die Daten gewinnen, wenn versucht würde einige Quellen zu suchen und zu beproben. Dabei sollte in Betracht gezogen werden, die Analysen mit den oben beschriebenen Methoden durchzuführen.



### 3 Methoden

Seit den Messungen und Analysen der „Schmassmann-Quellen“ sind mittlerweile viele Jahre vergangen und so haben sich auch die Methoden stark verändert. Heute werden kaum mehr quantitative Analysen nasschemisch durchgeführt. Es stehen raffinierte Messgeräte zur Verfügung, die einem viel Arbeit abnehmen. Trotzdem müssen die angegebenen Resultate kritisch beurteilt werden, ob diese auch wirklich Sinn machen.

Im Folgenden werden die verwendeten Mess- und Analysemethoden kurz beschrieben. Die Messresultate der einzelnen Messungen werden in einem Quell-Datenblatt zusammengefasst und sind im Anhang dieser Arbeit zu finden.

In der Folge werden einige Diagramme verwendet, die den zeitlichen Verlauf verschiedener Parameter darstellen. Für eine bessere Übersicht wurden die Messpunkte der einzelnen Quellen mit gestrichelten Linien verbunden. Diese Verbindungen der punktuellen Messungen sollen aber keinesfalls Interpolationen über den zeitlichen Verlauf sein. Dafür wären häufigere und regelmässige Messungen resp. Analysen nötig. In den Diagrammen werden oft auch die Daten der Jahre 2001 und 2002 von Strasky (2003) und Haemmig (2003) und des Jahres 2003 von Margreth (2004) verwendet.

#### 3.1 Feldmessungen

Während drei Messtouren zwischen Juni und Oktober 2004 wurden jeweils von den Quellen Wasserproben genommen und verschiedene physikalische und chemische Parameter vor Ort gemessen. Zusätzlich wurden im April 2005 die Quellen bei Buffalora beprobt und gemessen. Während dieser Zeit lagen im Gebiet ca. 0.5 m Schnee.

Temperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt und Redoxpotential wurden mit Hilfe des Universal-Taschenmessgerät Multiline P4 der Firma WTW gemessen. Zur Messung werden die verschiedenen Sonden möglichst nahe des Quellaustritts voll ins strömende Wasser eingetaucht. Wo dies wegen zu geringer Strömung oder Schüttung nicht möglich war, wurde eine kleine Mulde am Austritt geformt, worin dann gemessen wird. Diese Messung vor Ort ist sehr wichtig, da sich die physikalischen und chemischen Parameter rasch verändern können. Auch sind die Umgebungsbedingungen bei späterer Messung nicht mehr gegeben. Abbildung 3.1 soll diese Abhängigkeit

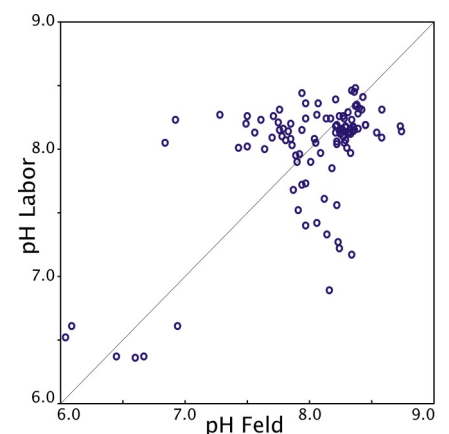


Abbildung 3.1  
Vergleich von pH-Werten aus Labor- und Feldmessungen.

illustrieren. Sie zeigt einen Vergleich der pH-Messungen im Feld und im Labor.

Bei jeder Quellmessung wurde eine Wasserprobe genommen. Um die Proben möglichst gut bis zur Analyse zu konservieren, wurden sie direkt bei der Probennahme filtriert und die Flaschen möglichst luftfrei aufgefüllt. Anschliessend wurden die Proben im Kühlschrank gelagert und möglichst schnell mit den Ionenchromatographen analysiert.

### 3.1.1 Temperatur

Die Wassertemperatur von Quellen ist ein wichtiger Faktor zur Beurteilung einer Quelle. Besonders wichtig sind jahreszeitliche Schwankungen. Diese geben eine grobe Auskunft über die Verweildauer des Wassers im Grundwasser. Bleibt Wasser lange im Berg, so gleichen sich Temperaturschwankungen aus. Das Wasser erhält etwa die durchschnittliche Jahrestemperatur des jeweiligen Ortes (Matthess, 1994). Wird eine Quelle nur durch oberflächennahes Wasser gespeist, so schwanken die Temperaturen stärker, da die Verweilzeit im Allgemeinen viel kürzer ist. Abbildung 3.2 zeigt die Temperaturmessungen zweier Quellen im Vergleich.

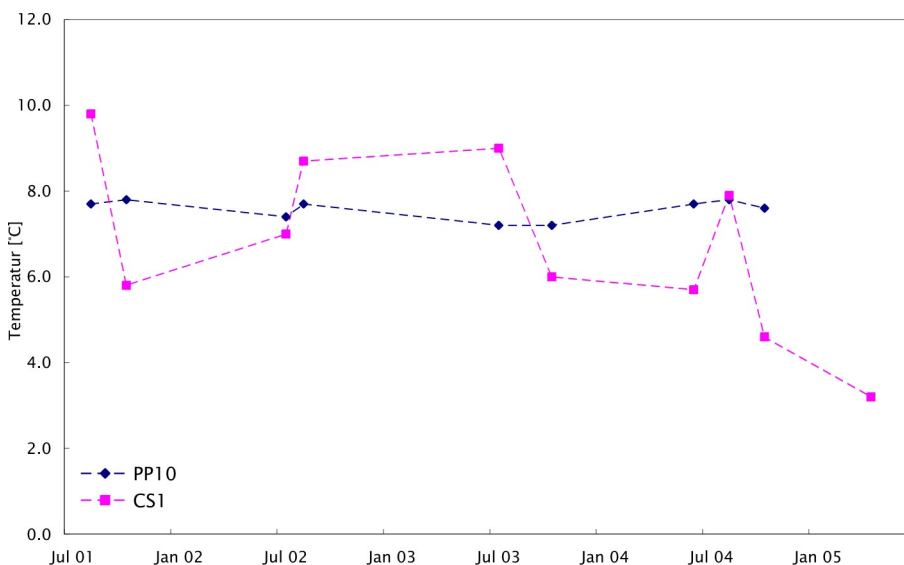


Abbildung 3.2  
Vergleich der Temperaturmessungen  
zweier Quellen.

Die Temperatur ist ebenfalls wichtig für die chemischen Prozesse zwischen dem Umgebungsgestein und dem Wasser. Besonders die Löslichkeit ist stark temperaturabhängig, so kann es zur Ausfällung von Mineralien kommen, wenn sich das Grundwasser plötzlich abkühlt.

Die Messung erfolgte mit dem Temperatur-Sensor der pH-Sonde. Dieser hat eine Genauigkeit von 0.1 °C. Die Werte schwanken zwischen 0.0 °C (Blockgletscherquelle auf Macun) und 12.2 °C (BU5, Bach bei

Buffalora). Durchschnittlich werden 4.9 °C gemessen. Leitfähigkeits- und Sauerstoff-Sonde zeigen die Temperatur ebenfalls an, der Nachvollziehbarkeit halber wurde aber immer die gleiche Sonde verwendet.

Im April 2005 konnten während der Messtour Temperaturlogger in die Quellen BU4 und CS1 installiert werden. Diese zeichnen nun jede Stunde die Temperatur auf. Die Daten sollen dann im Herbst ausgelesen werden. Leider können sie für die vorliegende Arbeit nicht mehr berücksichtigt werden. Diese kontinuierliche Messreihe wird sicher noch mehr Aufschlüsse über die Temperaturveränderungen der beiden Quellen geben.

### 3.1.2 pH

Der pH-Wert sagt aus, ob eine wässrige Lösung sauer, neutral oder basisch reagiert. Säuren besitzen einen pH-Wert unter und Laugen einen solchen über dem Neutralwert von 7. Gelöste Stoffe im Wasser können Wasserstoff- ( $H^+$ ) oder Hydroxidionen ( $OH^-$ ) abgeben und so den pH-Wert verschieben.  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $NO_3^-$  und  $Cl^-$  sind vier von wenigen Ionen, die über fast alle pH-Stufen gleich löslich bleiben. Die Löslichkeit der meisten Ionen ist dagegen abhängig vom pH-Wert (Hölting, 1996).

Gemessen wurde der pH mit der pH-Einstabmesskette SenTix 41. Diese wurde jeweils vor den Messungen kalibriert und zeigt eine Auflösung von 0.01 an.

Bei 5 Messungen lag der pH-Wert im leicht sauren Bereich (Macun und 2 Messungen im April 2005), bei den restlichen wurde ein neutraler bis basischer pH festgestellt. Durchschnittlich wurde ein pH von 8.08 gemessen, welcher leicht im basischen Bereich liegt.

### 3.1.3 elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit von wässrigen Lösungen ist ein Mass für die Anzahl gelöster Ionen. Elektrolyte dissoziieren in wässriger Lösung, die dabei entstehenden Ionen machen die Lösung elektrisch leitfähig. Unterschiedliche Ionen haben einen verschieden grossen Einfluss auf die elektrische Leitfähigkeit. Da die Beweglichkeit der Ionen mit höherer Temperatur zu- und mit kleinerer abnimmt, ist die Leitfähigkeit temperaturabhängig. Nach Matthess (1994) reicht die elektrische Leitfähigkeit von süssen Grundwässern von 30 bis 2000  $\mu S/cm$ . Die elektrische Leitfähigkeit ist der Kehrwert des elektrischen Widerstandes.

Mit der Sonde TetraCon 325 wurde die elektrische Leitfähigkeit gemessen. Diese Sonde ist sehr zuverlässig und gibt den Messwert mit einer Genauigkeit von einem Prozent an (Im Temperaturbereich von 15 - 35 °C).

Die Messungen der Leitfähigkeit ergaben Werte von 12 bis 471  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Auffallend ist, dass die Quellen auf Macun Werte von nur 12 bis 16  $\mu\text{S}/\text{cm}$  zeigten. In den anderen Untersuchungsgebieten lag der tiefste Wert aber bei 123  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Durchschnittlich betrug die elektrische Leitfähigkeit aller Messungen 265  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dieser Wert liegt nach Hölting (1996) im unteren Bereich von süßen Grundwässern (30 - 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

### 3.1.4 Redoxpotential

Die Wasserlöslichkeit verschiedener Ionen hängt unter anderem auch von ihrer jeweiligen Oxidationsstufe ab. Sind elektrochemische Potentiale im Wasser vorhanden, so finden Redox-Reaktionen statt, bei denen Elektronen ausgetauscht werden. Die Redoxspannung sagt aus, wie stark reduzierend oder oxidierend eine Lösung gegenüber einer Normalwasserstoffelektrode ist. Positive Werte stehen für oxidierende, negative für reduzierende Verhältnisse. Im oxidierenden Bereich tritt Schwefel und Stickstoff als Sulfat und Nitrat auf. Im reduzierten Bereich würden anstatt der sauerstoffreichen Schwefel- und Stickstoffverbindungen sauerstoffärmere auftreten (z.B.  $\text{H}_2\text{S}$  statt  $\text{SO}_4$  oder  $\text{NH}_4$  statt  $\text{NO}_3$ ; Jäckli, 1970)

Die Messung erfolgte mit der Redox-Einstabmesskette SenTix ORP. Eine Platinelektrode übernimmt hier die Messung. Die Nachvollziehbarkeit der Redox-Messwerte ist aus verschiedenen Gründen schwierig. So kann eine lange Zeit vergehen, bis sich ein stabiler Wert des Redoxpotentials einstellt. Ein weiteres Problem ist, dass sich die Redox-Einstabmesskette nicht kalibrieren lässt, wie die anderen Sonden. Es lässt sich einzig mit einer Kontrolllösung beurteilen, ob das Resultat noch plausibel ist. Die Übertragbarkeit dieser „Kontrolle“ auf die im Feld gemessenen Werte ist aber schwierig.

Alle durchgeführten Messungen zeigen oxidierende Verhältnisse der Wässer an. Die Werte reichen von minimal 33 mV bis 284 mV (im Durchschnitt 184 mV). Auffallend ist, dass die Werte vom 26. Oktober 2004 alle sehr tief sind im Vergleich zu vorangehenden Messungen. Dies ist wohl auf einen Sondendefekt zurückzuführen.

### 3.1.5 Sauerstoffkonzentration

Sauerstoff kann sich im Wasser bis zur Sättigungskonzentration lösen. Diese ist abhängig von Temperatur, Druck und gelösten Stoffen. Je tiefer die Temperatur, desto höher ist die Sättigungs-Konzentration. Jäckli (1970) nimmt für Wasser bezüglich Sauerstoff eine Zweiteilung vor: Ein „normaler“ Typus mit genügend Sauerstoff. Darin treten die gelösten Ionen in ihrer oxidierten Form auf. Im Gegensatz dazu steht der „reduzierte“ Typus, mit bescheidenem Sauerstoffgehalt und reduzierten Spezies. Es besteht also ein wichtiger Zusammenhang zwischen dem Sauerstoffgehalt und den Redox-Verhältnissen.

Der Sauerstoffgehalt wurde mit der Sauerstoff-Sonde Cellox 325 gemessen. Diese Sonde muss für eine korrekte Messung vom fließenden Wasser angeströmt werden. Sie erreicht eine Genauigkeit von  $\pm 0.5\%$  des Messwerts. Besonders in Quellen mit kleiner Schüttung und wenig Strömung im Abfluss muss die Sonde leicht bewegt werden. Ein weiteres Problem für die Sauerstoffmessung ist, wenn eine Quelle sehr sprudelnd aus dem Untergrund tritt. Durch das turbulente Fließen wird Sauerstoff aus der Luft „eingemischt“ und verändert das Resultat der Messung. Auch ist der Membrankopf der Sonde sehr anfällig und kann leicht beschädigt werden.

Die Werte der Sauerstoff-Messungen variieren zwischen 6.33 und 12.00 mg O<sub>2</sub>/l. Sie liegen im Durchschnitt bei 9.53 mg O<sub>2</sub>/l.

### 3.1.6 Wasserhärte

#### Gesamthärte

Die Gesamthärte eines Wassers ist bedingt durch seinen Gehalt an „Härtebildnern“. Diese sind die Salze der Erdalkalimetalle Calcium, Magnesium, Strontium und Barium. Allgemein wird die Gesamthärte als Gehalt eines Wassers an Calcium- und Magnesium-Ionen definiert („Härteionen“). Vielfach werden Härten in Härtegraden angegeben, die von Land zu Land unterschiedlich sind. International einheitlich und klar ist dagegen die Angabe der Härte in Äquivalent-Konzentrationen (mmol/l). Tabelle 3.1 zeigt die Einteilung des Wassers in die sechs Härtekategorien nach dem Schweizerischen Lebensmittelbuch (SLMB).

Bezeichnung	Gesamthärte
sehr weich	0 - 0.7 mmol/l
weich	0.7 - 1.5 mmol/l
mittelhart	1.5 - 2.5 mmol/l
ziemlich hart	2.5 - 3.2 mmol/l
hart	3.2 - 4.2 mmol/l
sehr hart	> 4.2 mmol/l

Tabelle 3.1  
Die Härtekategorien von Wasser nach dem SLMB (BUWAL, 2003)

Die Messung wurde im Feld mit dem Aquamerck Gesamthärte-Test durchgeführt. Dabei wird 5 ml der Wasserprobe drei Tropfen Indikator zugegeben. Die Lösung wird rot. Langsam wird der Probe die Titrierlösung zugegeben, bis der Farbumschlag nach grün erfolgt. Die Gesamthärte ergibt sich aus dem Verbrauch an Titrierlösung. Die Genauigkeit dieser Methode liegt bei ca. 0.1 mmol/l, was auch der Skala der Pipette entspricht.

Die gemessenen Wässer variierten stark von sehr weich bis ziemlich hart (durchschnittlich 1.6 mmol/l). Sie bewegen sich zwischen 0.3 und 2.8 mmol/l.

### Carbonathärte

Die Carbonathärte ist ein Teil der Gesamthärte. Sie entspricht jenem Teil der Erdalkaliionen (meist  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$ ), welcher dem Gehalt an Hydrogencarbonat, Carbonat und gelöster Kohlensäure entspricht. Für die gemessenen Wässer sind vor allem die Hydrogencarbonat-Ionen für die Carbonathärte verantwortlich.

Wie die Gesamthärte wurde auch die Carbonathärte mittels Titration im Feld bestimmt. Hierfür wurde der Aquamerck Carbonathärte-Test verwendet. Die Methode funktioniert nach dem gleichen Prinzip. In diesem Fall schlägt die Probe von blau nach rot um, wenn der Endpunkt der Titration erreicht ist.

Die Werte bewegen sich zwischen 0.2 und 5.2 mmol/l. Bei vielen Quellen ist der Wert der Carbonathärte höher als die Gesamthärte. Es sind im Wasser also mehr Hydrogencarbonationen als Erdalkaliionen vorhanden. Nach Hölting (1996) ist dies ein Hinweis auf Ionenaustauschprozesse in Austauschwässern.

### 3.1.7 Schüttung

Als Schüttung wird die pro Zeiteinheit der Quelle entströmende Wassermenge bezeichnet. Die Variabilität von Quellschüttungen gibt Auskunft über die hydrogeologischen Verhältnisse im jeweiligen Einzugsgebiet. Quellen mit kleinen Einzugsgebieten reagieren im Allgemeinen schnell auf Niederschläge, da nur eine geringe Speicherkapazität für Wasser vorhanden ist (Matthess & Ubell, 1983). Quellen mit grossem Einzugsgebiet oder Wasser aus tiefen Grundwasserleitern zeigen dagegen eine beinahe konstante Schüttung im Laufe der Zeit.

Gemessen wurde die Schüttung mit Hilfe eines Messbechers und einer Stoppuhr. Dabei wird versucht, möglichst alles Wasser aus der



Abbildung 3.3  
Die Aquamerck-Härtetests im Einsatz  
(Foto: A. Graf)

Quelle mit dem Messbecher einzufangen und die Zeit zu messen. Diese Methode eignet sich vor allem für punktförmige Quellen mit mittlerer Schüttung. Bei flächenhaften Quellen, Quellhorizonten oder grösseren Bächen muss die Schüttung abgeschätzt werden. Oft sind auch Vergleiche mit älteren Messungen hilfreich für die Abschätzung (Abb. 3.4).

Die Schüttungen schwanken zwischen 0.5 und 400 l/min für die verschiedenen Quellen. Dabei wurden die beprobten Bäche nicht berücksichtigt. Aus allen Schüttungsmessungen ergibt sich dann ein Durchschnittswert von 73 l/min.



Abbildung 3.4  
Vergleich der Schüttungen der Quelle  
CS1 vom 16.4.05 und 16.6.04.

## 3.2 Laboranalysen

### 3.2.1 Ionenchromatographie

Die Ionenchromatographie ist eine wichtige Art der Flüssig-Chromatographie für die Analyse von Lösungen anorganischer Anionen und Kationen, Übergangsmetallen, organischen Säuren und Basen (Weiss, 1995). Wie bei allen Arten der Chromatographie wird ein Substanzgemisch in die Einzelemente aufgetrennt. Diese Durchlaufen in der Folge zeitversetzt ein Messgerät, das die Konzentrationen der einzelnen Ionen misst. In der Ionenchromatographie findet diese Auftrennung in der Chromatographiesäule statt, welche die stationäre Phase bildet. Das Material der Säule besteht dabei jeweils aus entgegengesetzt geladenen Teilchen. Durch die Körner in der Säule fließt nun die mobile Phase. Sie besteht aus dem Eluenten und der eingespritzten Probe. Die unterschiedlichen Ionen werden verschieden stark in der Säule zurückgehalten. Ungeladene Teilchen durchwandern die Säule ohne zurückgehalten zu werden. Sie tun dies in einer bestimmten Zeit, der sogenannten Totzeit. Je stärker die Ladung eines Ions ist und je grösser dessen Affinität zum Säulenmaterial ist, desto stärker wird es zurückgehalten. Das ergibt folgende Reihenfolge für das Auftreten der Ionen am Ende der Trennsäule:

Anionen:  $F^-$  -  $Cl^-$  -  $NO_3^-$  -  $SO_4^{2-}$

Kationen:  $Na^+$  -  $K^+$  -  $Mg^{2+}$  -  $Ca^{2+}$

Würde man direkt nach der Säule das Chromatogramm erstellen, so wären die Peaks von einem hohen Hintergrundrauschen, das durch die Leitfähigkeit des Eluenten verursacht wird, abgeschwächt. Darum durchfließt die Probe den Suppressor. Dort wird die Leitfähigkeit des Eluenten minimiert, so dass die Peaks deutlicher hervortreten und besser quantifiziert werden können. Die Abbildung 3.5 zeigt ein für viele der Quellen typisches Chromatogramm der Kationen.

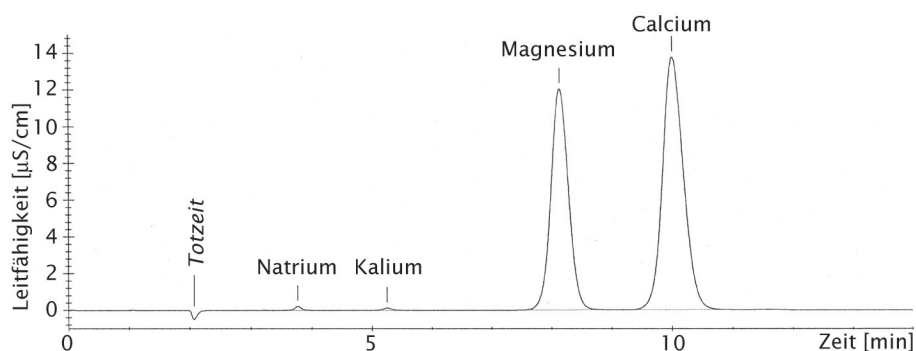


Abbildung 3.5  
Typisches Chromatogramm einer  
Wasseranalyse (Kationen der Quelle  
CS1, Messung vom 16.6.2004)



Dabei wird die elektrische Leitfähigkeit gegenüber der verstrichenen Zeit aufgetragen. Aus der Fläche der Peaks wird anschliessend eine Konzentration berechnet. Diese wird in ppb (parts per billion), also in  $\mu\text{g/l}$  angegeben.

Am Institut für Geologie stehen für die Wasseranalysen zwei Ionenchromatographen DX-120 der Firma Dionex zur Verfügung. So können Anionen und Kationen jeweils parallel gemessen werden. Vor jeder Messserie müssen die Ionenchromatographen mit neu hergestellten Standardlösungen frisch kalibriert werden. Die Bestimmungsgrenze für die gelösten Ionen liegt bei 10 bis 200  $\mu\text{g/l}$ , die Genauigkeit wird mit bis zu 5 % angegeben.

Die Wasserproben mussten möglichst schnell mit Hilfe der Ionenchromatographen analysiert werden, um allfällige Veränderungen in der Wasserzusammensetzung zu verhindern. Da die sofortige Analyse nicht immer möglich war, filtrierte man das Wasser direkt bei der Probenahme. Diese Filtration ist generell wichtig für die Analyse mit den Ionenchromatographen. Allfällige Partikel in der Probe können die Trennsäule oder andere Leitungen verstopfen und so das Gerät beschädigen.

### 3.2.2 Titration des Hydrogencarbonats

Die Alkalinität (oder auch Alkalität genannt) ist die Fähigkeit zur Säureneutralisation. Üblicherweise wird sie durch Titration mit Salzsäure bis zum Umschlagspunkt des Phenolphthaleins (pH 8.2; p-Wert) und des Methylorange (pH 4.3; m-Wert) bestimmt. In den meisten natürlichen Wässern beruht die Alkalinität auf den Karbonat- und Hydrogencarbonat-Ionen. Sie lässt sich folgendermassen definieren:

$$[\text{Alkalinität}] = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]$$

Die Analyse gibt zwei Werte: den p-Wert und den m-Wert. Abhängig von deren Verhältnis zueinander wird der Verbrauch an Säure der einen oder anderen Spezies zugewiesen (Tabelle 3.2).

Titrationsergebnis	$\text{OH}^-$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$
$p = 0$	0	0	m
$p < 1/2 m$	0	2 m	$m - 2 p$
$p = 1/2 m$	0	2 m	0
$p > 1/2 m$	$2p - m$	$2(m - p)$	0
$p = m$	m	0	0

Tabelle 3.2  
Verteilung der Kohlenstoffspezies aufgrund des Titrationsergebnis (Hölting, 1996)

Der m-Wert aus der Analyse bewegt sich zwischen 0.08 und 4.71 mmol/l. Der p-Wert ist meist null, maximal aber 0.12 mmol/l. Dies ist auch aus den pH-Werten ersichtlich, die meist bereits unter 8.3 liegen, also unter dem Umschlagspunkt des Phenolphthalein. Die Alkalinität wird darum zum grössten Teil dem Hydrogencarbonat zugeschrieben.

### 3.3 Datenbank

Ein Ziel dieser Arbeit ist es, alle bisherigen Quellmessungen zusammenzutragen und aufzuarbeiten. Dazu wurde in Access eine Datenbank erstellt, die einerseits alle Quellen und andererseits alle Messungen umfasst. Die Quellen-Tabelle enthält die Position und die Art der Quelle. Dazu wird erfasst, in welchen Arbeiten die entsprechenden Quellen gemessen wurden. Die Tabelle der Messungen ist direkt mit der Quellen-Tabelle verknüpft. In dieser Tabelle werden alle Feldmessungen und Laboranalysen erfasst. Neue Messresultate resp. Quellen können laufend hinzugefügt werden.

Die „Schmassmann-Quellen“ (Schmassmann, unver.) sind dabei von den jüngeren getrennt. In den 50er- und 60er-Jahren des letzten Jahrhunderts wurde nach anderen Kriterien analysiert und die Methoden unterscheiden sich deutlich von den heutigen. Darum lassen sich die Werte nur schlecht innerhalb einer einzigen Tabelle zusammenfassen.

Wird die Datenbank mit einer GIS-Software (Geografisches Informations-System) verknüpft, lassen sich die Quellen auf einer Karte graphisch darstellen. Je nach Fragestellung kann dies eine topographische, eine geologische oder tektonische Karte sein, die hinter die Quellen gelegt wird.

## 4 Auswertung

### 4.1 Signale im Wasser

#### 4.1.1 Niederschlag

Das Grundwasser von dem die Quellen gespeist werden entsteht zu grossen Teilen aus Niederschlägen, die vom Boden in den Untergrund versickert sind. Feinste Partikel und Aerosole in der Luft sind wichtig für die Tropfenbildung in der Atmosphäre. Diese Stoffe werden anschliessend mit oder im Regenwasser transportiert. Beispiele dafür sind NaCl von der Gischt im Meer oder  $H_2SO_4$  und  $HNO_3$  von der Verbrennung fossiler Brennstoffe (Berner & Berner, 1987). So ist das Regenwasser also mit kleinen Konzentrationen an gelösten Stoffen beladen. Tabelle 4.1 zeigt, aus welchen Quellen verschiedene Ionen stammen können. Im SNP spielt es für die Zusammensetzung des Regens eine wichtige Rolle, woher die Niederschläge antransportiert wurden. Diese fallen im Nationalpark oft nicht als Regen, sondern als Schnee. Der Gehalt an Ionen kann je nach Niederschlagsart sehr unterschiedlich sein. So wird Sulfat im Schnee knapp dreimal

Herkunft	Ionen
Mariner Input	Cl - Na - Mg - SO <sub>4</sub>
Terrestrischer Input	Al - Fe - Si - Ca - (K, Mg, Na)
Biologischer Input	NO <sub>3</sub> - NH <sub>4</sub> - SO <sub>4</sub> - K
Verbrennung von Biomasse	NO <sub>3</sub> - NH <sub>4</sub> - P - K - Ca - Na - Mg - SO <sub>4</sub>
Industrielle Verschmutzung	SO <sub>4</sub> - NO <sub>3</sub> - Cl
Dünger	K - PO <sub>4</sub> - NH <sub>4</sub> - NO <sub>3</sub>

Tabelle 4.1  
Mögliche Quellen für Ionen im Niederschlag (Berner & Berner, 1987)

	Küstenregen	kontinentaler Regen	Val Chaschauna 21.08.02	Val Laschadura 24.07.99	Schnee Plan da l'Acqua 20.10.04	Schnee Buffalora 16.04.05
	i	i	ii	iii	iv	
Na <sup>+</sup>	1-5	0.2-1	1.42	0.11	0.00	0.83
K <sup>+</sup>	0.2-0.6	0.1-0.5	0.34	0.16	2.81	0.59
Mg <sup>2+</sup>	0.4-1.5	0.05-0.5	0.41	0.06	3.17	0.11
Ca <sup>2+</sup>	0.2-1.5	0.2-4	3.04	3.04	0.73	0.54
NH <sub>4</sub>	0.01-0.05	0.1-0.5	*	*	*	*
Cl <sup>-</sup>	1-10	0.2-2	1.17	0.04	0.08	1.25
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.1-0.5	0.4-1.3	0.00	0.14	5.96	0.32
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1-3	1-3	5.47	0.28	0.21	0.00

Tabelle 4.2  
Analyseresultate von Regen und Schneemessungen

i Berner & Berner, 1987; ii Strasky, 2003; iii Clausen, 2001; iv Margreth, 2004

\* nicht bestimmt

höher konzentriert als im Regen, Natrium, Chlorid und Ammonium etwa doppelt so hoch. Tabelle 4.2 zeigt Durchschnittswerte für Niederschläge und Niederschlagsanalysen im SNP. Auffallend sind dabei die grossen Unterschiede der Ionenkonzentrationen.

## 4.1.2 Prozesse und Gleichgewichte

### Auflösung und Ausfällung

Auflösen und Ausfällen von Mineralien ist die grundlegendste Wechselwirkung zwischen dem Grundwasser und dem umgebenden Gestein. Die Löslichkeit der verschiedenen Stoffe hängt von den Stoffen selbst, deren Löslichkeitsprodukt und Ionenaktivität ab und wird durch die Wassertemperatur, den pH-Wert und das Redoxpotential der Lösung bestimmt. Sind Gase an den Prozessen beteiligt, vor allem  $\text{CO}_2$ , spielt deren Druck eine wichtige Rolle für die Löslichkeit verschiedener Mineralien. Die verbreitetsten löslichen Salze im Untergrund sind Calcit, Dolomit, Anhydrit, Gips und das Natriumchlorid (Hölting, 1996). Neben diesen gut wasserlöslichen Salzen können auch schwer wasserlösliche Minerale wie Silikate und Feldspäte unter der Einwirkung von  $\text{H}^+$ - und  $\text{OH}^-$ -Ionen gelöst werden. Dieser Vorgang bezeichnet man als Hydrolyse. Er entspricht der chemischen Verwitterung von Silikaten. Die dissoziierten Ionen des Wassers greifen Mineraloberflächen an und lösen Ionen aus dem Kristallgitter. Daher werden vor allem  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  und  $\text{K}^+$  gelöst (Hölting, 1996).

Ausfällungen können dann auftreten, wenn plötzlich das Löslichkeitsprodukt eines Minerals überschritten wird. Das kann einerseits durch eine rasche Zunahme der Konzentration eines Ions sein, z.B. durch Mischung zweier Grundwässer, oder durch Veränderung der äusseren Bedingungen, wenn z.B. Grundwasser an die Oberfläche tritt und sich plötzlich der Druck verändert. An den Quellaustritten der untersuchten Quellen wurden keine Ablagerungen von Mineralien festgestellt.

In den Untersuchungsgebieten dieser Arbeit dürfte wohl die Auflösung von Dolomiten und Kalken der Hauptlieferant von Ionen im Wasser sein. Nur in kleinen Konzentrationen werden die Ionen durch Hydrolyse gelöst. Dieser Anteil liegt bei allen Quellen in der gleichen Grössenordnung. Wegen der grösseren Verfügbarkeit von Silikaten - und dem Fehlen von Karbonatgesteinen - auf Macun sind die Werte dort relativ hoch.

## Sorption und Ionenaustausch

Wasser fließt auf seinem Weg durch den Untergrund an vielen sorptiv wirksamen Bestandteilen vorbei. Dabei tritt das Wasser mit der festen Phase in Wechselwirkung. Dabei sind die Adsorption, Desorption und Ionenaustausch die wichtigen sorptiven Prozesse (Hölting, 1996). Bei der Adsorption werden dissoziierte oder nicht dissoziierte Bestandteile des Wassers an Mineraloberflächen gebunden, bei der Desorption werden sie wieder ins Wasser freigegeben. Adsorptions- resp. Desorptionsprozesse sind Gleichgewichtsprozesse zwischen den in der Lösung vorhandenen Stoffen und der Menge der am Adsorbenten angelagerten Stoffe (Hölting, 1996). Praktisch alle im Wasser enthaltenen Stoffe, organisch wie anorganisch, unterliegen sorptiven Prozessen, allerdings in unterschiedlichem Masse. Sorbierend wirksame Minerale sind Zeolithe, Tonminerale, Glimmer, Feldspat, Hornblenden und Augite. Die Adsorption durch Oberflächenkräfte hängt von der Dichte, der Korngrösse, der Porosität sowie der Verteilung im Grundwasserleiter ab.

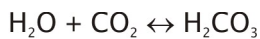
Ionenaustausch kann im Prinzip als eine intensive Adsorption gesehen werden, bei der die Ionen im Kristallgitter eingebaut und gegen andere ausgetauscht werden. Austauschfähig sind in erster Linie Zeolithe und Tonminerale, besonders Montmorillonit. Fast alle diese Ionentauscher weisen in ihrem Gitter Überschussladungen an definierten Gitterplätzen auf, in denen die Kationen oder Anionen durch elektrostatische Anziehung festgehalten werden und die Ladungen ausgeglichen werden. Die Tonminerale tragen in der Regel negative Ladungen und tauschen bevorzugt Kationen aus der Lösung. Anionenaustausch ist viel seltener und wird aufgrund starker Beeinträchtigung der Minerale eher einer chemischen Reaktion gleichgestellt (Hölting, 1996). Die Bindungsfähigkeit der Ionentauscher gegenüber verschiedenen Ionen ist sehr unterschiedlich. Im Allgemeinen ist die Bindungsfähigkeit und somit die Affinität für einen Austauschplatz je grösser, desto höher die Wertigkeit eines Ions ist. Die allgemeine Abfolge der Bindungsintensität der untersuchten Kationen mit abnehmender Intensität ist folgende:



Daraus geht hervor, dass bei genügend langer Kontaktdauer von Grundwasser mit einem Ionentauscher Calcium- und Magnesiumionen gebunden werden können, während schwächer bindende Ionen ins Wasser gelangen. In Analysen können Austauschprozesse daran erkannt werden, dass die Carbonathärte grösser als die Gesamthärte ist (siehe Kapitel 3.1.6).

## Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht

Das chemische Gleichgewicht zwischen den Ionen der Kohlensäure, dem Kohlendioxid und dem Calciumkarbonat bezeichnet man als Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Es bestimmt, ob ein Wasser kalkabscheidenden oder kalkauflösenden Charakter zeigt. Ein kleiner Anteil des gelösten Kohlendioxids im Wasser bildet schwache Kohlensäure.



Diese bildet als schwache Säure zwei Reihen von Salzen, die vom pH-Wert abhängig sind (Höltig, 1996): Hydrogencarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) und Karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Abbildung 4.1 zeigt die Verteilung der verschiedenen Ionen in Abhängigkeit vom pH-Wert. In einem pH-Bereich von ungefähr 6.3 bis 10.3 ist das Hydrogencarbonation die dominierende gelöste Form. In diesen Bereich fallen denn auch die pH-Werte der untersuchten Wässer.

Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht spielt in natürlichen Wässern eine sehr wichtige Rolle. Besonders in Bezug auf die Löslichkeit von Karbonatgesteinen. Calcit ist in reinem Wasser nur gering löslich. In der Gegenwart von gelöstem Kohlendioxid nimmt die Löslichkeit aber markant zu (Matthess, 1994). Für andere Karbonate wie Dolomit oder Magnesit gelten ähnliche Bedingungen betreffend deren Löslichkeit.

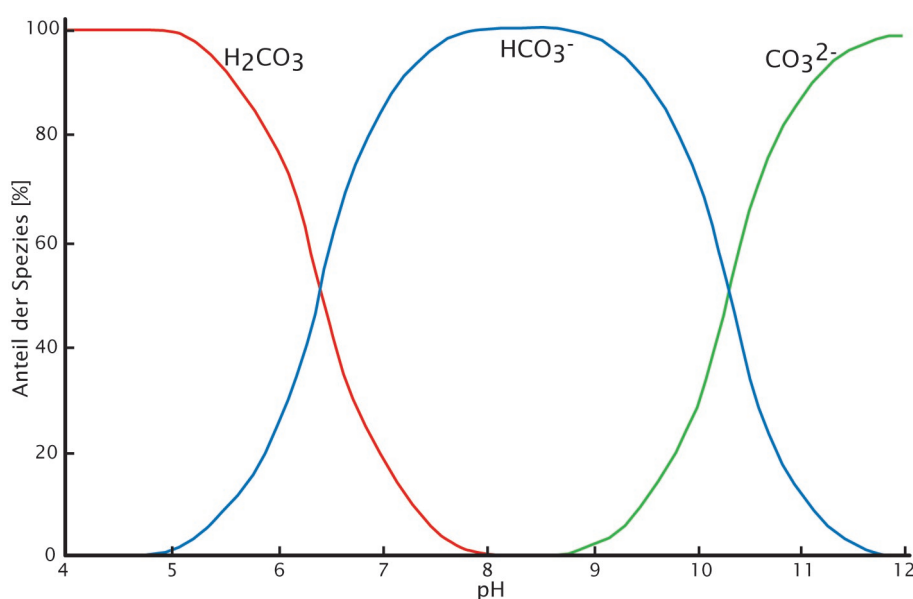


Abbildung 4.1  
Verteilung der Karbonatspezies in Abhängigkeit vom pH-Wert (nach Goldscheider & Hunkeler, 2002)

### 4.1.3 Wassertypen

Für die Charakterisierung von Grundwässern hat Jäckli (1970) eine Nomenklatur vorgeschlagen, die sich seither in der Schweiz etabliert hat. Dafür werden die Gehalte der Kationen und Anionen jeweils in Äquivalentprozente (meq-%) umgerechnet. Für die Ermittlung des Wassertyps werden alle Ionen mit mehr als 10 meq-% berücksichtigt. Sie werden in Reihenfolge ihrer Häufigkeit aufgelistet: zuerst die Kationen, dann die Anionen. Ionen mit mehr als 50 meq-% werden dabei unterstrichen, solche mit weniger als 20 meq-% in Klammern gesetzt.

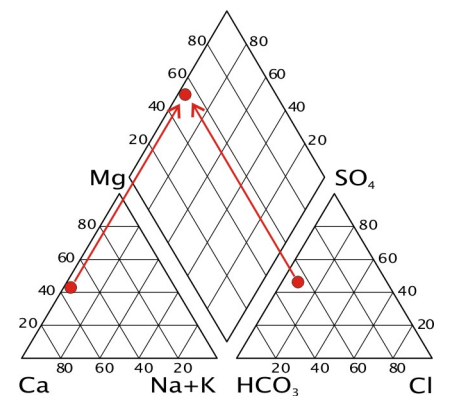
Tabelle 4.3 zeigt eine Übersicht über die Wassertypen der bearbeiteten Quellen. Der Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Typ ist der vorherrschende Wassertyp in den Gebieten von Buffalora, der Val Ftur und der Val Mingèr. Im Spöltal und auf der Plan da l'Acqua ist mehr Sulfat im Wasser vorhanden und darum der Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Sulfat-Typ dominant. Der Gehalt an gelösten Stoffen in den Quellen auf Macun ist sehr gering, darum verteilen sich auch die Anteile auf fast alle Ionen. Dies ergibt einen etwas merkwürdigen Wassertyp, der sich nur schlecht interpretieren lässt.

<b>Buffalora</b>		<b>Spöltal</b>	
BU1	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u>	GS8	<u>Mg</u> -Ca- <u>HCO<sub>3</sub></u>
	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u> -(SO <sub>4</sub> )		<u>Mg</u> -Ca- <u>HCO<sub>3</sub></u> -SO <sub>4</sub>
JL3	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u>	PG3	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u> -SO <sub>4</sub>
BU2	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u> -(SO <sub>4</sub> )	PP10	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u> -SO <sub>4</sub>
	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u>		
BU3	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u> -(SO <sub>4</sub> )	<b>Plan da l'Acqua</b>	
BU4	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u> -(SO <sub>4</sub> )	PA1	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u> -(SO <sub>4</sub> )
BU5	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u>		<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u> -SO <sub>4</sub>
	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u> -(SO <sub>4</sub> )	PA2	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u> -(SO <sub>4</sub> )
BF0	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u>		<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u> -SO <sub>4</sub>
CS1	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u>		
	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u> -(SO <sub>4</sub> )	<b>Macun</b>	
FBU3	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u>	MAC1	Ca-Na-(Mg)-(K)- <u>HCO<sub>3</sub></u> -SO <sub>4</sub> -(F)
		MAC2	<u>Ca</u> -Na-(Mg)-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
		MAC3	<u>Ca</u> -Na-(Mg)-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
<b>Val Ftur</b>		<b>Val Mingèr</b>	
FT7	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u>	MINGER	<u>Ca</u> -Mg- <u>HCO<sub>3</sub></u>

Tabelle 4.3  
Wassertypen der einzelnen Quellen  
nach Jäckli (1970)

Graphische Darstellungen sind sehr geeignet um einen Überblick über die Verteilung im Chemismus der Wässer zu gewinnen. Eine verbreitete Diagrammart ist das Piper-Diagramm. Es besteht aus zwei Dreiecksdiagrammen und einem zu einer Raute verformten Rechteckdiagramm (Abb. 4.2). Die beiden Dreiecke widerspiegeln die Verteilung der Kationen resp. Anionen. In der Raute werden die

Abbildung 4.2  
Schema des Piper-Diagramms. Kationen und Anionen werden jeweils im Dreieck aufgetragen, anschliessend wird der Kreuzungspunkt in der oberen Raute markiert.



Ionen dann kombiniert. Für die Klassifikation werden sieben Bereiche ausgeschieden. In Abbildung 4.3 werden die Namensgebung und die Analyseresultate dargestellt.

Einzig die schwach-konzentrierten Wässer auf Macun weisen einen höheren Alkaligehalt auf (in Abb. 4.3 = rot). Alle anderen haben normalalkalischen Charakter. In den hydrogenkarbonatisch-sulfatischen Bereich fallen einzig die Quelle PP10 und die Messungen der Quellen auf Plan da l'Acqua vom Oktober 2004 (in Abb. 4.3 = blau). In den restlichen Quellen ist der Sulfatgehalt geringer und sie liegen im hydrogenkarbonatischen Bereich (in Abb. 4.3 = gelb).

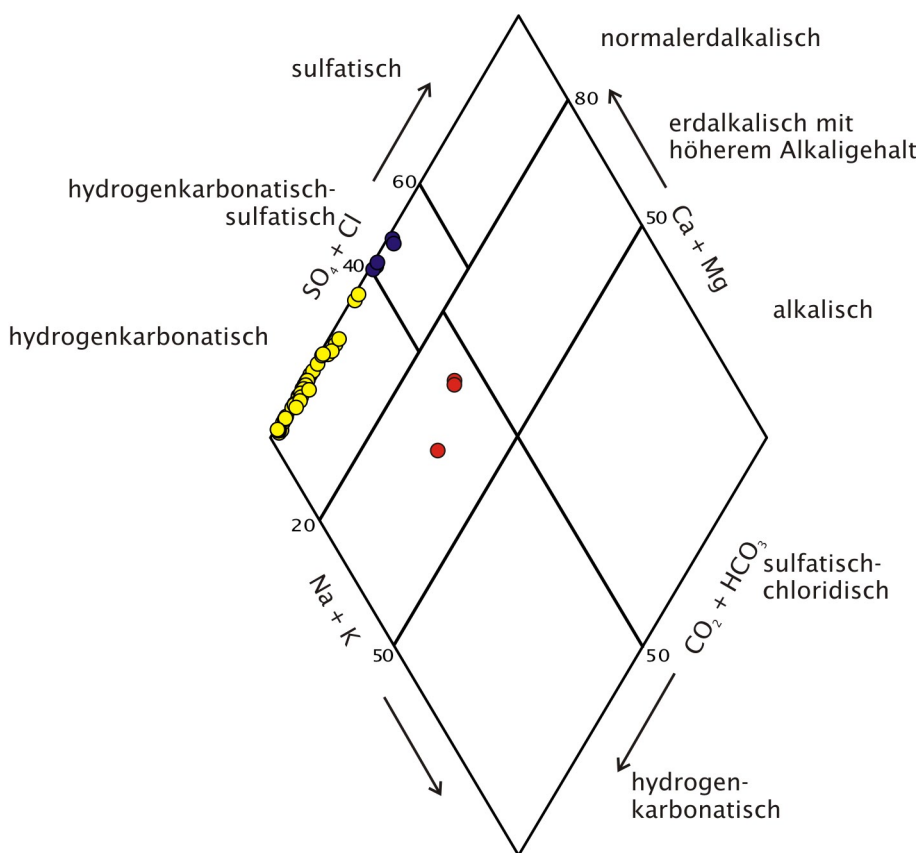


Abbildung 4.3  
Abgrenzung der sieben Grundwassertypen nach Jäckli (1970). Farblich unterschieden sind die verschiedenen Wassertypen.



#### 4.1.4 Quelltypen

Quellen treten in verschiedenen morphologischen Gegebenheiten an die Oberfläche. Im Folgenden werden die wichtigsten drei Quelltypen kurz beschrieben:

##### Lockergesteinsquelle

Die meisten der untersuchten Quellen treten aus Schutthalden und Moränenbedeckung an die Oberfläche. Diese werden als Lockergesteinsquellen bezeichnet. Die Herkunft des Wassers kann aber durchaus eine bedeckte Kluft- oder Schichtquelle sein. Es ist aber im Feld sehr schwierig zu unterscheiden, ob die Quelle wirklich aus dem Lockergestein stammt oder aber nur kurz durch dieses fließt.

##### Schichtquelle (Quellenlinien)

An der Basis einer wasserdurchlässigen über einer wasserundurchlässigen Schicht tritt Wasser oft in Schichtquellen an die Oberfläche, da es unterirdisch nicht mehr abfließen kann. Diese Quellen treten oft entlang von Linien aus, welche durch Schichtgrenzen oder tektonische Störungen definiert sind. Oft ist es schwierig zu entscheiden, ob alles Wasser zu einer einzigen Quelle gehört, oder verschiedener Herkunft ist. Ein gutes Beispiel einer Schichtquelle ist BFO, wo unterhalb einer kleinen Stufe im Gelände über ca. 200 m Breite Wasser aus dem Boden tritt.

##### Kluftquelle

Die einzige Kluftquelle, die im Rahmen dieser Arbeit beprobt wurde, ist die Quelle in der Val Mingèr. Diese Quellen treten dort auf, wo ein ausgedehntes und kommunizierendes Kluftsystem an die Oberfläche trifft. Oft werden die Kluftquellen von Lockergestein überdeckt und sind nicht mehr direkt als solche erkennbar.

## 4.2 Herkunft der gemessenen Ionen

Im Grundwasser gelöste Bestandteile sind Teile des geochemischen Stoffkreislaufs. Dieser reicht vom Stoffbestand der magmatischen Gesteine, über die Verwitterung, die Bildung der Sedimentgesteine, die Zusammensetzung terrestrischer Gewässer bis zur Ausbildung des Meerwassers. Die geochemische Beweglichkeit der Elemente in den verschiedenen Umgebungen spielt dabei eine wichtige Rolle (Matthess, 1994). Weiter ist die Löslichkeit der Ionen sehr wichtig. Die meisten Quellen im SNP sind weit weg von menschlichen Beeinträchtigungen. So stammen die gelösten Ionen primär aus den wasserführenden Gesteinsschichten. Sekundärer Eintrag findet durch Niederschlag statt. Dieser kann durch Schadstoffe des Menschen belastet sein. Quellen, die in der Nähe der Ofenpassstrasse liegen, können zusätzlich mit Stoffen belastet sein, die durch den Boden ins Grundwasser sickern.

Die Gesamtkonzentration aller gelösten Stoffe (TDS, total dissolved solids) gibt einen ersten Überblick über die Eigenschaften eines Wassers. Generell gesehen sind in den Wässern nur wenige Ionen gelöst. Abbildung 4.4 zeigt die durchschnittlichen TDS aller Quellen. Es fällt auf, dass die Quellen auf Macun wenig gelöste Stoffe enthalten, während die Proben aus dem Spöltal (GS8, PG3 und PP10) sowie BF0 die höchsten Konzentrationen gelöster Ionen haben. Der geringe Gehalt an Ionen auf Macun lässt sich mit den anstehenden kristallinen Gesteinen, die im Allgemeinen markant schlechter löslich sind, und auch kurzen Fließwegen im dortigen Kessel begründen.

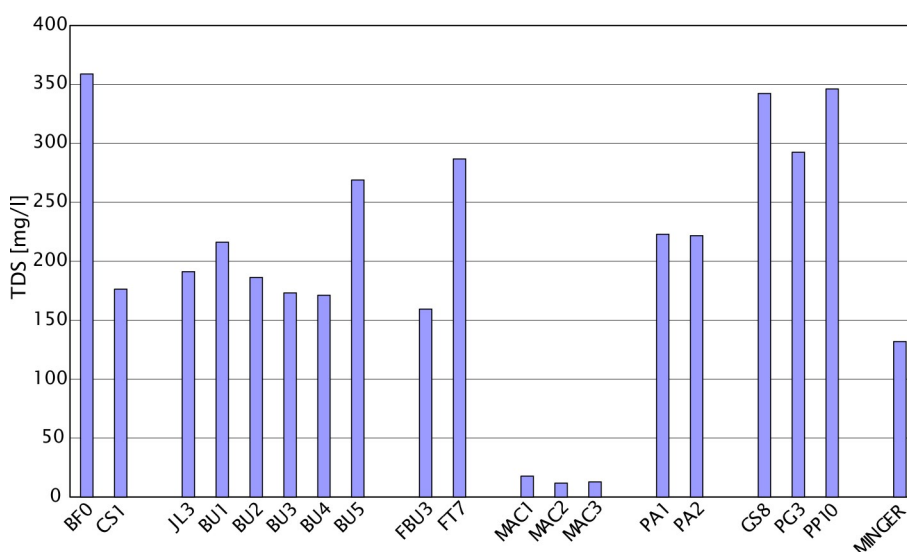


Abbildung 4.4  
Summe der gelösten Ionen (TDS). Werte  
sind Mittelwerte der einzelnen Mes-  
sungen.

## 4.2.1 Anionen

### Fluorid

Fluor wird in Matthes (1994) nur als Nebenbestandteil resp. Spurenelement vorkommend aufgeführt. Es tritt vor allem in Fluorit ( $\text{CaF}_2$ ) oder Apatit ( $\text{Ca}[(\text{F},\text{Cl})(\text{PO}_4)_3]$ ) auf, welche Bestandteile von Magmatiten sind. Fluor kann in Amphibolen und Glimmern als Vertretung für Hydroxylgruppen aufgrund ähnlichen Ionenradius und Ladung gebunden sein. Auch bei der Adsorption an Mineraloberflächen kann diese Vertretung auftreten.

Auch in den Quellen des SNP tritt Fluorid nur in sehr geringen Konzentrationen auf; maximal sind es knapp 0.8 mg/l.

### Chlorid

Mehr als drei Viertel der bekannten Chlormenge innerhalb der obersten 16 km der Erdkruste und der Hydrosphäre ist im Meerwasser als Chlorid gelöst (Matthes, 1994). Es dürfte von Entgasungen der Erdkruste in der frühen Entwicklung der Erde stammen. In den Gesteinen, die in der Umgebung der Quellen auftreten (v.a. Dolomit- und Kalksteine) ist Chlorid nur in kleinen Konzentrationen zu finden. Vor allem dort, wo Sedimente kleine Mengen Steinsalz oder NaCl-Lösungen im Porenraum enthalten nimmt die Konzentration zu.

Chlorid ist als zyklisches Salz im Niederschlag in Meeresnähe stark angereichert, die Konzentration nimmt aber landeinwärts schnell wieder ab. Daneben kommt es in terrestrischen Staubteilchen, aus vulkanischen Emissionen und als anthropogene Verunreinigung in die Atmosphäre. Lokal können auch Chloridhaltige Abfallstoffe, Düngemittel und Streusalz die Konzentration im Wasser erhöhen.

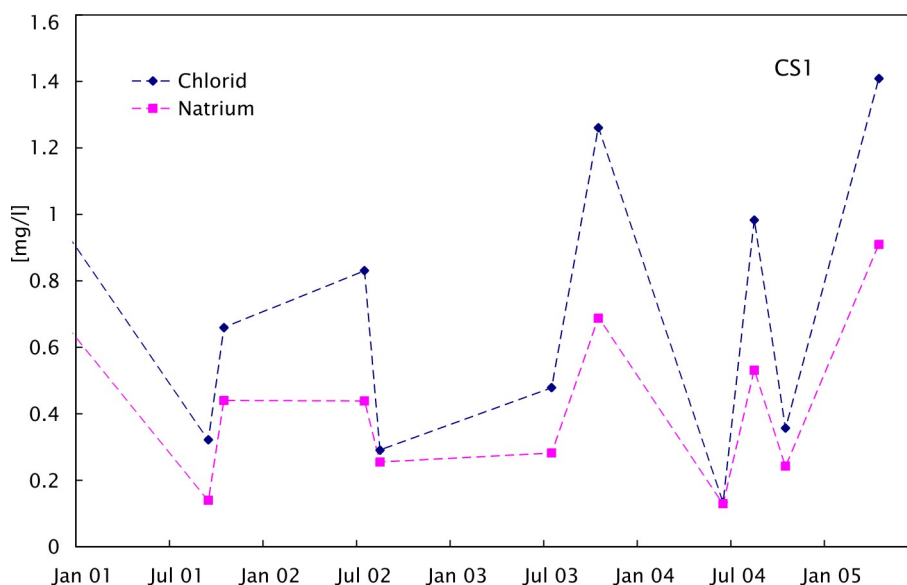


Abbildung 4.5  
Natrium- und Chloridanalysen der Quelle CS1. Auffallend die hohen Werte im Oktober 2003 und April 2005. An diesen Tagen lag Schnee am Ofenpass.

Maximal wurden 1.5 mg Cl<sup>-</sup>/l gemessen, durchschnittlich aber nur 0.35 mg Cl<sup>-</sup>/l. Auffallend sind zwei erhöhte Chloridwerte der Quelle CS1 (22.10.2003 und 16.4.2005; Abb. 4.5), während die restlichen Werte dieser Quelle unter 1 mg Cl<sup>-</sup>/l liegen. Die Quelle liegt unmittelbar unterhalb der Ofenpassestrasse bei Chasa dal Stradin. An beiden Tagen gab es in diesem Gebiet Schneefälle, was den Einsatz von Streusalz auf der Ofenpassestrasse erforderte. Dieses gelöste Salz fand dann seinen Weg relativ schnell ins Quellwasser.

## Nitrat

Stickstoffverbindungen werden dem Grundwasser vor allem im Regenwasser zugeführt. Sie werden durch biologische Prozesse umgesetzt. Dabei kann überschüssiger Stickstoff ausgewaschen werden. Das Nitrat ist die am höchsten oxidierte Stufe dieser N-Verbindungen. Ist Sauerstoff zugegen, wird organisch gebundener Stickstoff über Aminosäuren und Ammonium zu Nitrit und eben schliesslich zu Nitrat oxidiert (Matthess, 1994). Intensive Landwirtschaft kann örtlich den Eintrag von Nitrat ins Grundwasser erhöhen.

Aus diesem Grund wäre in den Gebieten zwischen der Ofenpassestrasse und Alpe Buffalora mit erhöhten Nitratwerten zu rechnen, besonders bei der Quelle BF0, die gerade unterhalb einer grossen Weide austritt. Sie betragen durchschnittlich aber nur ca. 1 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l, was nur unbedeutend über dem Gesamtdurchschnitt aller Quellen liegt. Erhöhte Nitratgehalte zeigen nur die beiden Quellen auf der Plan da l'Acqua, wo aber eine Verschmutzung durch landwirtschaftliche Aktivitäten ausgeschlossen werden kann. Dort muss der erhöhte Nitratgehalt aus dem Gestein oder aus biologischen Aktivitäten in der Quelle stammen.

## Sulfat

In Gesteinen tritt Sulfat vor allem in Evaporiten im Gips (CaSO<sub>4</sub> · 2 H<sub>2</sub>O) und Anhydrit (CaSO<sub>4</sub>) auf. Durch Verwitterung dieser und anderer Schwefelverbindungen gelangt Sulfat ins Grundwasser. Weiter können beträchtliche Sulfatmengen durch Niederschläge eingetragen werden. Diese stammen einerseits natürlich als zyklische Salze oder terrestrischen Staub und andererseits aus anthropogenen Verunreinigungen der Atmosphäre. Besonders wichtig ist das SO<sub>2</sub> in den industriellen Rauchgasen (Matthess, 1994). Diese können über grosse Distanzen in der Atmosphäre transportiert werden, bevor sie schliesslich ausregnen. Als letzte Sulfatquelle sei noch der Eintrag ins Grundwasser durch den Abbau organischer Verbindungen im

Boden und die Zufuhr von auswaschbaren Sulfaten mit der Düngung erwähnt.

Wie schon beim Nitrat wäre auch hier ein erhöhter Wert für die in landwirtschaftlichem Gebiet gelegenen Quellen zu erwarten. Dieses Signal fehlt ebenfalls. Es muss also davon ausgegangen werden, dass höhere Sulfatkonzentrationen ihren Ursprung in schwefelhaltigem Gestein haben. Die Quelle PP10 im Spöltal weist mit Abstand die höchste Konzentration auf. Sie beträgt mit über 100 mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$  mehr als das fünffache der durchschnittlichen Konzentration aller Quellen, die bei 22 mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$  liegt.

### Hydrogencarbonat

Kohlenstoff ist in der Lithosphäre in Karbonatgesteinen angereichert. Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht ist wichtigstes Kriterium für das Vorkommen von Kohlenstoff im Wasser. Die vorherrschende Species ist dabei das Hydrogencarbonat für die pH-Bereiche in denen sich die Wässer bewegen. Ein Eintrag von maximal 10 mg  $\text{HCO}_3^-/\text{l}$  kann durch das Regenwasser erfolgen (Matthess, 1994).

Alle Quellen, ausser jenen auf Macun, weisen einen Hydrogencarbonatgehalt von über 100 mg/l auf. Diese liegen denn auch in von Karbonatgestein dominierten Gebieten, während auf Macun kristalline Gestein mit geringem Karbonatgehalt anstehen. Im Mittel wurden 144.4 mg  $\text{HCO}_3^-/\text{l}$  gemessen.

## 4.2.2 Kationen

### Natrium

Kristalline Gesteine haben in der Regel einen hohen Natrium-Gehalt. Es ist wichtiger Bestandteil im Albit ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), dem Natrium-Endglied der Plagioklas-Mischreihe. Auch in Sandsteinen kann der Gehalt an Natrium relativ hoch sein, wenn viele unverwitterte Mineralkörner oder natriumhaltiger Zement vorhanden sind. Bei der Verwitterung der Silikate wird das Natrium frei. Die hohe Löslichkeit der Natriumsalze und die begrenzte sorptive Bindung an Tonminerale führen zu einer starken Anreicherung des Natriums im Meerwasser und Verdunstungslagerstätten. In Meeresnähe können auch beträchtliche Mengen Natrium durch den Regen ins Grundwasser gelangen.

Die Natrium-Konzentration in den beprobten Quellen ist gering. Es wurden maximal 1.3 mg  $\text{Na}^+/\text{l}$  gemessen. Die höchsten Werte treten in Spöltal und auf Macun auf. Die verhältnismässig hohen Gehalte auf Macun hängen mit den dort anstehenden Na-reichen kristallinen

Gesteinen zusammen. In den anderen Untersuchungsgebieten stehen vor allem Karbonatgesteine an, die nur wenig Natrium enthalten.

Die Natrium-Werte von CS1 zeigen wie schon die Chlorid-Ionen an Schneetagen erhöhte Werte in der Quelle nahe der Strasse. Wie Abbildung 4.5 zeigt, verlaufen die beiden Kurven von Natrium und Chlorid parallel zueinander. Das deutet darauf hin, dass die beiden Ionen vermutlich aus NaCl stammen, das sich im Wasser gelöst hat.

## Kalium

Kalium ist wie das Natrium in grossen Mengen in kristallinen Gesteinen enthalten. Wichtigste Mineralien, die Kalium einbauen, sind die Kalifeldspäte Orthoklas und Mikroklin, die Glimmer Muskovit und Biotit sowie andere Silikate. Das durch Verwitterung freiwerdende Kalium wird schnell wieder gebunden, teils durch Absorption an Tonmineralien (vor allem in den Lücken zwischen den Gitterschichten des Illits), teils durch Einbau in sekundäre Mineralneubildungen. In geringen Gehalten (0.1 bis mehrere mg K<sup>+</sup>/l) kann Kalium auch durch Niederschläge eingebracht werden.

Im biologischen Kreislauf nimmt das Kalium als Pflanzennährstoff eine wichtige Rolle ein. Aus diesem Grund werden in der Landwirtschaft viele kaliumhaltige Dünger auf die Felder ausgetragen. Gelöstes Kalium kann dann in den Untergrund und ins Wasser gelangen. So könnte der immer erhöhte Kalium-Gehalt im Wasser der Quelle BF0 dieser Ursache zugeordnet werden.

Kalium ist im SNP in noch geringeren Konzentrationen vorhanden als das Natrium. Dies dürfte mit der höheren Bindung des Kalium an Tonmineralien zusammenhängen. Die Werte reichen von 0.05 bis 1.27 mg K<sup>+</sup>/l (Mittelwert 0.35 mg K<sup>+</sup>/l).

## Calcium

Viele Mineralien in kristallinen Gesteinen enthalten Calcium als wichtigen Bestandteil: Anorthit (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>), Amphibol, Pyroxen, Granate, Epidot. In Sand- und Tonsteinen sind Calcium-Karbonate oft als Zement vorhanden. Die Verwitterung führt zur Mobilisierung des Calciums. Dessen Ion ist das häufigste in süssen Grundwässern. Sein Gehalt hängt vom Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht ab. Neben den gelösten Gesteinen wird Calcium auch durch Niederschläge zugeführt. Die Quelle dieses Anteils sind der Staub karbonatischer Gesteine und industrielle Emissionen. Zur Ablagerung kommt der grösste Teil des Calciums erst wieder in den Karbonatgesteinen. Dort kristallisiert es unter anderem als Calcit, Aragonit (CaCO<sub>3</sub>) und Dolomit (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>).

Ist Sulfat vorhanden, so bildet sich Gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ) oder Anhydrit ( $\text{CaSO}_4$ ) aus.

Wieder wurde in den Messwerten eine Zweiteilung zwischen den Quellen auf Macun und den restlichen Gebieten festgestellt. Bei Buffalora und im Spöltal bewegen sich die Werte zwischen 20 und knapp 60 mg  $\text{Ca}^{2+}/\text{l}$ , während die Werte auf Macun 1 mg  $\text{Ca}^{2+}/\text{l}$  kaum überschreiten.

## Magnesium

Hauptträger von Magnesium in kristallinen Gesteinen sind Forsterit ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ), Pyroxen, Granat, Amphibol und Chlorit. Wie auch das Calcium reichert sich das Magnesium in den Karbonatgesteinen an. Dabei sind die Mineralien Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) und Magnesit ( $\text{MgCO}_3$ ) wichtig. Zusätzlich tritt das Magnesium als Beimengungen in Kalksteinen auf. Magnesium hat eine etwas grössere Löslichkeit als Calcium. Trotzdem ist im Allgemeinen die Konzentration des Ca höher. Das hängt nach Matthes (1994) mit der geringeren geochemischen Häufigkeit von Magnesium zusammen.

Die Werte des Magnesiums im Untersuchungsgebiet liegen ungefähr bei der Hälfte der Calciumkonzentration. Maximal sind dies 29.4 mg  $\text{Mg}^{2+}/\text{l}$ , im Durchschnitt 14.7 mg  $\text{Mg}^{2+}/\text{l}$ .

### 4.2.3 Ionenbilanz

Wässer, die im Gleichgewicht sind, weisen auch eine ausgeglichene Ladungsverteilung auf. Es sind darin also gleich viele positive und negative Ladungen vorhanden. Dank dieser Tatsache lassen sich nun Analyseresultate auf ihre Plausibilität kontrollieren. Die Ionenbilanz vergleicht den Gehalt an Kationen mit jenem der Anionen. Sie beschreibt den prozentualen Überschuss resp. Mangel an Kationen. Sie berechnet sich nach folgender Formel:

$$\text{Ionenbilanz [\%]} = \frac{\text{Kationen [meq/l]} - \text{Anionen [meq/l]}}{0.5 \times (\text{Kationen [meq/l]} + \text{Anionen [meq/l]})} \times 100$$

Die Messungen zeigen eine durchschnittliche Abweichung vom ausgeglichenen Zustand von 6.4 %. Die Messungen der Quellen auf Macun zeigen eine stark negative Ionenbilanz von rund -30 %. Es sind viel weniger Kationen als Anionen in der Analyse erfasst worden. Dies könnte der Fall sein, da bei den kleinen Konzentrationen Abweichungen viel stärker ins Gewicht fallen. Ferner muss berücksichtigt werden, dass gewisse gelöste Kationen in der Ionenchromatographie nicht erfasst werden können. Die restlichen Quellen weisen aber geringere Abweichungen auf, ein Zeichen für eine korrekte Analyse. Die Ionenbilanzen der einzelnen Messungen sind auf den Quelldatenblättern im Anhang aufgeführt.



### 4.3 Quellbericht

In diesem Quellbericht sollen nun die Quellen der einzelnen Untersuchungsgebiete zu einem Ganzen zusammengetragen werden. Datenblätter mit den einzelnen Messwerten und Diagrammen zu den einzelnen Quellen sind im Anhang zu finden. Die genauen Lokalitäten der einzelnen Quellen sind auf den Karten in Kapitel 1.1 ersichtlich.

#### 4.3.1 Buffalora

Im Gebiet von Buffalora können die Quellen temperaturmässig in zwei Gruppen eingeteilt werden (Abb. 4.6). BF0, CS1 und JL3 zeigen sich stark verändernde Temperaturen, während BU2, BU3 und BU4 sehr konstante Werte aufweisen. Diese werden demnach aus einem tieferen, grösseren Aquifer gespiesen, während die ersten drei vorwiegend oberflächennah entwässern.

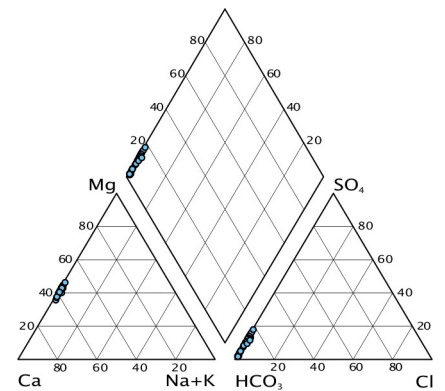
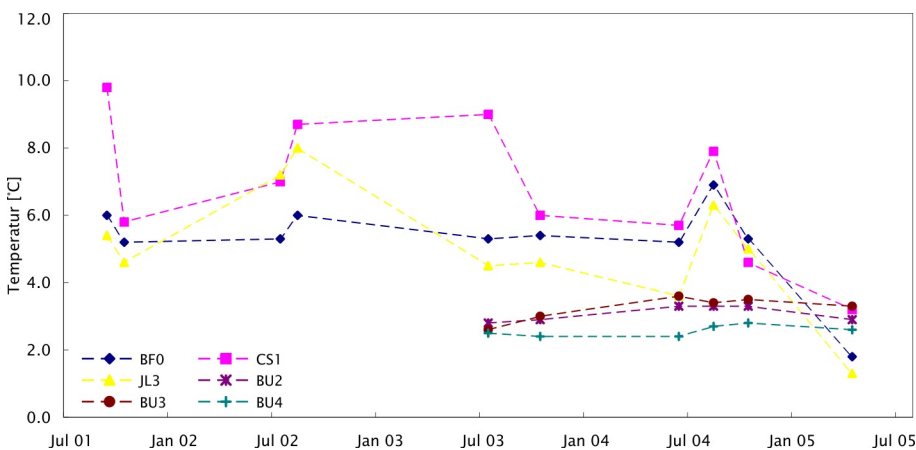


Abbildung 4.6  
Piper-Diagramm der Messungen im Bereich Buffalora.

Abbildung 4.7  
Temperaturmessungen der Quellen bei Buffalora. Auffallend sind die zwei Gruppen von einerseits konstanter Temperatur und andererseits starken Temperaturschwankungen.

Die mit BUx benannten Quellen gehören alle zum gleichen System. Bei BU5 wird der Bach beprobt, bevor die Quellbächlein vieler Quellen in den Hauptbach münden. BU2 bis BU4 sind Quellen, die den Bach speisen, welcher schliesslich bei BU1 ein weiteres mal beprobt wird.

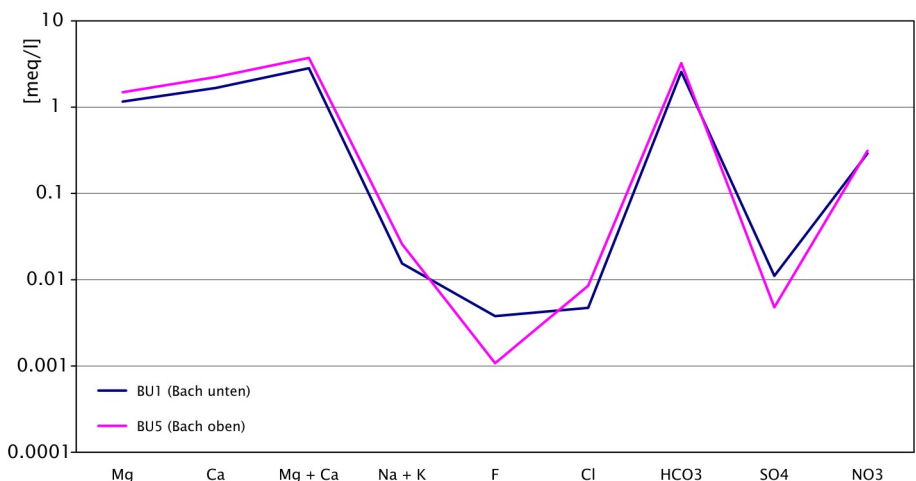


Abbildung 4.8  
Vergleich der Ionenkonzentrationen im Bach oben und unten im Schöller-Diagramm. Generell ist eine klare Abnahme der Ionenkonzentration zu erkennen (ausser beim Fluorid).

BU5 weist bei den meisten untersuchten Ionen eine klar höhere Konzentration auf als BU1 weiter bachabwärts (Abb. 4.8). Die Quellen, die den Bach von der Seite her speisen verdünnen das Wasser.

Die Quelle BF0 ist im Vergleich zu den anderen Quellen in Buffalora stark angereichert mit gelösten Ionen (siehe auch Abb. 4.4). Sie liegt an einer kleinen Geländestufe im unteren Teil des riesigen Schuttfächers, der vom Bach von der Jufplaun gebildet wurde. Weiter entwässert dieser Schuttfächer den nördlichen Teil des Munt Buffalora. Dieser im Verhältnis zu den anderen Quellen lange Fließweg des Wassers im Boden scheint grosse Auswirkungen auf den Chemismus des Wassers zu haben.

### 4.3.2 Spöltal

Die Quellen PP10 im Spöltal und die beiden Quellen auf der Plan da l'Acqua (PA1 und PA2) zeigen einen massiv höheren Sulfatgehalt als die übrigen Quellen. Ein Sulfateintrag durch Niederschlag oder Landwirtschaft kann weitgehend ausgeschlossen werden. Einträge durch Niederschläge müssten sich auch auf andere Quellen auswirken. Die Quellen liegen fernab von jeglicher landwirtschaftlicher Nutzung, die Sulfat eintragen könnte. Darum muss der Sulfatgehalt auf natürlichem Weg zustande kommen, in dem das Wasser auf seinem Weg gipshaltige Gesteine durchfließt und teilweise auflöst.

Betrachtet man die Werte der Quelle PG3 (Abb. 4.10), so fällt auf, dass ab den Messungen im Jahre 2004 klar unterschiedliche Werte zu früher gemessen wurden. Dies lässt vermuten, dass ab diesem Zeitpunkt eine andere Austrittsstelle beprobt wurde. Dieser unglückliche Umstand zeigt einmal mehr, dass bei der Interpretation von Messdaten Vorsicht und offene Augen wichtig sind.

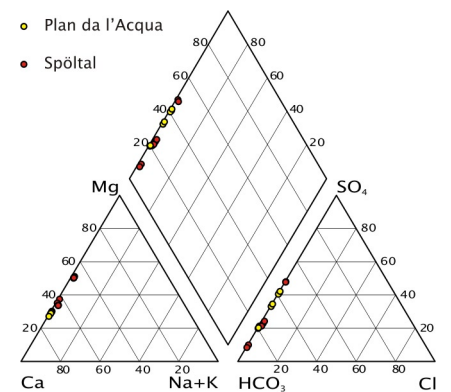


Abbildung 4.9  
Piper-Diagramm der Messungen im Spöltal und der Plan da l'Acqua.

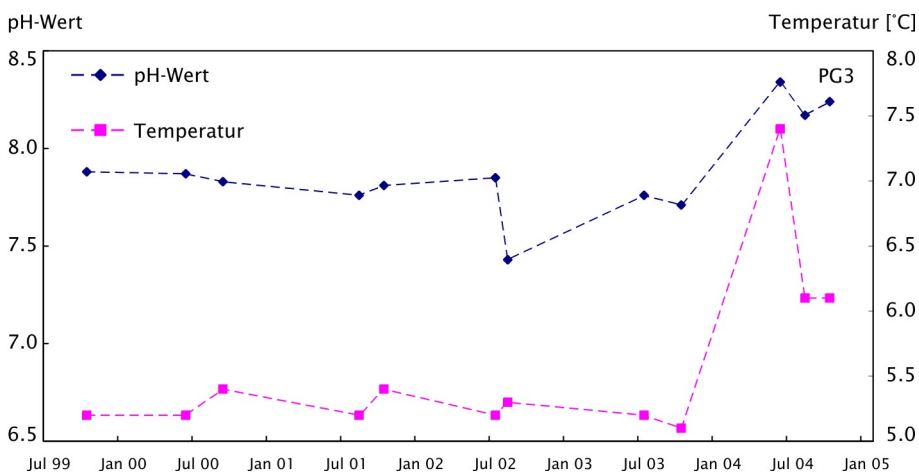


Abbildung 4.10  
Temperaturen und pH-Werte der Quelle PG3. Ab Juni 2004 zeigen sich klar höhere Werte. Mit grosser Wahrscheinlichkeit wurde ab dann eine andere Quelle beprobt.

### 4.3.3 Restliche Messungen

#### Macun

Auf Macun wurden Wässer untersucht, die in Zusammenhang mit den dortigen Blockgletschern stehen. Die Wässer sind gesamthaft gesehen sehr schwach konzentriert. Sie zeichnen sich aber durch einen verhältnismässig höheren Alkali-Gehalt aus. Die Konzentrationen dieser Ionen liegen gleich hoch, wenn nicht höher, als in den anderen Untersuchungsgebieten. Die Messwerte sind aber nur begrenzt für eine Interpretation zu verwenden, da sich in der Ionenbilanz ein grosser Fehler gezeigt hat. Es wurden massiv mehr Anionen als Kationen gemessen. Dies dürfte sein, weil nur vier verschiedene Kationen gemessen wurden, aber vermutlich noch viele weitere im Wasser gelöst sind.

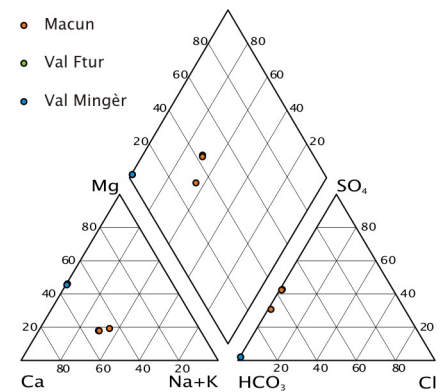


Abbildung 4.11  
Piper-Diagramm der restlichen Messungen.

#### Val Ftur

Die Val Ftur war ein wichtiges Untersuchungsgebiet für die „Schmassmann-Quellen“. Im Oktober 2004 wurde nun versucht, eine dieser Quellen wieder aufzusuchen und zu beproben. Ob es sich wirklich um die gleiche Quelle handelt, lässt sich kaum anhand der Fotos oder dem Vergleich der Messwerte beurteilen (Abb. 4.12, Tabelle 4.4).



Abbildung 4.12  
Fotovergleich der Quellen in der Val Ftur. Links das Foto aus den „Schmassmann-Quellen“, rechts das aktuelle Foto. Ob die Quellen identisch sind, ist schwierig zu sagen.

Tabelle 4.4  
Vergleich der Daten der beiden in der Val Ftur beprobten Quellen (VF7 aus Schmassmann, unver.; FT7 Quelle aus dieser Arbeit)

Quelle	Datum	pH-Wert	Temperatur [°C]	Sauerstoff [mg/l]	Schüttung [l/min]	TDS-Summe [mg/l]			
VF7	31.07.55		4.5	10.3	90	268			
FT7	25.10.04	7.79	6.0	9.83	45	287			

Quelle	Calcium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Alk.a.Na [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogencarb. [mg/l]
VF7	32.1	19.5	10.6			0.6	0.00	31.2	172.4
FT7	41.63	21.82		0.16	0.19	0.27	0.50	3.74	218.44

## Val Mingèr

Die Quelle in der Val Mingèr ist die einzige Kluftquelle, die als solche erkannt werden kann und so an die Oberfläche tritt. Sie tritt aus dem Murteret-Dolomit. Auffallend an der Wasserchemie dieser Quelle ist, dass sie viel weniger gelöste Ionen enthält als die anderen Quellen in den Sedimentgesteinen. Dies deutet auf eine kurze Interaktionszeit zwischen dem Wasser und dem umgebenden Gestein hin.

## 5 Schlussfolgerungen

### 5.1 Verwendbarkeit der Messwerte und deren Aussagekraft

Für diese Arbeit, wie auch für die vorangehenden in diesem Bereich, wurden Wasserproben genommen und analysiert. Diese Proben geben punktuelle Informationen über die Verhältnisse und Eigenschaften der Quellen. Es wurde versucht, die Zeitpunkte der Probenahme so gut wie möglich über das Jahr zu verteilen. Leider sind viele der Quellen im Winter nicht zugänglich und es können also keine Proben genommen werden. Die meteorologischen, physikalischen und chemischen Parameter sind eine Funktion der Zeit. Sie zeigen sowohl periodische als auch aperiodische Schwankungen. So hängen die Punkte der einzelnen Messungen etwas in der Luft und es ist schwierig, diese zu interpretieren. Trotzdem lassen sich gewisse Eigenheiten von Quellen oder Gebieten erkennen, die im Quellbericht (Kapitel 4.3) beschrieben sind. Ebenfalls lassen sich grundlegende Zusammenhänge zwischen dem Herkunftsgestein und der Wasserzusammensetzung erkennen.

### 5.2 Empfehlungen

Für ein besseres Verständnis der periodischen Veränderungen verschiedener Parameter wäre es sinnvoll, wenn eine oder mehrere Quelle über einen längeren Zeitraum in kurzen und regelmässigen Abständen beprobt werden könnte. Dafür muss diese natürlich das ganze Jahr über zugänglich sein. Aus diesem Grund käme nur eine Quelle nahe der Ofenpassstrasse in Frage.

Im April 2005 konnten in zwei Quellen im Bereich Buffalora Temperaturlogger installiert werden. Diese permanente Aufzeichnung erlaubt eine bessere Einsicht über die Temperaturschwankungen. Diese Daten können von grossem Nutzen für allfällige weiterführende Arbeiten sein.

Einige Quellen werden nun seit nunmehr sechs Jahren jeden Sommer beprobt. Diese Daten geben, trotz aller Einschränkungen bei der Interpretation, spannende Einblicke in den Hintergrund und die Geschichte des Wassers einer Quelle. Darum sollten einige dieser „alten“ Quellen weiterhin regelmässig untersucht werden. Wenn

dabei noch eine Intensivierung der Messungen erfolgen könnte, wäre dies natürlich mehr als wünschenswert. Eine weitere Möglichkeit wäre, während vielleicht zwei oder drei Wochen tägliche Messungen durchzuführen und dabei auch die meteorologischen Werte zu erfassen. So kann sich ein komplettes Bild über die Abhängigkeiten der Quellparameter ergeben.

## 6 Literaturverzeichnis

Berner, E.K. & Berner, R.A. (1987). The Global Water Cycle: Geochemistry and Environment. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 397 S.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (2003). Praxishilfe Grundwasserprobenahme. Bern, 82 S.

Clausen, M. (2001). Quartär- und Hydrogeologie in der Val Laschadura (GR). Diplomarbeit Universität Bern, 193 S.

Dössegger, R. (1987). Geologische Karte des Schweizerischen Nationalparks 1:50000. Geologische Spezialkarte Nr. 122, Schweiz. Geol. Kommission.

Goldscheider, N. & Hunkeler, D. (2002). Introduction à l'Hydrogéologie. Vorlesungsbeilagen, Université de Neuchâtel.

Graf, A. (2005). Quellenhydrologie im Schweizerischen Nationalpark mit einer niederschlagsanalytischen und einer glazialgeologischen Erweiterung. Bachelorarbeit Universität Bern.

Frey, J. (1992). Quartär-, Aktuo- und Hydrogeologie am Pass dal Fuorn - Piz Daint. Diplomarbeit ETH Zürich, 65 S.

Haemmig, C. (2003). Quartär- und Hydrogeologie in der Val Chaschauna (GR) - eine GIS und DGPS gestützte Datenaufnahme. Diplomarbeit Universität Bern, 208 S.

Hölting, B. (1996). Hydrogeologie: Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. 5. überarbeitete und erweiterte Auflage, Enke Verlag, Stuttgart, 441 S.

Margreth, A. (2004). Quartärgeologische Untersuchungen im Unterengadin, GR: geologische Kartierung Val Tavrü, Lockergesteinsprofile Val S-charl, Quellenhydrologie, Diamikte bei Champatsch (Scuol), Diplomarbeit ETH Zürich, 111 S.

Matthess, G. (1994). Die Beschaffenheit des Grundwassers (Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 2). 3. überarbeitete Auflage, Gebrüder Borntraeger, Berlin/Stuttgart, 499 S.

Matthess, G. & Ubell, K. (1983). Allgemeine Hydrogeologie - Grundwasserhaushalt (Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 1). 3. überarbeitete Auflage, Gebrüder Borntraeger, Berlin/Stuttgart, 438 S.

Nold, H. & Schmassmann H.J. (1955). Chemische Untersuchungen in der Ova da Val Ftur im Schweizerischen Nationalpark (Beitrag zur Kenntnis des Stoffhaushaltes der Hochgebirge). Ergebnisse der

wissenschaftlichen Untersuchung des schweizerischen Nationalparkes, Bd. 4, 31, Liestal, 15 S.

Pointner, E. (2002). Quellhydrologie im Schweizerischen Nationalpark (GR). Diplomarbeit Universität Bern, 71 S.

Schmassmann, H.J. (unveröffentlicht). Daten zu Quellinventar, Korrespondenz und andere Dokumente. Nachlass, Archiv SNP.

Schweizerischer Nationalpark (SNP) (2001). Nationalpark. CD-ROM.

Strasky, S. (2003). Quartär- und Hydrogeologie in der Val Chaschauna (GR) - eine GIS und DGPS gestützte Datenaufnahme. Diplomarbeit Universität Bern, 208 S.

Trümpy, R., Schmid, S.M., Conti, P., Froitzheim, N. (1997). Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:50'000 des Schweizerischen Nationalparks (Geologische Spezialkarte Nr. 122). Nationalpark-Forschung in der Schweiz, Nr. 87, 40 S.

Vetter, H. (1992). Quartär-, Aktuo- und Hydrogeologie im Val dal Spöl (SNP). Diplomarbeit ETH Zürich, 86 S.

Weiss, J. (1995). Ion Chromatography. Second Edition, VCH, Weinheim, 465 S.



## Anhang

Quelldatenblätter der einzelnen Quellen	52
Vergrösserte Darstellung einiger Abbildungen	71
Übersichtskarte aller gemessenen Quellen	73
Übersichtskarte der „Schmassmann-Quellen“	74
Daten zu den „Schmassmann-Quellen“	75
Messwerte der „Schmassmann-Quellen“	76



## BFO

Koordinaten:

816550 / 169790

Höhe:

1975 m ü.M.

Quellentyp:

Schichtquelle

Wassertyp:

Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>

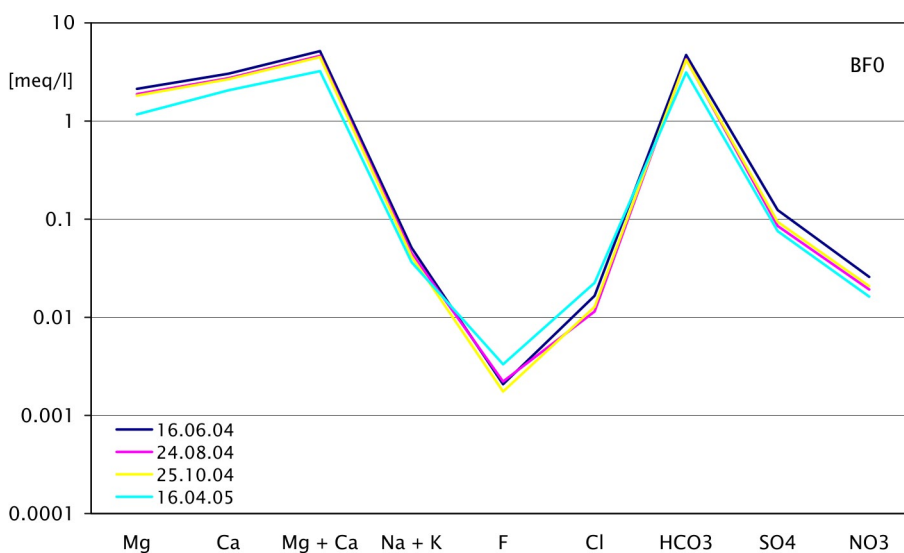
Am Fusse der kleinen Geländestufe unterhalb der Alp Buffalora tritt auf ungefähr 200 m Breite Wasser zutage. Die Messung erfolgte neben dem auf dem obigen Bild sichtbaren toten Baum in einem kleinen Einschnitt in der Stufe.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
16.06.2004	16:00	7.94	5.2	446	9.45	282	5.2	2.6	2
24.08.2004	13:10	8.01	6.9	398		180	4.6	2.4	4
25.10.2004	09:00	7.50	5.3	394	8.54	190	4.6	2.3	3
16.04.2005	18:40	6.84	1.8	277	6.33	215	3.3	1.7	1

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
16.06.2004	0.04	0.59	1.60	5.94	272.75	0.43	1.27	25.85	60.85
24.08.2004	0.04	0.41	1.19	4.10	261.15	0.32	1.22	22.88	54.83
25.10.2004	0.03	0.45	1.29	4.51	256.88	0.30	1.12	22.06	53.43
16.04.2005	0.06	0.80	1.01	3.63	190.98	0.27	0.98	14.22	41.21



### Ionenbilanz

Datum	[%]
16.06.2004	6.67
24.08.2004	5.85
25.10.2004	4.14
16.04.2005	0.46



## BU1

Koordinaten:

816990 / 169085

Höhe:

2070 m ü.M.

Quellentyp:

Bach

Wassertyp:

Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-(SO<sub>4</sub>)

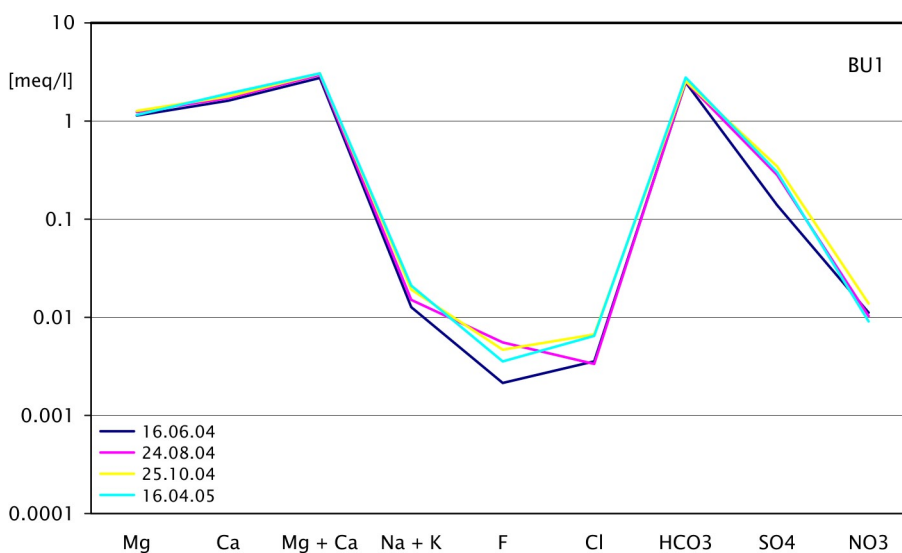
Dieser Messpunkt bildet das untere Ende der Reihe der BU-Quellen. Hier ist im Bach das Wasser aller dieser Quellen enthalten. Der Messpunkt befindet sich auf Höhe der Quelle JL3, die sich am rechten Bachufer befindet.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
16.06.2004	13:20	8.37	7.1	244	9.06	237	2.8	1.8	
24.08.2004	10:30	7.97	7.5	263		161	2.8	1.6	250
25.10.2004	17:15	8.40	5.2	273	10.15	87	2.8	1.6	220
16.04.2005	15:15	8.58	1.5	263		281	3.1	1.9	200

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
16.06.2004	0.04	0.13	0.69	6.67	146.44	0.17	0.21	13.82	32.33
24.08.2004	0.11	0.12	0.64	13.52	147.66	0.20	0.25	15.02	34.30
25.10.2004	0.09	0.24	0.86	16.58	150.71	0.21	0.39	15.41	35.68
16.04.2005	0.07	0.23	0.56	14.43	164.75	0.27	0.36	14.03	38.22



### Ionenbilanz

Datum	[%]
16.06.2004	4.72
24.08.2004	4.89
25.10.2004	4.91
16.04.2005	-0.55



## BU2

Koordinaten:

817180 / 168790

Höhe:

2100 m ü.M.

Quellentyp:

Lockergesteinsquelle

Wassertyp:

Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-(SO<sub>4</sub>)

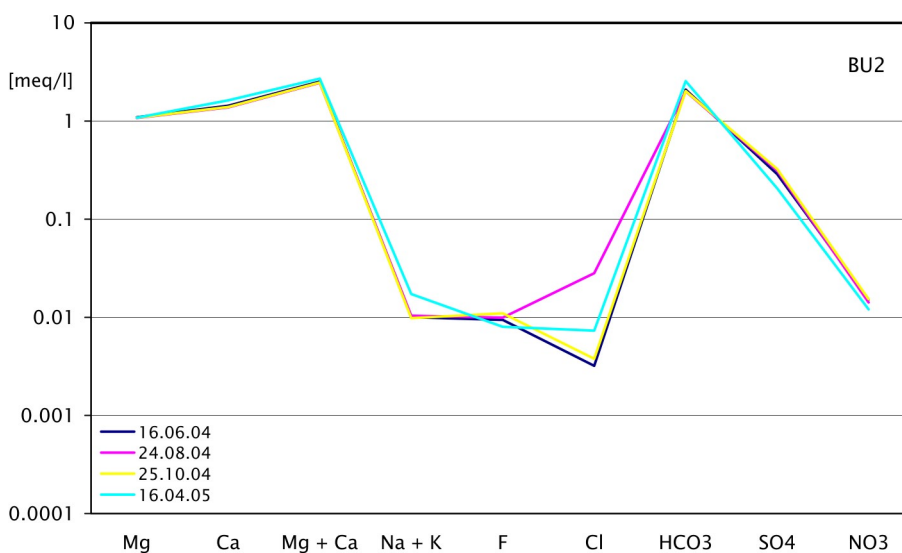
Am oberen Ende eines lockergesteinbedeckten kleinen Tälchens tritt Wasser aus dem Untergrund. Der oberflächliche Abfluss befindet sich in einer stark mit Vegetation bewachsenen Rinne.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
16.06.2004	13:45	8.35	3.3	230	9.88	265	2.3	1.7	80
24.08.2004	11:00	8.29	3.3	225		116	2.0	1.3	80
25.10.2004	16:35	8.21	3.3	228	10.40	107	2.1	1.2	20
16.04.2005	15:45	8.14	2.9	236	9.21	284	2.8	1.5	10

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
16.06.2004	0.18	0.11	0.94	13.82	127.53	0.13	0.17	13.28	28.74
24.08.2004	0.19	1.00	0.88	15.03	122.64	0.12	0.19	13.06	27.65
25.10.2004	0.21	0.13	0.95	15.59	123.25	0.12	0.17	13.12	27.87
16.04.2005	0.15	0.26	0.75	9.90	153.15	0.24	0.27	13.14	32.59



### Ionenbilanz

Datum	[%]
16.06.2004	5.30
24.08.2004	3.69
25.10.2004	4.35
16.04.2005	-2.13



## BU3

Koordinaten:

817135 / 168790

Höhe:

2100 m ü.M.

Quellentyp:

Lockergesteinsquelle

Wassertyp:

Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-(SO<sub>4</sub>)

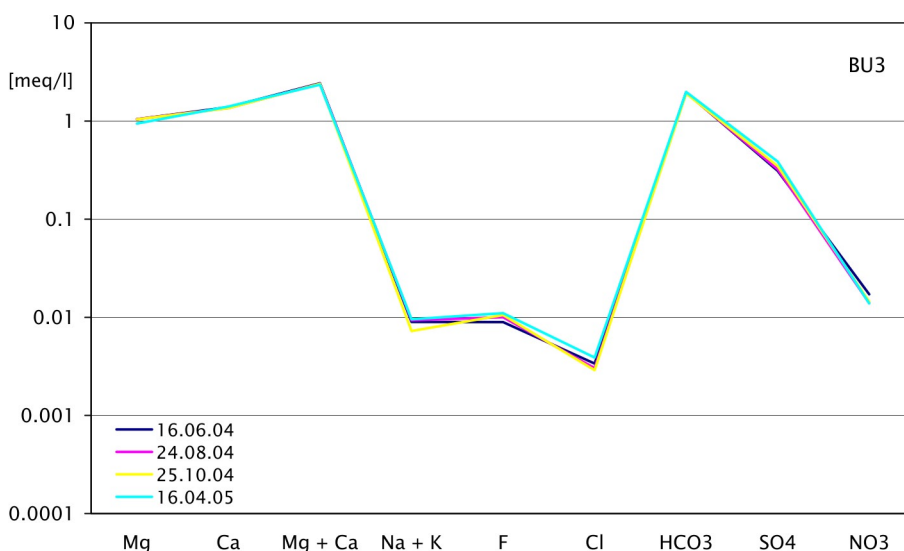
Diese Quelle befindet sich unmittelbar westlich von BU2 auf der gegenüberliegenden Seite eines kleinen Moränenwalls. Hier tritt das Wasser an vielen Stellen an die Oberfläche. Der Abfluss erfolgt auch hier in kleinen bewachsenen Rinnen. Die Schüttung wurde über den ganzen Bereich abgeschätzt.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
16.06.2004	14:00	8.35	3.6	221	9.81	283	2.2	1.3	70
24.08.2004	11:15	8.28	3.4	220		120	2.1	1.3	50
25.10.2004	16:50	8.24	3.5	219	10.50	136	2.0	1.2	40
16.04.2005	16:05	8.36	3.3	205	9.60	240	2.2	1.6	15

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
16.06.2004	0.17	0.12	1.07	14.92	119.59	0.11	0.16	12.67	27.78
24.08.2004	0.19	0.11	0.87	15.48	118.37	0.12	0.17	12.72	27.19
25.10.2004	0.20	0.10	0.90	16.68	116.54	0.09	0.13	12.66	27.10
16.04.2005	0.21	0.14	0.86	18.58	120.81	0.12	0.18	11.45	28.17



### Ionenbilanz

Datum	[%]
16.06.2004	5.79
24.08.2004	5.25
25.10.2004	4.96
16.04.2005	-1.63



## BU4

Koordinaten:

817410 / 168500

Höhe:

2170 m ü.M.

Quellentyp:

Lockergesteinsquelle

Wassertyp:

Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-(SO<sub>4</sub>)

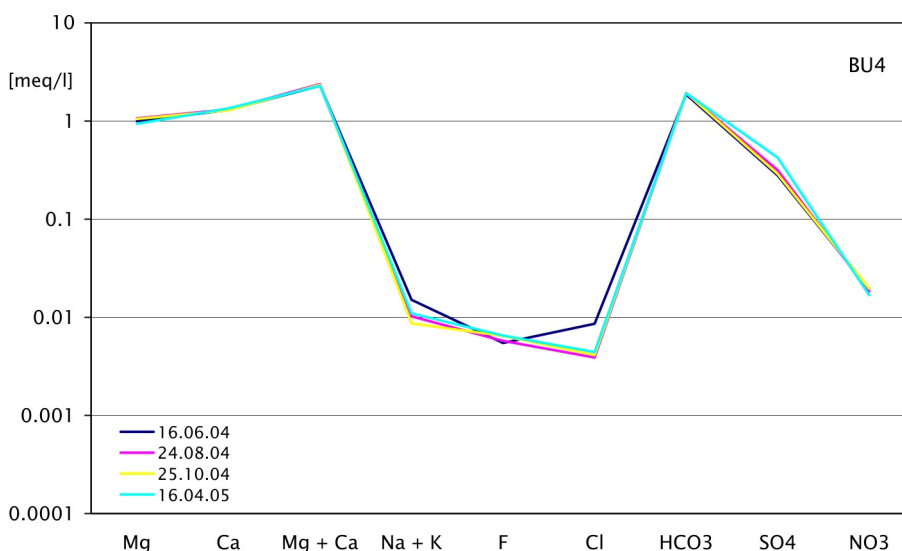
Unterhalb der ersten Dolomit-Wände des Piz Daint, wenig westlich des Val Murtaröl tritt eine Quelle aus dem Fuss eines steilen Schuttfächers. Sie speist ein kleines Bächlein, das anschliessend durch den lichten Wald nordwestwärts fliesst. Hier wurde am 16. April 2005 ein Temperaturlogger ins Wasser gesetzt.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
16.06.2004	14:20	8.32	2.4	206	10.37	274	2.0	1.6	50
24.08.2004	11:50	8.35	2.7	217		167	2.1	1.3	40
25.10.2004	16:15	8.54	2.8	214	10.35	122	2.3	1.2	60
16.04.2005	16:35	8.39	2.6	206	9.01	216	2.0	1.5	50

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
16.06.2004	0.10	0.30	1.21	13.38	114.10	0.12	0.38	12.11	26.03
24.08.2004	0.11	0.14	1.14	15.14	117.76	0.12	0.19	12.95	26.33
25.10.2004	0.12	0.15	1.21	13.88	118.37	0.10	0.17	12.76	25.81
16.04.2005	0.12	0.16	1.04	20.36	117.15	0.13	0.21	11.40	27.01



### Ionenbilanz

Datum	[%]
16.06.2004	5.69
24.08.2004	4.98
25.10.2004	3.78
16.04.2005	-3.21



## BU5

Koordinaten:

816970 / 168770

Höhe:

2100 m ü.M.

Quellentyp:

Bach

Wassertyp:

Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-(SO<sub>4</sub>)

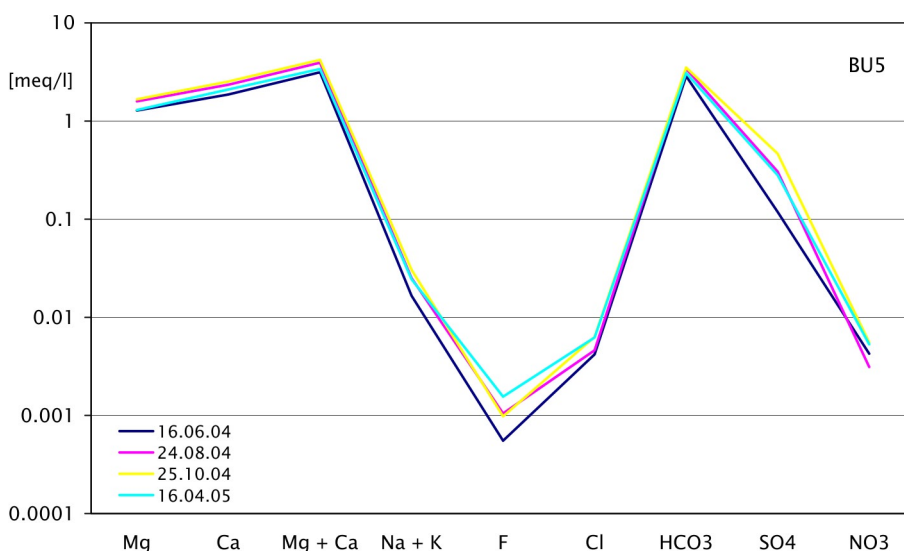
Der Bach fließt hier ruhig in seinem breiten Bett, bevor er über eine kleine Steilstufe in die Tiefe stürzt. BU5 bildet den Eingang in die BU-Quellen. Gemessen wurde an einer kleinen Stufe, die von grösseren Blöcken gebildet wird.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
16.06.2004	14:50	8.40	9.7	275	8.51	255	3.0	1.7	
24.08.2004	12:30	8.37	12.2	339		138	3.7	2.0	200
25.10.2004	15:50	8.34	9.3	366	9.60	162	3.7	2.1	100
16.04.2005	17:00	7.50	0.5	286	9.37	254	3.0	1.7	90

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
16.06.2004	0.01	0.15	0.26	5.69	170.24	0.22	0.28	15.54	37.36
24.08.2004	0.02	0.16	0.19	14.64	195.86	0.33	0.41	19.28	47.02
25.10.2004	0.02	0.22	0.34	22.34	201.97	0.38	0.54	20.24	50.71
16.04.2005	0.03	0.22	0.33	13.49	184.88	0.31	0.43	15.73	42.05



### Ionenbilanz

Datum	[%]
16.06.2004	5.26
24.08.2004	6.09
25.10.2004	5.80
16.04.2005	0.97



## CS1

Koordinaten:

816360 / 170230

Höhe:

1955 m ü.M.

Quellentyp:

Lockergesteinsquelle

Wassertyp:

Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>

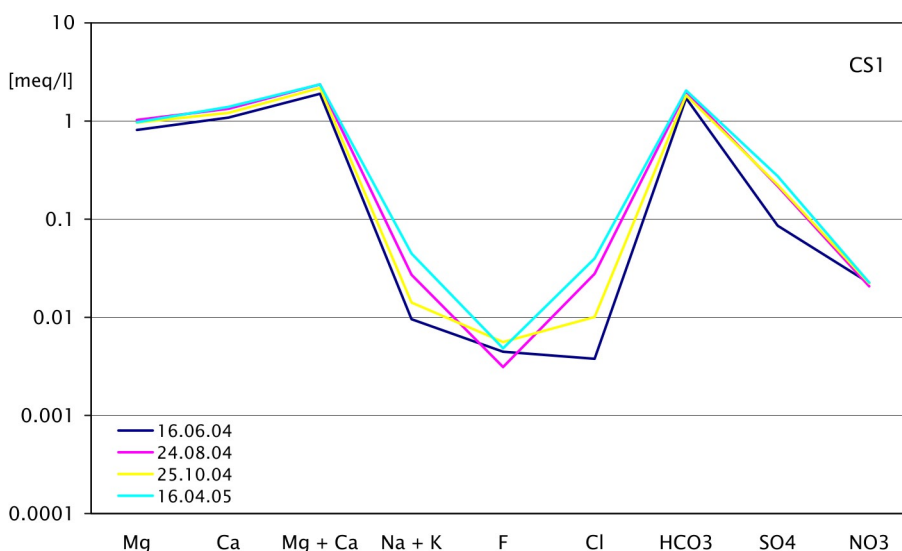
Am Fusse eines von der Ova dal Fuorn aberdierten Schuttfächers treten grosse Mengen Wasser aus. Es gibt mehrere Ausflüsse über den ganzen Bereich verteilt. Die Quelle liegt unmittelbar unterhalb der Ofenpassstrasse bei Chasa dal Stradin.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
16.06.2004	16:30	8.29	5.7	170	9.74	275	2.1	1.2	400
24.08.2004	13:45	8.31	7.9	218		117	2.1	1.3	200
25.10.2004	09:30	7.94	4.6	198	9.77	50	1.9	1.2	90
16.04.2005	19:00	6.92	3.2	213	8.17	222	2.2	1.3	70

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
16.06.2004	0.08	0.13	1.39	4.13	104.34	0.13	0.15	9.86	21.72
24.08.2004	0.06	0.98	1.28	10.41	121.42	0.53	0.16	12.49	26.70
25.10.2004	0.11	0.36	1.38	10.74	111.66	0.24	0.14	11.71	24.28
16.04.2005	0.09	1.41	1.40	13.17	123.86	0.91	0.20	11.80	27.93



### Ionenbilanz

Datum	[%]
16.06.2004	4.17
24.08.2004	5.52
25.10.2004	4.57
16.04.2005	0.73





## FBU3

Koordinaten:

815575 / 169095

Höhe:

2255 m ü.M.

Quellentyp:

Lockergesteinsquelle

Wassertyp:

Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>

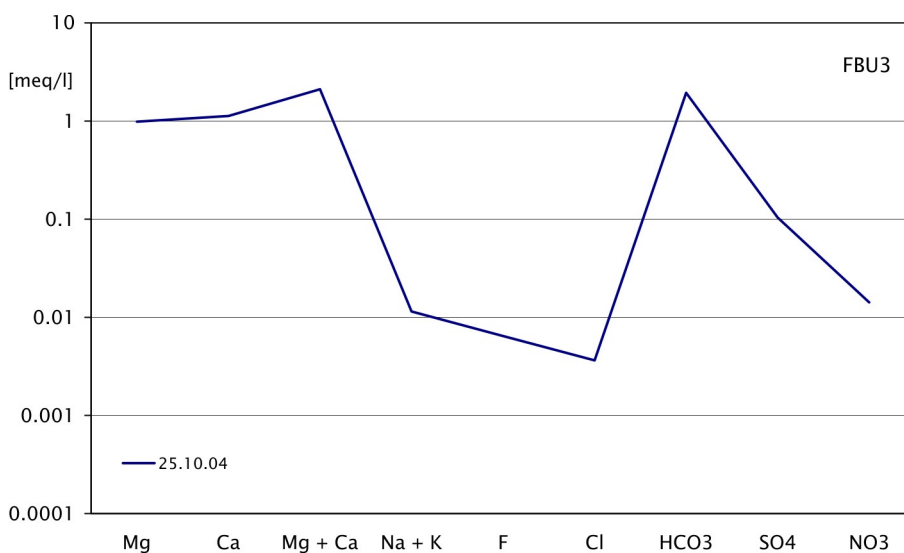
Im Oktober 2004 wurde versucht, eine der „Schmassmann-Quellen“ zu finden. Unterhalb des alten Bergwerksstollen am Munt Buffalora treten zwei Quellen in kleinen Senken zu Tage. Hier wurde die östliche beprobt. Diese ist zum Schutz vor dem Vieh umzäunt und ein Teil des Wassers wird für einen Brunnen gefasst. Im April 2005 war die Quelle von ca. 30 cm Schnee bedeckt.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
25.10.2004	15:15	8.22	3.0	190	10.76	272	2.0	1.1	5

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
25.10.2004	0.12	0.13	0.88	4.98	118.37	0.15	0.19	11.98	22.55



### Ionenbilanz

Datum	[%]
25.10.2004	2.60



## FT7

Koordinaten:

810945 / 172494

Höhe:

1950 m ü.M.

Quellentyp:

Lockergesteinsquelle

Wassertyp:

Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>

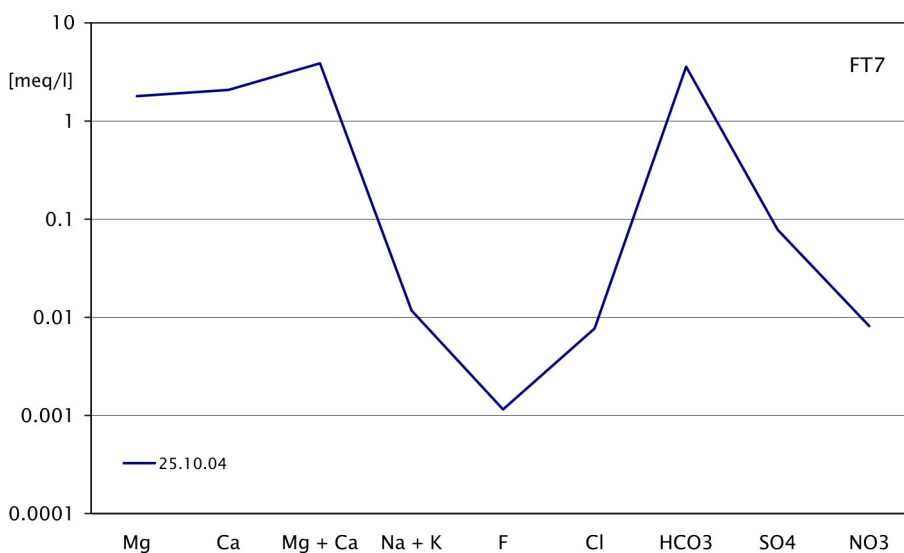
In der Val Ftur wurde ebenfalls eine der „Schmassmann-Quellen“ gesucht. Ob diese wirklich schon früher gemessen wurde ist unklar. Die Quelle ist vom Wild stark umgestaltet worden.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
25.10.2004	13:00	7.79	6.0	333	9.83	192	3.9	2.0	45

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
25.10.2004	0.02	0.27	0.50	3.74	218.44	0.16	0.19	21.82	41.63



### Ionenbilanz

Datum	[%]
25.10.2004	5.53



## GS8

Koordinaten:

809895 / 169380

Höhe:

1740 m ü.M.

Quellentyp:

Lockergesteinsquelle

Wassertyp:

Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>

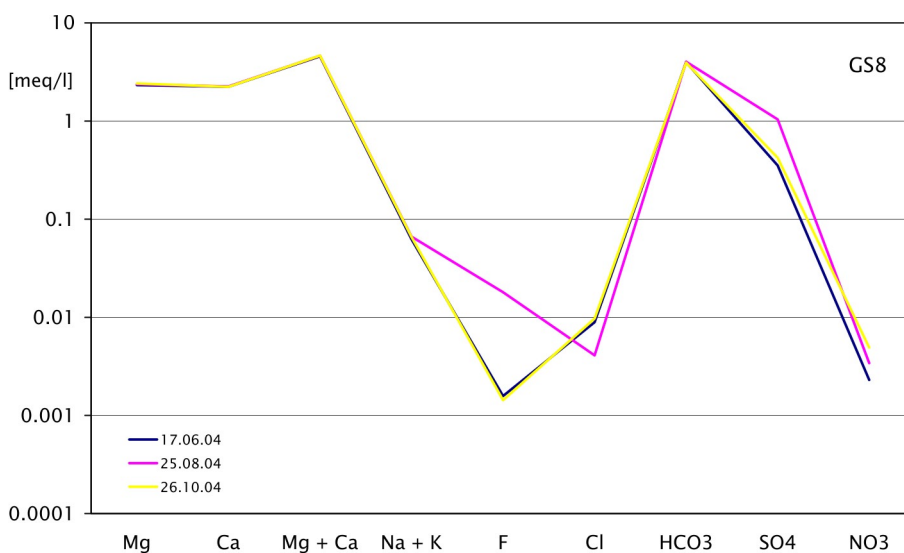
Der Brunnen befindet sich direkt am Weg von Punt la Drossa zum Punt Periv. Die Messung erfolgte im leicht aufgestauten Zulauf.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
17.06.2004	11:10	8.43	6.3	358	9.51	183	3.9	2.6	5
25.08.2004	12:05	8.36	8.7	401		165	4.3	2.4	5
26.10.2004	11:35	8.21	6.0	395	8.38	64	4.2	2.3	7

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
17.06.2004	0.03	0.32	0.14	16.93	231.86	1.09	0.59	28.24	44.85
25.08.2004	0.34	0.15	0.21	49.93	233.09	1.16	0.62	28.83	45.18
26.10.2004	0.03	0.34	0.31	20.30	230.03	1.17	0.58	29.36	44.74



### Ionenbilanz

Datum	[%]
17.06.2004	6.21
25.08.2004	-8.03
26.10.2004	7.61



## JL3

Koordinaten:

816990 / 169090

Höhe:

2050 m ü.M.

Quellentyp:

Lockergesteinsquelle

Wassertyp:

Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>

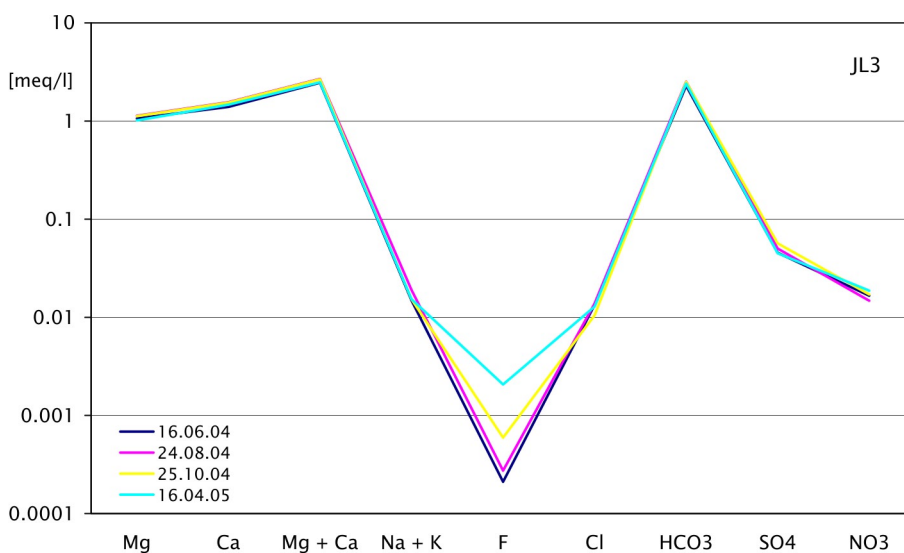
Diese kleine Quelle drückt am rechten Bachufer aus dem Hang. Das Wasser tritt hier nur sehr langsam aus und erschwert so die Messung etwas.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
16.06.2004	15:35	8.28	3.6	219	9.82	268	2.5	1.5	10
24.08.2004	10:05	7.83	6.3	237		188	2.8	1.5	2
25.10.2004	17:40	8.35	5.0	237	8.95	178	2.8	1.3	0.5
16.04.2005	15:00	8.21	1.3	213		164	2.6	1.4	4

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
16.06.2004	0.00	0.47	1.03	2.19	137.29	0.22	0.20	12.94	27.93
24.08.2004	0.01	0.49	0.91	2.41	153.76	0.25	0.32	13.77	31.16
25.10.2004	0.01	0.37	1.06	2.73	152.54	0.23	0.20	13.63	30.89
16.04.2005	0.04	0.46	1.16	2.16	147.05	0.22	0.22	12.33	29.42



### Ionenbilanz

Datum	[%]
16.06.2004	4.43
24.08.2004	4.05
25.10.2004	3.54
16.04.2005	0.36



## MAC1

Koordinaten:

805500 / 178290

Höhe:

2670 m ü.M.

Quellentyp:

Blockgletscherquelle

Wassertyp:

Ca-Na-(Mg)-(K)-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-(F)

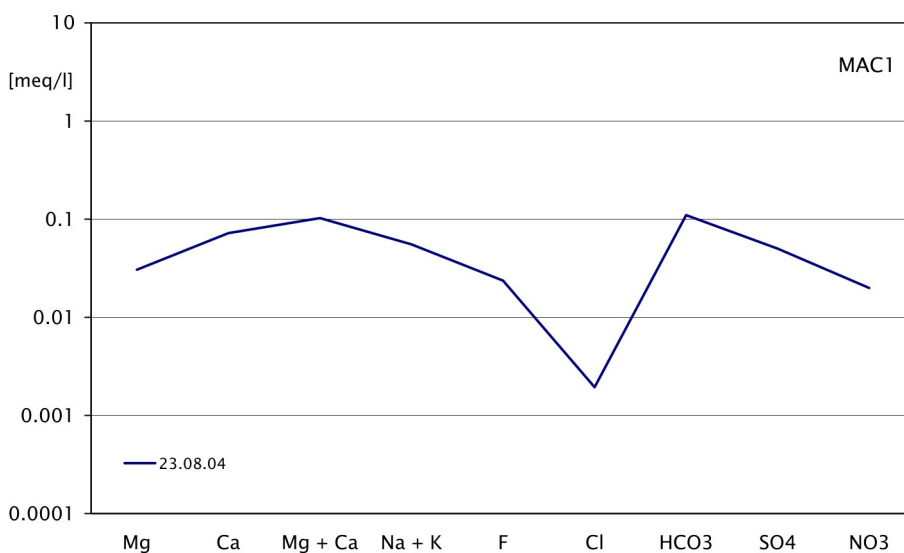
Am unteren Ende des südlichen grossen Blockgletscher tritt das Wasser aus dem Gletscher und fliesst dann bald in den vorgelagerten kleinen See. Auf dem Foto ist die Quelle noch unter dem Schnee versteckt.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
23.08.2004	13:00	6.94	0.0	16		172	0.2	0.3	10

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
23.08.2004	0.45	0.07	1.23	2.40	6.71	0.90	0.63	0.37	1.44



### Ionenbilanz

Datum	[%]
23.08.2004	-26.16



## MAC2

Koordinaten:

806100 / 178730

Höhe:

2580 m ü.M.

Quellentyp:

Bach vor Blockgletscher

Wassertyp:

Ca-Na-(Mg)-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>

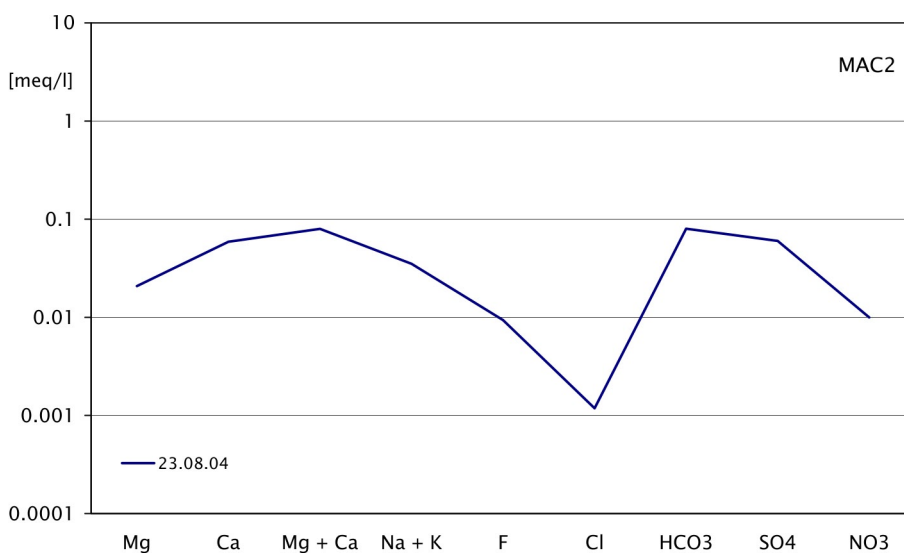
Aus dem Lai d'Immez fließt der Bach seitlich an den Blockgletscher heran. Gemessen wurde das Wasser unmittelbar vor dem verschwinden in den Blöcken.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
23.08.2004	14:00	6.67	9.2	12		182	0.2	0.3	500

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
23.08.2004	0.18	0.04	0.62	2.88	4.88	0.58	0.38	0.25	1.18



### Ionenbilanz

Datum	[%]
23.08.2004	-33.22



## MAC3

Koordinaten:

806150 / 178760

Höhe:

2560 m ü.M.

Quellentyp:

Bach unterhalb Blockgletscher

Wassertyp:

Ca-Na-(Mg)-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>

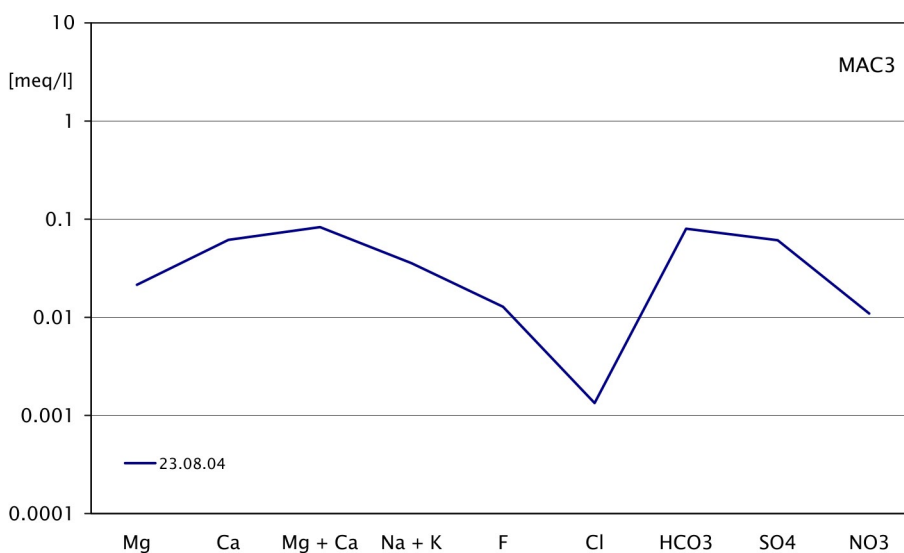
Am westlichen Rand des Blockgletschers tritt der Bach wieder aus dem Blockgletscher aus. Die Messung erfolgte zwischen den grossen, herumliegenden Blöcken.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
23.08.2004	14:30	6.45	9.1	12		178	0.3	0.4	350

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
23.08.2004	0.24	0.05	0.68	2.93	4.88	0.59	0.39	0.26	1.23



### Ionenbilanz

Datum	[%]
23.08.2004	-33.41



## MINGER

Koordinaten:

816080 / 172295

Höhe:

2370 m ü.M.

Quellentyp:

Kluftquelle

Wassertyp:

Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>

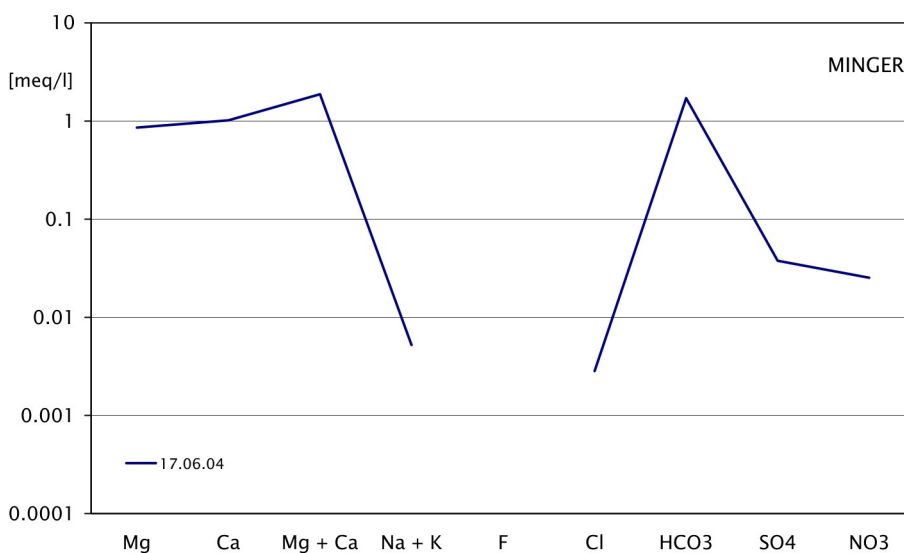
Im obersten Teil der Val Mingèr finden sich auf der rechten Talseite sehr steile Schutthalden. Die einzige in dieser Arbeit untersuchte Kluftquelle war zum Zeitpunkt noch von Schnee bedeckt, darum wurde dort gemessen, wo das Wasser aus unter dem Schnee hervortritt.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
17.06.2004	15:25	8.31	1.9	123	12.00	276	1.2	1.1	60

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
17.06.2004	0.00	0.10	1.57	1.81	104.34	0.09	0.05	10.42	20.39



### Ionenbilanz

Datum	[%]
17.06.2004	5.68





## PA1

Koordinaten:

809315 / 168777

Höhe:

1775 m ü.M.

Quellentyp:

Lockergesteinsquelle

Wassertyp:

Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>

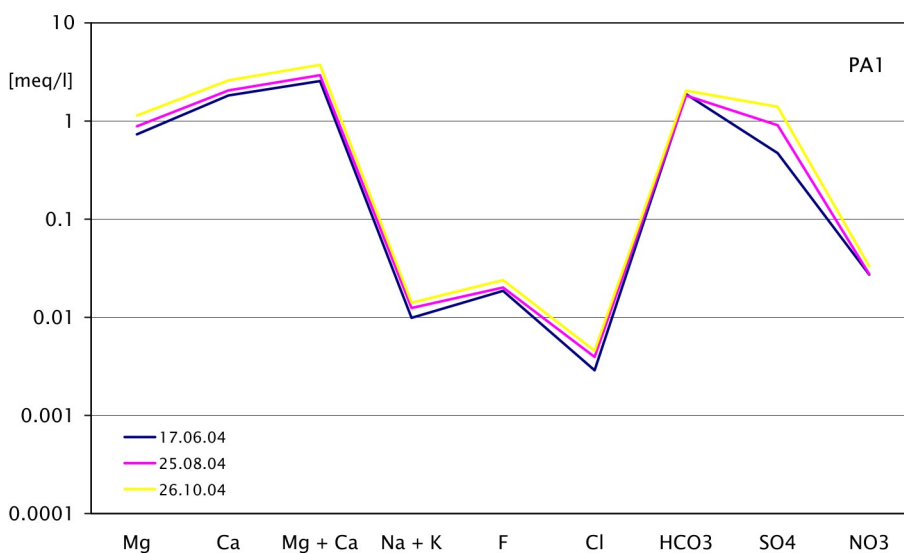
Diese Quelle tritt an vielen Stellen aus einem blockigen Schuttfächer, der mit dickem Moos bewachsen ist. Der Fächer befindet sich am linken Ufer des Bachs auf der Plan da l'Acqua. Die Proben wurden jeweils am auf dem Foto rechten Rand genommen.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
17.06.2004	09:20	8.33	3.4	239	10.27	242	1.9	1.3	300
25.08.2004	10:15	8.05	3.6	277		202	1.9	1.7	200
26.10.2004	09:00	8.26	3.7	344	10.75	91	2.2	1.9	180

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
17.06.2004	0.35	0.10	1.69	22.61	114.71	0.14	0.15	8.90	36.52
25.08.2004	0.38	0.14	1.71	43.55	111.05	0.18	0.17	10.74	41.06
26.10.2004	0.46	0.16	2.06	67.12	124.47	0.23	0.16	13.83	52.08



### Ionenbilanz

Datum	[%]
17.06.2004	6.65
25.08.2004	5.83
26.10.2004	6.94



## PA2

Koordinaten:  
809315 / 168750

Höhe:  
1780 m ü.M.

Quellentyp:  
Lockergesteinsquelle

Wassertyp:  
Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>

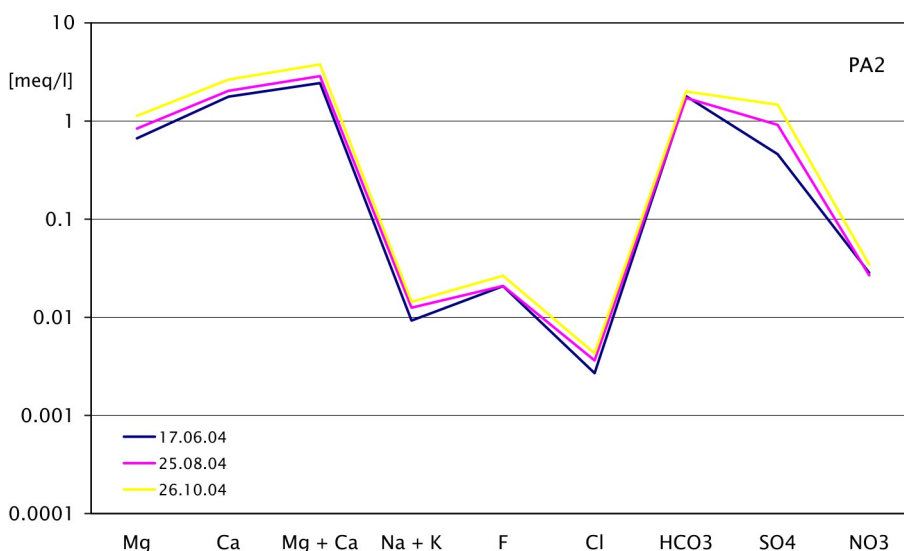
Etwas weiter bachaufwärts fließt ein Quellbach vom linken Talrand hinunter. Dieser gehört zur Quelle PA2, die auf ähnlicher Höhe wie PA1 entspringt.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
17.06.2004	09:40	8.33	3.2	229	10.36	218	1.8	1.3	400
25.08.2004	10:35	8.22	3.5	270		149	1.8	1.6	150
26.10.2004	09:15	8.58	3.6	346	9.87	46	2.1	1.9	150

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
17.06.2004	0.39	0.10	1.76	22.07	109.22	0.14	0.13	8.10	35.49
25.08.2004	0.40	0.13	1.66	43.94	104.95	0.19	0.17	10.18	40.71
26.10.2004	0.50	0.15	2.14	70.53	122.03	0.24	0.16	13.70	53.00



### Ionenbilanz

Datum	[%]
17.06.2004	6.11
25.08.2004	7.01
26.10.2004	6.90



## PG3

Koordinaten:

810990 / 167790

Höhe:

1670 m ü.M.

Quellentyp:

Lockergesteinsquelle

Wassertyp:

Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>

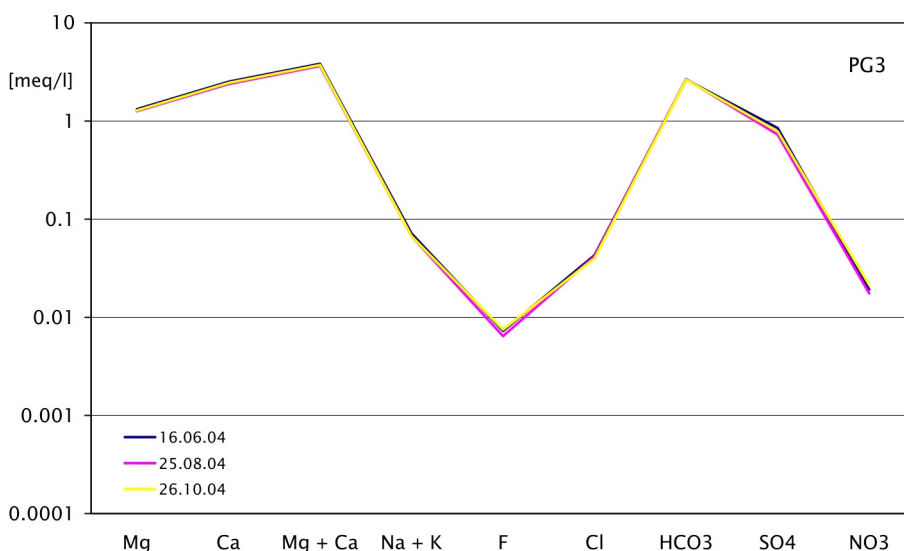
Die Quelle befindet sich am linken Spölufer einige 100m unterhalb der Staumauer des Lago di Livigno. Sie liegt etwas erhöht und wird am besten über die hydrologische Messstation und von dort nach Süden erreicht. Vermutlich fand aber im Juni 2004 eine Verwechslung statt und es wurde eine andere Quelle als früher beprobt (siehe Kapitel 4.3.2).

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
16.06.2004	17:50	8.34	7.4	340	9.08	253	3.1	2.1	1
25.08.2004	08:50	8.17	6.1	328		221	2.8	1.8	4
26.10.2004	11:00	8.24	6.1	335	8.21	38	2.8	1.9	3

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
16.06.2004	0.14	1.52	1.19	40.78	158.64	1.30	0.58	16.05	50.44
25.08.2004	0.12	1.48	1.09	34.96	160.47	1.27	0.47	15.33	47.68
26.10.2004	0.14	1.41	1.33	37.59	157.42	1.28	0.44	15.58	48.98



### Ionenbilanz

Datum	[%]
16.06.2004	9.38
25.08.2004	6.80
26.10.2004	8.28



## PP10

Koordinaten:

810040 / 168620

Höhe:

1645 m ü.M.

Quellentyp:

Schichtquelle

Wassertyp:

Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>

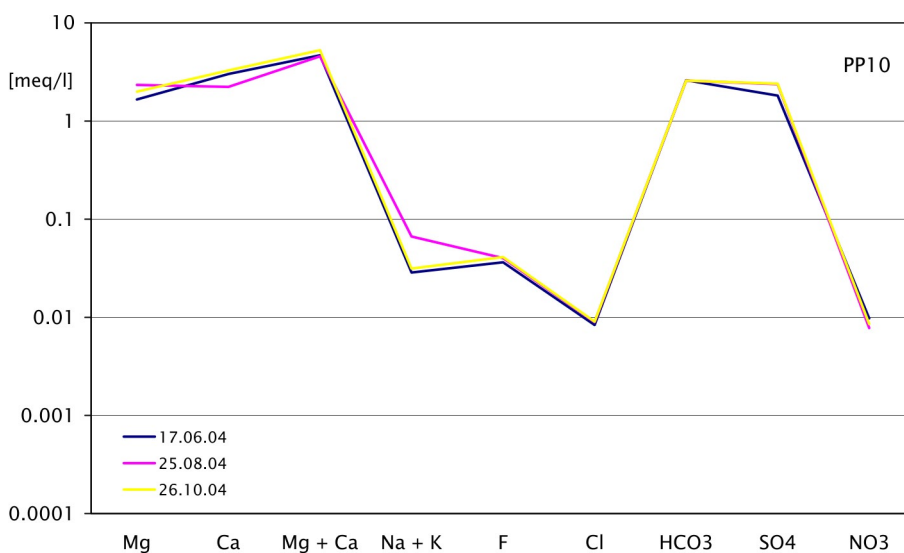
Auf einer kleinen Flussterrasse an der linken Seite des Spöl treten einige Quellen zu Tage, die bereits Vetter (1992) genau untersucht hat.

### Feldmessungen

Datum	Zeit	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Redoxpot. [mV]	Carb.härte [mmol/l]	Ges.härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]
17.06.2004	10:35	8.06	7.7	426	9.33	198	2.7	2.4	100
25.08.2004	11:30	8.04	7.8	470		147	2.6	2.8	90
26.10.2004	10:00	7.86	7.6	471	8.55	33	2.8	2.7	80

### Laboranalysen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb.[mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
17.06.2004	0.69	0.30	0.60	87.17	154.98	0.45	0.35	20.18	60.46
25.08.2004	0.76	0.32	0.48	114.04	157.42	1.16	0.63	28.39	44.66
26.10.2004	0.78	0.32	0.53	115.29	157.42	0.53	0.33	24.22	65.70



### Ionenbilanz

Datum	[%]
17.06.2004	5.16
25.08.2004	-7.89
26.10.2004	5.09

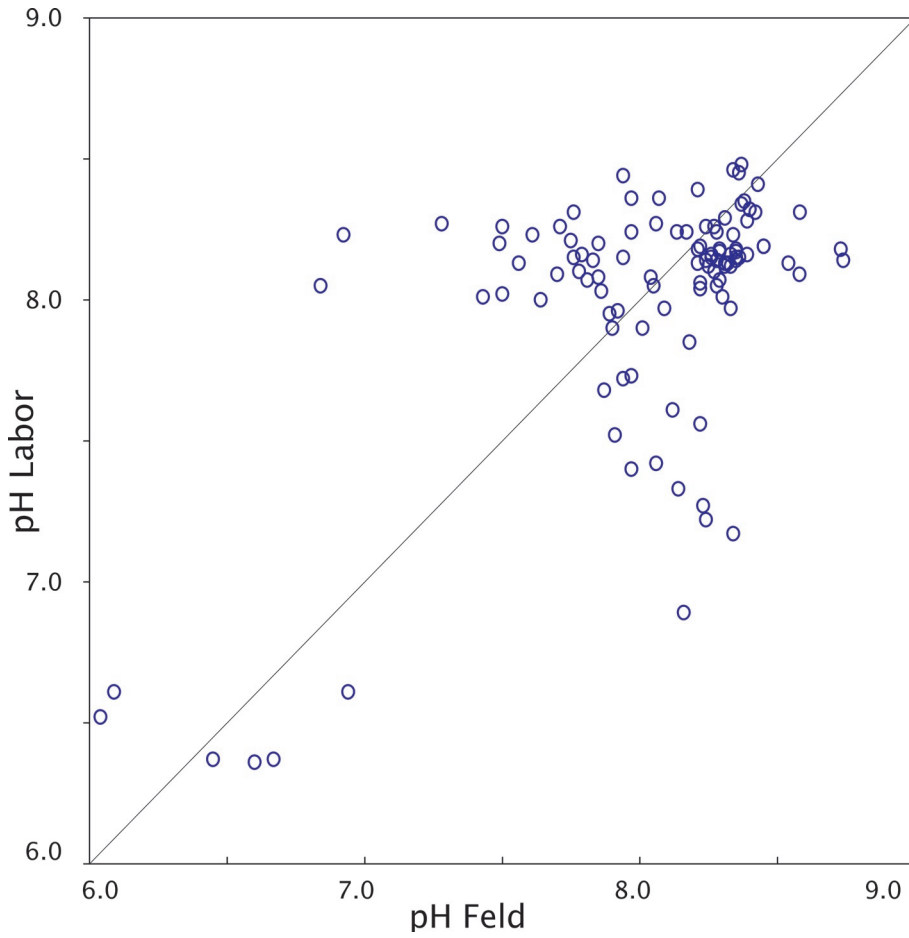


Abbildung 3.1  
Vergleich von pH-Werten aus Labor- und Feldmessungen.

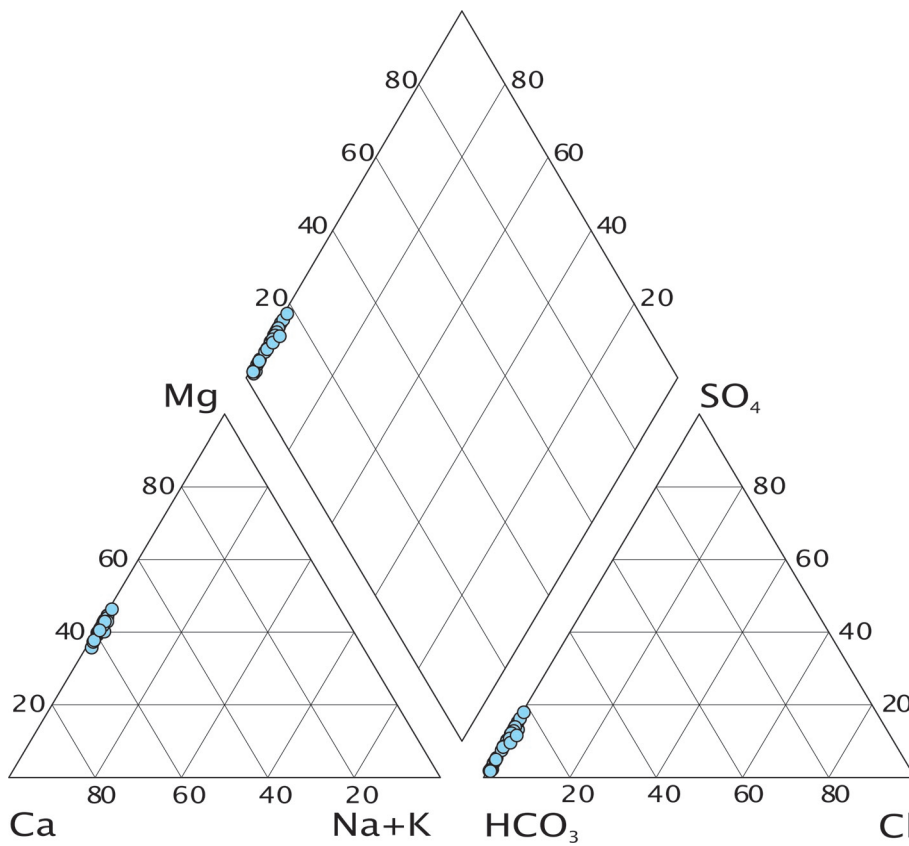


Abbildung 4.6  
Piper-Diagramm der Messungen im Bereich Buffalora

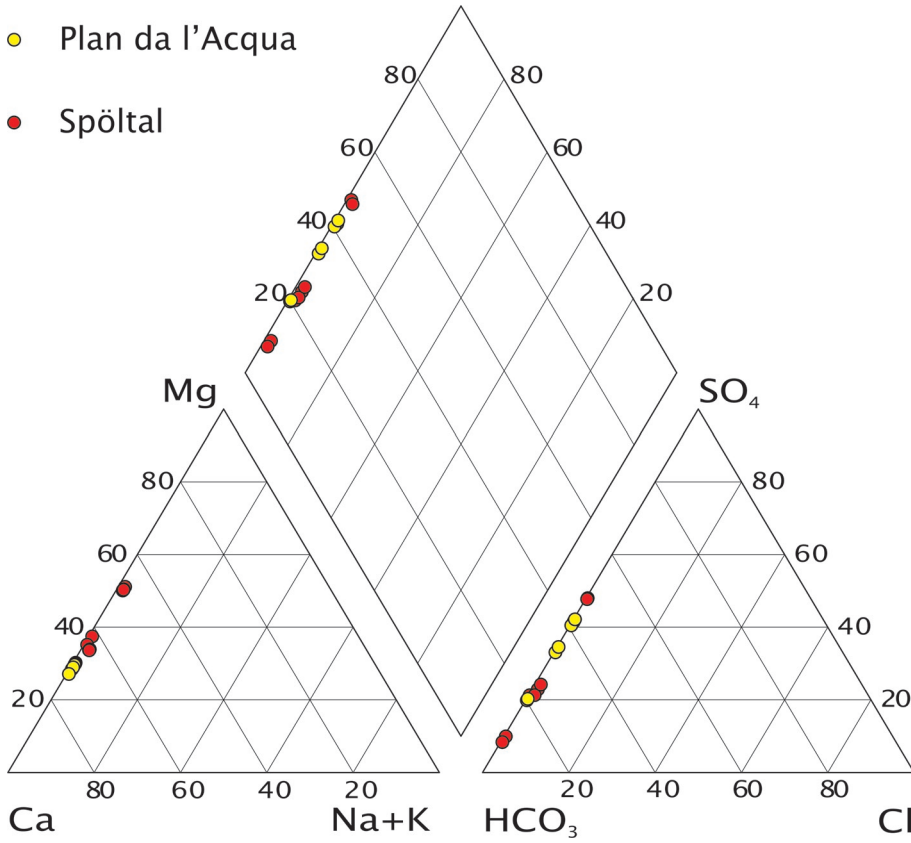


Abbildung 4.9  
Piper-Diagramm der Messungen im Spöltal und der Plan da l'Acqua.

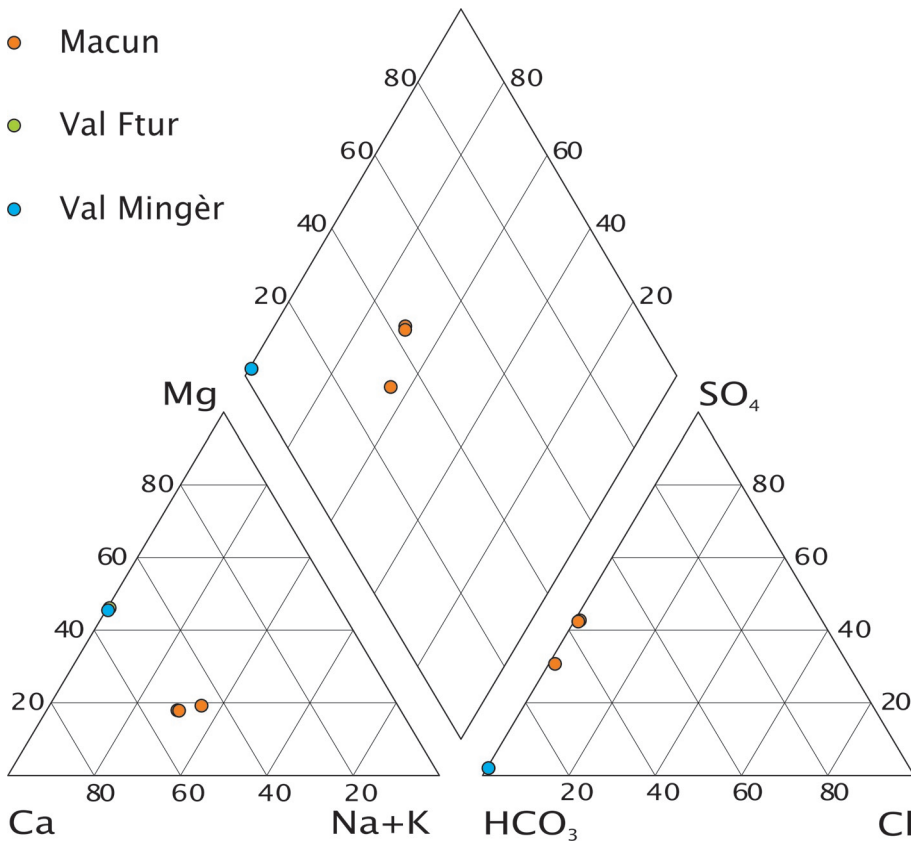
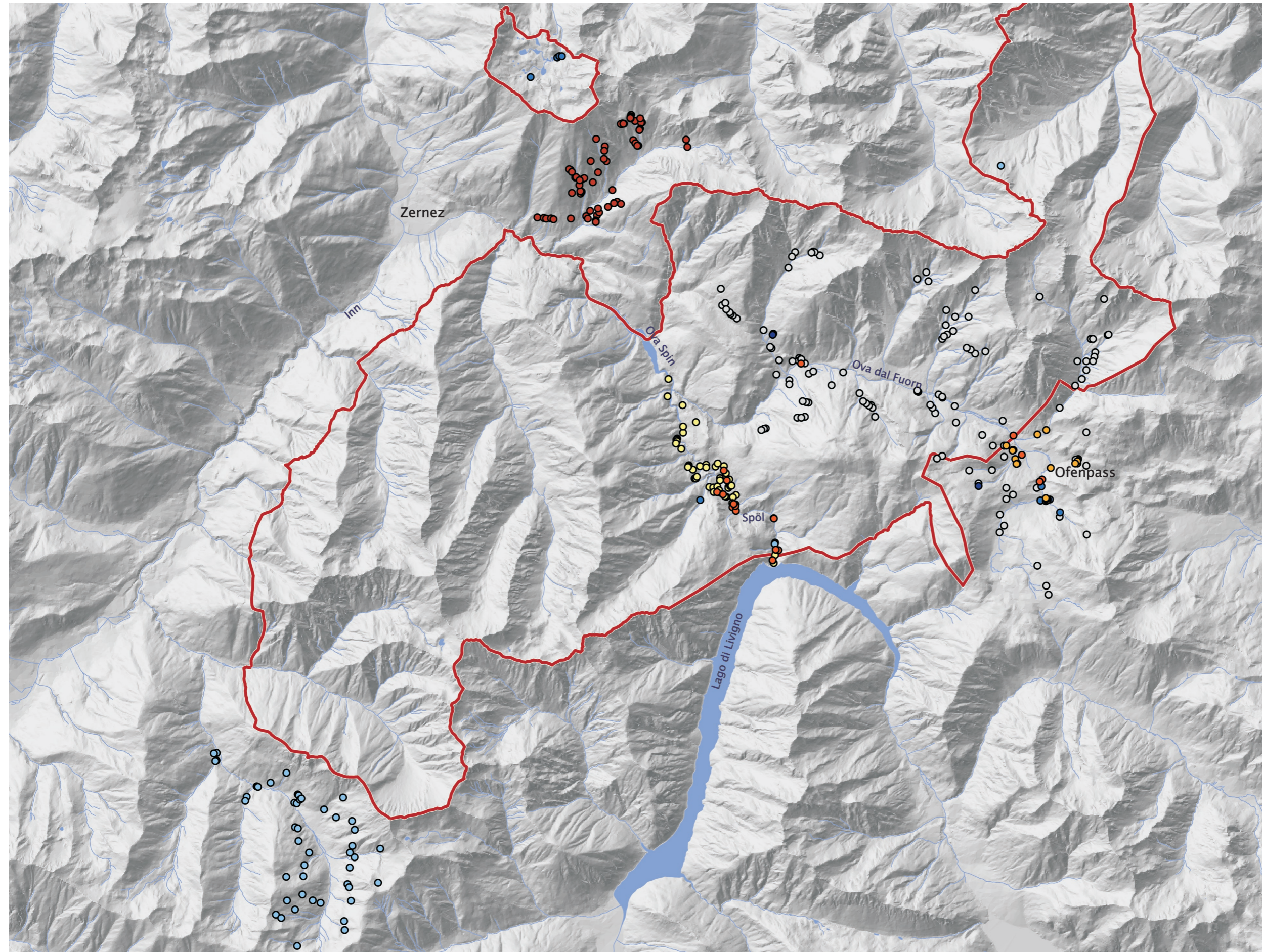


Abbildung 4.11  
Piper-Diagramm der restlichen Messungen



Übersichtskarte aller gemessenen Quellen im Gebiet des SNP

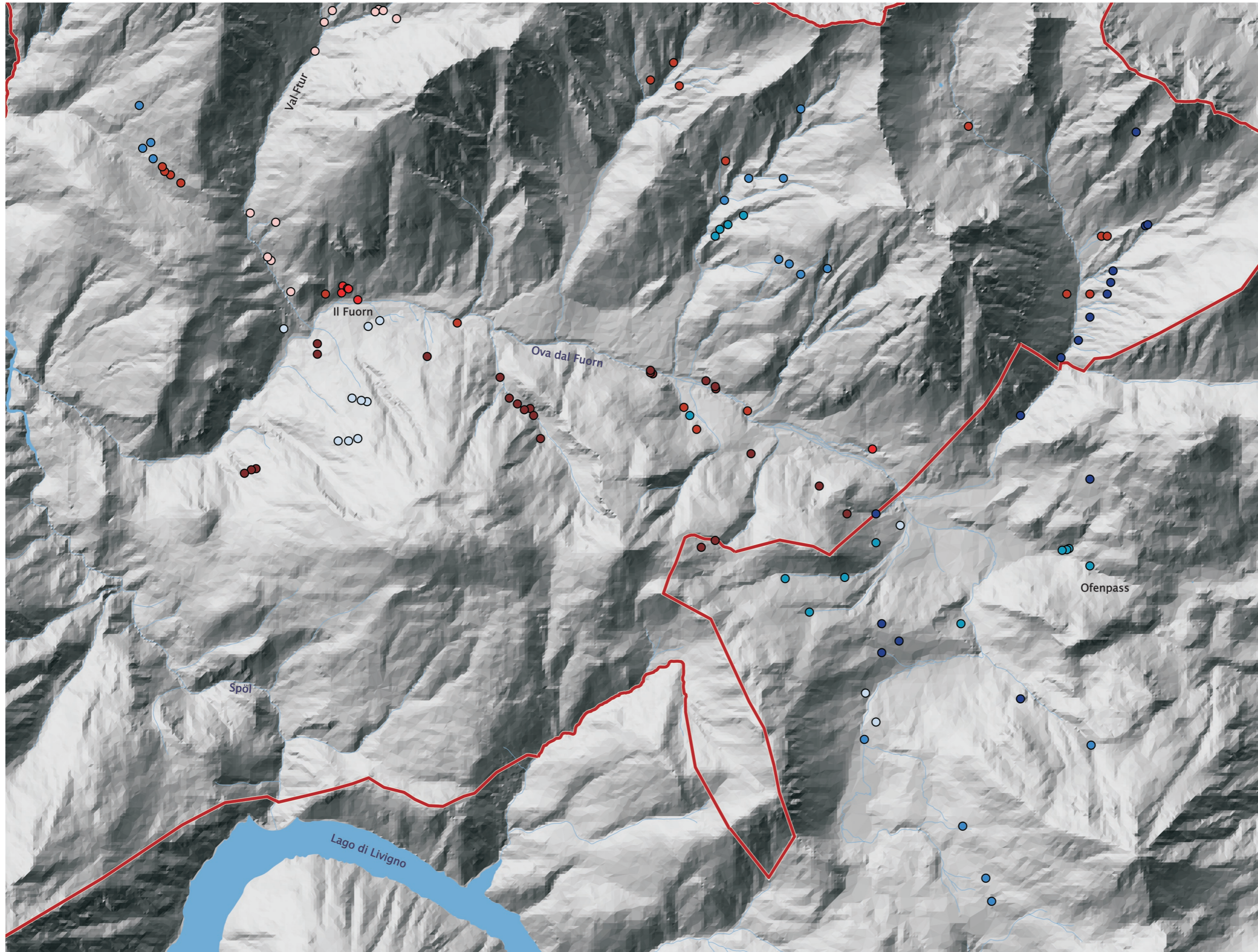
erstmalige Messung von:

- Schmassmann
- Vetter
- Frey
- Pointner
- Clausen
- Strasky/Haemmig
- Margreth
- Steiner

1 km



### Übersichtskarte der „Schmassmann-Quellen“



- 1964
- 1963
- 1961
- 1960
- 1959
- 1958
- 1957
- 1955

N

1 km



Quelle	Koordinaten	Lokalität	Höhe	Quellentyp
BR1	814600 / 170730	Val Brüna	1960	Rheokrene
BR2	814540 / 170850	Val Brüna	1920	Rheokrene
BR2	814540 / 170850	Val Brüna	1920	Rheokrene
BR3	814490 / 170920	Val Brüna	1910	Rheokrene
BR4	814220 / 171210	Val Brüna	1890	Aufstoss
BR5	814200 / 171220	Val Brüna	1890	Aufstoss
BUS1	816200 / 169050	Alpe Buffalora	2180	Rheokrene
BUS1	816200 / 169050	Alpe Buffalora	2180	Rheokrene
BUS114	816150 / 169750	Alpe Buffalora	2040	Sick.quelle
BUS115	815880 / 169450	Alpe Buffalora	2130	Sick.Quelle
BUS116	815365 / 169440	Alpe Buffalora	2200	Sick.Quelle
BUS117	815575 / 169150	Alpe Buffalora	2260	Rheokrene
BUS121	816885 / 169050	Buffalora	2080	Rheokrene
BUS127	816150 / 170000	Alpe Buffalora	2020	Sumpf
BUS144	816350 / 168900	Buffalora	2180	Rheokrene
BUS145	816200 / 168800	Buffalora	2180	Rheokrene
BUS146	817400 / 168400	Buffalora	2220	Rheokrene
BUS3	816150 / 168200	Buffalora	2120	Rheokrene
BUS5	816060 / 168450	Buffalora	2060	Sick.Quelle
BUS7	815900 / 170000	Buffalora	1990	Rheokrene
BUS70	815900 / 170000	Alpe Buffalora	2090	Rheokrene
BUS84	816360 / 169900	Alpe Buffalora	1980	sick.Quelle
CL1	810140 / 172860	Champlönch	2060	Rheokrene
CL11	809810 / 173160	Champlönch	2030	Sick.Quelle
CL13	809880 / 173210	Champlönch	2060	Rheokrene
CL15	809780 / 173530	Champlönch	2100	Rheokrene
CL3	810050 / 172930	Champlönch	2060	Rheokrene
CL5	810000 / 172960	Champlönch	2060	Rheokrene
CL7	809980 / 173000	Champlönch	2060	Rheokrene
CL9	809900 / 173070	Champlönch	2060	Rheokrene
GdF1	812530 / 171650	God dal Fuorn	1820	Rheokrene
GdF3	811320 / 171470	God dal Fuorn	1890	Rheokrene
GdF5	811320 / 171380	God dal Fuorn	1930	Rheokrene
GdF7	812270 / 171360	God dal Fuorn	1960	Rheokrene
GdF82	811760 / 171620	God dal Fuorn	1805	Rheokrene
GdF83	811860 / 171670	God dal Fuorn	1800	Helokrene
GLD1	811750 / 170970	God la Drossa	2000	
GLD11	811500 / 170630	God la Drossa	2080	Rheokrene
GLD3	811700 / 170980	God la Drossa	1990	Rheokrene
GLD5	811620 / 171000	God la Drossa	1970	Rheokrene
GLD7	811670 / 170650	God la Drossa	2120	Rheokrene
GLD9	811590 / 170630	God la Drossa	2110	Rheokrene
GSF10	811540 / 171970	God Sur il Fuorn	1820	Rheokrene
GSF12	811530 / 171910	God Sur il Fuorn	1790	Rheokrene
GSF14	811390 / 171900	God Sur il Fuorn	1800	Rheokrene
GSF4	811670 / 171850	God Sur il Fuorn	1770	Rheokrene
GSF6	811580 / 171950	God Sur il Fuorn	1810	Rheokrene
GSF8	811590 / 171945	God Sur il Fuorn	1810	Rheokrene
MJ1	818010 / 168000	Murtaröl und Jufplaun	2400	Sick.Quelle
MJ3	816900 / 167300	Murtaröl und Jufplaun	2400	Sick.Quelle
MJ5	817100 / 166850	Murtaröl und Jufplaun	2440	Rheokrene
MJ7	817150 / 166650	Murtaröl und Jufplaun	2390	Bach
MJ9	816050 / 168050	Murtaröl und Jufplaun	2220	Bach
MS2	815730 / 172120	Murteras da Stabelchod	2350	Bach
MS4	815500 / 172070	Murteras da Stabelchod	2300	Rheokrene
MS6	815400 / 172160	Murteras da Stabelchod	2300	Rheokrene
MS8	815310 / 172200	Murteras da Stabelchod	2270	Rheokrene
OFa1	815660 / 170240	Ova Fuorn	2040	Sick.Quelle
OFa3	815070 / 170520	Ova Fuorn	1760	Rheokrene
OFa5	814760 / 169770	Ova Fuorn	2270	Rheokrene
OFa7	814640 / 169710	Ova Fuorn	2310	Brunnen
OFb10	814680 / 171150	Ova Fuorn	1900	Rheokrene
OFb12	814200 / 171240	Ova Fuorn	1880	Aufstoss

Quelle	Koordinaten	Lokalität	Höhe	Quellentyp
OFb2	816120 / 170560	Ova Fuorn	1960	Rheokrene
OFb4	815040 / 170890	Ova Fuorn	1920	Aufstoss
OFb6	814765 / 171080	Ova Fuorn	1900	Aufstoss
OFb8	814760 / 171100	Ova Fuorn	1900	Aufstoss
PD1	810790 / 170390	Punt la Drossa(südlich)	1890	Fassung
PD3	810750 / 170380	Punt la Drossa(südlich)	1830	Rheokrene
PD5	810690 / 170350	Punt la Drossa(südlich)	1860	Rheokrene
PDF113	818000 / 169550	Pass dal Fuorn	2080	Rheokrene
PDF118	817820 / 169700	Pass dal Fuorn	2020	Bachbett Sickerquelle
PDF119	817800 / 169690	Pass dal Fuorn	2020	Rheokrene
PDF120	817760 / 169685	Pass dal Fuorn	2010	Rheokrene
VB1	814400 / 173900	Val dal Botsch	2340	Sickerquelle
VB2	814200 / 173750	Val dal Botsch	2320	Rheokrene
VB3	814450 / 173700	Val dal Botsch	2340	Rheokrene
VCh1	813250 / 170650	Val Chavagl	2050	Rheokrene
VCh11	812900 / 171180	Val Chavagl	1910	Rheokrene
VCh2	813160 / 170910	Val Chavagl	1980	Rheokrene
VCh3	813190 / 170850	Val Chavagl	1980	Rheokrene
VCh5	813110 / 170900	Val Chavagl	1960	Rheokrene
VCh7	813050 / 170950	Val Chavagl	1950	Rheokrene
VCh9	812980 / 171000	Val Chavagl	1940	Hangwasser
VF1	812005 / 174280	Val Ftur	2440	Sick.Quelle
VF10	811300 / 174000	Val Ftur	2150	Rheokrene
VF11	810920 / 172190	Val Ftur	1840	Rheokrene
VF12	811030 / 171600	Val Ftur	1760	Rheokrene
VF13	811090 / 171920	Val Ftur	1820	Rheokrene
VF2	811850 / 174360	Val Ftur	2360	Rheokrene
VF3	811890 / 174350	Val Ftur	2375	Bach
VF4	811820 / 174340	Val Ftur	2340	Rheokrene
VF5	810740 / 172600	Val Ftur	1900	Sick.Quelle
VF6	811450 / 174350	Val Ftur	2260	Sick.Quelle
VF7	810960 / 172520	Val Ftur	1960	Rheokrene
VF8	811380 / 174250	Val Ftur	2200	Bach
VF9	810890 / 172220	Val Ftur	1840	Rheokrene
VN1	818100 / 172400	Val Nügla	2320	Rheokrene
VN112	818000 / 170300	Val Nügla	2260	Sickerquelle
VN129	818480 / 172490	Val Nügla	2380	Rheokrene
VN130	818500 / 172500	Val Nügla	2380	Aufstoss in Bachbett
VN131	818400 / 173300	Val Nügla	2320	Rheokrene
VN132	818200 / 172100	Val Nügla	2250	Bachbett nach Felsriegel
VN133	818180 / 172000	Val Nügla	2260	Aufstoss in Bachbett
VN139	818150 / 171900	Val Nügla	2220	Aufstoss in Bachbett
VN140	818000 / 171700	Val Nügla	2180	Aufstoss in Bachbett
VN141	817900 / 171500	Val Nügla	2150	Bach
VN142	817750 / 171350	Val Nügla	2085	Rheokrene
VN143	817400 / 170850	Val Nügla	2070	Sickerquelle
VN2	816950 / 173350	Val Nügla	2500	Sickerquelle
VN3	818150 / 172400	Val Nügla	2320	Rheokrene
VN4	817800 / 171900	Val Nügla	2180	Rheokrene
VN5	818000 / 171900	Val Nügla	2180	Sickerquelle
VS1	815500 / 173500	Val da Stabelchod	2400	Bach
VS11	814760 / 172400	Val da Stabelchod	2070	Sick.a.Hang
VS2	815500 / 173500	Val da Stabelchod	2400	Bach
VS3	815350 / 172900	Val da Stabelchod	2320	Rheokrene
VS4	815050 / 172900	Val da Stabelchod	2170	Rheokrene
VS5	815005 / 172580	Val da Stabelchod	2170	Sick.i.B'bett
VS6	814850 / 173050	Val da Stabelchod	2200	Rheokrene
VS7	814870 / 172500	Val da Stabelchod	2120	Rheokrene
VS8	814840 / 172710	Val da Stabelchod	2095	Rheokrene
VS9	814800 / 172460	Val da Stabelchod	2110	Rheokrene

## Die "Schmassmann- Quellen"



