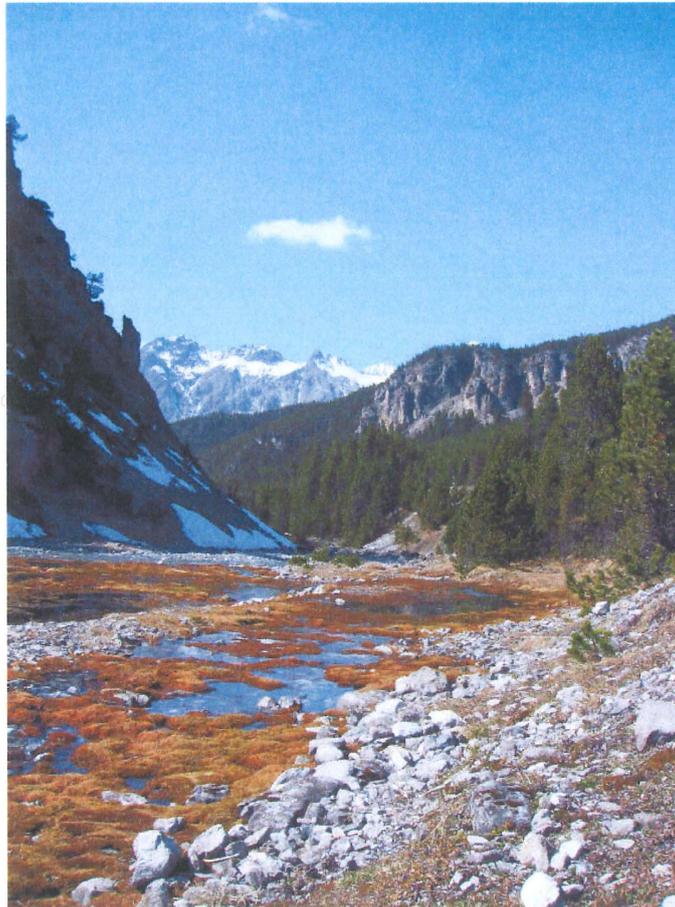


Quellenhydrogeologie im Schweizerischen Nationalpark – mit einer glazialgeologischen Erweiterung



Bachelor-Arbeit

der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Bern

Vorgelegt von

Rachel Riner

Juni 2007

Leiter der Arbeit:

Prof. Dr. Christian Schlüchter Institut für Geologie

Zusammenfassung II

Glaziologische Untersuchung im Raum Solothurn1

Einleitung..... 1
Geologische Übersicht..... 1
Erratiker Ri1 2
 Makroskopische Beschreibung 2
 Mikroskopische Beschreibung 2
 Interpretation und Rückschlüsse..... 4
Erratiker Ri2 4
 Makroskopische Beschreibung 5
 Mikroskopische Beschreibung 5
 Interpretation und Rückschlüsse..... 6
Schlussfolgerung 6

Quellenhydrogeologie im Schweizer Nationalpark7

Einleitung..... 7
Geologischer Überblick des Quellgebietes 7
Hydrogeologische Funktion der Schichten..... 9
Quellenbeschrieb..... 10
 CS 1 10
 OFb 2 11
Feldmessungen 11
 Probeentnahme - Quellwasser..... 12
 Probeentnahme – Schnee 12
Laboranalysen..... 13
Ergebnisse und Diskussion 14
 Anthropogene und geologische Signale..... 14
 Vergleich Neuschnee – Altschnee 16
 Konstanz und Oberflächen – Einfluss 17
 Schwankungen der Ionenkonzentrationen 17
Schlussfolgerung 20
Literaturverzeichnis 21
 Publikationen 21
 Karten..... 21

Anhang22

Zusammenfassung

Im Schweizer Nationalpark wurden seit mehreren Jahren Quellen charakterisiert und typisiert. Im Interesse standen dabei die Ionenkonzentrationen der Quellwässer. 2006 wurden zum ersten Mal die zwei Quellen CS1 und OFb2 während zwei Tagen in kurzen Zeitabständen untersucht, wobei festgestellt wurde, dass die Ionenkonzentrationen tagsüber schwanken. Ziel dieser Untersuchung war, festzustellen ob auch in der Nacht Schwankungen zu messen sind. Zur Erfassung dieser Änderungen wurden während 48 Stunden alle zwei Stunden Wasserproben entnommen. Diese wurden anschliessend ionenchromatographisch auf die Ionen Chlor, Nitrat, Sulfat, Natrium, Kalium, Magnesium und Calcium analysiert. Es zeigte sich, dass die Schwankungen mit dem Tages- und Nachtzyklus korrelieren. Die Herkunft der Ionen wird diskutiert, wobei ein Schneeprofil, Neu- und Altschneeproben als Grundlage dienen.

Unabhängig der Quellenhydrogeologie wurden zwei erratische Blöcke aus dem Raum Solothurn auf ihre Herkunftsorte untersucht. Als Methode diente die makroskopische und mikroskopische Beschreibung von Handstücken und Dünnschliffen.

Glazialgeologische Untersuchung im Raum Solothurn

Einleitung

1977 wurde für das wirtschaftlich stark genutzte und dicht besiedelte Gebiet um Solothurn ein geologisches Atlas-Blatt publiziert. Bei der Kartierung wurden diverse markante Blöcke als Erratiker erkannt, welche durch die Gletscher in dieses Gebiet transportiert wurden. Die mineralogische Beschreibung der Blöcke fehlt, wodurch über deren Herkunftsorte keine genaueren Angaben gemacht werden konnten.

Spätere Untersuchungen über die Vorstösse der alpinen Gletscher ins schweizerische Mittelland haben ergeben, dass bei der letzten Eiszeit der Rhone-Gletscher entlang dem Rhonen-Tal bis nach Genf floss, dort am Jura aufprallte und sich in zwei Arme teilte. Der linke Arm setzte seinen Weg bis nach Lyon fort und der rechte Arm glitt dem Jura-Gebirge entlang nach Wangen an der Aare.

Zwei der 1977 kartierten Erratiker werden anhand von Handstücken und Dünnschliffen makroskopisch und mikroskopisch erfasst. Durch Vergleiche mit bekannten alpinen Leitgesteinen sollen deren Herkunftsorte bestimmt und so die Rekonstruktion des Fließweges des Rhone-Gletschers unterstützt werden.

Geologische Übersicht

Solothurn befindet sich am südlichen Fuss des Juragebirges, welches im Süden durch das mittelländische Molassebecken begrenzt ist. Während der Riss-Eiszeit erlangten die Gletscher die grössten Vorstösse. So wuchs der Rhonegletscher bis zu 25'000 km² an, teilte sich über dem heutigen Genfersee in zwei Eisströme. Der Westliche floss bis nach Lyon, der Östliche ins Mittelland über den Jura bis nach Liestal. Nach einer Warmzeit, welche die Gletscher zum Rückzug zwang, stiessen sie nochmals bis ins Mittelland vor (Würm-Eiszeit). Die Eismassen waren in einzelne Teile gegliedert, welche die heutigen Seen und Hügellandschaften des Mittellandes formten. Der Rhonegletscher erstreckte sich bis zum Jura hin, wurde nach Osten abgedrängt und gelangte bis nach Wangen an der Aare. Nach dem Rückzug hinterliess er eine geschlossene Grundmoräne-Decke. Zahlreiche, südwestlich streichende Wallmoränen, Drumlinlandschaften und Erratische Blöcke prägen das heutige Landschaftsbild. Die Erratiker, auch Findling genannt, sind Zeugen der gewaltigen Gletscherausdehnung während der Würm-Eiszeit. Sie sind durch ihre Andersartigkeit in Farbe, Form und mineralogischer Zusammensetzung deutlich vom Jura-Kalk zu unterscheiden.

Erratiker Ri1

Der Findling Ri1 liegt nordöstlich von Subingen in einer Depression im Langmoos (615.015/227.565), an der südlichen Grenze der Drumlinlandschaft des „Deitinger Wald“. Er liegt auf der Grundmoräne und hat eine beachtliche Grösse von geschätzten 60m³. Die Orientierung der Längsachse ist 300° NW.



Abb. 1: Erratiker Ri 1 ist sehr stark überwachsen und daher nicht auf Anhieb zu finden.

Makroskopische Beschreibung

Ri1 ist ein helles, massives, kristallines Gestein mit einem geringen äusseren Verwitterungsgrad. Die milchigen Feldspäte und durchsichtigen Quarze sind von Auge gut sichtbar. Sie sind umgeben von einer graublauen, stellenweise olivgrünen Masse, deren mineralischer Bestand nicht auszumachen ist.

Mikroskopische Beschreibung

Der Dünnschliff Ri1 besteht vorwiegend aus grossen Mineralen, die stark ineinander verzahnt sind. Eine Matrix ist nicht vorhanden. Häufig vorkommend sind Plagioklase, Quarze und alterierte K-Feldspäte. Amphibole, Epidote, Klinozoesite, Pyroxene und Glimmer-Mineralie. Sie sind nicht gross gewachsen, jedoch häufig vertreten. Zudem sind auch Akzessorien wie Titanit und Zirkon vorhanden. Folgende Abschnitte sollen die wichtigsten Charakteristika der einzelnen Mineralien aufzeigen, wobei für die optischen Eigenschaften und allgemeine Merkmale auf TRÖGER (1982) verwiesen sei.

Die **Quarz**-Mineralien kommen in monokristalliner Form vor. Die Körner sind equigranular und zeigen interlobate Kornformen. Subkornbildungen sind vorhanden. Die Quarze enthalten in länglichen Bahnen angelegte Flüssigkeitseinschlüsse. Der Mengenanteil beträgt ungefähr 35%.

Die **Plagioklase** zeigen runde, zirka 1 cm grosse Körner mit einer ausgeprägten polysynthetischen Verwilligung. Obwohl sie von K-Feldspäten stark überwachsen sind, erkennt man die teilweise deutliche Zonierung der Plagioklase. Bei genauerer Betrachtung werden die eingeregelt, gleichorientierten, bläschenartigen Einschlüsse sichtbar. Es handelt sich hierbei um perthitische Entmischungslamellen. Der Mengenanteil beträgt 10%.

Die **Kalifeldspäte** sind mit einem Mengenanteil von 35% gut vertreten. Sie zu erkennen ist äusserst schwierig, da sie von feinen, nadeligen Hellglimmern (Muskovit) überwachsen sind. Anhand der Ausrichtung der Hellglimmer, ist die ursprüngliche Mikroklingitterung teilweise abschätzbar.

Die **Pyroxene** zeigen ein hohes Relief und eine blass-gelbe Interferenzfarbe. Die 90°-Spaltbarkeit ist stellenweise gut ausgeprägt. Einzelne Körner sind stark ineinander verwachsen, wodurch keine idiomorphe Kristallformen vorhanden sind. Der Anteil der Pyroxene beträgt 10%.

Bei den gut sichtbaren Mineralien, mit einem stark braunen Pleochroismus und den deutlich prismatischen Kopfbildern handelt es sich um **Amphibole**. Viele Minerale weisen einen deutlichen Zonarbau auf, wobei die Zonen jeweils durch schwarze Ränder voneinander getrennt sind. Diese entstehen durch die Bildung von Eisenoxiden. Die sonst charakteristische 120°-Spaltbarkeit ist selbst bei grosser optischer Auflösung kaum erkennbar. Der Mengenanteil beträgt 2%.

Die **Biotite** weisen oft eine idiomorphe Form auf, die manchmal durch leichte Verformung etwas verzogen ist. Bei grösserer optischer Auflösung wird die typische „Birds-eye-structure“ erkennbar. Die braune bis gelbe pleochroitische Farbe weist auf den hohen Fe-Gehalt hin. Der Anteil der Biotite ist mit 2% gering.

Die **Hellglimmer** zeigen teilweise ihre ursprüngliche idiomorphe Form auf. Die deutliche Wellung der Fasern im Kristall deutet auf eine spätere Deformation der Minerale hin. Diese Wellenstruktur wird optisch durch die opaken Lamellen im Mineral verdeutlicht. Es handelt sich dabei um Ansammlungen von elementarem Eisen oder Titanit. Häufig zeigen Muskovite, welche durch die Umwandlung von Biotit entstanden sind, diese optischen Merkmale. Ohne die Muskovite auf den K-Feldspäten zu berücksichtigen, beträgt der Anteil der Hellglimmer im Dünnschliff 3%.

Die **Epidote** fallen durch ihre hohe Interferenzfarbe und das hohe Relief auf. Teilweise sind gut erhaltene Kopfbilder sichtbar. Oft sind sie mit den Pyroxenen verwachsen. Der Mengenanteil macht 3% aus.

Akzessorisch als Neubildungen sind Titanite und Zirkone vorhanden.

Interpretation und Rückschlüsse

Viele der Mineralien weisen typische Merkmale von hydrothermal alterierten Mineralien auf. Deutlich wird dies bei den alterierten K-Feldspäten, welche durch die Reaktion mit einem Fluid zu Muskovit (K-Glimmer) umgewandelt wurden. Die fortschreitende Alteration der Plagioklase unterstützte die Kluftbildung im Gestein. Neue Fließwege für das Fluid sind entstanden. Durch die Reaktion des Fluids mit dem Gestein bildeten sich wasserhaltige Mineralien wie Epidot, Klinozoisit, Muskovit und Biotit.

Aufgrund der Beobachtungen wird der Findling Ri1 als **Pegmatit**, also als hydrothermal alterierter Gang in einem Granit, interpretiert. Weder Leitmineralie noch andere Merkmale lieferten Hinweise auf den geographischen Entstehungsort. Daher bleibt der Ursprung des Erratikers unbekannt.

Erratiker Ri2

Der Erratiker Ri2 liegt süd-östlich von Solothurn, auf einer gut erkennbaren Wallmoräne aus der Würm-Eiszeit. Im Streichen der Moräne sind drei markante erratische Blöcke kartiert worden. Durch bauliche Tätigkeiten sind sie jedoch nicht mehr „in situ“. Vom Westlichsten (610.080/226.960) wurde eine Handstück genommen und daraus ein Dünnschliff hergestellt. Der Erratiker hat ein geschätztes Volumen von 3m^3 .



Abb. 2: Erratiker Ri 2 ist von gut sichtbaren Quarz-Adern durchzogen.

Makroskopische Beschreibung

Ri2 ist ein grünlich-silbrig glänzendes Gestein, welches mit hellen Adern durchzogen und stark geschiefert ist. Die gute Spaltbarkeit entlang der Schieferflächen ermöglicht ein leichtes Abschlagen der Probe. Der Verwitterungsgrad des Gesteins ist hoch. Mit der Lupe sind im zugeschnittenen Handstück helle Taschen in einer dunkel graublauen bis olivgrünen Matrix auszumachen. Einige rundliche, grüne Mineralien sind erkennbar, jedoch mit der Lupe nicht zu identifizieren. Auf den Schieferflächen dominieren die Hellglimmer- und Chloritplättchen. Die Korngrösse der Mineralien ist nicht bestimmbar.

Mikroskopische Beschreibung

Im Dünnschliff Ri2 wird ersichtlich, dass es sich um ein stark deformiertes und geschiefertes Gestein handelt. Nicht nur die Glimmerminerale sind eingeregelt, sondern auch die Übrigen. Der Mineralbestand setzt sich zusammen aus Hellglimmern, Quarze, Chlorite, Epidote, einer opaken Phase und Kalifeldspäte. Bei starker optischer Auflösung, werden die Zirkone, Titanite und andere akzessorische Mineralien sichtbar. Die plastische Verformung des Gesteins wird durch die im Dünnschliff vorhandenen Crenulationsfalten verdeutlicht.

Der **Quarz** hat sich in länglichen Taschen zwischen den Hellglimmern angesammelt, welche entlang der Schieferungsrichtung orientiert sind. Die länglichen Körner zeigen lobate bis seriate Korngrenzen auf. Zudem variieren sie in ihrer Korngrösse. Sie sind undulös auslöschend und weisen Subkornbildungen auf. Einzelne, nicht in Taschen eingeregelt, grössere Quarzkörner haben \pm idiomorphe Formen. Der Mengenanteil beträgt zirka 42%.

Die **Hellglimmer** sind durch die typisch blättrige Morphologie der Schichtsilikate am stärksten ausgerichtet. Einzelne Mineralien weisen eine elongierte, schuppige Form auf. Oft sind im Bereich der Hellglimmer Chlorit-Plättchen zu finden. Mit geschätzten 35% Mengenanteil ist der Hellglimmer stark vertreten.

Anhand der hohen Interferenzfarben und dem hohen Relief sind die **Epidote** gut zu erkennen. Sie liegen als idiomorphe Kristalle vor. Die Kopfbilder sind deutlich sichtbar und deren Längsachse ist meist nach den Hellglimmern ausgerichtet. Die starke Doppelbrechung deutet auf einen hohen Fe-Gehalt hin. Oft weisen die Epidote ein zoniertes Wachstum auf, wobei die Teile mit dem leicht braunen Pleochroismus als Orthite bezeichnet werden. Dies sind Epidote, welche Elemente der seltenen Erden (REE) enthalten. Diese könnten datiert werden. Der Volumenanteil beträgt zirka 8%.

Der **Chlorit** wird durch seinen stark braunen Pleochroismus im einfach polarisierten Licht ersichtlich. Die Minerale sind elongiert und ähnlich wie die Hellglimmer eingeregelt. Häufig ist der Chlorit in Druckschatten von idiomorphen Mineralien vorzufinden. Der Mengenanteil vom Chlorit beträgt ungefähr 7%.

Beim folgenden Mineral handelt es sich wahrscheinlich um einen **K-Feldspat**. Die Minerale haben ein hohes Relief, eine grau-blaue Interferenzfarbe und löschen bei 2-3° aus. Sie weisen eine idiomorphe Form auf und sind leicht abgeplattet, stark gespalten und entlang der Längsachse eingeregelt. Im Vergleich zu den anderen Mineralien im Dünnschliff sind sie relativ gross. Ein Pleochroismus ist abgesehen von seltenen, leicht bräunlichen Stellen nicht vorhanden. Bei starker Auflösung sind kleine idiomorphe Zirkone in den K-Feldspäten erkennbar. Zirkone können aufgrund ihrer Radioaktivität Reaktionshöfe bilden. Der Mengenanteil beträgt ungefähr 3%.

Es wurde aufgrund der optischen Merkmale diskutiert, ob es sich bei diesem Mineral um ein Cordierit handeln könnte. Zirkone bilden im Cordierit jedoch deutliche Reaktionshöfe, was hier nicht beobachtet wurde. Zudem sind Cordierite in metamorph überprägten Gesteinen sehr selten, da sie bei hohen Druck- und Temperaturverhältnisse instabil werden.

Im einfach polarisierten Licht werden die opaken Phasen gut erkennbar. Es sind längliche, eingeregelt Stäbchen oder Plättchen. Es handelt sich um **Hämatit**, erkennbar am dünnen rost-roten Schimmer, welcher im einfach polarisierten Licht bei hoher Auflösung sichtbar wird. Sein Anteil beträgt 2%.

Der Anteil der restlichen, nicht identifizierbaren **Opaken Phasen** liegt bei 2%. Sie sind oft zerbrochen, wodurch die idiomorphen Formen nicht mehr zu sehen sind.

Interpretation und Rückschlüsse

Mineralien wie Epidot und Chlorit weisen auf ein grünschieferfaziell überprägtes Gestein hin. Es handelt sich um einen **Epidot-Chlorit-führender Helglimmerschiefer**. Wie schon beim vorherigen Dünnschliff hat der Erratiker Ri2 keine Leitmineralien, welche auf den Herkunftsort des Erratikers hinweisen würden. Zudem kommen Glimmerschiefer dieser Art ausser im Aarmassiv in weiten Teilen der Alpen vor. Würde sich jedoch durch genauere Untersuchungen herausstellen, dass das eine Mineral fälschlicher Weise als K-Feldspat und nicht als Cordierit interpretiert wurde, müsste das Aarmassiv wieder als Liefergebiet in Betracht gezogen werden.

Schlussfolgerung

Aufgrund der momentanen Kenntnisse ist es nicht möglich die zwei Findlinge bekannten, alpinen Gesteinen zuzuordnen. Daher können ihre Herkunftsorte nicht lokalisiert werden. Durch die Beschreibung wird jedoch deutlich, dass Ri1 aus einem hydrothermal alterierten Gebiet mit granitischem Gestein stammen muss. Das Liefergebiet von Ri2 weist eine retrograde grünschieferfazielle Überprägung auf. Da beide Findlinge durch den Rhone-Gletscher ins Mittelland transportiert wurden, stammen sie aus dem Wallis.

Quellenhydrogeologie im Schweizer Nationalpark

Einleitung

Die Quellen des Schweizer Nationalparks werden schon seit mehreren Jahren in unregelmässigen Abständen auf ihre Ionenzusammensetzung untersucht. 2006 beprobte GAAR zwei Quellen in der Nähe der „Buffalora“ (CS1 und OFb2) in einer zeitlich geringen Auflösung. Die Proben-Analyse ergab messbare Variationen der Ionenkonzentration im Tagesverlauf (GAAR, 2006). Die vorliegende Arbeit soll durch die regelmässige Probennahme während 48 Stunden und ionenchromatographische Analyse, die Schwankungen der Ionenkonzentrationen der beiden Quellen im Tages- und Nachtverlauf aufzeigen und wenn möglich deren Ursache erklären. Zusätzlich werden, um die Konstanz und den oberflächennahen Einfluss auf die Quellen qualitativ abzuschätzen, pH, Sauerstoffkonzentration und Temperatur im Abstand von zwei Stunden gemessen. Proben von Neuschnee und Altschnee verglichen mit den Quellwässern sollen Hinweise geben, welche Ionen als geologisches Signal und welche als anthropogenes Signal interpretiert werden können. Zudem sollen sie aufzeigen, wie sich die Ionenkonzentration von Frischgefallenem verglichen von jener im kristallisierten, grobkörnigen Schnee unterscheidet. Dabei werden die Ionenkonzentrationen von Schneeproben aus dem Nationalpark mit solchen aus anthropogen stärker beeinflussten Gebieten im Mittelland und einem Skigebiet des Berner Oberlandes verglichen.

Geologischer Überblick des Quellgebietes

Die untersuchten Quellen kommen in die „S-charl-Decke“ zu liegen, welche dem Oberostalpin zugehört. Sie wird in einen Unterbau (vorwiegend Dolomite) und einen Oberbau (Hauptdolomit) unterteilt. Diese rigiden Elemente sind durch eine plastische Schicht von Evaporiten und Tonschiefern getrennt. Die Basis des Unterbaus bildet das *kristalline Grundgebirge*, bestehend aus Gneisen, Rhyoliten und Amphiboliten. Da dieses von der „Chazfora-Formation“ umhüllt wird, ist es im Quellgebiet nicht vorzufinden. Die „Chazfora-Formation“ besteht vorwiegend aus rotvioletten und grünen Sandsteinen, Konglomeraten und Siltschiefern, welche als detritische Sedimente interpretiert werden. Die Konglomerate führen Rhyolith- und Gneiskomponenten aus dem Grundgebirge. Die darauf folgende „Fuorn-Formation“ kann dreigeteilt werden. Oben liegt ein Wechsel von grünen und roten Siltschiefern und Sandsteinen, Rauhacken und Dolomiten. Darunter folgen grüne Quarzsandsteine mit Quarzkonglomeraten und schliesslich rote Sandsteine. Die „S-charl-Kalke“ sind meist helle Kalke, welche von der „Vallatscha-Formation“ abgelöst werden. Diese ist zweigeteilt in den unteren, dünnbankigen „Turettas-Dolomit“ und den oberen, dickbankigen, dunkelgrauen, körnigen, fast reinen „Vallatscha-Dolomit“. Als abschliessende Einheit des Unterbaus zeigt sich der „Parai-Alba-Dolomit“, ein mächtiger, hell gelblich anwitternder Dolomit, welcher im unteren Teil Kalke und Schieferzwischenlagen enthält. Rötlich verwitternde vulkanische Tuffe sind in dieser Schicht weit verbreitet. Die „Raibler-Formation“ verhält sich durch die Tonschiefer und Evaporite (Gipsinseln)

plastisch. Sie dient als Abscherhorizont zwischen dem Unter- und Oberbau. Die „*Hauptdolomit-Gruppe*“, welche sich aus mehreren Formationen zusammensetzt, ist das grösste Element des Oberbaus der „S-charl-Decke“. Im Quellgebiet ist der Hauptdolomit durch die „*Müschauns-Dolomit*“-Formation vertreten. Sie besteht aus einem grauem, mittel- bis grobgebankten, meist feinzuckerkrönigen Dolomiten. Dieser bildet eindrückliche Gipfel wie den Piz Nair.

Gletschervorstösse haben die Morphologien der Täler stark geprägt. Reliktisch sind einige (Wall-) Moränen heute noch sichtbar. Ihre Zusammensetzung ist nicht eindeutig zu bestimmen. Theoretisch können alle Komponenten der oben beschriebenen Schichten enthalten sein. Grosse Teile der Moränen wurden durch den Gehängeschutt der Hauptdolomit-Gipfel zugedeckt. Die Talsohlen sind durch Schwemmschuttkegel und Erosionsränder gestaltet. Weitere Informationen und Details sind in TRÜMPY et al., 1997 nachzulesen.

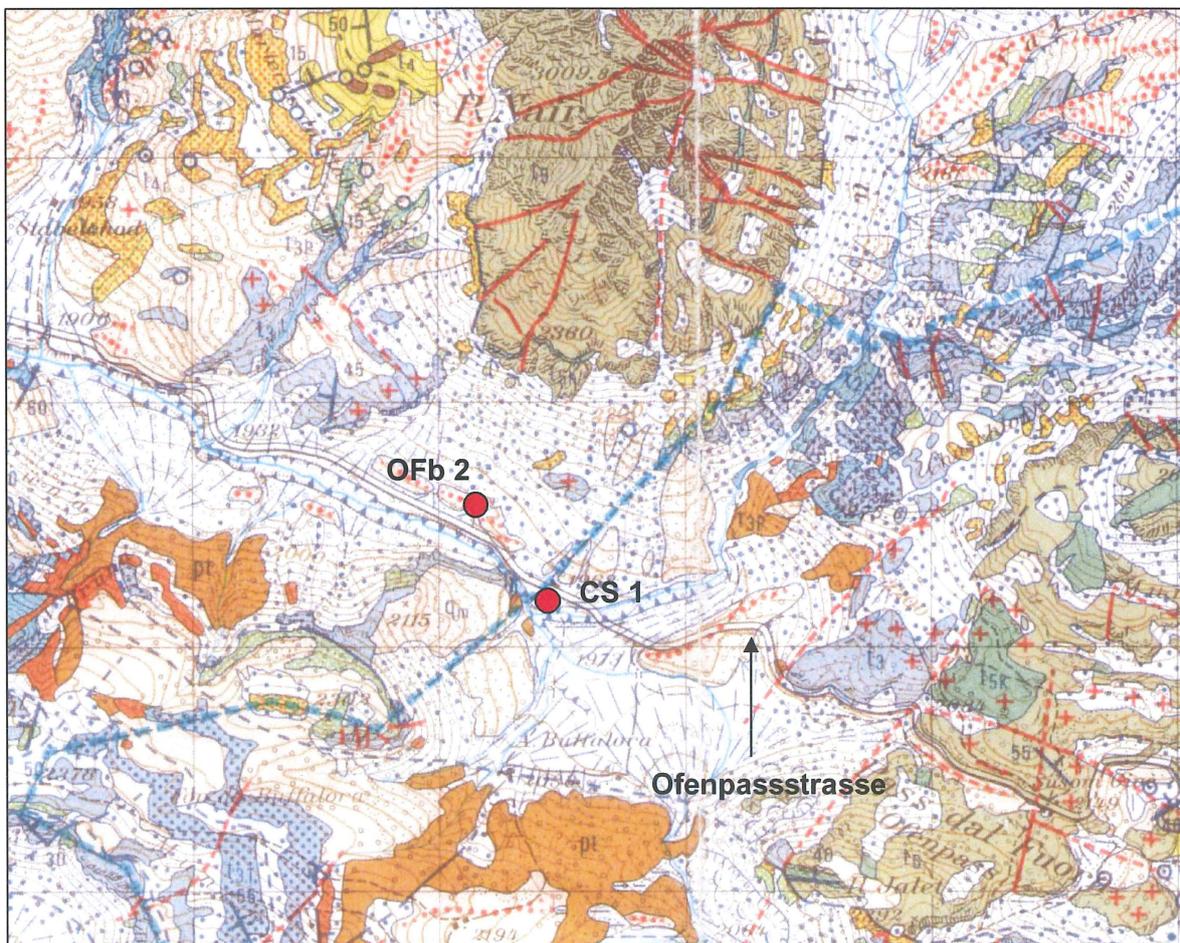


Abb. 3: Ausschnitt aus der Geologischen Karte des Schweizerischen Nationalparks 1:50'000.

Legende:

- q_m= Moräne (wenn rot gepunktet mit Wall)
- t₅ = Müschauns-Dolomit (Hauptdolomit)
- t_{4t}= Raibler-Formation (rot gepunktet)
- t_{3p}= Parai-Alba-Dolomit (grün gepunktet)
- t₃ = Vallatscha-Dolomit
- t_{3T}= Turettas-Dolomit (blau gepunktet)
- t₂ = S-charl-Kalke
- t₁ = Fuorn-Formation (orange)
- pt = Chazfora-Formation

Hydrogeologische Funktion der Schichten

Der Teil einer Schichtenfolge, der ausreichend durchlässiges Material, z.B. Sand, zerklüfteter Kalk oder sehr poröses Gestein enthält, um signifikante Wassermenge an Quellen abzugeben, wird als „Aquifer“ bezeichnet. Ein Geringleiter, also ein Gestein, das durchlässige aber auch undurchlässige Komponenten wie Ton oder Silt enthält, wird „Aquitard“ genannt. Dieses Gestein ist nicht absolut wasserundurchlässig, kann jedoch nur in geringem Mass von Wasser passiert werden. Eine „Aquiclude“ entspricht einer Schichtenfolge, die kein Wasser leiten kann, z.B. reiner Ton. Ob nun eine Schicht als Aquifer oder Aquitard funktioniert, hängt davon ab, wie gut wasserleitend die umgebenden Schichten sind. Somit ist die hydrogeologische Definition einer Schicht immer relativ zur geologischen Umgebung.

Die Dolomite und Kalke der Mittletrias-Kalksteine (S-charl-Kalke, Vallatsch-Formation und Parai-Alba-Dolomite) und des Hauptdolomites sind durch die tektonisch starke Beanspruchung wahrscheinlich stark zerklüftet. Die Kalke sind verkarstungsfähig. Dadurch entstehen wasserleitende Hohlräume und Klüfte, was diese Schichten zu Aquiferen macht. Als Aquitard dürfen die „Chazfora“- und „Fuorn-Formation“ gelten. Sie bestehen aus durchlässigen Sandsteinen und undurchlässigen Siltschiefern. Die „Raibler-Formation“ ist durch die Tonschiefer und Evaporite \pm wasserundurchlässig. Das meiste Schmelz- und Regenwasser versickert in Gehängeschutt und Schwemmschuttkegeln und wird dort transportiert. Dies sind ausgezeichnete Aquifere. Die Wallmoräne hingegen kann durch den erhöhten Gehalt der Tonfraktion zu den Aquitarden oder sogar Aquicluden gezählt werden.

Quellenbeschreibung

CS 1

Die Quelle CS1 mit den Koordinaten (816.700/170.150) befindet sich südlich der „Buffalora“ in der Nähe des Ufers des „Fuorn-Baches“. Es handelt sich um eine typische Lockergesteinsquelle. Sie entspringt aus der rechtsufrigen Schwemmebene des „Fuorn-Baches“. In dieser Ebene sind mehrere aktive und versiegte Quellaustritte ersichtlich, woraus interpretiert werden kann, dass die Quellen migrieren und während Trockenperioden eingehen können.

Mit einer Schüttung von geschätzten 2 Liter pro Minute ist die Quelle eher klein. Das Einzugsgebiet der Quelle ist nicht bekannt.

Bei vorangegangenen Untersuchungen der Quelle wurden Schwankungen bezüglich der Temperatur gemessen (GAAR, 2006 und WIRTH, 2006). Diese lassen vermuten, dass die Verweildauer des Wassers im Untergrund ziemlich kurz ist. Schmelzwasser, Kontaminationen und oberflächliche Temperaturänderungen beeinflussen die Quelle enorm und können nach kurzer Zeit anhand von Messungen nachgewiesen werden. Durch die vorhandene Morphologie darf angenommen werden, dass sich das Einzugsgebiet auf den Gehängeschutt unterhalb der Strasse beschränkt. Nicht auszuschliessen ist das Einsickern von Wasser aus dem „Fuorn-Bach“ in die Schwemmebene und dadurch ein zusätzliches Speisen der Quelle.

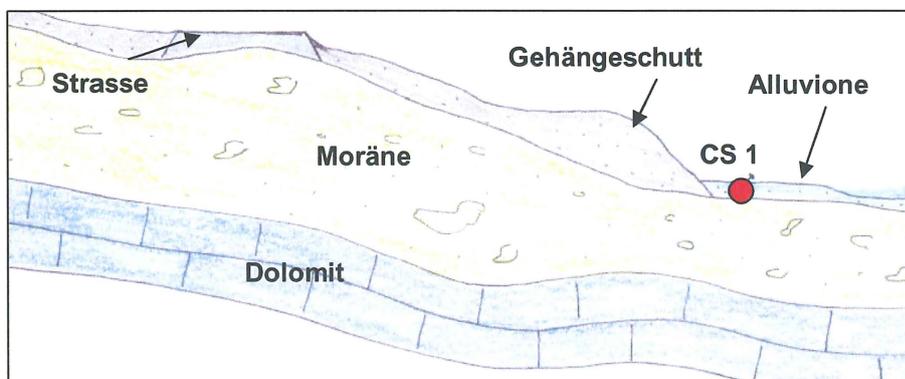


Abb. 4: Schematische Darstellung (Handskizze) durch den Quellbereich von CS 1.

OFb 2

Die Quelle OFb 2 mit den Koordinaten (816.150/170.575) befindet sich in einer nordwestlich von „Buffalora“ gelegener Waldlichtung nahe der Ofenpassstrasse. Oberhalb der Quelle ragen die steilen Dolomittfelsen des „Piz Nair“ empor. Der Lithologie zufolge, liegen nach Süden hin die Rauhwacken der Raibler-Formation, der Parai-Alba-Dolomit und zuletzt die Schichten des Vallatscha-Dolomites. Die Schichtgrenzen und das Einfallen der Schichten sind nicht ersichtlich, da diese durch Gehängeschutt des „Piz Nairs“ überdeckt sind. Im unteren Teil dessen Südflanke ragt aus dem Gehängeschutt eine Wallmoräne. Die Quelle entspringt unterhalb dieser Moräne, an der Schichtgrenze zum Gehängeschutt. Zudem befinden sich zwei weitere Quellen in der Nähe. Durch die vorhandene Morphologie ist ersichtlich, dass auch diese Quellen über längere Zeiträume migriert sind.

Die Schüttung ist schwierig zu messen, da der Quellaustritt flächenförmig ist. Nach einer qualitativen Beurteilung entspringt eine grössere Wassermenge als bei CS 1, wodurch eine Schüttung von 2-4 Liter pro Minute im Bereich des Möglichen liegt. Woher das Quellwasser tatsächlich kommt ist nicht bekannt. Die konstante Wasser-Temperatur von 4.5°C weist darauf hin, dass die Quelle von oberflächennahen Temperaturänderungen nicht beeinflusst wird. Somit muss das Wasser zwischen dem Einsickern in den Untergrund und dem Austreten bei der Quelle eine genügend grosse Verweilzeit haben, um sich mit der Umgebungstemperatur zu equilibrieren.

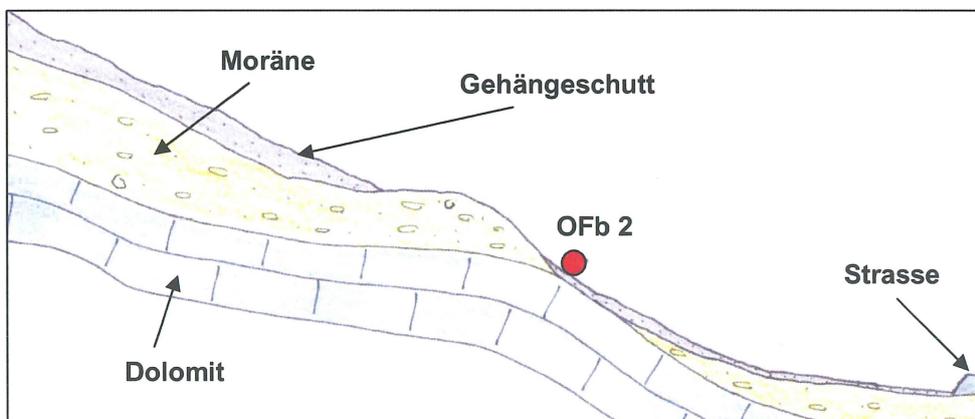


Abb. 5: Schematische Darstellung (Handskizze) durch den Quellbereich von OFb 2.

Feldmessungen

Vom 13. April 2007 ab Mittags wurden die Quellen während 48 Stunden alle zwei Stunden beprobt und die pH-, Temperatur- und O₂-Messdaten notiert. Pro Quelle sind zwei Sonden (pH-Sonde mit integrierter Temperatursonde und O₂-Sonde) über die ganze Messzeit stationär platziert worden. Beim Einsetzen der Sonden musste darauf geachtet werden, dass die Membrane direkt in der Strömung des Wasser liegen. Die gemessenen Werte können auf dem Display des angeschlossenen Registriergerätes direkt abgelesen werden. Für CS1 wurde das Gerät „Multi 350i“ (Ser.-Nr.

04450023) benutzt und für OFb 2 das Gerät „Multiline P4“ (Ser.-Nr. 99320040). Beide Messgeräte sind Produkte der Firma WTW.

Sonde	Genauigkeit
pH	± 0.004
Sauerstoff	± 0.5 % des Messwertes
Temperatur	± 0.2 °C

Tab. 1: Messgenauigkeit der Messsonden

Probeentnahme - Quellwasser

Für die Wasserproben wurden 500ml-Spritzen, 0.2 µm Filter und doppelt verschliessbare Probebehälter benutzt. Es handelt sich dabei um steriles Material. Trotzdem besteht die Notwendigkeit, die Spritzen und die Behälter vor der Probeentnahme mit dem Quellwasser auszuwaschen, um allfällige Kontaminationen zu vermeiden. Das Wasser muss sterilgefiltert werden, um Bakterien und Partikel aus dem Wasser zu entnehmen. Wichtig ist zudem, dass beim Verschliessen der Probebehälter möglichst alle Luft entweicht. Alle entnommenen Proben, auch Schneeproben, müssen an einem dunkeln, kühlen Ort gelagert werden (Kühlschrank), damit die chemischen- und biochemischen Vorgänge minimiert werden können.

Probeentnahme – Schnee

Die Schneeprobenbehälter haben im Gegensatz zu den Wasserprobenbehältern eine grössere Öffnung. Auch diese sind steril. Bei der Probeentnahme, muss darauf geachtet werden, dass die Entnahmestelle ungestört ist. Auch sollen keine Kontaminationen durch die vor Ort arbeitende Person entstehen.

Elsighorn

Am 3. Februar 2007 wurde die erste Schneeprobe im Gipfelhang (615.050/153.100) des „Elsighorns“ oberhalb von Frutigen im Berner Oberland genommen. Das „Elsighorn“ wird im Sommer durch Alpbewirtschaftung genutzt und im Winter für den Skisport künstlich beschneit. Daher wird erwartet, dass die Analyse der Probe anthropogene Einflüsse aufzeigt. Beim Zeitpunkt der Entnahme war der Schnee schon stark alteriert und zu grobkörnigem Altschnee umgewandelt.

Solothurn/Münchenbuchsee

Am 21. und 23. Februar 2007 fielen im Mittelland grössere Mengen Schnee. Am 21. Februar wurde Neuschnee von einem Dachfenster in Solothurn (606.120/228.925) genommen. Die Proben aus Münchenbuchsee (600.948/207.730) wurden am 23. Februar nach dem Schneefall und ein Tag danach aus einem Garten entnommen. Auch handelte es sich beim betreffenden Schnee um Neuschnee. Solothurn befindet sich in einem stark besiedelten und industriell genutzten Gebiet des Mittellandes. Münchenbuchsee ist etwas ländlicher, jedoch umgeben von der umliegenden

Besiedlungen und Industrie von Bern. Von beiden Orten werden Signale der anthropogenen Einflüsse erwartet. Zudem wird erhofft, dass sich die Ionenkonzentrationen vom Neuschnee von denen des Altschnees abheben.

Schneeprofil – Buffalora

Unterhalb der Quelle OFb 2 in der Waldlichtung lag am 13. April 2007 noch Schnee. Die Entnahmestelle befindet sich unmittelbar neben dem Wasserlauf. Durch das Erstellen eines Schneeprofiles, wurde die interne Schichtung der Schneedecke erkennbar (siehe Abb. 6). Aus den Schichten wurde je eine Probe zur Analyse genommen. Die Schichten eins und zwei enthielten umgewandelten, grobkörnigen Schnee. Die Schneekristalle der untersten Schicht (Schicht 3) waren noch stärker alteriert. Der Übergang zum Boden war aufgetaut. In allen Schichten wurde eine Temperatur von 0°C gemessen. Durch die Schneesanalysen verschiedener Schichten der gleichen Schneedecke soll herausgefunden werden, ob sich die Ionen durch Auswaschung in den unteren Bereichen anreichern, oder ob sie, eingebracht durch den Niederschlag, in ihren Schichten bleiben.

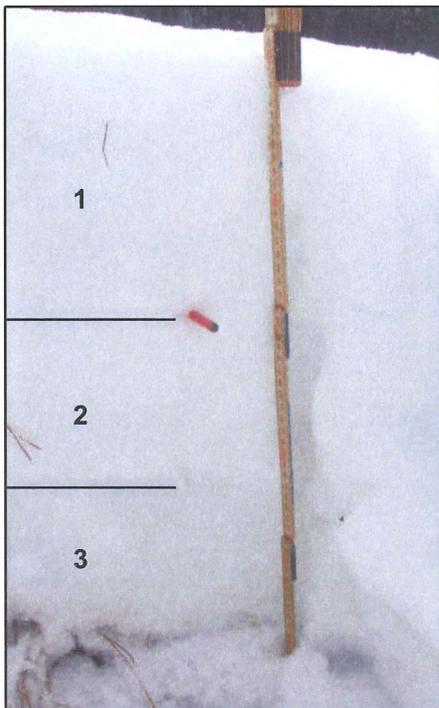


Abb. 6: Schneeprofil Buffalora

Laboranalysen

Im Hydrochemielabor des Instituts für Geologie in Bern stehen zwei Ionenchromatographen des Typs DX-120 der Firma Dionex. Die Anionen und Kationen werden in zwei verschiedenen Geräten gemessen. Beide sind an den Computer angeschlossen. Das Programm PeakNet® steuert die Messungen und wertet sie aus. Das Prinzip der Analyse beruht auf der unterschiedlich starken Interaktion von positiv und negativ geladenen Ionen mit einer stationären Phase. 1 ml der Wasserprobe wird einem Trägermaterial, dem Eluenten eingespritzt. Dieser durchläuft eine Trennsäule (stationäre Phase). Sie enthält bei der Kationenmessung negativ und bei der

Anionenmessung positiv geladenes Material. Aufgrund der Ladungsdifferenzen und unterschiedlichen Affinitäten der Ionen zum Trennsäulenmaterial, werden sie verschieden stark abgebremst. Dadurch treten die spezifischen Ionenarten zu ungleicher Zeit aus der Säule aus. Nach der Auftrennung durchlaufen sie den „Supressor“, welcher die signifikanten Signale verstärkt und Hintergrundgeräusche heraus filtrierte. Als Letztes messen zwei lösungsberührende Elektroden die Spannung der Flüssigkeit. Anhand der Spannung können rechnerisch die Ionenkonzentrationen abgeleitet werden.

Im Vorfeld der Analyse werden die Ionenchromatographen mit Lösungen bekannter Ionenkonzentrationen kalibriert. So erfolgt zum Beispiel die Kalibration auf Ca-Ionen durch das Erstellen von sechs unterschiedlich konzentrierten Lösungen. Der Standard mit der geringsten Konzentration sollte unter dem zu erwartenden Minimal-Wert der Feldproben und der höchst konzentrierte Standard über den maximal zu erwartenden Wert der Feldproben liegen. Diese Minima- und Maxima-Werte konnten der Arbeit von GAAR, 2006 entnommen werden.

Die relative Präzision der Bestimmungsgrenze liegt bei fünf Prozent, wobei diese ionenabhängig ist (HAEMMING und STRASKY, 2003). Um statistische Fehler als Folge zufälliger Schwankungen im Analysevorgang zu minimieren, wurden zur Reinigung der Geräte vor jedem Messzyklus zwei Mal Nanowasser und danach eine externe Referenzprobe von Dionex durch die Ionenchromatographen gelassen. Entsprachen die gemessenen Konzentrationen den zu erwartenden Werten, konnte mit der Analyse der Feldproben begonnen werden. Zusätzlich wurden die Feldproben in einer **willkürlichen** Reihenfolge analysiert.

Die Analysegenauigkeit kann durch das Erstellen einer Ionenbilanz abgeschätzt werden. Dies erfolgt durch die Berechnung der elektrischen Neutralität (E.N). Im Idealfall beträgt der E.N.-Wert 0%, wobei gerätbedingt Abweichungen bis 2% nicht zu verhindern und bis zu 10% tolerierbar sind (HAEMMING und STRASKY, 2003).

Ergebnisse und Diskussion

Anthropogene und geologische Signale

Gelangen Ionen durch anthropogene Prozesse oder salzreiche Meeresluft in den Umlauf, werden diese durch den Niederschlag aufgenommen und gelangen so ins Grundwasser. Fällt der Niederschlag in Form von Schnee, ist dieser mit Ionen angereichert. Während der Schneeschmelze werden die Ionen im Zyklus der Schmelze dem Grundwasser zugefügt. Diese „Niederschlags-Signale“ sind möglicherweise als starke Ionenanreicherung im Schnee oder als zyklisches Signal im Quellwasser erfassbar. Die geologischen Signale dagegen sind im Schnee schwach und im Quellwasser stark angereichert.

Die Darstellung der Messresultate als absolute Werte in einem Schoeller-Diagramm (siehe Abb. 7) soll als Basis für die folgende Interpretationen sein.

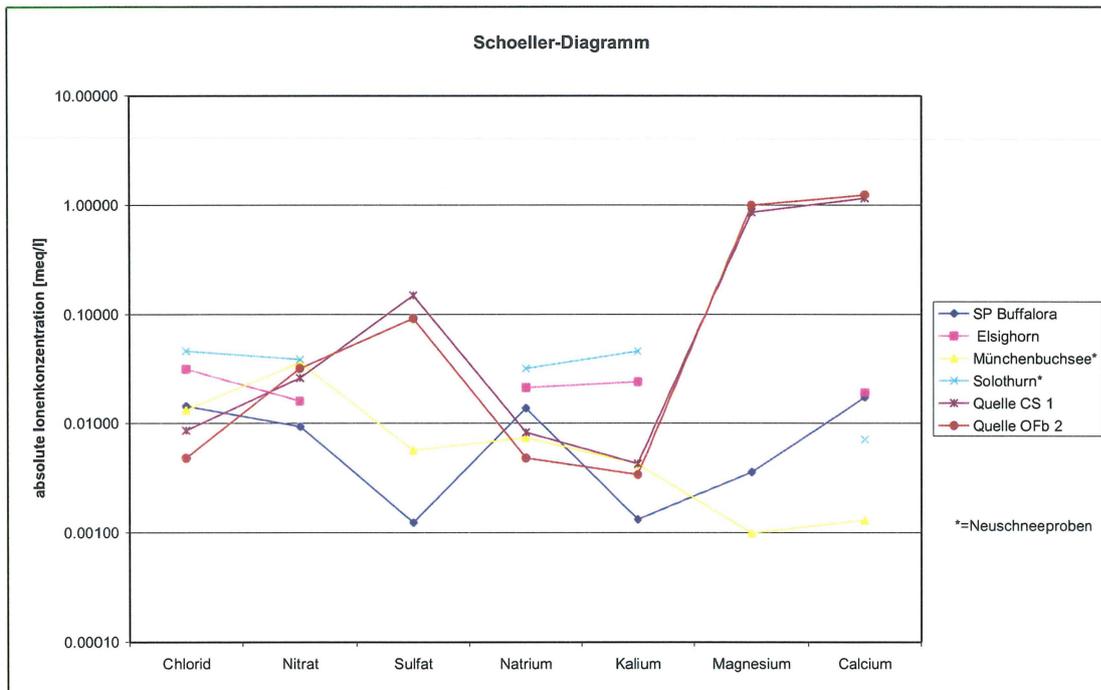


Abb. 7: Absolute Ionenkonzentrationen (logarithmisch) der gemessenen Ionen der Neuschnee-, Altschnee- und Wasserproben. Von den folgenden Orten wurden die Durchschnittswerte der Resultate genommen: Schneeprofil Buffalora, Münchenbuchsee, CS 1 und OFb 2.

Chlorid kommt in wenigen gesteinsbildenden Mineralien vor, wodurch die Konzentration im Grundwasser gering ist. Niederschlag, anthropogene Luftverunreinigungen oder Streusalz sind externe Eintragsquellen von Chlorid. Die Messresultate zeigen, dass Chlorid im Schnee stärker angereichert ist als im Quellwasser. Somit darf es als „**Niederschlags-Signal**“, eingebracht durch Streusalz der Ofenpasstrasse oder salzreiche Meeresluft, interpretiert werden.

Nitrat kommt geogen kaum vor. Oft ist es im Zusammenhang mit Niederschlag und Düngung anzutreffen. Auch durch Abbauprozesse stickstoffhaltiger Stoffe bildet sich Nitrat. Die Proben des Neuschnees aus Solothurn und Münchenbuchsee weisen die höchsten Nitratkonzentrationen auf. Die Altschneeproben sind abgereichert an Nitrat. Das Natrium-Ion gelangt im untersuchten Gebiet hauptsächlich durch **natürliche Düngung** (Säugetiere) und **biogene Abbauprozesse** ins Quellwasser.

Sulfat tritt in Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) und Anhydrit (CaSO_4) als Calciumsulfat auf. Durch Verwitterung der Schwefelverbindungen wird es in Lösung gebracht. Weiter kann Sulfat durch Niederschlag, Düngung, Abbau organischer Substanzen oder durch mikrobiologische Sulfatreduktion ins Grundwasser gelangen. Da oberhalb der Quellen die evaporit-haltige „Raibler-Formation“ anstehend ist, darf das Sulfat als vorwiegend **geogen eingebrachtes Signal** verstanden werden. Aus Abb. 7 sind die höheren Konzentrationen im Quellwasser und die Geringeren in den Schneeproben ersichtlich. Wiederum ist zu beobachten, dass die Ionenkonzentrationen im Neuschnee höher sind als im Altschnee. Ob dies durch die Lokalität oder den Verlust des Sulfates bei der Umwandlung der Schneekristalle bedingt ist, müsste weiter untersucht werden.

In hohen Konzentrationen tritt **Natrium** in Verbindung mit Chlorid auf, was durch die ähnlichen Konzentrationen der beiden Ionen deutlich wird. In dem Fall wäre der natürliche Herkunftsort das Steinsalz oder der Anthropogene das Streusalz. Durch Niederschläge gelangt Natrium ins Grundwasser. Die Verwitterung von Sandstein oder kristallinem Gestein stellt eine weitere Na-Quelle dar. Wie aus dem Diagramm ersichtlich wird, sind die Na-Konzentrationen denen von Chlorid ziemlich ähnlich. Zudem ist der Gehalt in den Schneeproben je nach Standort ähnlich wie in den Quellen oder sogar höher (Solothurn und Elsihorn). Natrium darf als „**Niederschlags-Signal**“ interpretiert werden.

Kalium ist nur in geringen Konzentrationen vorhanden, was durch die geringe geochemische Beweglichkeit bedingt ist. Häufig ist es in kristallinen Gesteinen (Orthoklas, Mikroklin, Biotit, Muskovit) aber auch als Kalifeldspatkörner in Sandsteinen enthalten. Durch Verwitterung wird es freigesetzt, jedoch schnell wieder an Tonmineralien adsorbiert. Düngemittel oder Streusalz enthalten Kalium und gewähren den anthropogenen Beitrag ins Grundwasser. Aus der Abbildung 7 ist ersichtlich, dass in den anthropogen beeinflussten Gebieten von Solothurn und des Elsihorns die K-Werte sehr hoch sind. Die Quellen im Nationalpark enthalten einen geringen Anteil von Kalium, welches anthropogen durch das **Streusalz** oder **biogen** durch Kot oder Zersetzungsprozesse eingebracht worden ist.

Magnesium und **Calcium** sind im Kristallin sowie auch in Dolomit, Kalksteinen, Anhydrit und Gips vorhanden. Bei der Verwitterung werden sie in gelöster Form dem Grundwasser zugeführt. Anthropogene Quellen für Magnesium und Calcium sind industrielle Emissionen. Magnesium kommt im Niederschlag in geringeren Mengen als Calcium vor, da es geochemisch weniger häufig auftritt. Im Diagramm sind die Konzentrationen der beiden Ionen im Schnee um einiges geringer als im Quellwasser. Daher handelt es sich bei beiden Ionen um **geologische Signale**. Durch den Vergleich der Konzentrationen in der Schneedecke von „Buffalora“ mit den Übrigen wird die Anreicherung von Magnesium und Calcium im Schnee in „Buffalora“ ersichtlich. Dies wäre durch eingeblasenen Staub kalkhaltiger Gesteine erklärbar.

Die Ionenbilanz wurde durch die Berechnung der elektrischen Neutralität ermittelt. Für CS 1 beträgt der E.N.-Wert 83.4% und für die Quelle OFb 2 89.15%. Diese Werte sind viel zu hoch und können nur durch fehlende Ionen erklärt werden. Durch den Vergleich mit den Ionenbilanzen von HAEMMING 2003 wird klar, dass **Hydrogenkarbonate** in grossen Mengen auftreten und somit in der Bilanz fehlen. Hydrogenkarbonat gelangt aufgrund der geologischen Gegebenheiten ins Grundwasser.

Vergleich Neuschnee – Altschnee

Aufgrund der Untersuchungen der Neu- und Altschneeproben kann keine generelle Ionenanreicherung im Neuschnee festgestellt werden. Begründet werden, könnte dies durch die unterschiedlichen Herkunftsorte der Proben. Vergleicht man die Konzentrationen der

Neuschneeproben aus Münchenbuchsee mit denen von Solothurn (Abb. 7), ist zu beobachten, dass die Ionenanreicherung im Niederschlag enorm von den lokalen Gegebenheiten abhängig ist. Diese Aussage wird auch durch die Resultate der Schneeprofilproben „Buffalora“ bestätigt. Ein klarer chemischer Gradient durch die Schneedecken lässt sich nicht feststellen. Die mittlere Decke des Profils enthält die höchsten Ionenkonzentrationen. Ob diese durch Niederschlag, spätere terrestrische Staubeinwehungen oder durch das Schmelzen der obersten Schneesicht stammen, ist nicht klar.

Konstanz und Oberflächen – Einfluss

Die Wassertemperatur einer Quelle ist abhängig vom Wärmeaustausch mit der Luft (Oberflächeneinfluss) und dem Wärmezustrom aus dem Erdinneren. Auch Schmelzwasser kann zu einer Temperaturerniedrigung führen. Die Quelle CS 1 ist mit einer durchschnittlichen Temperatur von 1.8 °C eher kühl. Tages und Nachtschwankungen waren zu beobachten (Anhang, Abb. 3). Der Einfluss des Wärmeaustausches mit der Luft und des Schmelzwassers kontrolliert die Wassertemperatur von CS 1. Verglichen dazu hat die Quelle OFb 2 seit Jahren einen konstanten Wert von 4.5°C (Anhang, Abb. 6). Schwankungen im Tages- und Nachtzyklus sind nicht zu beobachten. Sie ist durch den Wärmezustrom aus dem Erdinneren geprägt und von äusseren Temperatureinflüssen abgeschirmt. In unseren Breitengraden nehmen die Grundwassertemperaturen je 100 Meter bei ungestörten Verhältnissen um 2 bis 3 °C zu (HAEMMING und STRASKY, 2003). Unter diesen Voraussetzungen käme das Wasser der OFb 2 theoretisch aus einer Tiefe von 150 bis 225 Metern.

Schwankungen der Ionenkonzentrationen

Die Resultate der Analysen zeigen, dass Nitrat, Sulfat, Magnesium und Calcium in ihren Konzentrationen kaum ändern (Anhang Abb. 7 und Abb. 8). Bis auf das Nitrat handelt es sich dabei um Ionen, die durch geologische Gegebenheiten oder biogene Prozesse (Nitrat) ins Grundwasser gelangen. Die restlichen Ionen, Chlorid, Natrium und Kalium weisen Änderungen auf (siehe Abb. 8 und 9). Deren Ursprung ist vorwiegend anthropogen (Streusalz) oder niederschlagsbedingt (Meeresluft). In beiden Fällen gelangen die Ionen durch Windverfrachtungen von Staub oder Niederschlag in die Schneedecke und durch die spätere Schneeschmelze ins Grundwasser. Der tatsächliche Ursprung der mit dem Tages- und Nachtzyklus gekoppelten Schwankungen ist nicht bekannt. Nachfolgend werden für beide Quellen mögliche Hypothesen vorgestellt.

CS 1

Aus den Analysen ist zu entnehmen, dass in den warmen Nachmittagsstunden, wenn die Schneeschmelze aktiv ist, die Ionenkonzentrationen von Chlorid, Natrium und Kalium relativ zum Ausgangswert abnehmen. Um Mitternacht erreichen Chlorid und Natrium jeweils einen Maximalwert. Die Kalium-Konzentration zeigt nicht ein derart regelmässiges Bild wie die beiden anderen Ionen, was durch die geringe K-Konzentration zu begründen ist.

GAAR 2006 stellte folgende Hypothese auf: „Bei der Umwandlung der Schneeflocken in gerundete Sulzschneekörner (Rekristallisationsprozess) verhalten sich gelöste Stoffe als inkompatibel und werden mit dem ersten Schmelzwasser aus der Schneedecke ausgewaschen“. Der verbleibende Schnee darf somit als ionenfrei betrachtet werden. Bei fortschreitender Schneeschmelze gelangt dieses Wasser zum Grundwasser, was zu einer „Verwässerung“ der ursprünglichen Ionenkonzentration führt. Eine Quelle wie CS 1, welche durch oberflächennahe Einflüsse gesteuert wird, zeigt eine derartige Abschwächung des Signals durch die Schneeschmelze in einem negativen Ausschlag wieder. Weshalb sich Kalium andersrum verhält ist nicht klar.

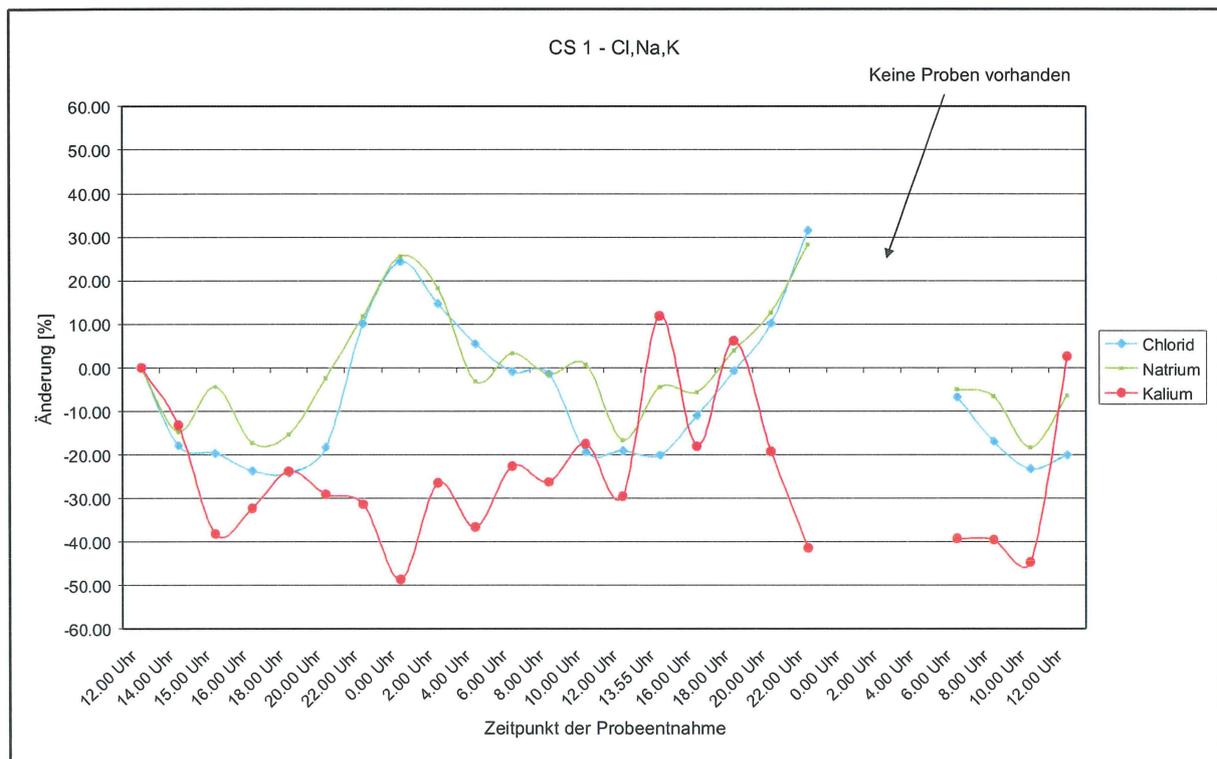


Abb. 8: Cl, Na und K zeigen deutliche Änderungen, welche mit der Schneeschmelze in Verbindung gebracht werden können.

OFb 2

Auch diese Quelle weist Schwankungen im Tages- und Nachtzyklus auf, welche als Folge der Schneeschmelze interpretiert werden können. Zum Zeitpunkt der Probenahme, lag jedoch auf der ganzen Südflanke oberhalb der Quelle kein Schnee mehr. Die Herkunft des Quellwassers von OFb 2 ist nicht bekannt, einzig die konstante Temperatur liefert Hinweise auf eine lange Verweilzeit des Wassers im Untergrund. Daher ist es durchaus denkbar, dass die positiven Ausschläge als verzögerte Schneeschmelzsignale des erst geschmolzenen, ionenreichen Schnees zu verstehen sind. Um diese Hypothese zu unterstützen, müsste zu einem späteren Zeitpunkt ein ähnliches „Verwässerungs“-Signal wie bei CS 1 zu messen sein.

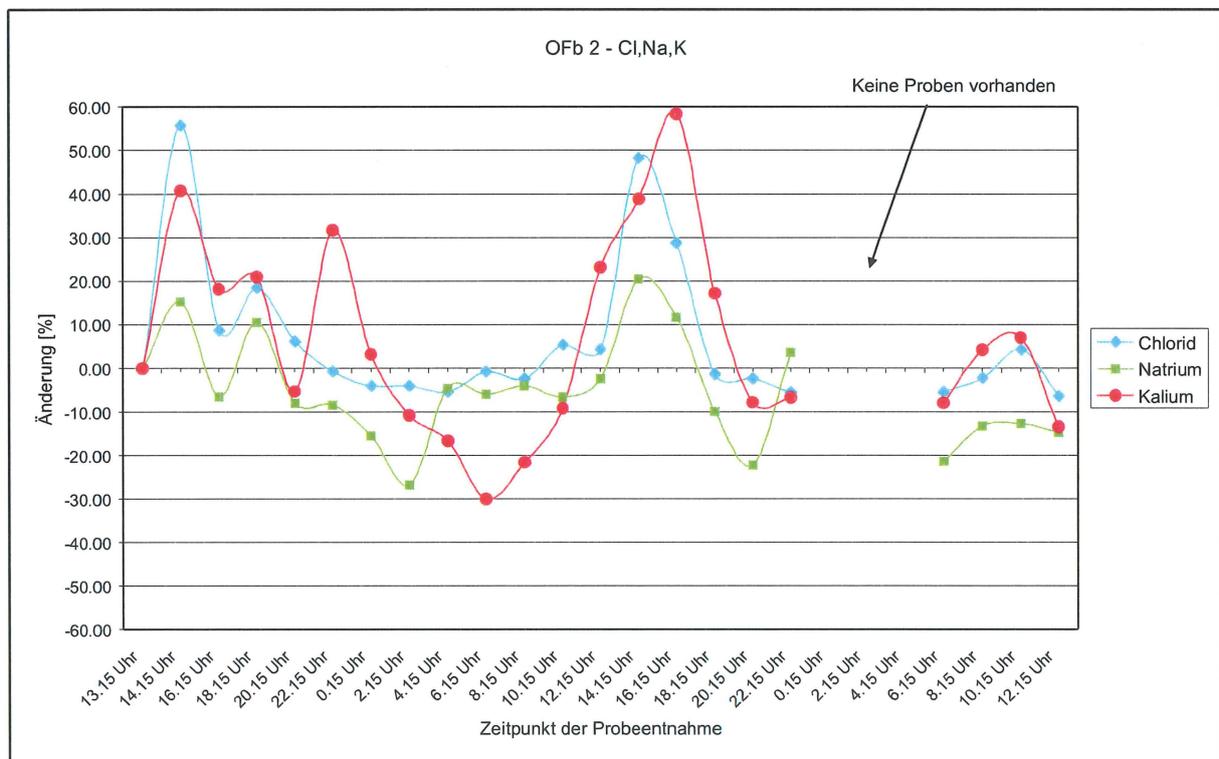


Abb. 9: Die Ionenkonzentrationen nehmen zum Zeitpunkt der Schneeschmelze zu und klingen in der Nacht wieder ab. Die Änderungen sind relativ zum ersten Messwert.

Schlussfolgerung

Durch die regelmässigen Probeentnahmen über 48 Stunden konnte erfolgreich gezeigt werden, dass die untersuchten Quellen Schwankungen in den Ionenkonzentrationen aufzeigen, welche mit dem Tages- und Nachtverlauf korrelieren. Es wird angenommen, dass die Ursachen für die Signale in der Schneeschmelze und der Fraktionierung der Ionen innerhalb der Schneedecke liegen. Bei weiteren Forschungsarbeiten ist es notwendig, zu einem Zeitpunkt zu messen, indem die Schneeschmelze vernachlässigt werden kann (z.B. im Spätsommer). Weiter soll die Entwicklung des Ionengehaltes einer Schneedecke genauer studiert werden. Interessant wäre zu wissen, ob die hypothetische Fraktionierung tatsächlich stattfindet. Hinweise über die Herkunft und Verweildauer des Quellwassers von CS 1 und OFb 2 könnten „Tracerversuche“ geben.

Literaturverzeichnis

Publikationen

LABHART, TONI P. 1992: Geologie der Schweiz. Ott Verlag, Thun, 211 S.

HAEMMING, CHRISTOPH und STRASKY, STEFAN 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. und 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.

GRAAF, D. 2006: Hydrogeologie und Geochemie ausgewählter Quellen im Schweizerischen Nationalpark. Bachelor-Arbeit Universität Bern, 27 S.

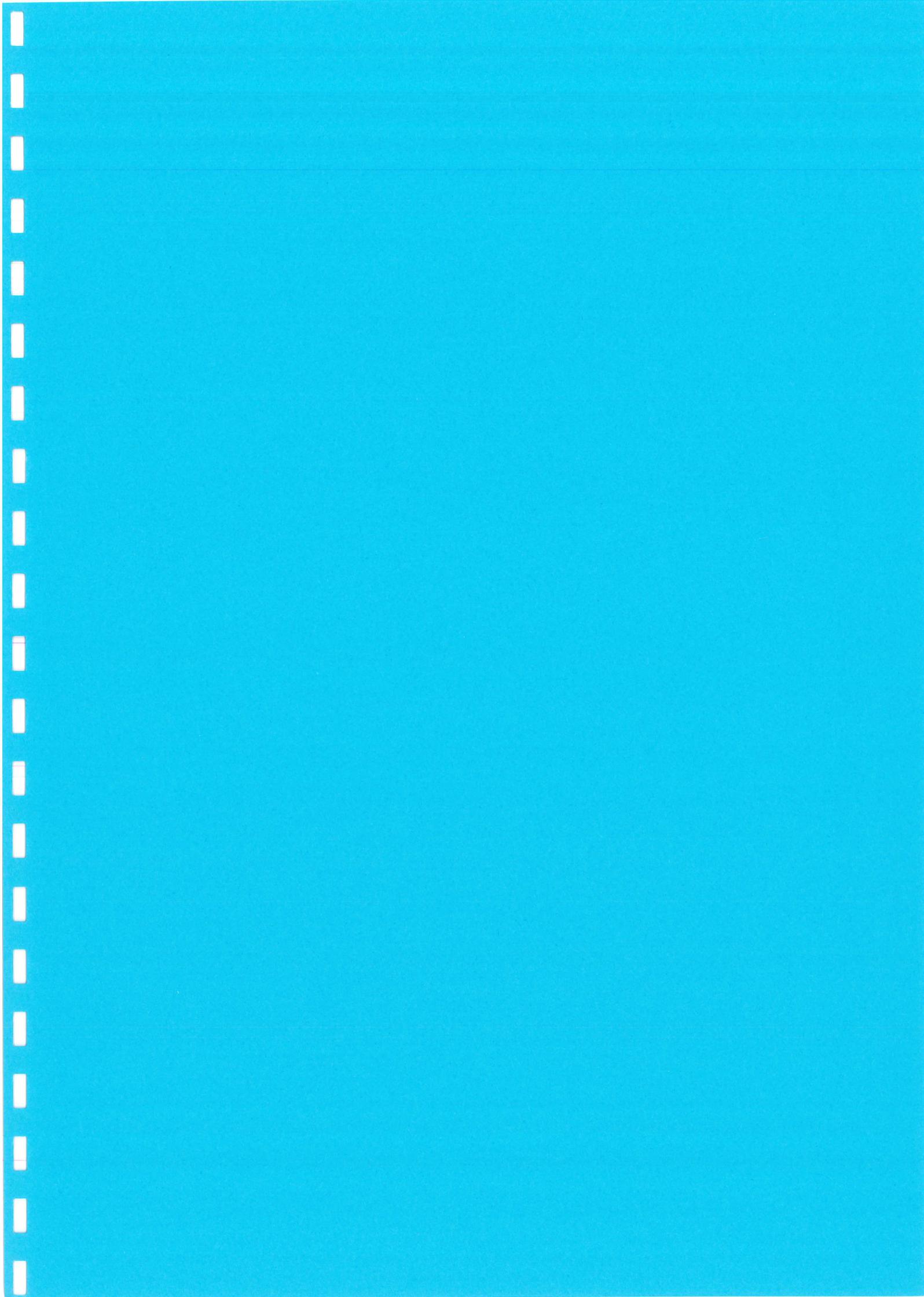
WIRTH, S. 2006: Quellenhydrogeologie und –geochemie im Schweizerischen Nationalpark – mit einer glazialgeologischen Erweiterung. Bachelor-Arbeit Universität Bern, 50 S.

LEDERMANN, H 1977: Erläuterungen zum geologischen Atlasblatt 1127 Solothurn. 36 S.

Karten

LEDERMANN, H. 1977: Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000, Blätter: 1127 Solothurn. Geologische Kommission der Schweiz. naturforschende Gesellschaft.

GEOLOGISCHE KARTE DES SCHWEIZERISCHEN NATIONALPARKS 1:50'000 1987: Geologische Spezialkarte Nr. 122 Herausgeber: Schweizerische Geologische Kommission und Kommission für die wissenschaftliche Erforschung des Nationalparks.



Anhang

Messwerte: pH, Sauerstoff, Temperatur

Probe	pH	O ₂ [mg/l]	T [°C]
CS 1 - 13.04.2007 14:00	8.468	8.25	1.7
CS 1 - 13.04.2007 15:00	8.48	8.25	1.7
CS 1 - 13.04.2007 16:00	8.466	8.18	1.9
CS 1 - 13.04.2007 17:55	8.499	8.26	1.7
CS 1 - 13.04.2007 20:05	8.46	8.28	1.7
CS 1 - 13.04.2007 22:00	8.456	8.31	1.7
CS 1 - 13.04.2007 23:55	8.434	8.31	1.7
CS 1 - 14.04.2007 02:00	8.424	8.33	1.6
CS 1 - 14.04.2007 03:55	8.413	8.33	1.6
CS 1 - 14.04.2007 06:05	8.413	8.32	1.6
CS 1 - 14.04.2007 07:50	8.415	8.29	1.6
CS 1 - 14.04.2007 10:00	8.39	8.23	1.8
CS 1 - 14.04.2007 11:55	-	8.16	2
CS 1 - 14.04.2007 13:55	8.394	8.14	2
CS 1 - 14.04.2007 15:50	8.398	8.12	2
CS 1 - 14.04.2007 17:55	8.391	8.17	1.8
CS 1 - 14.04.2007 19:45	8.376	8.18	1.8
CS 1 - 14.04.2007 21:55	8.373	8.19	1.8
CS 1 - 15.04.2007 00:00	-	-	-
CS 1 - 15.04.2007 02:00	-	-	-
CS 1 - 15.04.2007 04:00	-	-	-
CS 1 - 15.04.2007 06:00	8.357	8.14	1.8
CS 1 - 15.04.2007 07:50	8.358	8.1	1.9
CS 1 - 15.04.2007 09:55	8.349	8.05	2
CS 1 - 15.04.2007 11:55	8.35	7.96	2
CS 1 - 15.04.2007 12:30	8.357	7.96	2.2
Mittelwerte:	8.41	8.2	1.8
Standardabweichung	0.05	0.11	0.16
GAAR (2006) zum Vergleich	8.36	6.56	2.7

Tabelle 1: Messwerte der Quelle CS 1

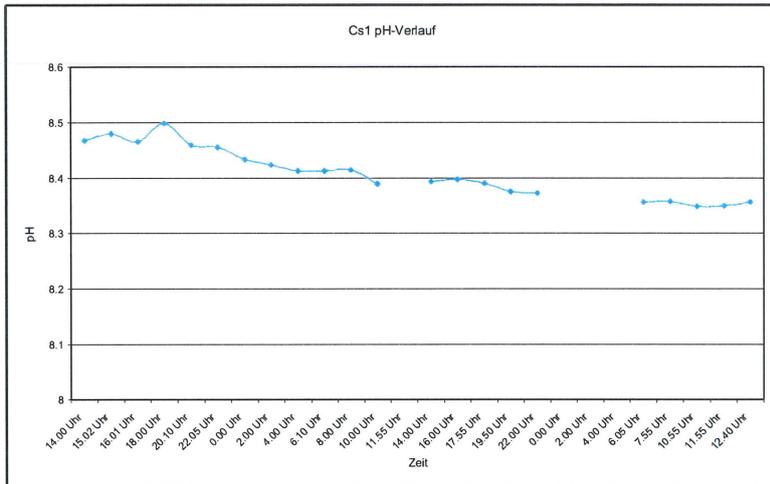


Abb. 1: pH-Verlauf der Quelle CS 1

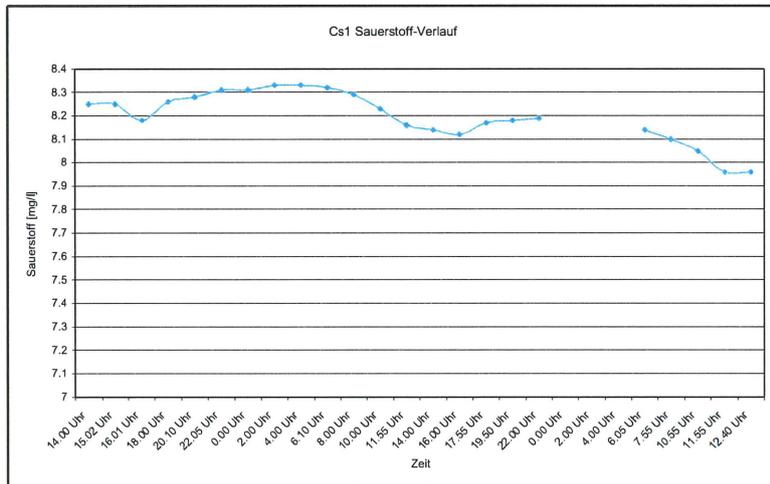


Abb. 2: Änderung der Sauerstoffkonzentration der Quelle CS 1

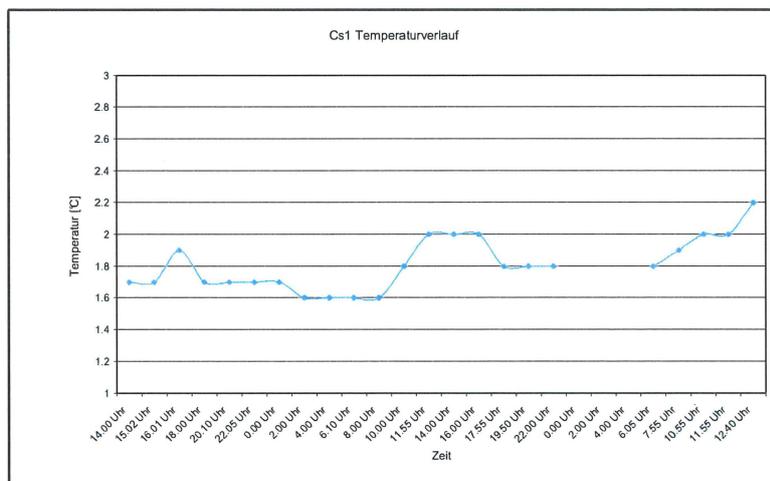


Abb. 3: Temperaturverlauf der Quelle CS 1

OFb 2 Messwerte: pH, Sauerstoff, Temperatur

Probe	pH	O ₂ [mg/l]	T [°C]
OFb 2 - 13.04.2007 14:30:00	8.16	9.52	4.5
OFb 2 - 13.04.2007 16:12:00	8.17	9.45	4.5
OFb 2 - 13.04.2007 18:05:00	8.16	9.46	4.5
OFb 2 - 13.04.2007 20:20:00	8.14	9.5	4.5
OFb 2 - 13.04.2007 22:15:00	8.2	9.48	4.5
OFb 2 - 14.04.2007 00:10:00	8.19	9.44	4.5
OFb 2 - 14.04.2007 02:15:00	8.2	9.48	4.5
OFb 2 - 14.04.2007 04:15:00	8.21	9.48	4.5
OFb 2 - 14.04.2007 06:15:00	8.21	9.48	4.5
OFb 2 - 14.04.2007 08:10:00	8.19	9.5	4.5
OFb 2 - 14.04.2007 10:10:00	8.17	9.44	4.5
OFb 2 - 14.04.2007 12:05:00	8.19	9.44	4.5
OFb 2 - 14.04.2007 14:10:00	8.18	9.42	4.5
OFb 2 - 14.04.2007 16:10:00	8.2	9.37	4.5
OFb 2 - 14.04.2007 18:05:00	8.19	9.43	4.5
OFb 2 - 14.04.2007 20:00:00	8.19	9.3	4.5
OFb 2 - 14.04.2007 22:15:00	8.19	9.39	4.5
OFb 2 - 14.04.2007 24:00:00	-	-	-
OFb 2 - 15.04.2007 02:00:00	-	-	-
OFb 2 - 15.04.2007 04:00:00	-	-	-
OFb 2 - 15.04.2007 06:15:00	8.2	9.38	4.5
OFb 2 - 15.04.2007 08:07:00	8.19	9.38	4.5
OFb 2 - 15.04.2007 10:10:00	8.16	9.22	4.5
OFb 2 - 15.04.2007 12:05:00	8.18	8.94	4.5
Mittelwert	8.18	9.4	4.5
Standardabweichung	0.02	0.13	0
GAAR (2006) zum Vergleich	8.06	6.68	4.5

Tabelle 2: Messwerte der Quelle OFb 2

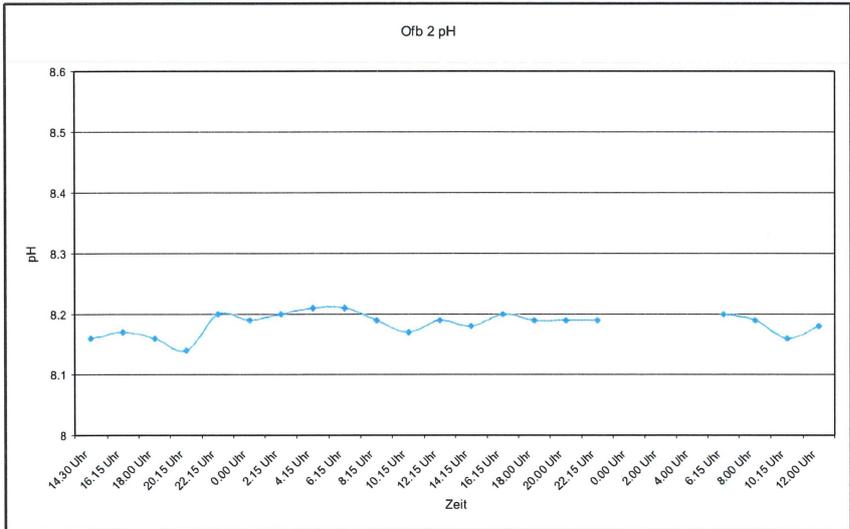


Abb. 4: pH-Verlauf der Quelle OFb 2.

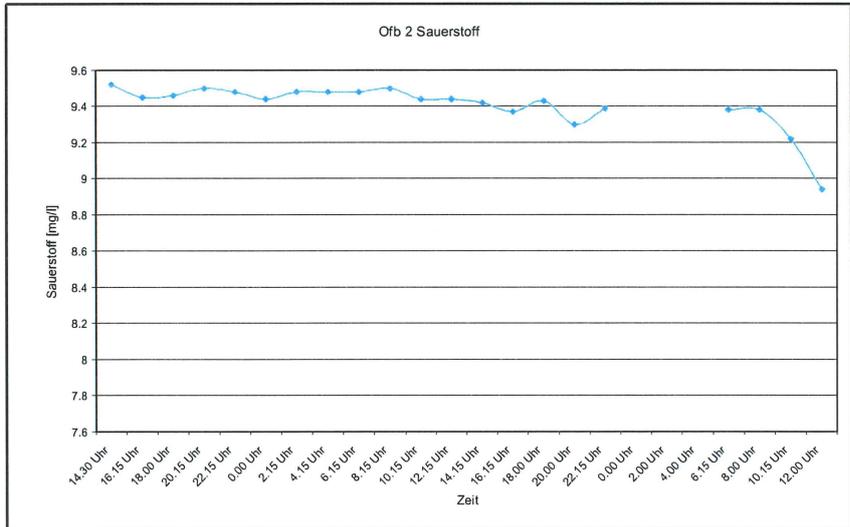


Abb. 5: Verlauf der Sauerstoffkonzentration von Quelle OFb 2.

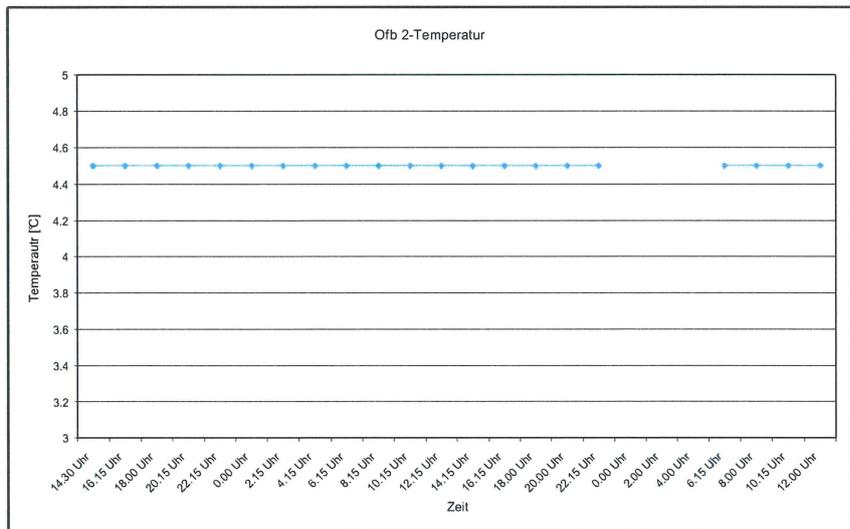


Abb. 6: Temperaturverlauf der Quelle OFb 2

Ionenkonzentrationen: CS 1

Probe	Chlorid	Nitrat	Sulfat	Natrium	Kalium	Magnesium	Calcium	
CS 1 - 13.04.2007 12:00	330.3	1692.7	7384.2	194.3	221.5	10190.2	22888.8	[µg/l]
CS 1 - 13.04.2007 14:00	271.4	1660.8	7168.6	165.9	192.3	10266.8	23065.2	[µg/l]
CS 1 - 13.04.2007 15:00	265.4	1681.3	7278.9	185.9	137.1	10402.8	22917.6	[µg/l]
CS 1 - 13.04.2007 16:00	252.1	1690.2	7182.0	161.0	150.1	10170.6	23065.2	[µg/l]
CS 1 - 13.04.2007 17:55	250.4	1709.5	7107.3	164.6	169.0	10160.9	23024.8	[µg/l]
CS 1 - 13.04.2007 20:05	270.1	1690.5	7212.0	189.8	157.2	10432.1	23099.4	[µg/l]
CS 1 - 13.04.2007 22:00	363.8	1644.8	7058.6	217.4	152.1	10443.9	23322.1	[µg/l]
CS 1 - 13.04.2007 23:55	410.9	1679.2	7277.3	244.2	114.0	10555.7	23626.2	[µg/l]
CS 1 - 14.04.2007 02:00	379.0	1640.6	7474.2	230.0	163.0	10793.2	23650.5	[µg/l]
CS 1 - 14.04.2007 03:55	348.6	1665.8	7498.8	188.4	140.5	10469.1	23965.2	[µg/l]
CS 1 - 14.04.2007 06:05	327.4	1625.6	7517.4	200.8	171.5	10570.4	23867.6	[µg/l]
CS 1 - 14.04.2007 07:50	325.6	1634.5	7408.8	191.5	163.5	10405.3	23278.7	[µg/l]
CS 1 - 14.04.2007 10:00	266.3	1586.4	7310.4	195.9	182.9	10505.3	23258.4	[µg/l]
CS 1 - 14.04.2007 11:55	267.2	1620.3	7133.5	162.1	156.3	10393.5	23252.9	[µg/l]
CS 1 - 14.04.2007 13:55	264.3	1661.2	7144.0	185.7	248.0	10348.5	23110.7	[µg/l]
CS 1 - 14.04.2007 15:50	294.0	1629.0	6926.5	183.6	181.7	10397.6	23224.5	[µg/l]
CS 1 - 14.04.2007 17:55	327.9	1640.4	7002.1	202.0	235.2	10500.9	23093.7	[µg/l]
CS 1 - 14.04.2007 19:45	364.0	1585.4	6805.3	219.2	179.0	10257.2	23050.0	[µg/l]
CS 1 - 14.04.2007 21:55	434.6	1583.2	6841.3	249.4	129.8	10547.8	23887.3	[µg/l]
CS 1 - 15.04.2007 00:00	-	-	-	-	-	-	-	[µg/l]
CS 1 - 15.04.2007 02:00	-	-	-	-	-	-	-	[µg/l]
CS 1 - 15.04.2007 04:00	-	-	-	-	-	-	-	[µg/l]
CS 1 - 15.04.2007 06:00	308.3	1532.4	6961.9	184.8	134.7	10453.3	23496.6	[µg/l]
CS 1 - 15.04.2007 07:50	274.5	1507.3	6818.9	181.7	134.0	10298.0	23025.6	[µg/l]
CS 1 - 15.04.2007 09:55	253.6	1527.4	6539.9	158.8	122.8	10205.3	22974.8	[µg/l]
CS 1 - 15.04.2007 11:55	264.3	1655.4	7013.5	182.0	227.3	10275.3	22669.8	[µg/l]
								[µg/l]
Mittelwerte	309.3	1632.34	7133.28	193.00	167.98	10393.20	23252.85	[µg/l]
Standardabweichung	53.8	55.63	249.84	25.08	36.74	153.60	343.62	[µg/l]
Werte GAAR (2006) zum Vergleich	705.0	1445.15	8094.89	477.11	202.95	8184.90	210055.84	[µg/l]
Werte GRAF (2006) zum Vergleich	1410.0	1400.00	13170.00	910.00	200.00	11800.00	27930.00	[µg/l]

Tabelle 3: Werte der Ionenkonzentrationen der Quelle CS 1 gemessen über 48 Stunden.

Ionenkonzentrationen: OFb 2

Probe	Chlorid	Nitrat	Sulfat	Natrium	Kalium	Magnesium	Calcium	
OFb 2 - 13.04.2007 13:10	161.2	1993.0	4367.2	117.6	126.2	12049.3	24650.9	[µg/l]
OFb 2 - 13.04.2007 14:30	251.2	2011.7	4416.7	135.6	177.7	11899.1	24591.0	[µg/l]
OFb 2 - 13.04.2007 16:12	175.2	1990.0	4343.2	110.0	149.1	12115.5	24758.8	[µg/l]
OFb 2 - 13.04.2007 18:05	190.9	1974.5	4370.5	130.1	152.6	12202.6	24717.0	[µg/l]
OFb 2 - 13.04.2007 20:20	171.2	2019.6	4468.1	108.3	119.6	11923.6	24810.4	[µg/l]
OFb 2 - 13.04.2007 22:15	160.0	1966.7	4362.4	107.8	166.2	12183.7	24715.0	[µg/l]
OFb 2 - 14.04.2007 00:10	154.7	1970.6	4329.6	99.5	130.2	11889.2	25046.4	[µg/l]
OFb 2 - 14.04.2007 02:15	154.7	1990.6	4319.8	86.2	112.6	11778.3	24907.8	[µg/l]
OFb 2 - 14.04.2007 04:15	152.6	1970.7	4378.1	112.3	105.2	11766.8	25033.8	[µg/l]
OFb 2 - 14.04.2007 06:15	159.9	1999.9	4410.6	110.6	88.3	12137.4	24718.2	[µg/l]
OFb 2 - 14.04.2007 08:10	157.4	2006.6	4379.0	112.9	99.0	12284.2	24944.0	[µg/l]
OFb 2 - 14.04.2007 10:10	170.0	1996.6	4410.4	109.9	114.7	12282.2	25101.9	[µg/l]
OFb 2 - 14.04.2007 12:05	168.2	1995.7	4394.9	114.9	155.5	12097.0	24751.7	[µg/l]
OFb 2 - 14.04.2007 14:10	239.0	1980.4	4440.5	141.7	175.2	11991.4	24956.7	[µg/l]
OFb 2 - 14.04.2007 16:10	207.6	2001.7	4476.2	131.4	199.9	11615.6	24898.5	[µg/l]
OFb 2 - 14.04.2007 18:05	159.1	1941.7	4343.7	106.1	147.9	11997.1	24722.5	[µg/l]
OFb 2 - 14.04.2007 20:00	157.5	1987.8	4349.7	91.6	116.4	12005.8	25229.5	[µg/l]
OFb 2 - 14.04.2007 22:15	152.3	1973.6	4406.7	121.9	117.8	11985.0	24635.7	[µg/l]
OFb 2 - 14.04.2007 24:00	-	-	-	-	-	-	-	[µg/l]
OFb 2 - 15.04.2007 02:00	-	-	-	-	-	-	-	[µg/l]
OFb 2 - 15.04.2007 04:00	-	-	-	-	-	-	-	[µg/l]
OFb 2 - 15.04.2007 06:15	152.5	1983.5	4480.2	92.5	116.2	12277.1	25034.2	[µg/l]
OFb 2 - 15.04.2007 08:07	157.6	2002.2	4465.8	102.1	131.5	12126.6	24681.0	[µg/l]
OFb 2 - 15.04.2007 10:10	168.0	2014.1	4472.0	102.7	135.1	12292.4	25156.8	[µg/l]
OFb 2 - 15.04.2007 12:05	150.9	1971.1	4475.4	100.3	109.3	12346.7	25149.0	[µg/l]
Mittelwert über gesamte Probedauer	171.44	1988.28	4402.76		111.18	133.92	12056.66	24873.22
Standardabweichung	27.44	18.56	52.88		14.28	28.43	193.60	192.93
Werte von Gaar (2006) zum Vergleich	207.73	2093.61	3605.64		135.18	140.61	9977.92	23479.28

Tabelle 4: Ionenkonzentrationen der Quelle OFb 2 gemessen über 48 Stunden.

Ionenkonzentrationen (Nitrat, Sulfat, Mg, Ca): CS 1

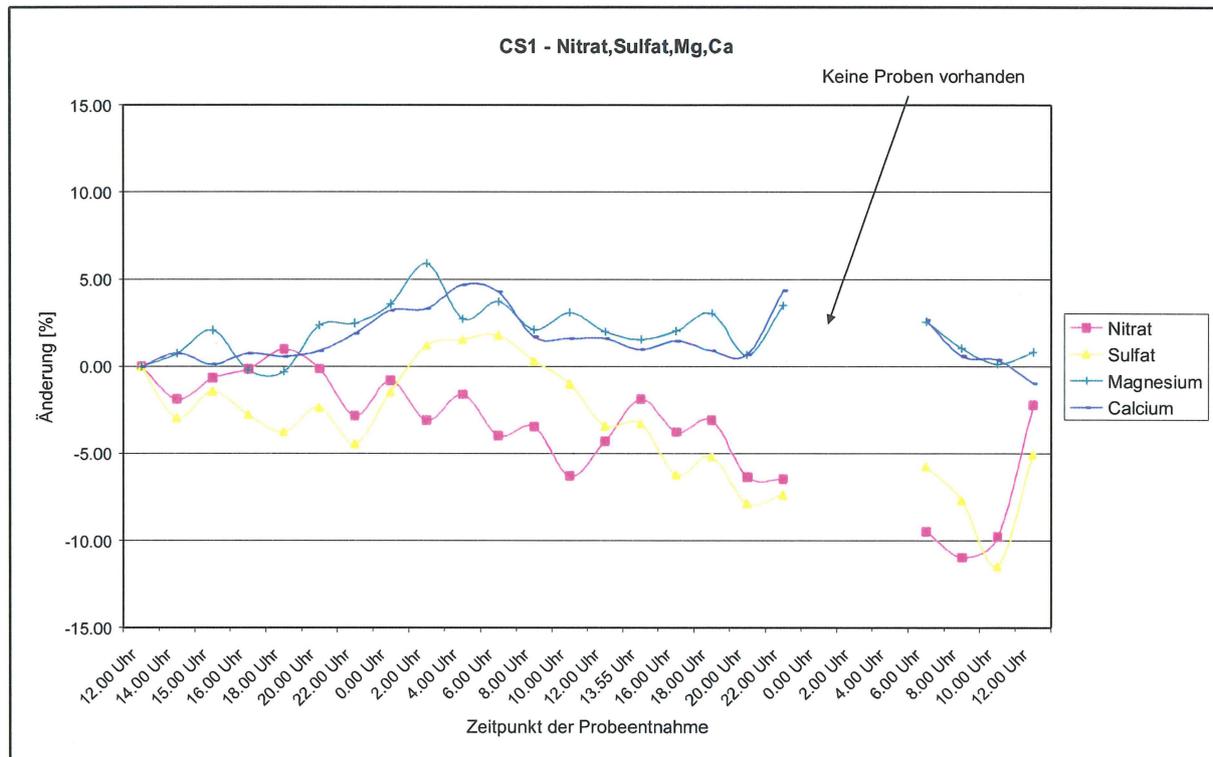


Abb. 7: Die meisten Schwankungen liegen im Bereich des Messfehlers (5%). Erst nach 24 Stunden zeigen Nitrat und Sulfat eine leicht sinkende Tendenz.

Ionenkonzentrationen (Nitrat, Sulfat, Mg, Ca): OFb 2

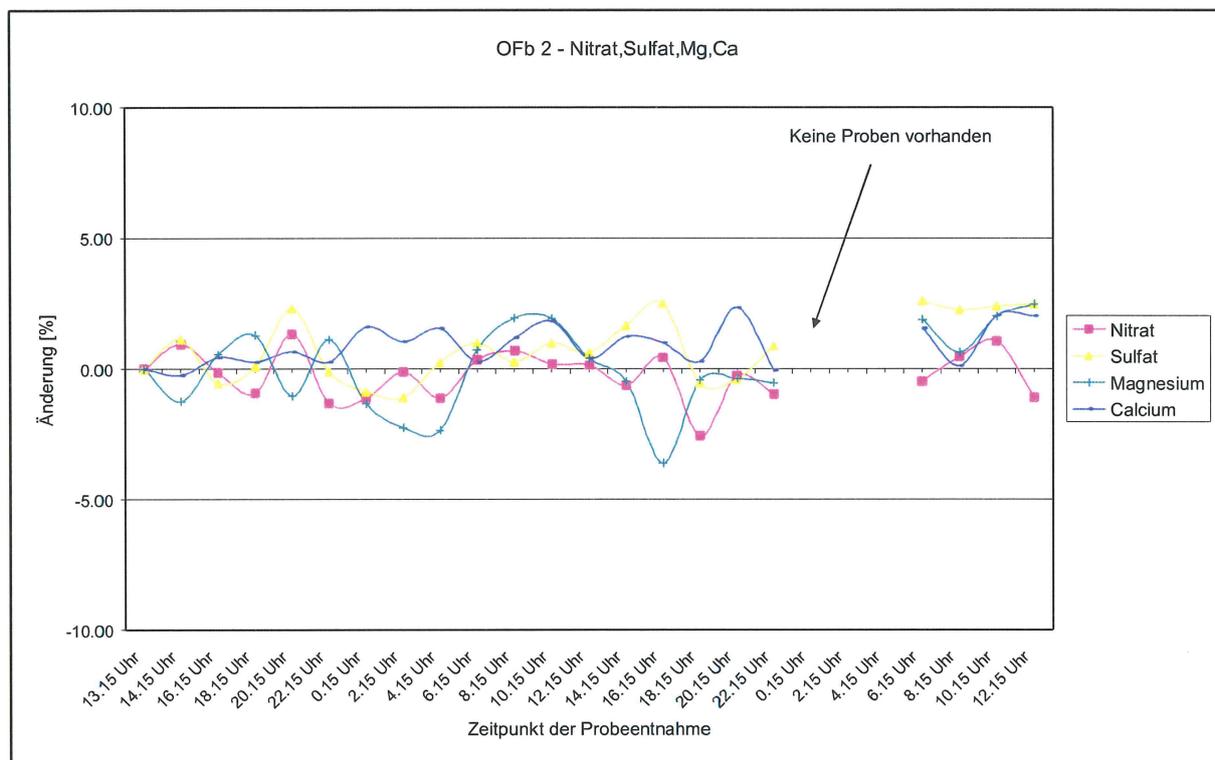


Abb. 8: Alle Schwankungen liegen im Bereich des Messfehlers (5%).

Werte der Schneeproben

Probe	Chlorid	Nitrat	Sulfat	Natrium	Kalium	Magnesium	Calcium
SP-OFb 2 – Schicht 1	549.5	724.8	0.0	330.3	31.9	6.6	478.2
SP-OFb 2 – Schicht 2	698.7	647.0	179.8	446.0	86.2	88.9	422.0
SP-OFb 2 – Schicht 3	293.0	370.5	0.0	178.5	38.0	35.5	147.8
Mittlerwert	513.7	580.8	59.9	318.3	52.0	43.7	349.3
EH1 - 03.02.2007	1117.1	998.4	0.0	492.5	943.3	0.0	387.2
BUXI - 23.03.2007a	522.3	2368.2	548.0	198.6	171.5	15.4	24.2
BUXI - 23.03.2007b	427.2	2107.3	0.0	143.4	163.9	9.0	28.2

Tabelle 5: Die rot geschriebenen Werte liegen unter der Messgrenze.