

# **Quellenhydrologie im Schweizerischen Nationalpark - mit einer glazialgeologischen Erweiterung**



Bild 1: Südflanke des Piz Nair (24.1. 2008)

## **Bachelor-Arbeit**

der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern,  
vorgelegt von Remo Coldebella von Stans NW, 2008

Leiter der Arbeit:  
Prof. Dr. Christian Schlüchter, Institut für Geologie,  
Universität Bern

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>2</b>
<b>Quellenhydrologie im schweizerischen Nationalpark</b>	<b>3</b>
Einleitung	3
Geologie und Tektonik im Untersuchungsgebiet	4
Hydrologie	7
Quellenbeschreibung	8
Quelle CS 1	8
Quelle OFb 2	8
Feldmessungen	9
Probenentnahme	10
Quellwasser	10
Schneeproben	10
Laboranalysen	11
Ergebnisse und Diskussion	12
Herkunft der gemessenen Ionen	12
Schneeproben	14
Temperatur	15
Leitfähigkeit	16
OFb 2	17
CS 1	18
Schlussfolgerungen	19
<b>Glazialgeologie</b>	<b>20</b>
Untersuchung zweier Erratiker	20
Erratiker und Leitgesteine	20
Gesteinsproben	20
Erratiker Mü 5	20
Makroskopische Beschreibung	20
Mikroskopische Beschreibung	21
Minerale	21
Interpretation	22
Erratiker Mü 4	23
Makroskopische Beschreibung	23
Mikroskopische Beschreibung	23
Minerale	23
Interpretation	24
Schlussfolgerungen	24
Dank	25
Literaturverzeichnis	26
<b>Anhang</b>	<b>27</b>

## Zusammenfassung

Seit mehreren Jahren werden im Nationalpark Quellen wissenschaftlich untersucht und analysiert. Dabei hat sich herausgestellt dass die Wässer ausgewählter Quellen eine zeitlich unterschiedliche Zusammensetzung haben. Die Variationen zeigen jedoch, dass die Zusammensetzungen nicht zyklisch ändern, aber auch nicht konstant sind. Um eine eindeutigere Analyse zu bekommen und die Schwankungen einer bestimmten Periodizität zuzuordnen, müssten diese über einen längeren Zeitraum als die 48h beprobt werden.

Zusätzlich wurde ein Schneeprofil erstellt und analysiert um das Verhalten verschiedener Ionen im alten und neuen Schnee zu eruieren. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Ionenkonzentration im Neuschnee am höchsten ist und mit zunehmendem Alter und Rekristallisationsgrad abnimmt. Des Weiteren wurde festgestellt, dass die Konzentration in einer definierten Schicht ebenfalls von oben nach unten abnimmt und die Ionen in der Eisschicht am Boden eingefroren und angereichert werden.

# Quellenhydrologie im Schweizerischen Nationalpark

## Einleitung

Seit ein paar Jahren läuft im Schweizerischen Nationalpark ein Projekt zur Beprobung und Analyse von ausgewählten Quellen. Im Rahmen dieses Projekts wurden während verschiedenen zeitlichen Abständen Quellen auf ihre Wasserzusammensetzung beprobt und analysiert. Aus den vergangenen Messreihen (Haemmig & Strasky, 2003; Graf, 2005; Wirth, 2006; Gaar, 2006; Riner, 2007) ist ersichtlich, dass die chemische Zusammensetzung der Wässer im Verlaufe des Tages schwanken können. Um diese Änderungen in der Zusammensetzung genau zu dokumentieren, wurden zwei ausgewählte Quellen nahe der Alp Buffalora während 48 Stunden alle zwei Stunden beprobt. Gleichzeitig wurden verschiedene Messungen vor Ort durchgeführt, welche durch nachträgliche chemische Reaktionen im Labor nicht mehr rekonstruiert werden können. Die Wasserproben selbst wurden mit Ionenchromatographen auf ihren Ionengehalt untersucht. Zusätzlich zu den Wasserproben wurden noch Schneeproben aus einem Schneeprofil genommen, welche ebenfalls ionenchromatographisch untersucht wurden.

Ziel ist, die eventuellen Schwankungen während Tag und Nacht, beziehungsweise höhere periodische Schwankungen zu erkennen, falls es denn solche geben sollte. Die genommenen Schneeproben sollen hinweise darüber geben, wie viel und ob Ionen via Luft und Schnee in den Boden und dann in die Quelle gelangen. Es wurde schon erkannt, dass Schnee mit zunehmendem Alter kaum mehr Ionen enthält (Graf; 2005; Gaar, 2006; Riner, 2007), was auf eine Fraktionierung bei der Rekristallisation hinweisen könnte.

## **Geologie und Tektonik im Untersuchungsgebiet**

Das Quellgebiet lässt sich grobstektonisch zum Ostalpine zählen, welches die Oberste „Decke“ des alpinen Deckenstapels bildet. Im Süden werden diese durch die Insubrische Linie begrenzt; im Westen erscheinen allmählich die darunter liegenden Penninischen Decken. Während der Entstehung der Alpen wurden die verschiedenen Schichten von Süden her überschoben. Heute findet man im Norden der Alpen die untersten Schichten, das Helvetikum und das Penninikum und gegen Südosten die darüber liegenden Ost- und Südalpinen Decken (Labhart, Geologie der Schweiz, 2005).

Das Ostalpin selbst wird in Ober- und Unterostalpin aufgetrennt, was der heutigen Lagerung entspricht. Ein weiteres markantes tektonisches Element ist die Engadiner Linie, welche von Südwesten nach Nordosten verläuft. Es handelt sich dabei um eine sinistrale Blattverschiebung. Die untersuchten Quellen liegen südlich der Engadiner Linie im Oberostalpin, genauer in der so genannten S-charl Decke. Die S-charl-Decke kann grob in einen Unter- und einen Oberbau aufgeteilt werden. Der Unterbau besteht hauptsächlich aus Dolomiten. Der Oberbau besteht aus Sedimenten aus der oberen Trias, welche heute den Hauptdolomit bilden. Getrennt wird der Unter- und Oberbau durch eine „plastische“ Schicht von Evaporiten und Tonschiefern.

Als Basis des Unterbaus gelten Amphibolite, Gneise und Rhyolite. Dieses von der Chazfora-Formation umgebene Kristallin ist jedoch im Quellgebiet und somit im Nationalpark nirgends aufgeschlossen. Die Chazfora-formation ist die nächst jüngere Einheit und besteht aus rotvioletten und grünen Sandsteinen, aus einem kontinentalen Ablagerungsmilieu. Ihr Karbonatgehalt ist mit 0-10% gering.

Sie werden als detritische Sedimente interpretiert und führen Rhyolit- und Gneiskomponenten aus dem Grundgebirge.

Die darüber liegende Fuorn-Formation besteht aus Ablagerungen aus der unteren bis mittleren Trias. Grob besteht sie von unten nach oben aus zuerst roten Sandsteinen, gefolgt von grünen Quarzsandsteinen und einer Wechsellagerung von Dolomit, Rauwacke, Sandsteinen und grünen und roten Siltsteinen. Die Formation ist 50 m mächtig und hat einen Karbonatgehalt von 0-50%. Darüber kommen die S-Charl-Kalke zu liegen. Im Ofenpassgebiet handelt es sich um helle Kalke, welche bis zu 25% aus Dolomit bestehen können. Sie haben im Untersuchungsgebiet eine nur

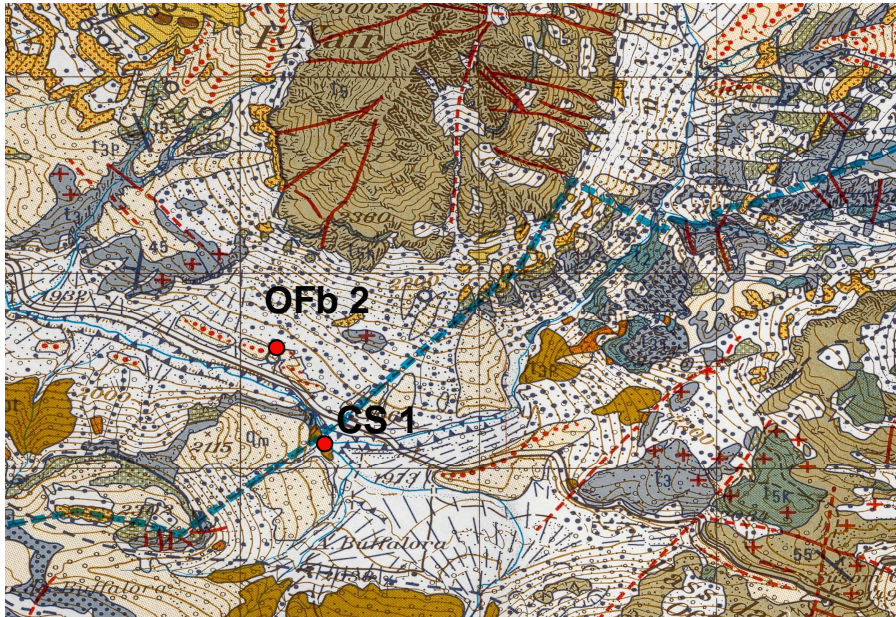


Abb.1 :geologische Karte des Untersuchungsgebiets

- |   |   |
|---|---|
| q <sub>m</sub> = Moräne (rote gepunktet mit Wall)   | t <sub>3T</sub> = Turettas Dolomit (blaue Punkte) |
| t <sub>5</sub> = Münschauns Dolomit (braun)         | t <sub>2</sub> = S-Charl-Kalke                    |
| t <sub>4t</sub> = Raibler-Formation (rote Punkte)   | t <sub>1</sub> = Fuorn-Formation (orange)         |
| t <sub>3P</sub> = Parai-Alba-Dolomit (grüne Punkte) | pt = Chazfora-Formation                           |
| t <sub>3</sub> = Vallatscha Dolomit                 |   |

geringe Mächtigkeit und werden von der Vallatscha-Formation abgelöst. Diese wird in den dünnbankigen Turetta-Dolomit und den oberen, dickbankigen Vallatscha-Dolomit aufgeteilt. Dieser besteht aus dunklen, körnigen Dolomiten. Abgeschlossen wird der Unterbau von den Parai-Alba-Dolomiten. Sie bilden eine mächtige Bank aus hellen Dolomiten, welche zum Teil vulkanische, rötlich verwitternde Tuffe enthalten.

Zwischen Unter- und Oberbau der S-Charl-Decke liegt die Raibler-Formation, welche aus Evaporiten und Gipsen besteht, und so den plastischen Abscherhorizont bildet.

Über diesem Abscherhorizont kommen die bis zu 1500m mächtigen Hauptdolomite zu liegen, welche den grössten Teil des Oberbaus ausmachen. Im Untersuchungsgebiet ist der Hauptdolomit durch den Münschauns-Dolomit vertreten. Dieser besteht aus einem grauen, grobgebankten, zuckerkörnigem Dolomit (Haemmig & Strasky, 2003).

Das heutige Landschaftsbild ist geprägt durch verschiedene Gletschervorstösse, welche die Morphologie stark veränderten. Neben verschiedenen jüngeren Schutthalden findet man auch reliktsch Moränen. Die Quelle OFb 2 entspringt in einer solchen Moräne (Abb. 1).

Grosse Teile des Tales sind heute durch Schutt- und Schwemmfächer bedeckt, welche auch als Folge des auftauenden Permafrostes entstanden sind. Genaueres hierzu ist in Trümpy et al. (1997) nachzulesen. Die Zusammensetzung dieser Gesteine ist unklar, jedoch können alle darüber liegenden Gesteine vorkommen.

## Hydrogeologie

Je nach Beschaffenheit des Bodens, bzw. der darin vorkommenden Gesteine und Gesteinsschichten, können diesen verschiedene hydrogeologische Eigenschaften zugeteilt werden. Dazu werden die Gesteine und Schichtenfolgen nach ihrer Durchlässigkeit für Wasser in Aquifer, Aquitard und Aquiclude aufgeteilt. Ein Aquifer ist eine Schicht aus einem ausreichend durchlässigen Material, wie z.B. Sand, zerklüftetem Kalk oder einem anderen porösen Gestein, und kann somit eine signifikante Menge Wasser an eine Quelle abgeben. Ein Aquitard oder Geringleiter, ist eine Schicht, welche nicht absolut wasserundurchlässig ist, jedoch nur von einer geringen Menge Wasser pro Zeiteinheit durchflossen werden kann. Sie besteht z.B. aus Tonen oder Silten. Die dritte Bezeichnung, die Aquiclude, steht für Schichten und Schichtenabfolgen aus Gesteinen, welche kein Wasser passieren lassen, wie reiner Ton.

Da verschiedene Schichtenabfolgen immer auch unterschiedliche Durchlässigkeiten für Wasser besitzen, ist die Bezeichnung Aquifer, Aquitard oder Aquiclude einer Schicht immer in Relation zu den umliegenden Schichten.

Die Schichten im Untersuchungsgebiet können grob all diesen drei Gruppen zugeordnet werden. So können die zerklüftungsfähigen und karstanfälligen Kalke und Dolomite der S-Charl-Decke als Aquifer bezeichnet werden. Als Aquitard, die Sandsteine und Siltsteine der Chazfora- und Fuorn-Formation. Zu den Aquicluden zählen die undurchlässigen Tonschiefer der Raibler-Formationen.

Der Gehängeschutt und die Schwemmkegel, durch welche das meiste Schmelz- und Regenwasser versickert, sind sehr gute Aquifere. Im Gegensatz dazu stehen die Wallmoränen, welche durch oft hohe Ton- und Siltanteile zu den Aquitarden oder gar den Aquicluden gehören (Strasky & Haemmig, 2003).



## **Quellenbeschrieb**

### **Quelle CS 1**

Die Quelle CS 1, Koordinaten (816.700/170.150), kommt unmittelbar in der Schwemmebene der Ova del Fuorn aus dem Boden. Dabei handelt es sich um eine typische Lockergesteinsquelle. Das Wasser sammelt sich grossen Teils im quartären Schwemmkegel unterhalb der Strasse. Die Lithologie der durchflossenen Gesteine kann wie bereits erklärt, nicht eindeutig bestimmt werden.

Als die Messungen im Hochwinter durchgeführt wurden, lag bei der Quelle und deren Umgebung soviel Schnee, dass kein direkter Quellaustritt gefunden werden konnte. Jedoch liessen einzelne Schmelzspuren vermuten, wo das Wasser nach Austritt durchfliessen würde.

Die eigentliche Messung konnte so nur unmittelbar am vermuteten Austritt in den Bach vorgenommen werden und es ist sehr wahrscheinlich, dass das Wasser der Ova del Fuorn und nicht direkt das Quellwasser analysiert wurde. Dies auch in Anbetracht der grossen Schüttmenge für eine kaum sichtbare Quelle. Sie lag grob bei ca. 60 l/min. Der Durchfluss wurde aus dem Querschnitt der Rinne und der geschätzten Fliessgeschwindigkeit errechnet.

Aus vorangegangenen Messungen (Riner, 2007 und Gaar, 2006), wusste man, dass diese Quelle starke Temperaturschwankungen sowie Schwankungen des NaCl Gehaltes im Verlaufe des Tages aufwies. Dadurch kam man zum Schluss, dass das Wasser nur kurze Zeit im Gehängeschutt verlief und schnell wieder austritt.

### **Quelle OFb 2**

Die Quelle OFb 2, Koordinaten (816.150/170.575) liegt in einer Waldlichtung ca. 500m nordwestlich der Alp Buffalora, nahe der Ofenpassstrasse. Gemäss geologischen Karten tritt sie aus einem Moränenwall, der vor den Steilauftragenden Dolomiten des Piz Nair liegt (Abb. 1). Wie weit hinauf sich der Wall zieht und wo er endet, sowie wo genau die Schichtgrenzen verlaufen, ist wegen dem Gehängeschutt nicht ersichtlich. In direkter Umgebung der Quelle OFb 2 liegen zwei weitere Quellen, welche ebenfalls direkt oberhalb des Gehängeschuttes und dem Moränenwall austreten.

Trotz der kalten Temperaturen, welche bei den Messungen vorherrschten, war die Quelle überhaupt nicht von Schnee bedeckt und hatte eine Schüttung von Grobgeschätzten 300-500 l/min.

Wie aus den vorangegangenen Messungen bekannt, hat die Quelle eine konstante Temperatur von 4.5°C, was auf eine längere Verweildauer im Boden hinweist und so auch die komplette Freilegung vom Schnee erklärt.

## Feldmessungen

Die Feldmessungen begannen am 23. Januar 2008 um ca. 14.00. Darauf wurden die beiden Quellen OFb 2 sowie CS 1 während 48 Stunden alle zwei Stunden beprobt. Zusätzlich wurde mittels verschiedener Sonden die Wassertemperatur, der pH-Wert, der O<sub>2</sub>-Gehalt sowie die Leitfähigkeit des Wassers bestimmt (Tab. 1). Hierzu wurden die Messgeräte bei den Quellen stationär installiert und führten in einem bestimmten Zeitabstand Messungen durch und speicherten diese. An der Quelle OFb 2 waren zwei Multimeter des Types Multiline P4, an der Quelle CS 1 ein Gerät des Typen Multi 350i eingesetzt. Zusätzlich wurden alle zwei Stunden Messungen von Hand vorgenommen und notiert. Diese wurden ebenfalls mit einem Multiline P4 durchgeführt. Beide Instrumente stammen von der Firma WTW.

Sonde	Messgenauigkeit
pH	±0.004
Sauerstoff	±0.5% des Messwertes
Leitfähigkeit	±0.5% des Messwertes
Temperatur	±0.2 K

Tab 1: Messgenauigkeiten der Sonden

## **Probenentnahme**

### **Quellwasser**

Die Quellwasserproben wurden mit sterilen 500ml Spritzen, 0,2µm Filter sowie mit doppelt verschliessbaren Gefässen durchgeführt, welche bis zum Rande hin gefüllt wurden und keine Luft enthalten sollten. Das Wasser wurde jeweils von den Spritzen aufgenommen und durch die Filter direkt in die Gefässe gespritzt. Um jegliche Kontamination durch anders Wasser zu vermeiden, wurden bei jeder Messung neue Filter und Spritzen verwendet. Das Filtern des Wassers ist notwendig, um Bakterien und andere Partikel aus dem Wasser zu filtern. Dies, da Bakterien z.B. Schwefelverbindungen spalten können und so das Erscheinungsbild der später gemessenen Stoffe verändert wiedergegeben würde. Einmal entnommen und in den Gefässen sollten die Proben möglichst dunkel und gekühlt aufbewahrt werden, um chemische und biochemische Vorgänge zu minimieren.

### **Schneeproben**

Die Schneeproben, Koordinaten (816.850/170.225), wurden am 25. Januar 2008 ein paar hundert Meter von der Strasse entfernt auf der Alp Buffalora genommen. Hierzu wurde ein Schneeprofil von der Schneeoberfläche bis zum Boden gemacht. Anschliessend wurde der Schnee mit zylinderförmigen Gefässen alle 10cm entnommen und diese gut verschlossen. Auch hier sollte darauf geachtet werden, dass die Proben möglichst keine nachträgliche Kontamination durch Dritte aufweisen. Das Schneeprofil wies eine Höhe von 90cm auf und konnte grob in 4-5 Schichten aufgeilt werden. Die obersten 50cm entsprachen ungefähr der gefallenen Schneemenge der Tage zuvor und waren pulvrig. Von 40 bis 25 cm war der Schnee körnig, jedoch fest verbunden und stabil, während der Schnee zwischen 25 und 5 cm auch körnig war, jedoch völlig instabil. Er rutschte beim erstellen des Profils einfach wie trockener Sand zu Boden. Die untersten 5cm bestanden komplett aus Eis. Der Boden darunter war nicht gefroren.

Wie bereits in den Jahren zuvor ist auch hier das Ziel, herauszufinden, ob der Ionengehalt mit dem Alter des Schnees variiert und falls, welche Ionen

ausgewaschen werden. Zusätzlich erhält man noch Informationen, welche Ionen durch die Luft über den Schnee in den Boden gelangen.

## **Laboranalysen**

Im Labor für Ionenchromatographie am Institut für Geologie wurden die Wasserproben mit zwei Ionenchromatographen des Types DX-120 der Firma Dionex analysiert. Die beiden Chromatographen, einer für die Kationen und einer für die Anionen, werden über den Computer gesteuert und die gemessenen Daten direkt angezeigt. Für jede Probe musste jeweils 1ml in die Chromatographen injiziert werden, wovon je 1µl analysiert wurde. Das Prinzip der Chromatographen beruht darauf, dass verschiedene gelöste Ionen mit einer stationären Phase unterschiedlich stark in Wechselwirkung sind und diese zeitlich versetzt verlassen. Anschliessend durchläuft die Lösung einen Supressor, welcher signifikante Signale verstärkt und Hintergrundgeräusche herausfiltert. Die nach der Trennung gemessene Leitfähigkeit der Lösung ist proportional zur Ionenkonzentration einer Spezies welche vom Computer berechnet wird. Wie die genaue Funktionsweise der einzelnen Teile ist, ist in Haemmig & Strasky (2003) nachzulesen.

Quantitative Aussagen werden nur von den am meisten vorhandenen Ionen gemacht. Welches diese sind ist aus den vorangegangenen Messungen bekannt: Die Anionen Chlorid, Nitrat und Sulfat sowie die Kationen Natrium, Kalium, Magnesium und Calcium. In den Jahren zuvor wurde auch das Fluorid gemessen, welches aber in so kleiner Konzentration vorhanden ist, dass die Messungen meist unter der Bestimmungsgrenze von 5% liegen.

Vor den Analysen müssen die Geräte kalibriert werden. Dies geschieht mit Lösungen bekannter Konzentrationen.

Um während der Messung statistische Fehler durch Aufschaukelung zu vermeiden, werden die Proben zufällig gewählt und nach jedem vierten Durchlauf einmal mit Nanowasser gereinigt und eine Nulllinie gemacht. Zusätzlich sollten die Messungen von Hand überprüft werden, da der Computer nicht immer fähig ist, die Daten einem spezifischen Ion zuzuordnen. Dies aufgrund der sich mit der Zeit verändernden Retentionszeiten der Trennsäulen.

## Ergebnisse und Diskussion

### Herkunft der gemessenen Ionen

Die gemessenen Ionen können grundsätzlich verschiedenen Ursprungs sein. Einerseits kommen sie via Atmosphäre und Niederschlag, z.B. über den Schnee, ins Grundwasser und somit auch in die Quellwässer. Solche Ionen können durch anthropogene Einflüsse oder salzreiche Meeresluft eingeführt werden und möglicherweise als zyklisches Signal im Quellwasser gemessen werden. Andererseits kann jedes Wasser bestimmte Gesteine auflösen und diese als gelöste Stoffe abtransportieren, es entsteht ein dem durchflossenen Gestein spezifisches, geogenes Signal. Diese sind im Schnee schwach oder gar nicht vorhanden, während sie im Quellwasser stark angereichert sein sollten. Im Folgenden soll die mögliche Herkunft der vorhandenen Ionen diskutiert werden.

**Chlorid (Cl<sup>-</sup>)** kommt in nur wenigen Gesteinsbildenden Mineralien vor, wodurch die Konzentration im Grundwasser eher gering sein sollte. Externe Einträge durch Chlorid können anthropogen oder durch die Meeresluft in das Wasser gelangen. Der wohl grösste Einfluss im Winter dürfte der Eintrag durch Streusalz und entsprechende Verfrachtungen sein. Aufgrund der Messungen im Schnee, wo der Chloridgehalt in den oberen Schichten hoch ist, darf davon ausgegangen werden, dass das Signal im Quellwasser grössten teils daher kommt. Es kann somit nur bedingt als Niederschlagssignal, jedoch eingebracht durch das erwähnte Streusalz oder Meeresluft, interpretiert werden.

**Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**, ist ein Produkt aus organischen Prozessen. Geogen kommt es kaum vor, kann jedoch durch natürliche oder anthropogene Düngung sowie biogene Abbauprozesse direkt, oder über Windverfrachtungen und Niederschläge in den Schnee und so ins Grundwasser gelangen. Die Nitrat-Konzentrationen sind in keiner Probe überragend hoch.

**Sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)** kommen im untersuchten Gebiet vor allem in Gips (CaSO<sub>4</sub> • H<sub>2</sub>O) und Anhydrit (CaSO<sub>4</sub>) als Calciumsulfate vor. Durch Verwitterung der Schwefelverbindung gelangen die Ionen in die Lösung und werden abtransportiert. In

der S-Charl-Decke treten diese Gesteine hauptsächlich in den Evaporiten der Raibler-Formation auf, welche direkt oberhalb der Quellen anstehen. Sie dürfen daher als geogenes Signal interpretiert werden. Nebst dem Calciumsulfat können auch Na-, Mg- und K-Sulfate vorkommen.

Anthropogen oder auf anderen natürlichen Wegen gelangen Sulfate durch Niederschlag, Düngung oder den Abbau organischer Substanzen in das Grundwasser. Diese sind jedoch viel geringer als die geogenen Signale.

**Natrium (Na<sup>+</sup>)** tritt oft in Verbindung mit Chlorid auf. Jedoch ist die Herkunft des Natriums vieldeutiger. So tritt es in vielen gesteinsbildenden Mineralien auf, kann aber auch durch salzige Meeresluft oder das anthropogene Streusalz in das Grundwasser gelangen. Auf Grund der hohen Konzentrationen im Neuschnee, kann wie beim Chlorid davon ausgegangen werden, dass das Natrium durch die Atmosphäre in das Grundwasser gelangt, es handelt sich also um ein Niederschlagssignal oder eben vom Strassenunterhalt.

In früheren Arbeiten (Gaar, 2006, Riner, 2007) wurde berichtet, dass das Natrium in etwa gleichen Mengen wie das Chlorid vorkommt. Bei den diesjährigen Proben ist das Na:Cl Verhältnis bei allen Messungen ungefähr 1:2 bis 1:3.

**Kalium (K<sup>+</sup>)** ist in nur geringen Konzentrationen vorhanden. Wie Natrium ist es in kristallinen Gesteinen häufig. Man findet es in Orthoklasen, Biotiten und Muskoviten ebenso wie in Evaporiten wie Sylvin und als Feldspatkörner in Sandsteinen. Durch Verwitterung wird es freigegeben, kann jedoch durch Adsorption schnell wieder an Tonmineralien gebunden werden. Anthropogen gelangt das Kalium durch Düngemittel oder auch Streusalz in das Grundwasser. Ob das Kalium nun aus anthropogenen oder natürlichen Quellen in das Quellwasser gelangt, ist aus den vorliegenden Daten nicht zu sagen und müsste noch genauer analysiert werden.

**Magnesium (Mg<sup>2+</sup>)** und **Calcium (Ca<sup>2+</sup>)** kommen im Kristallin sowie in Dolomiten, Kalken, Anhydriten und Gipsen vor. Hauptträger in der S-Charl-Decke dürften aber die Dolomite ((MgCa(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) sein. Über die ganze Messperiode sind die Konzentrationen relativ stabil. Auch sind die Anthropogenen Einflüsse gering. Quellen hierfür sind industrielle Emissionen und durch Abbau geförderte Erosion. Beide dieser Argumente können allerdings vernachlässigt werden, was auch die

geringen Konzentrationen im Schnee bestätigen. Daher können die Signale dieser beiden Ionen als geogen interpretiert werden (Strasky & Haemmig, 2003).

## Schneeproben

Um eine Idee davon zu bekommen welche Ionen über den Schnee in den Boden gelangen, wurden Schneeproben genommen und ebenfalls auf den Ionengehalt untersucht. Bei den Messungen ist klar ersichtlich, dass in der obersten Messung alle Ionen stark vertreten sind. Dann nimmt der Gehalt von oben nach unten relativ schnell ab, bis zum Übergang zur nächsten Schneedecke, wo er sprunghaft wieder ansteigt. Am deutlichsten zu sehen ist dies beim Übergang von 0.6m auf 0.5m (Abb. 2,3).

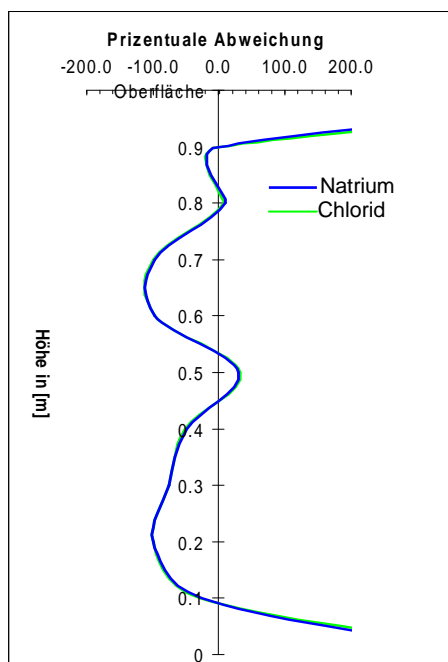


Abb.2 : prozentuale Abweichung der Konzentrationen im Schneeprofil. Die Werte zwischen 0.9-1.0m liegen bei 28'000, respektive 13'000% bei 0m.

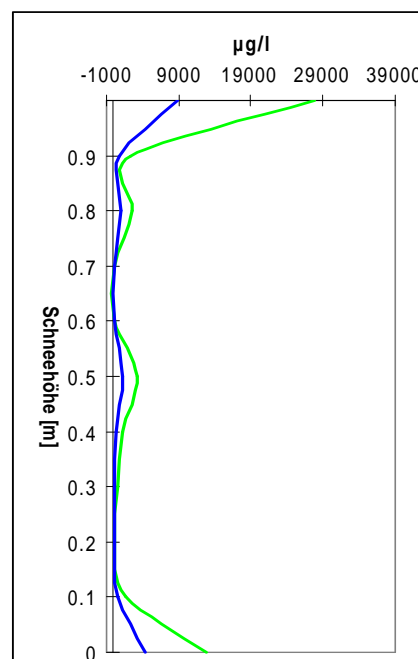


Abb.3: Absolute Konzentrationen gegen die Schneehöhe

Eine Abnahme des Ionengehaltes mit dem Alter des Schnees ist nicht eindeutig zu erkennen (Abb. 2,3). Jedoch sind die Werte besonders an der Oberfläche extrem hoch, weshalb es sein könnte, dass diese Ionen nachträglich eingeblasen wurden. In Gaar (2006) wurde erwähnt, dass das Nitrat im Schnee im Gegensatz zu anderen Ionen nicht abgereichert werde. Auffällig ist lediglich, dass es durch die ganze

Schneedecke am konstantesten vertreten ist und auch dort noch in relativ grosser Konzentration vorhanden ist, wo die anderen Ionen praktisch verschwunden sind (Abb. 16, Tab. 6, S. 34).

Das Sulfation ist in der ganzen Schneedecke nur einmal gemessen worden.

Interessant ist der Verlauf der Abweichungen von Chlorid und Natrium. Obwohl diese beiden Ionen in einer total unterschiedlichen Konzentration vorkommen, sind die Verläufe der Abweichungen mit der Schneehöhe exakt gleich.

Ein Beleg für die Hypothese von Gaar (2006) dass sich gelöste Stoffe bei der Rekristallisation inkompatibel verhalten, kann nicht eindeutig gemacht werden. Jedoch ist zu erwähnen, dass die Schneedecke noch recht neu und aufgrund der Temperaturen unter dem Gefrierpunkt nur wenig umgewandelt war.

## **Temperatur**

Die Temperatur des Quellwassers ist abhängig vom Wärmeaustausch mit der Umgebung. Im Falle einer Quelle ist das die Luft oder das Gestein, durch welches es fliesst. Die Quelle OFb 2 weist eine konstante Temperatur von 4.5°C auf. Die Lufttemperatur war bei der Beprobung um den Nullpunkt oder kälter. Das Wasser muss also dem Boden Energie entzogen haben, um sich zu erwärmen. Eine einfache Regel besagt, dass sich die Erde mit der Tiefe um 3°C pro 100 Meter erwärmt. Im Falle der OFb 2 kommt man so auf eine theoretische Tiefe von 100 bis 200 Meter (Abb. 8-10, Tab. 2, S.27 ff.).

Ganz anders Verhält sich die Temperatur der Quelle CS 1. Da das Einzugsgebiet der Quelle wahrscheinlich nur der Gehängeschutt ist, ist anzunehmen dass das Wasser nur kurz im Boden verweilt und sich daher nicht gross erwärmen kann. Trotzdem sind die Temperaturen mit 4°C relativ warm. Verglichen mit den Messungen in anderen Jahren ist dies bei der Umgebungstemperatur von unter Null, hoch. Wieso das Wasser so warm ist, ist nicht klar. Es wäre aber möglich, dass die Messungen die Temperatur des Baches wiedergeben, welcher sich bereits über längere Zeit durch die Sonne erwärmen konnte. Um diese Theorie zu stützen müssten die Temperaturen gegen den Morgen am kältesten sein. Die Messwerte ergeben jedoch eine Abweichung von max. 0.5°C. Eine bestimmte Periodizität der Temperatur ist ebenfalls nicht zu erkennen (Abb. 11-13, Tab. 3, S.30 ff.).



## **Leitfähigkeit**

Die Leitfähigkeit des Wassers ist gegeben durch den Gehalt an gelösten Ionen. Je mehr Ionen im Wasser sind, desto grösser ist die Leitfähigkeit. Die Leitfähigkeit der Quelle CS 1 ist höher als die der Quelle OFb 2.

## OFb 2

Aus der Analyse der Daten ist ersichtlich, dass die Schwankungen der Ionen Nitrat, Sulfat, Magnesium und Calcium gering sind. Die maximalen Abweichungen sind kleiner als 10% und können so als konstant angesehen werden. Sie weisen darauf hin, dass das Wasser eine gewisse Verweilzeit hat, in der das Wasser durch die Ionen angereichert wird. Verglichen mit den Schneeproben sind die absoluten Konzentrationen genau umgekehrt. So hat es im Quellwasser viel mehr Nitrat, Sulfat und vor allem Magnesium und Calcium. Das sind klare Hinweise für die geogene Beeinflussung des Wassers durch die durchflossenen Gesteinsschichten (Abb. 14, Tab. 4, S. 32)

Die Natrium-, Kalium- und Chloridwerte schwanken viel stärker. Eine Veränderung die dem Tagesverlauf zuzuschreiben ist, kann nicht erkannt werden. Durch die Unregelmässigkeit könnte es aber sein, dass diese Ionen über Schmelzwässer in das Grundwasser und in die Quelle gelangen. Die starke Schwankung dieser Ionen ist in Betracht auf ihren geringen Gehalt zu relativieren (Abb. 4, 5).

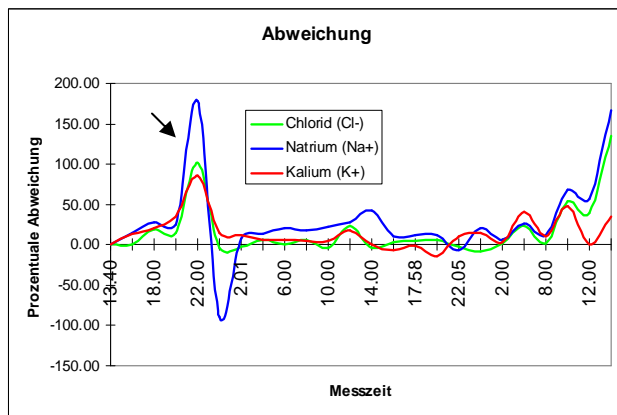


Abb. 4: Obwohl das Wasser in OFb2 länger verweilt, sind starke Abweichungen vorhanden.

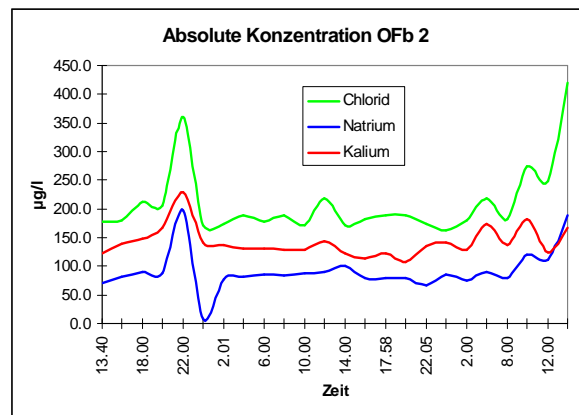


Abb. 5: Der parallele Verlauf der Ionen ist klar Erkennbar.

## CS 1

Wie bei der Quelle OFb 2 sind auch hier die Abweichungen des Sulfates, Magnesiums und Calciums gering (Abb. 15, Tab. 5, S. 33). Das Natrium sowie das Chlorid weisen eine starke Korrelation auf, was ein Hinweis auf die Herkunft, also das Streusalz, sein könnte. Im Verlauf des Tages gibt es jeweils zwei Peaks, einen um ca. 14.00 Uhr, den anderen um ca. 21.00 Uhr. Sie könnten einen Ausschlag durch zufließendes NaCl-haltiges Wasser von der mit Streusalz behandelten Strasse sein. Die Kaliumkonzentration zeigt ein weniger regelmässiges Bild, was durch die geringe Konzentration an sich zu erklären ist (Abb. 6,7).

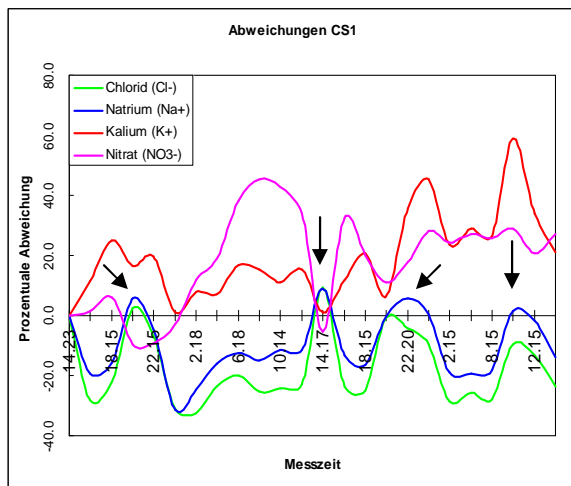


Abb. 6: Alle Ionen zeigen keinen eindeutigen Zyklus, sind aber nicht linear.

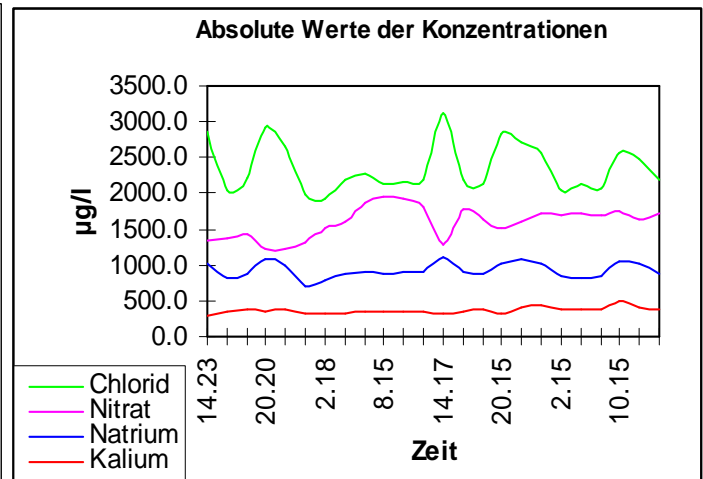


Abb. 7: Absolute Konzentrationen der einzelnen Messungen

## **Schlussfolgerungen**

Die Analyse hat gezeigt, dass das Wasser der Quellen nicht immer die gleiche chemische Zusammensetzung hat. Wieso diese Schwankungen zustande kommen, ist jedoch unklar. Es kann nicht eindeutig gesagt werden, ob die Schwankungen einen Tagesgang zeigen oder anderer Ursache sind.

Beim Schneeprofil hat sich ganz klar gezeigt, dass dort der Gehalt an Ionen von Schicht zu Schicht und auch innerhalb einer Schicht von oben nach unten abnimmt. Dies könnte bereits ein geringer Einfluss der bereits ablaufenden Rekristallisation sein. Die unterste Eisschicht hat wieder einen höheren Ionengehalt als die anderen Schichten. Dies liegt wohl daran, dass die Ionen dort wie eingefroren werden.

Für die nächsten Beprobungen sollte darauf geachtet werden, dass die anthropogenen Einflüsse möglichst gering sind. Das heisst die Probenentnahme sollt zu einem Zeitpunkt stattfinden, in welchem die Strassen nicht gesalzen werden, also im Sommer oder Herbst.

# **Glazialgeologie**

## **Untersuchung zweier Erratiker**

### **Erratiker und Leitgesteine**

Ein Erratiker ist ein Gesteinsbruchstück, welches von einem Gletscher von seinem Ursprungsgebiet weg transportiert und an einem anderen Ort wieder abgelagert wird. Als Erratiker bezeichnet man jedes Gestein, welches durch natürliche Prozesse auf ungleichen Lithologien zu liegen kommt. Im Allgemeinen werden diese auch als Findlinge bezeichnet.

Ein Leitgestein ist ein Gestein, welches einem eindeutigen Ort zugewiesen werden kann und somit einem bestimmten Gletscher zugewiesen wird. Aufgrund verschiedener Funde eines bestimmten Leitgesteins, kann man heute den Fließweg des sie transportierenden Gletschers eruieren.

### **Gesteinsproben**

Die Gesteinsproben stammen aus einer Kiesgrube bei Müntschemier im Seeland. Es handelt sich dabei um zwei Proben von zwei Erratikern, welche bei den Arbeiten gefunden wurden.

### **Erratiker Mü 5**

#### **Makroskopische Beschreibung am Handstück**

Mü 5 ist ein kalkhaltiges grau-grünes Gestein mit einem massigen Gefüge. Von Auge gut erkennbar sind kleine Calcit Adern und kalkige Bänder welche an der Oberfläche ins Gestein hinein verwittern. Dadurch entstehen kleine Hohlräume im Gestein. Einzelne Körner, darunter Quarz, sind mit der Lupe zu erkennen, jedoch nicht eindeutig zu bestimmen.

## **Mikroskopische Beschreibung**

Der Dünnschliff Mü 5 ist unter dem Mikroskop als ein Gestein, bestehend aus verschiedenen körnigen Komponenten erkennbar. In dem gut sortierten Gestein findet man vor allem Karbonat- und Quarzkörner. Neben diesen enthält es Hellglimmer, Oxide, Plagioklas, Pyroxen, Oxide sowie Akzessorien und Einschlüsse aus feinkörnigem Material. Eine Schieferung oder Schichtung ist nicht eindeutig zu erkennen, jedoch sind einzelne Unterschiede in der Zusammensetzung zu erkennen.

Der Ganze Schliff ist leicht trübe und auch im Dünnschliff nie richtig farblos, sondern immer leicht gefleckt. Dadurch entsteht ein heller grau-brauner Schimmer.

Der Salzsäuretest zeigt, dass die Probe einen hohen Anteil an Calcit hat.

Im Folgenden werden die wichtigsten Eigenschaften der vorhandenen Mineralien kurz beschrieben und interpretiert. Die verschiedenen Bestimmungsmerkmale sind aus Tröger (1982) entnommen.

## **Minerale**

Das **Karbonat** ist in Mü 5 in Form von kleinen Körnern vorhanden und im Durchschnitt weisen sie einen Korndurchmesser von ungefähr 0.25mm auf. Die einzelnen Körner zeigen immer schöne Zwillingslamellen. Im Pleochroismus sind sie nicht durchsichtig, sondern wie bereits erwähnt gräulich-gefleckt. Ob es sich dabei um Calcit oder Dolomit handelt ist am Dünnschliff nicht zu erkennen. Mit einem Anteil von 65% ist dieses Mineral am stärksten vertreten.

Der **Quarz** kommt als feine Körner in Karbonatmineralen vor, als einzelne Körner aber hauptsächlich in Form von Bruchstücken aus mehreren einzelnen Kristallen. Die Korngrenzen zeigen einen geraden bis leicht verzahnten Verlauf. Wie im Karbonat hat auch der Quarz verschiedene Einschlüsse. Des Weiteren zeigen die Körner eine undulöse Auslöschung. Der Quarz ist mit einem Anteil von rund 10% vertreten.

Der **Hellglimmer** ist in form von kleinen wenigen Stängeln vertreten. Die einzelnen, meist nicht zusammenhängenden Kristalle weisen keine bestimmte Ausrichtung auf und liegen in kleinen Lücken zwischen den anderen Mineralen. Zum Teil ist der

Glimmer oxidiert. Die Struktur ist dabei noch vorhanden, jedoch sind diese Stellen opak. Der Glimmer ist im Schliff mit ca. 7% vertreten.

Die **Plagioklase** zeigen polysynthetische Zwillinge. Auf Grund dieser ihnen typischen Eigenschaften sind sie relativ gut zu bestimmen. Ansonsten sehen sie den Quarzen ähnlich und sind auch in der Korngrösse ungefähr gleich. Die Plagioklase sind meist als einzelne Körner zu erkennen. Sie sind im Schliff mit einer Menge von 3% vertreten.

Neben diesen Mineralen findet man auch Einschlüsse bis 1cm, welche aus feinstem Material bestehen. Die genaue Zusammensetzung dieser Strukturen ist nicht zu erkennen. Die zum Teil grösseren Komponenten, die man darin findet, bestehen in erster Linie aus Karbonat und Quarz. Sie machen ebenfalls ca. 5% des Gesteins aus.

Die oxidischen Mineralien sind im Dünnschliff meist opak. Bei einem günstigen Schnitt lässt es sich auf Grund des dunkelroten Pleochroismus als Eisenoxid oder Hämatit bestimmen. Der Mengenanteil beträgt ungefähr 5%.

### **Interpretation**

Aufgrund der oben beschriebenen Minerale im Gestein lässt sich die Probe als ein Sediment mit hohem Karbonatgehalt interpretieren, also ein Kalksandstein. Spezifische Leitminerale konnten keine gefunden werden, was den Rückschluss auf ein bestimmtes Ursprungsgebiet sehr schwierig macht.

## **Erratiker Mü 4**

### **Makroskopische Beschreibung am Dünnschliff**

Wie der Erratiker Mü 5 stammt auch dieser von derselben Fundstelle. Das Gestein hat eine dunkelgrüne Farbe und einen silbermatten Glanz. Interne Strukturen sind nur Anhand von dünnen Schieferungsflächen zu erkennen. Einzelne Körner sind von Auge oder mit der Lupe nicht erkennbar.

Bricht das Gestein, entstehen gewellte Flächen, welche Hinweisen auf die Interne Struktur und die Anordnung der Minerale geben kann.

### **Mikroskopische Beschreibung**

Mü 4 ist unter dem Mikroskop als stark geschiefert, aus wenigen Mineralien aufgebautes Gestein zu erkennen. Neben dem Hauptanteil aus Antigorit finden sich nur wenige Minerale wie ein Amphibol, sowie ein Opakes Mineral. Neben diesen drei Mineralien findet man noch kleine unbestimmbare Körner.

### **Minerale**

Die einzelnen **Antigorit** Minerale sind alle mehr oder weniger in dieselbe Richtung eingeregelt und bilden eine leicht blättrige und gewellte Struktur. Zwischen durch findet man dünne Lagen, in welchen sich eine Schicht einregelt, welche schräg zur Hauptausrichtung liegt. Im Pleochroismus sind die Minerale farblos, während die Interferenzfarben gelb-braun sind. Der Antigorit ist mit einem Mengenanteil von 90% vertreten.

Die **Amphibole** sind selten und nur als kleine stängelige Minerale vorhanden. Anhand der verschiedenen Merkmale lässt sich das Amphibol mit einiger Sicherheit als Tremolit einordnen. Diese sind mit ungefähr 1% nur schwach vertreten.

Neben diesen zwei identifizierbaren Mineralien finden sich auch noch kleine bläuliche Minerale. Diese liegen ungerichtet im Gestein vor. Zum Teil findet man fließende Übergänge wo die Minerale bläulich sind und dann gelb-braun werden.



Diese abgestuften Farben treten nur dort auf, wo auch Tremolit vorkommt. Es könnte sich dabei um ein Verwitterungs- oder Reaktionsphänomene zwischen den Mineralien handeln. Sie sind mit knappen 2% ebenfalls wenig vertreten

Das letzte Mineral ist das Opake. Es tritt an vielen Stellen im Dünnschliff vor allem als Platzfüller auf. Dadurch ist die Form nie idiomorph. Um was es sich dabei genau handelt, konnte mit dem Durchlichtmikroskop nicht bestimmt werden. Die opaken Minerale kommen in einem Mengenanteil von ungefähr 7% vor.

### **Interpretation**

Der hohe Gehalt an Antigorit lässt den Schluss zu, dass es sich um einen Antigoritschiefer handelt. Aus welcher Region dieser aber genau stammt, ist schwierig zu sagen, da man dieses Gestein an verschiedenen Orten in den Alpen findet.

Der Protholith könnte aufgrund der Stabilitätsbereiche verschiedener Minerale ein Ultrabazit gewesen sein. Es handelt sich somit um einen Metamorphiten.

### **Schlussfolgerungen**

Aufgrund der gemachten Erkenntnisse ist eine genaue Zuordnung der beiden Findlinge nicht zu machen.

Aufgrund bisheriger Untersuchungen ist bekannt, welche Gletscher wo durch flossen. Somit kann man eine ungefähre Angabe darüber machen, aus welcher Region die Gesteine kommen sollten, falls der Fundort mit dem Ablagerungsraum des Gletschers übereinstimmt. Mögliche Ursprungsgebiete sind vor allem das Wallis, da die Gesteine mit Grosser Wahrscheinlichkeit durch den Rhone Gletscher transportiert wurden. Die Analyse widerspricht noch bestätigt diese Annahme, da man sowohl Sedimentäre Gesteine als auch magmatische und deren metamorphen Verwandten dort vorfindet.

## **Dank**

Zum Schluss möchte ich noch recht herzlichen Dank an die Direktion und den Betrieb des Schweizerischen Nationalparks sowie der Forschungsgruppe Schweizernationalpark für die Bewilligung und Unterstützung aussprechen. Des Weiteren gilt mein Dank Prof. Christian Schlüchter und all seinen Unterstützern, die mir tatkräftig zur Seite standen. Einen besonderen Dank möchte ich an Marco Christen sowie Dorian Gaar aussprechen, die mit mir die 48, interessanten aber auch anstrengenden Stunden auf der Alp Buffalora verbrachten.

## Literaturverzeichnis

Gaar, Dorian 2006, Hydrogeologie und –geochemie ausgewählter Quellen im Schweizerischen Nationalpark, Bachelor Arbeit Universität Bern, 27s.

Geologische Karte des Schweizerischen Nationalparks 1: 50'000 (1987).  
Geologische Spezialkarte Nr. 122. Herausgeber: Schweizerische Geologische Kommission für die Wissenschaftliche Erforschung des Nationalparks.

Graf, Andreas 2005, Quellenhydrogeologie im Schweizerischen Nationalpark mit einer niederschlagsanalytischen und einer glazialgeologischen Erweiterung, Bachelorarbeit Universität Bern, 49S.

Labhart, Toni P. 1992: Geologie der Schweiz. Ott Verlag, Thun, 211S.

Riner, Rachel 2007, Quellenhydrologie im Schweizerischen Nationalpark – mit einer glazialgeologischen Erweiterung, Bachelorarbeit der Universität Bern, 30S.

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

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

Wirth, Stefanie 2006, Quellenhydrogeologie im Schweizerischen Nationalpark – mit einer glazialgeologischen Erweiterung, Bachelorarbeit Universität Bern, 50S.

# Anhang

## OFb 2

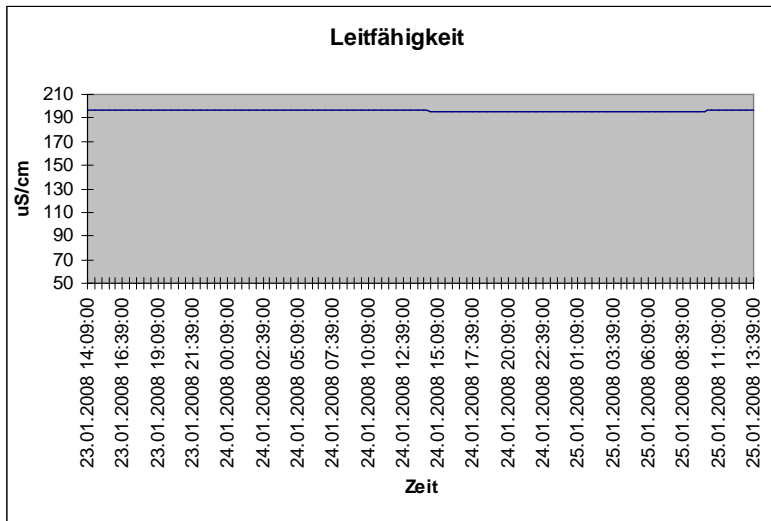


Abb. 8: Änderung der Leitfähigkeit

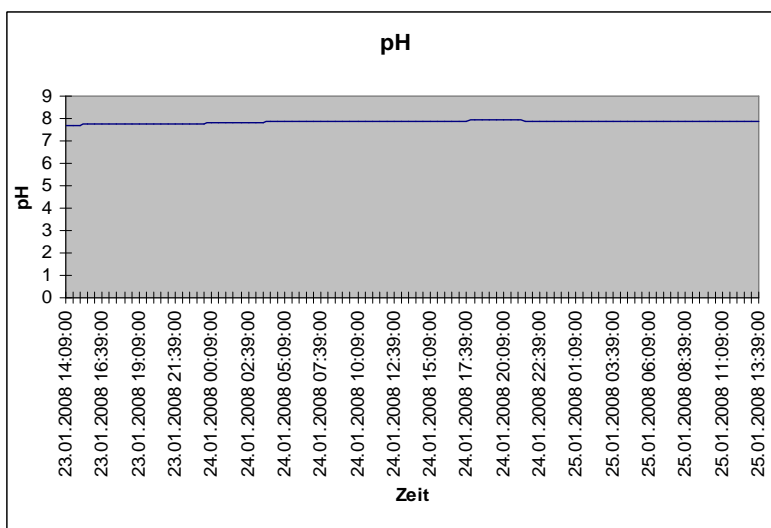


Abb. 9: Änderung des pH-Wertes,

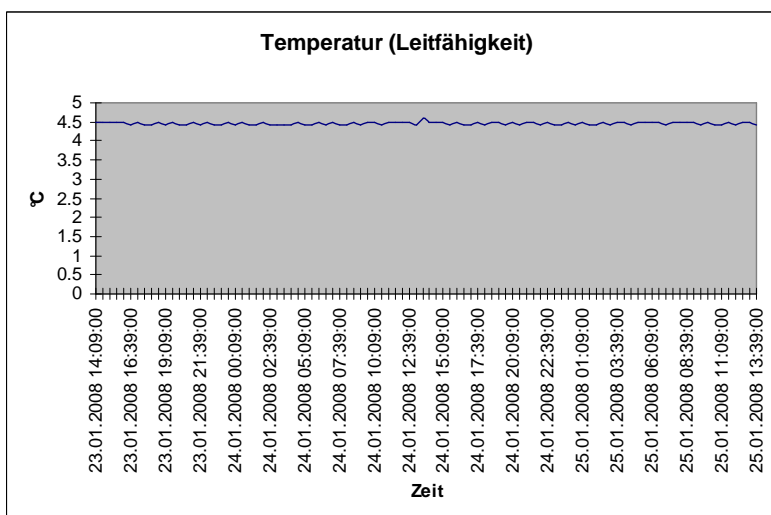


Abb. 10. Verlauf Temperatur

## Messwerte pH, Temperatur, Leitfähigkeit

Probe	pH	Temp. [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]
23.01.2008 14:09:00	7.66	4.5	196
23.01.2008 14:39:00	7.7	4.5	196
23.01.2008 15:09:00	7.71	4.5	196
23.01.2008 15:39:00	7.73	4.5	196
23.01.2008 16:09:00	7.75	4.5	196
23.01.2008 16:39:00	7.75	4.4	196
23.01.2008 17:09:00	7.75	4.5	196
23.01.2008 17:39:00	7.76	4.4	196
23.01.2008 18:09:00	7.76	4.4	196
23.01.2008 18:39:00	7.75	4.5	196
23.01.2008 19:09:00	7.75	4.4	196
23.01.2008 19:39:00	7.74	4.5	196
23.01.2008 20:09:00	7.74	4.4	196
23.01.2008 20:39:00	7.74	4.4	196
23.01.2008 21:09:00	7.73	4.5	196
23.01.2008 21:39:00	7.73	4.4	196
23.01.2008 22:09:00	7.73	4.5	196
23.01.2008 22:39:00	7.73	4.4	196
23.01.2008 23:09:00	7.73	4.4	196
23.01.2008 23:39:00	7.73	4.5	196
24.01.2008 00:09:00	7.83	4.4	196
24.01.2008 00:39:00	7.83	4.5	196
24.01.2008 01:09:00	7.83	4.4	196
24.01.2008 01:39:00	7.83	4.4	196
24.01.2008 02:09:00	7.84	4.5	196
24.01.2008 02:39:00	7.84	4.4	196
24.01.2008 03:09:00	7.84	4.4	196
24.01.2008 03:39:00	7.84	4.4	196
24.01.2008 04:09:00	7.85	4.4	196
24.01.2008 04:39:00	7.85	4.5	196
24.01.2008 05:09:00	7.85	4.4	196
24.01.2008 05:39:00	7.85	4.4	196
24.01.2008 06:09:00	7.85	4.5	196
24.01.2008 06:39:00	7.85	4.4	196
24.01.2008 07:09:00	7.85	4.5	196
24.01.2008 07:39:00	7.85	4.4	196
24.01.2008 08:09:00	7.85	4.4	196
24.01.2008 08:39:00	7.85	4.5	196
24.01.2008 09:09:00	7.85	4.4	196
24.01.2008 09:39:00	7.85	4.5	196
24.01.2008 10:09:00	7.85	4.5	196
24.01.2008 10:39:00	7.85	4.4	196
24.01.2008 11:09:00	7.85	4.5	196
24.01.2008 11:39:00	7.85	4.5	196
24.01.2008 12:09:00	7.85	4.5	196
24.01.2008 12:39:00	7.85	4.5	196
24.01.2008 13:09:00	7.85	4.4	196
24.01.2008 13:39:00	7.86	4.6	196
24.01.2008 14:09:00	7.86	4.5	196
24.01.2008 14:39:00	7.87	4.5	195

24.01.2008 15:09:00	7.87	4.5	195
24.01.2008 15:39:00	7.87	4.4	195
24.01.2008 16:09:00	7.88	4.5	195
24.01.2008 16:39:00	7.89	4.4	195
24.01.2008 17:09:00	7.89	4.4	195
24.01.2008 17:39:00	7.9	4.5	195
24.01.2008 18:09:00	7.91	4.4	195
24.01.2008 18:39:00	7.92	4.5	195
24.01.2008 19:09:00	7.92	4.5	195
24.01.2008 19:39:00	7.93	4.4	195
24.01.2008 20:09:00	7.91	4.5	195
24.01.2008 20:39:00	7.91	4.4	195
24.01.2008 21:09:00	7.91	4.5	195
24.01.2008 21:39:00	7.9	4.5	195
24.01.2008 22:09:00	7.89	4.4	195
24.01.2008 22:39:00	7.89	4.5	195
24.01.2008 23:09:00	7.89	4.4	195
24.01.2008 23:39:00	7.88	4.4	195
25.01.2008 00:09:00	7.88	4.5	195
25.01.2008 00:39:00	7.87	4.4	195
25.01.2008 01:09:00	7.87	4.5	195
25.01.2008 01:39:00	7.87	4.4	195
25.01.2008 02:09:00	7.87	4.4	195
25.01.2008 02:39:00	7.87	4.5	195
25.01.2008 03:09:00	7.86	4.4	195
25.01.2008 03:39:00	7.86	4.5	195
25.01.2008 04:09:00	7.86	4.5	195
25.01.2008 04:39:00	7.86	4.4	195
25.01.2008 05:09:00	7.86	4.5	195
25.01.2008 05:39:00	7.86	4.5	195
25.01.2008 06:09:00	7.86	4.5	195
25.01.2008 06:39:00	7.86	4.5	195
25.01.2008 07:09:00	7.86	4.4	195
25.01.2008 07:39:00	7.86	4.5	195
25.01.2008 08:09:00	7.86	4.5	195
25.01.2008 08:39:00	7.86	4.5	195
25.01.2008 09:09:00	7.86	4.5	195
25.01.2008 09:39:00	7.86	4.4	195
25.01.2008 10:09:00	7.88	4.5	195
25.01.2008 10:39:00	7.89	4.4	196
25.01.2008 11:09:00	7.89	4.4	196
25.01.2008 11:39:00	7.88	4.5	196
25.01.2008 12:09:00	7.87	4.4	196
25.01.2008 12:39:00	7.87	4.5	196
25.01.2008 13:09:00	7.87	4.5	196
25.01.2008 13:39:00	7.87	4.4	196

Tab.2: Messwerte OFb 2

## CS 1

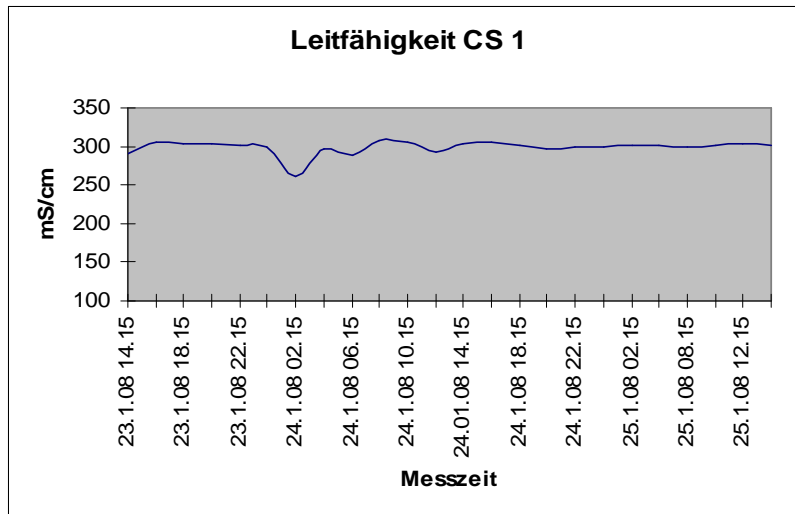


Abb.11: Verlauf Leitfähigkeit

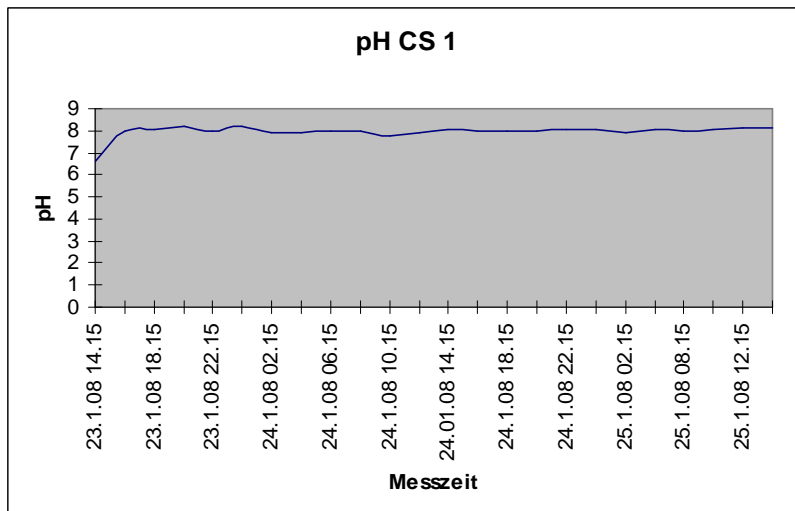


Abb. 12: Verlauf pH

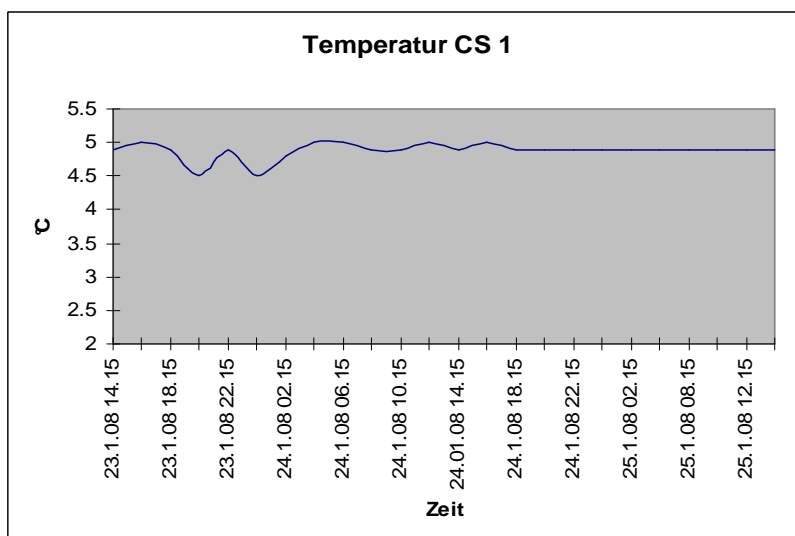


Abb. 13: Verlauf Temperatur

### Messwerte pH, Temperatur, Leitfähigkeit

Probe	pH	Temp. [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm)
23.1.08 14.15	6.6	4.9	291
23.01.08 16.15	8	5	305
23.1.08 18.15	8.03	4.9	304
23.1.08 20.15	8.2	4.5	303
23.1.08 22.15	7.97	4.9	302
24.01.08 00.15	8.18	4.5	299
24.1.08 02.15	7.91	4.8	260
24.1.08 04.15	7.92	5	298
24.1.08 06.15	7.95	5	288
24.1.08 08.15	8	4.9	308
24.1.08 10.15	7.8	4.9	306
24.1.08 12.15	7.88	5	292
24.01.08 14.15	8.06	4.9	304
24.1.08 16.15	8.02	5	305
24.1.08 18.15	8.02	4.9	302
24.1.08 20.15	7.97	4.9	298
24.1.08 22.15	8.06	4.9	300
25.01.08 00.15	8.07	4.9	300
25.1.08 02.15	7.93	4.9	301
25.1.08 05.15	8.05	4.9	302
25.1.08 08.15	7.96	4.9	299
25.1.08 10.15	8.07	4.9	302
25.1.08 12.15	8.13	4.9	303
25.1.08 14.15	8.11	4.9	301

Tab. 3. Messwerte Quelle CS 1 (Handmessungen)



## Ionenkonzentrationen

### OFb 2

Probe	Anionen			Kationen			
	Chlorid	Nitrat	Sulfat	Natrium	Kalium	Magnesium	Calcium
OFb 2 23.1.08 13.40	178.1	2335.7	6254.4	71.0	123.0	11219.6	23491.1
OFb 2 23.1.08 16.02	180.0	2369.8	6202.4	81.8	138.9	11295.6	23607.4
OFb 2 23.1.08 18.00	212.1	2197.6	5982.4	90.7	148.4	10997.7	23801.5
OFb 2 23.1.08 20.00	204.7	2295.9	6202.9	88.5	166.5	11276.2	23798.6
OFb 2 23.1.08 22.00	359.3	2332.4	6248.9	198.1	229.1	11269.7	23730.3
OFb 2 24.1.08 00.00	171.7	2164.2	6082.7	7.8	141.5	11369.6	24260.8
OFb 2 24.1.08 02.01	174.1	2208.1	6165.7	76.7	137.6	11122.9	24027.2
OFb 2 24.1.08 04.00	187.9	2207.2	6142.4	81.0	130.0	11269.2	24067.5
OFb 2 24.1.08 06.00	178.9	2321.9	6225.4	85.7	131.1	11394.1	23954.9
OFb 2 24.1.08 08.00	189.4	2169.4	6078.4	83.7	128.5	10867.7	24319.9
OFb 2 24.1.08 10.00	170.7	2279.1	6211.8	87.2	129.2	11105.9	23610.6
OFb 2 24.1.08 11.58	219.3	2331.4	6255.2	90.7	144.2	11238.5	23762.8
OFb 2 24.1.08 14.00	170.6	2139.5	6094.1	101.1	123.2	10820.9	23798.3
OFb 2 24.1.08 16.00	183.2	2304.6	6197.8	78.7	113.9	11059.4	23497.3
OFb 2 24.1.08 17.58	187.7	2300.3	6193.4	79.4	122.5	11149.0	23570.0
OFb 2 24.1.08 20.00	189.0	2282.9	6231.7	79.1	106.4	11254.5	23452.3
OFb 2 24.1.08 22.05	173.0	2274.8	6206.3	66.5	135.3	11212.4	23334.4
OFb 2 25.1.08 00.00	163.6	2208.4	6103.0	85.7	141.7	11052.5	23711.1
OFb 2 25.1.08 02.00	181.0	2279.1	6193.9	75.5	127.7	11230.2	23533.7
OFb 2 25.1.08 05.00	219.4	2310.2	6272.2	89.9	173.6	11051.5	23553.9
OFb 2 25.1.08 08.00	181.1	2319.2	6271.8	79.1	136.1	11243.4	23548.0
OFb 2 25.1.08 10.00	274.3	2205.0	6076.4	119.7	182.8	10846.3	23950.7
OFb 2 25.1.08 12.00	249.2	2318.6	6242.7	111.0	123.7	11313.0	23635.2
OFb 2 25.1.08 13.40	419.2	2178.4	6220.1	189.5	166.5	11426.9	24093.7
Mittelwert	209.06	2263.9	6181.5	91.5875	141.725	11170.28	23754.63

Tab. 4: Ionenkonzentrationen OFb über 48 h

### Ionenkonzentrationen: Nitrat, Sulfat, Magnesium, Calcium

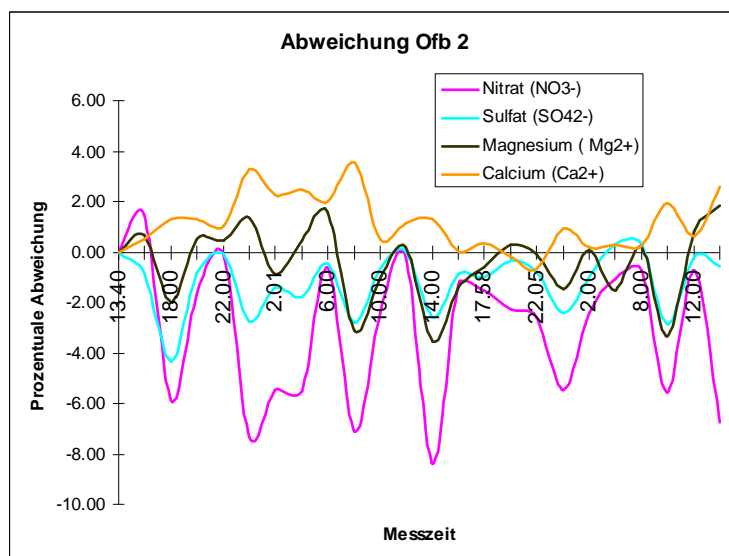


Abb. 14: Änderung der Ionenkonzentration

## CS 1

Probe	Anionen			Kationen			
	Chlorid	Nitrat	Sulfat	Natrium	Kalium	Magnesium	Calcium
CS 1 23.1.08 14.23	2851.9	1352.1	18390.1	1029.7	304.7	15755.5	37450.2
CS 1 23.1.08 16.18	2045.9	1371.7	17414.5	831.1	339.1	16040.7	37506.1
CS 1 23.1.08 18.15	2220.5	1435.5	17887.3	866.8	381.0	16131.1	37450.9
CS 1 23.1.08 20.20	2922.6	1220.6	18282.3	1087.9	355.0	15782.1	37360.4
CS 1 23.1.08 22.15	2661.0	1224.4	18291.3	982.6	364.9	15926.2	37598.9
CS 1 24.1.08 00.15	1970.3	1311.5	17676.4	707.7	308.4	14406.5	34400.2
CS 1 24.1.08 02.18	1921.3	1511.1	17581.8	775.1	328.4	15566.4	38467.0
CS 1 24.1.08 04.15	2183.0	1609.9	17491.3	865.3	326.7	15513.3	37747.0
CS 1 24.1.08 06.18	2277.4	1870.8	18256.1	901.7	355.9	16471.9	38130.8
CS 1 24.1.08 08.15	2132.1	1967.4	17434.6	876.5	351.1	15394.2	37377.5
CS 1 24.1.08 10.14	2157.4	1931.4	17413.7	913.8	338.1	15474.6	37724.7
CS 1 24.1.08 12.13	2196.4	1811.8	17592.8	912.4	351.0	15741.7	37425.2
CS 1 24.1.08 14.17	3111.9	1278.3	18698.7	1120.7	308.2	16045.9	37563.2
CS 1 24.1.08 16.12	2177.4	1790.2	17822.1	892.2	340.9	16160.4	37755.0
CS 1 24.1.08 18.15	2143.2	1623.7	17438.4	861.2	367.3	16061.5	37095.8
CS 1 24.1.08 20.15	2835.4	1503.4	18480.3	1024.7	324.7	16133.1	38002.0
CS 1 24.1.08 22.20	2725.2	1593.8	18073.9	1087.2	413.6	15635.4	37855.3
CS 1 25.1.08 00.14	2580.2	1733.1	18238.6	1032.7	443.1	16556.2	38437.5
CS 1 25.1.08 02.15	2040.3	1678.1	17641.0	836.4	376.7	16002.4	37857.6
CS 1 25.1.08 05.16	2117.8	1720.7	17784.8	830.6	393.0	15973.3	37476.2
CS 1 25.1.08 08.15	2059.4	1699.7	17459.2	842.2	385.6	16253.7	37267.4
CS 1 25.1.08 10.15	2575.5	1742.7	17898.1	1043.7	483.9	15608.4	38346.1
CS 1 25.1.08 12.15	2475.4	1632.3	17752.0	1009.6	407.8	17573.3	37582.5
CS 1 25.1.08 13.55	2179.9	1717.1	17977.0	888.1	368.4	15734.4	37966.1
Mittelwerte	2356.7	1597.1	17874.0	925.8	363.2	15914.3	37576.8

Tab. 5: Ionenkonzentrationen CS 1 über 48 h

## Ionenkonzentrationen Sulfat, Magnesium, Calcium

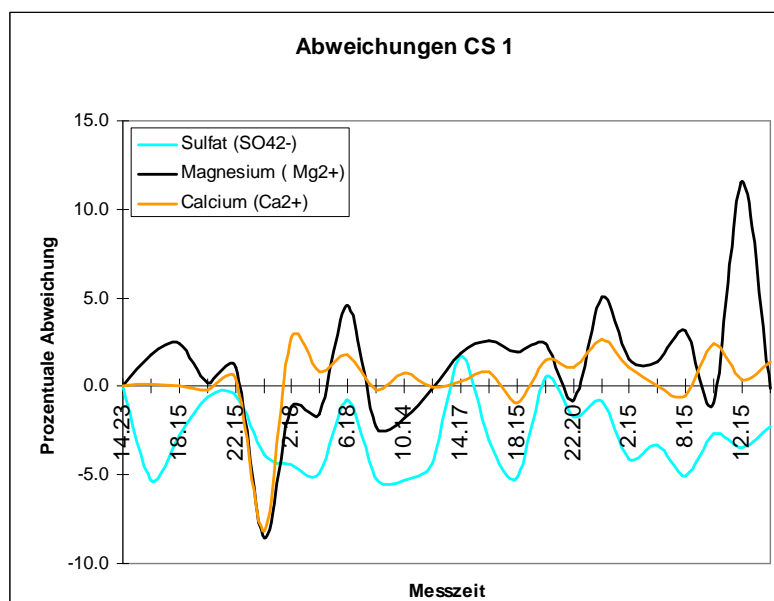


Abb. 15: Änderung der Ionenkonzentration

## Schneeprofil

	Anionen			Kationen				
	Chlorid	Nitrat	Sulfat	Natrium	Kalium	Magnesium	Calcium	
Oberfläche	27930.4	424.2	0.0	8820.5	1126.3	221.7	855.3	[µg/l]
0.9	2380.6	260.5	0.0	896.7	0.0	35.2	493.8	[µg/l]
0.8	2584.6	824.7	0.0	980.2	0.0	28.5	344.6	[µg/l]
0.7	29.2	254.1	0.0	20.8	0.0	0.0	137.3	[µg/l]
0.6	41.1	0.0	0.0	20.7	0.0	9.2	151.4	[µg/l]
0.5	3140.7	435.1	0.0	1159.3	98.8	98.8	412.9	[µg/l]
0.4	1151.1	434.8	0.0	447.1	91.3	0.0	166.5	[µg/l]
0.3	587.2	1044.9	3165.3	220.5	0.0	181.4	561.9	[µg/l]
0.2	12.9	232.0	0.0	7.7	0.0	17.4	159.2	[µg/l]
0.1	1684.8	598.5	0.0	655.2	63.9	73.0	430.1	[µg/l]
0	12952.9	324.4	0.0	4427.9	459.5	171.6	788.3	[µg/l]
Mittelwert	4772.32	439.38	287.75	1605.15	167.25	76.07	409.21	

Tab. 6: Ionenkonzentration im Schneeprofil

## Ionenkonzentration Nitrat, Magnesium, Calcium

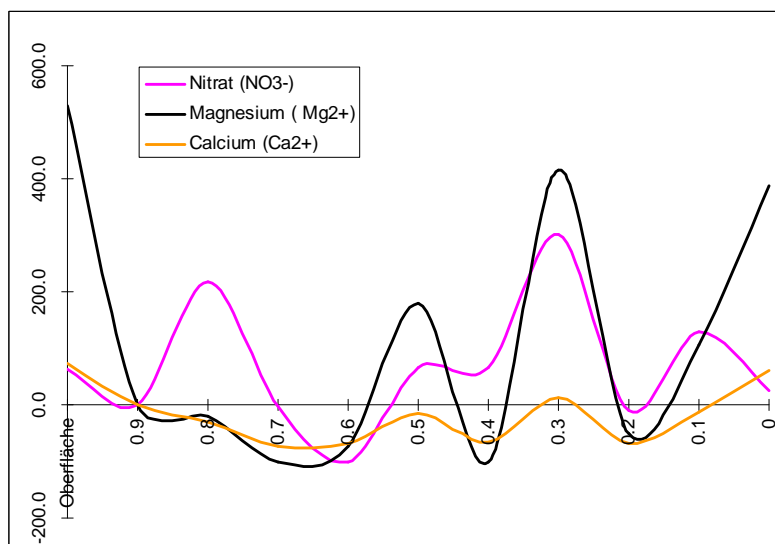


Abb. 16: Änderung der Ionenkonzentration