

**Quellenhydrologie und –geochemie im
Schweizerischen Nationalpark**

-

mit einer glazialgeologischen Erweiterung

Bachelor-Arbeit

der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
Universität Bern

vorgelegt von
Simon Werthmüller
Mai 2009

Leiter der Arbeit
Prof. Dr. Christian Schlüchter
Institut für Geologie

Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit besteht aus zwei unabhängigen Teilen. Im ersten Teil wurde auf die Quellenhydrologie und -geochemie der Quellen Ofb2 und CS1 im Schweizerischen Nationalpark eingegangen. In den vergangenen Jahren waren die Quellen im Raum Buffalora im Schweizerischen Nationalpark mehrmals Ziel wissenschaftlicher Arbeiten. Über den Zeitraum von mehreren Tagen wurden dabei die Quellen beprobt und anschliessend mit Ionenchromatographie die Konzentration der Ionen Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ , Cl^- , F^- , NO_3^- , SO_4^{2-} bestimmt. Dabei wurden Schwankungen der Konzentrationen während der Beprobung wie auch im Vergleich der einzelnen Jahre beobachtet.

In dieser Arbeit werden zwei Quellen zum zweiten Mal in den Wintermonaten über eine kurze Zeitspanne beprobt. Zur Interpretation des Quellchemismus werden zudem Schneeproben, Monatsniederschläge, durchschnittliche Monatslufttemperatur und die Datenreihen der vorgängigen Arbeiten zugezogen.

Im zweiten Teil dieser Arbeit wurden zwei Findlinge aus dem westlichen Napfgebiet makroskopisch und mikroskopisch beschrieben.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Inhaltsverzeichnis	II
Einleitung	1
Geologische und tektonische Übersicht des Quellgebietes	2
Hydrologische Untersuchungen	
Einleitung und Beschreibung der Quellen	5
Quelle CS 1	5
Quelle Ofb 2	5
Feldmessungen	6
Schneeprofil	8
Laboranalyse	
Ionenchromatographie	8
Ergebnisse und Diskussion	
Herkunft der gelösten Ionen	11
Temperatur	12
Salinität	12
pH-Wert	12
Sauerstoff-Konzentration	13
Schneeproben	13
CS 1	14
Ofb 2	16
Schlussfolgerungen	18
Glazialgeologische Erweiterung	
Die Bedeutung von Erratikern	20
Handstücke	20
Kiss 1	20
Makroskopische Beschreibung	20
Mikroskopische Beschreibung	20
Kiss 2	
Makroskopische Beschreibung	21
Mikroskopische Beschreibung	21

Schlussfolgerungen	22
Literaturverzeichnis	23
Anhang	
Erhobene Daten der Quelle Ofb 2	24
Erhobene Daten der Quelle CS 1	28
Erhobene Daten des Schneeprofiles	32
Monatsniederschlagssumme und mittlere	
Monatstemperatur 2005 – 2009 Station Buffalora	33
Schöllerdiagramme	34
Laufzeitdiagramme	35

Einleitung

Seit einigen Jahren wurden als Grundlage von Diplom- und Bachelorarbeiten Quellen im Schweizerischen Nationalpark beprobt. Neben den physikalischen Parametern, welche direkt beim Quellaustritt gemessen werden konnten, wurden Quellwasserproben zu einem späteren Zeitpunkt mit Ionenchromatographie analysiert.

Im Laufe dieser Untersuchungen stellte sich heraus, dass einige Quelle signifikante Schwankungen in der Zusammensetzung des Quellchemismus aufweisen (Haemming & Strasky, 2003; Graf, 2005; Wirth, 2006; Gaar, 2006; Riner, 2007; Goldabella, 2008). Diese Schwankungen folgen bis jetzt keiner erkannten Periodizität und zeigen schwankende Messwerte über den Zeitraum von Tagen bis Jahre. Ebenfalls ist festzustellen, dass nicht alle gelösten Ionen die selben Schwankungen aufweisen.

Inhalt dieser Arbeit ist es über den Zeitraum von 24 Stunden mit einem Messintervall von zwei Stunden die Quellen CS 1 und Ofb 2 im Gebiet der Alp Buffalora zu beproben.

Ebenfalls wurden einem Schneeprofil Proben entnommen, um den Einfluss von eingebrachten Ionen über die Niederschläge oder Windverfrachtungen zu quantifizieren.

Im Gegensatz zu den vergangenen Beprobungen ist bei dieser Arbeit anzunehmen, dass der Einfluss von Schmelzwasser, aufgrund der lang anhaltenden Temperaturen unter dem Gefrierpunkt, auf ein Minimum gesunken ist.

Nach der Analyse der Proben und der Interpretation für den beprobten Zeitraum sind ebenfalls Vergleiche mit den vorangegangenen Messungen vorgenommen worden.

Geologische und tektonische Übersicht des Quellgebietes

Die Geologie im Schweizerischen Nationalpark wird ausschliesslich durch das Ostalpin charakterisiert. Die mesozoischen Sedimente der ostalpinen Decken bilden heute die höchsten Bauelemente des alpinen Deckenstapels. Deshalb sind sie kaum alpin-metamorph überprägt und sedimentologische Strukturen und stratigraphische Beziehungen sind daher oft gut beschreibbar. Der Sedimentationsraum wurde durch den afrikanischen Kontinentalrand gebildet. Die ostalpinen Decken wurden ab der mittleren bis unteren Kreide in die alpine Gebirgsbildung auf das Penninikum aufgeschoben. Das Ostalpin bedeckte einst den ganzen Alpenraum, was noch vorhandene Klippen, wie z.B. die Dt. Blanche Klippe zeigen. Aufgrund der heutigen tektonischen Lage wird diese Einheit in unter- und oberostalpine Decken gegliedert. Der Schweizerische Nationalpark befindet sich fast ausschliesslich in den oberostalpinen Decken.

Das Quellgebiet der beiden Testquellen befindet sich grossgeologisch gesehen in der „S-charl-Decke“ welche in einen Unterbau (Dolomite) und einen Oberbau (Hauptdolomit) unterteilt wird. Diese beiden rigiden Einheiten werden durch eine plastische Schicht von Evaporiten und Tonschiefern getrennt. Die kristalline Basis wird aus Amphiboliten, Rhyoliten und verschiedenen Gneisen vermutet, da sie im Gebiet der Alp Buffalora nirgends aufgeschlossen ist, sondern nur nördlich der Engadiner Linie in der „Silvretta-Decke“. Die „S-charl-Decke“ wird nordwestlich durch die Engadiner Linie begrenzt. Die Engadiner Linie ist eine sinistrale Blattverschiebung mit einer kombinierten Rotation, dabei wird der im Osten (Scuol/Unterengadin) südliche Block herabgesetzt, während er im Westen (Oberengadin, Bergell) hinaufgesetzt ist. Die Engadiner Linie ist zudem die südliche Begrenzung des Unterengadiner Fensters, in welchem die penninische Decken aufgeschlossen sind.

Der Basis der „S-charl-Decke“ folgt als jüngste Einheit die „Ruinas-Formation“, welche Ende Perm sedimentiert wurde, diese besteht aus Schiefermergeln, Konglomeraten und einzelnen Vulkaniten. Als nächst jüngere Einheit folgt die „Chazforà-Formation“. Diese ist charakterisiert durch rotviolette und grüne Sandsteine, Konglomerate und Siltschiefer, welche als detritische Sedimente interpretiert werden. Die „Ruinas-Formation“ und die „Chazforà-Formation“ bilden zusammen den „Münstertaler-Verrucano“ (Pfiffner, 2007).

Die darüber liegende „Fuorn-Formation“ stammt aus der (unteren), mittleren und oberen Trias und kann dreigeteilt werden. Zu unterst befinden sich rote Sandsteine, im mittleren Bereich treten grüne Quarzsandsteine mit Quarzkonglomerate auf und an der Decke eine

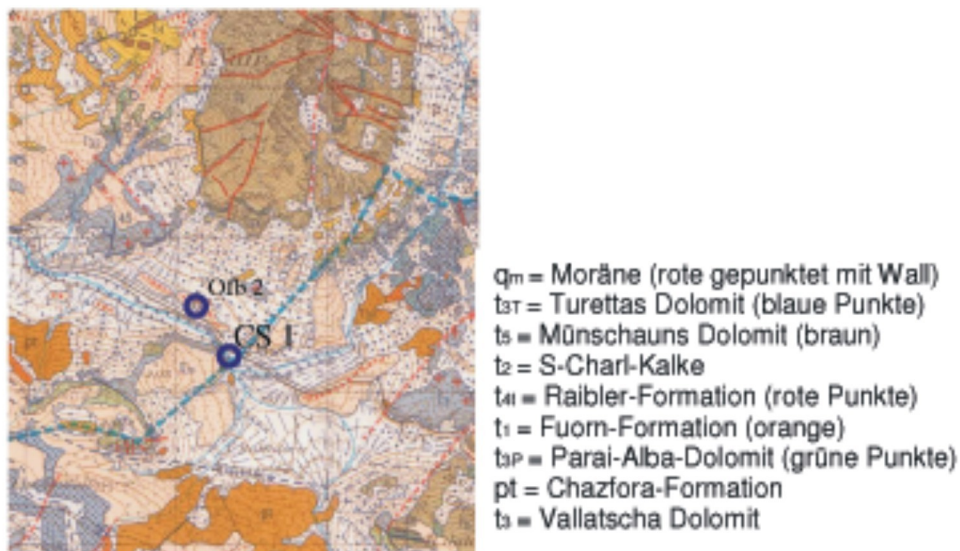


Abb. 1: Ausschnitt aus der geologische Karte 1:50 000

Wechsellagerung von grünen und roten Siltschiefern und Sandsteinen, Rauhwacken und Dolomiten.

Gefolgt wird diese Formation von der „Vallatscha-Formation“ welche sich in den unteren, dünnbankigen, gelegentlich Rauwacke beinhaltenden „Turettas-Dolomit“ und der oberen, dickbankigen, dunkelgrauen, körnigen fast reinen „Vallatscha-Dolomit“ aufteilt. Der Unterbau wird durch den „Parai-Alba-Dolomit“ abgeschlossen, ein heller Dolomit, welcher im unteren Teil Kalke enthalten kann sowie Schieferzwischenlagen und rötlich verwitternde vulkanische Tuffe besitzt.

Der Abscherhorizont zwischen Unter- und Oberbau wird durch die „Raibler-Formation“ gebildet. Im untersten Bereich treten Rauhwacken mit eingelagerten Gips-linsen auf. Die verbreitetsten Gesteine sind jedoch gelb anwitternde, feinkörnige, gut gebankte Dolomite. Zwischen ihnen treten Dolomitmergel und Schiefertone auf. Der Leithorizont wird durch Bänke von roten, feldspatreichen Sandsteinen definiert.

Der Oberbau wird durch die Hauptdolomit-Gruppe charakterisiert mit einem Alter den oberen Trias. Diese Dolomite besitzen eine Mächtigkeit von 1500 m, sind mittel bis grobbankig und werden nicht weiter unterteilt. Im Quell- und deren Einzugsgebiet ist der „Müschauns-Dolomit“ der Stellvertreter dieses Oberbaus. Dieser ist ein grauer, mittel- bis grobgebankter, meist feiner, zuckerkörniger Dolomit.

Die „Kössen-Formation“ schliesst die S-Charl-Decke nach oben hin ab. Charakterisiert durch bunt „herbstlaubfarben“ anlaufende Schiefertone mit dolomit- und fossilreichen Kalkbänken. Im Bereich des Schweizerischen Nationalparks ist diese Formation jedoch aufgrund jurassischer Erosion oder alpiner Tektonik nur unvollständig erhalten.

Geomorphologisch ist das Landschaftsbild der Alp Buffalora stark durch Karst- und Glazialgeologische Vorgänge geprägt. Die Moränen sind in ihrer Zusammensetzung nicht eindeutig zu bestimmen, sie können alle Komponenten der beschriebenen Schichten enthalten mit Ausnahme des Kristallins .

Weiter werden grosse Teile der Moränen durch Gehängeschutt der Hauptdolomit-Gipfel zugedeckt. Die Talsohle ist durch Schwemmschuttkegel und Erosionsränder gekennzeichnet (Trümpy et al., 1997).

Hydrologische Untersuchungen

Einleitung und Beschreibung der Quellen

In den vergangenen Jahren wurden wiederholt Quellen im Gebiet Buffalora im Schweizerischen Nationalpark beprobt. Die Auswertung der erhobenen Daten zeigten Variationen bezüglich Ort und Zeit.

Offene Fragen bleiben vor allem bezüglich dem zeitabhängigen Quellchemismus, da die örtlich bedingte Variation der Wasserchemie relativ gut in Abhängigkeit des geologischen Untergrundes erklärt werden kann.

Die Feldmessungen wurden am 31.1.2009 und 1.2.2009 durchgeführt. Dabei wurden während 24 Stunden mit einem Messintervall von zwei Stunden die Quellen CS 1 und Ofb 2 beprobt.

Vor Ort konnten verschiedene physikalische Parameter direkt erfasst werden, zu einem späteren Zeitpunkt wurden die Wasserproben ionenchromatographisch analysiert.

Zur Zeit der Messungen herrschte am 31.1. heiterer Sonnenschein und klarer Himmel. Am folgenden Tag wurde dieses Wetter von aufziehenden Wolken und beginnendem Schneefall abgelöst. Wie aus dem Anhang entnommen werden kann, lagen die Lufttemperaturen stets unter dem Gefrierpunkt. Weiter lag eine geschlossene Schneedecke von ca. einem Meter Mächtigkeit weit über das Beprobungsgebiet hinaus.

Quelle CS 1

Aufgrund hydrologischer Überlegungen ist davon auszugehen, dass das Einzugsgebiet grösstenteils aus dem Schwemmkegel beidseitig der Ofenenpassstrasse und dem Bach besteht. Es ist somit davon auszugehen, dass das entstehende „anthropogen verunreinigte Schmelzwasser“ (Strassensalz) der Passtrasse in des Einzugsgebiet sickert.

Die Lithologie des Schwemmkegels ist, wie im vorangehenden Kapitel erläutert, nicht eindeutig zu charakterisieren, es können alle Gesteine der „S-charl-Decke“ vertreten sein. Die Schüttung der Quelle liegt nach Schätzungen bei ungefähr einem Liter pro Minute.

Quelle Ofb 2

Aus der geologischen Karte (Abb. 1) geht hervor, dass der Quellaustritt ebenfalls aus Lockergestein stammt, hier jedoch vermutlich aus einem Moränenwall. Das Einzugsgebiet ist wesentlich grösser als dasjenige von CS 1, grosse Teile der Südflanke des unteren Bereichs des P. Nair kommen als Einzugsgebiet in Frage.

Die Schüttung liegt nach Schätzungen bei ca. 5-10 l pro Minute.



Abb. 2 :  Quelle CS 1 und Ofb 2, punktierte Linie: wahrscheinliches, minimales Einzugsgebiet

Feldmessungen

Bei den Feldmessungen wurden zwei Messgeräte der Firma WTW verwendet. Mit dem Multimeter 350i konnte die Salinität und der pH-Wert unter Berücksichtigung der Leitfähigkeit des Wassers gemessen werden. Das Multiline P4 wurde für die Konzentration von gelöstem Sauerstoff im Quellwasser verwendet. Wasser- und Lufttemperatur wurden mit einem zusätzlichen Thermometer der Firma TTX im Schatten, die Luft ca. 1m über Grund gemessen.

Die Verwendung eines zusätzlichen Thermometers hat zwei Vorteile: Zum einen ist dieses Thermometer sehr präzise und zum anderen können die Temperaturen der anderen beiden Messgeräte überprüft werden, so dass sich ein technischer Defekt schnell zeigen würde. Die Messgenauigkeit der Sonden ist aus der folgenden Tabelle (Tab. 1) zu entnehmen.

Sonde	Messgenauigkeit
Sauerstoff	$\pm 0,004 \text{ mg/l}$
pH	$\pm 0,5\%$ des Messwertes
Salinität	$\pm 0,5\%$ des Messwertes
Temperatur	$< 0,1^\circ\text{C}$

Tabelle 1: Messgenauigkeit der verwendeten Messsonden

Da die verwendeten Multimeter ca. zwei Monate vor der Beprobung der letzten Kalibrierung unterzogen wurden, wurde nach einigen vorgänglichen Testmessungen auf eine erneute Kalibrierung verzichtet. Lediglich die Sauerstoffsonde musste vor Ort neu kalibriert werden, da bei den ersten Messungen die Sauerstoffsättigung bei 170 - 400% war. Mögliche Ursachen für diese Messwerte sind wahrscheinlich die mechanische Einwirkung auf die Membran der Messsonde, welche durch die Luftdruckveränderung von ungefähr 1400 Höhenmetern oder zu hoher Belastung beim Transport zustande kamen.

Bei den Messungen an den Quellen wurde stets darauf geachtet, dass beim Herantreten keine Verunreinigungen durch hineinfallenden Schnee oder Aufwühlung der Bodensuspension erfolgte. Dies insbesondere bei der Quelle CS 1, da diese eine wesentlich geringere Fördermenge aufwies. Ebenso wurde darauf geachtet, dass direkt das Wasser, welches aus dem Untergrund trat, gemessen wurde um Kontaminationen mit der Umgebung minimal zu halten.

Die Wasserproben wurden mittels einer sterilen 60 ml Spritze möglichst nahe beim Quellaustritt entnommen. Danach durch einen Minisart-Filter gepresst, welcher eine Porengösse von $0,2 \mu\text{m}$ besitzt und in das ebenfalls sterile Probefläschchen mit möglichst wenig Luft eingefüllt und verschlossen. Am Institut für Geologie der Universität Bern wurden diese Proben im Kühlschrank aufbewahrt um mögliche chemische Reaktionen minimal zu halten. Die Filtrierung des Wassers dient dazu um eine Kontamination durch Suspensionsfracht oder organische Bestandteile und deren späteren Abbauprodukte zu verhindern.



Abb. 3: Quellumgebung und Beprobung der Quelle Ofb 2 am 31.1.2009

Schneeprofil

Aufgrund der möglichen Windverfrachtung des Strassensalzes von der ca. 100 m entfernten Passstrasse, sowie mögliches Einbringen von Salzen oder Ionen durch Niederschläge, wurde im Quellbereich Ofb 2 ein Schneeprofil ausgehoben. Die Mächtigkeit der Schneedecke in diesem Bereich betrug 107 cm. Die Korngrösse nahm vom Dach zur Basis des Schneeprofiles zu, wie auch der gefühlte Widerstand beim „Durchziehen“ des Fingers von oben nach unten. Es kann daher von einer normalen Setzung, Kompaktion und Umwandlung der Schneekristalle ausgegangen werden. Dass an der Basis keine Eisdecke vorhanden war, deutet darauf hin, dass seit der Bildung der Schneedecke kein Schmelzwasser durch die Schneedecke geflossen ist.

Jeweils 10 cm, 60 cm und 90 cm über dem Boden wurden die Temperatur gemessen sowie Schnee Proben für die Ionenchromatographie entnommen.

Laboranalyse

Ionenchromatographie

Am Institut für Geologie der Universität Bern stehen im Hydrogeochemielabor zwei Ionenchromatographen des Typs DX-120 des Herstellers Dionex. Es wurden jeweils im ersten Gerät die Anionen und im zweiten Gerät die Kationen der selben Wasserprobe analysiert. Die

Proben wurden dabei stets zufällig ausgewählt, um systematische Fehler zu verhindern. Das Programm PeakNet steuert dabei die Messinstrumente und erstellt die Laufzeitdiagramme. Die genaue Funktionsweise der Ionenchromatographie, im Speziellen bei den verwendeten Ionenchromatographen, wurde bereits ausführlich in Haemming und Strasky (2003) sowie in Graf (2005) im Detail erläutert. Deshalb wird hier nur die prinzipielle Funktionsweise beschrieben.

Die Ionenchromatographie ist eine Flüssigchromatographie. Dabei existiert eine mobile Phase, welche aus dem Probematerial und dem Trägermaterial, dem so genannten Eluent besteht. Der Eluent bewirkt, dass alle Komponenten als gelöste Ionen vorliegen. Der Eluent mit der beigesetzten Probe durchläuft nun die stationäre Phase, welche als Chromatographiesäule vorliegt. Die Chromatographiesäule ist im einen Chromatographen positiv im zweiten negativ geladen, somit können jeweils die gegenteilig geladenen Ionen gemessen werden. Aufgrund der unterschiedlich starken Ladung der gelösten Ionen entsteht eine unterschiedlich starke Wechselwirkung mit der stationären Phase. Bei konstanter Geschwindigkeit des Eluents treten nun am Ende der Chromatographiesäule die Ionen zu unterschiedlichen Zeiten heraus. Diese Zeit ist charakteristisch für jede Komponente und wird Laufzeit oder „Retention time“ genannt. Die ausgewerteten Ionen besitzen folgende relative Laufzeiten:

Anionen: $F^- < Cl^- < NO_3^- < SO_4^-$

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

Da ungeladene Teilchen nicht zurückgehalten werden, entspricht ihre Laufzeit der Geschwindigkeit des Eluents. Diese Zeit wird Totzeit genannt und ist im Laufzeitdiagramm durch einen negativen Ausschlag zu erkennen.

Die Detektion der Ionen im Eluent erfolgt am Ende der Chromatographiesäule durch eine kontinuierliche Spannungsmessung. Daraus lässt sich die Leitfähigkeit des Eluents ableiten. Da der Eluent selbst ein starkes Hintergrundrauschen verursacht wird das Messsignal zuerst durch einen Supressor gefiltert. Danach erstellt das Programm PeakNet das Laufzeitdiagramm, bei welchem auf der Abszisse die Laufzeit und auf der Ordinate die Leitfähigkeit aufgetragen wird. Mittels Kalibrationsprotokoll, welches eine Beziehung zwischen integrierter Fläche der Peaks und der Konzentration der Ionen definiert, kann die Menge der gelösten Komponente quantifiziert werden.

Bei der Bedienung des Ionenchromatographen wurde jeweils 1 ml Probematerial eingespritzt. Diese Probemenge ist nach Graf (2005) genügend gross um Kontaminationen mit der vorgängigen Probe auszuschliessen. Nach jeder dritten Probe wurde ein Durchlauf mit Nano-Wasser vollzogen um mögliche Memory-Effekte zu minimieren.

Probleme bereitete zu Beginn das Fluorid, da sich diese Laufzeit seit der letzten Kalibration Anfang November 2008 so stark veränderte, dass es vom Programm PeakNet nicht erkannt werden konnte. Durch nachträglichen Vergleich mit Kalibrationslösungen des Herstellers konnte jedoch der zugehörige Peak eindeutig zugewiesen werden. Auf eine erneute Kalibration wurde verzichtet, da die gemessenen Fluoridmengen im Bereich des Messfehlers liegen. Dass es sich jedoch um ein „Phantom-Signal“ handelt, zum Beispiel hervorgerufen durch einen Memory-Effekt, kann jedoch aus zwei Gründen ausgeschlossen werden: Zum einen tritt der Peak mit Ausnahme einer Messung immer auf, zum anderen existiert der Peak nie in annähernd vergleichbarer Grössenordnung in den Laufzeitdiagrammen des Nano-Wassers.

Beispiele der Laufzeitdiagramme sind im Anhang zu finden.

Ergebnisse und Diskussion

Herkunft der gelösten Ionen

Generell sind geo-, bio- und anthropogenen Quellen der gelösten Ionen zu unterscheiden. Die geogenen Signale entstehen durch das sich einstellende Gleichgewicht des Grundwassers mit dem geologischen Untergrund. Dabei treten alle im Gestein vorhandenen Minerale mit dem Grundwasser in Wechselwirkung.

Das gemessene biogene Signal ist in dieser Region mit Sicherheit das Nitrat-Ion. Als biologisches und somit „natürliches“ Signal wird dies deshalb betrachtet, da zumindest das Einzugsgebiet der Quelle Ofb 2 ausschliesslich im Nationalpark liegt und somit keine Nitratzufuhr durch Düngung möglich ist. Weiter können auch Ionen mariner Herkunft mit dem Niederschlag transportiert werden (Steiner 2005).

Die anthropogenen Signale kommen einerseits durch die Verwendung von Streusalz, welches für den Winterdienst auf der Passstrasse eingesetzt wird, andererseits durch Anreicherung im Niederschlag von industriell freigesetzten Ionen.

Im Folgenden wird die mögliche Herkunft der gemessenen Ionen diskutiert.

Natrium (Na^+) tritt in vielen gesteinsbildenden Mineralen auf, oft in Kombination mit Chlor, sowie aus anthropogener Einwirkung durch die Strassensalzung mit Natriumchlorid. Die Mittelwerte beider Quellen besitzen ungefähr ein Verhältnis von 1:1 wie auch schon Gaar (2006) und Riner (2007) festgestellt haben.

Kalium (K^+) tritt häufig in kristallinen Gesteinen in Orthoklas, Biotit, Muskovit und Feldspäten auf. In sedimentärem Gestein ist es jedoch deutlich schwächer konzentriert. Mögliche Minerale sind Sylvit, ein Evaporit und Feldspatkörner. Deshalb ist die geringe Konzentration nicht verwunderlich. Weiter kann Kalium ebenfalls durch das Streusalz zugeführt werden.

Magnesium (Mg^{2+}) und Calcium (Ca^{2+}) stammen in der „S-Charl-Decke“ hauptsächlich von den Dolomiten ($(MgCa(CO_3)_2)$). Diese Ionen treten jedoch auch in Kalken, Anhydriten und Gipsen sowie im Kristallin auf. Nach Strasky & Haemming (2003) sind diese Ionen in dieser Region jedoch als rein geogenes Signal zu deuten.

Fluorid (F^-) entstammt im Untersuchungsgebiet am ehesten der kristallinen Basis. Die möglichen Minerale Fluorit und Apatit treten jedoch nur als Nebenbestandteile auf. Die Mittelwerte der Fluoridkonzentration beträgt zwischen 74 und 78 $\mu g/l$ und ist somit nach Gaar

(2006) unter der zuverlässigen Bestimmungsgrenze. Fluorid wird bei der folgenden Auswertung nicht weiter diskutiert.

Chlorid (Cl⁻) als anthropogenes Signal kommen salzreiche Niederschläge oder die erwähnte Verwendung von Streusalz in Frage. Ist dieses Signal von Bedeutung sollte es ebenfalls in der Schneedecke vorhanden sein. Geogen kommt Chlorid nur in wenigen gesteinsbildenden Mineralien vor und es wird deshalb als schwaches Signal erwartet.

Nitrat (NO₃⁻) geogen ist dieses Signal nicht von Bedeutung, da es keine gesteinsbildenden Minerale mit Nitratvorkommen gibt. Biologisch wichtigste Entstehung sind die Exkremente von Tieren. Durch Düngung in landwirtschaftlichen Regionen kann Nitrat stark angereichert werden. In geringen Mass ist eine Windverfrachtung von Düngemittel oder Exkrementen ebenfalls möglich.

Sulfate (SO₄²⁻) treten als Minerale im Untersuchungsgebiet als Gips (CaSO₄ * H₂O) oder als Calciumsulfat (CaSO₄) einem Anhydritvertreter vor. Die „S-Charl-Decke“ beheimatet Evaporite, welche im Einzugsgebiet der Quellen anstehen. Sulfate können auch durch saure Niederschläge in Form von Schwefelsäure oder schwefliger Säure, durch Düngung oder biochemische Prozesse entstehen. Diese Konzentration der nicht geogenen Signale ist jedoch zu vernachlässigen (Strasky & Haemmig, 2003).

Temperatur

An beiden Quellen war die Wassertemperatur trotz Lufttemperaturschwankungen von bis zu 20°C konstant. Bei der Quelle Ofb 2 betrug sie 4,7°C und bei CS 1 0,9°C. Daraus kann interpretiert werden, dass das Reservoir der Quelle Ofb 2 deutlich tiefer im Untergrund liegt als dasjenige von CS 1. Diese konstanten Temperaturen lassen neben den Interpretationen des Schneeprofiles darauf schliessen, dass die Schmelzwasserzufuhr zum Messzeitpunkt minimal war.

Leitfähigkeit

Sie gibt Auskunft über die totale Menge an gelösten Ionen. Der Leitfähigkeitswert liegt bei Ofb 2 mit 140 µg/l leicht höher als bei CS 1 mit 136 µg/l. Beide Leitfähigkeiten waren über die Messperiode annähernd konstant. Die höhere Wassertemperatur bei Ofb 2 ist eine mögliche Ursache für die leicht höhere Konzentration an gelösten Ionen.

pH-Wert

Der pH-Mittelwert von Quelle CS 1 liegt bei 7.9 und ist somit leicht sauer; bei Ofb 2 mit einem Wert von 7.7 ebenfalls. Beide pH-Werte sind über die Messdauer konstant.

Sauerstoff-Konzentration

Wie aus der Abb. 4 zu entnehmen ist, schwankt der gelöste Sauerstoff trotz konstanter Wassertemperatur messbar.

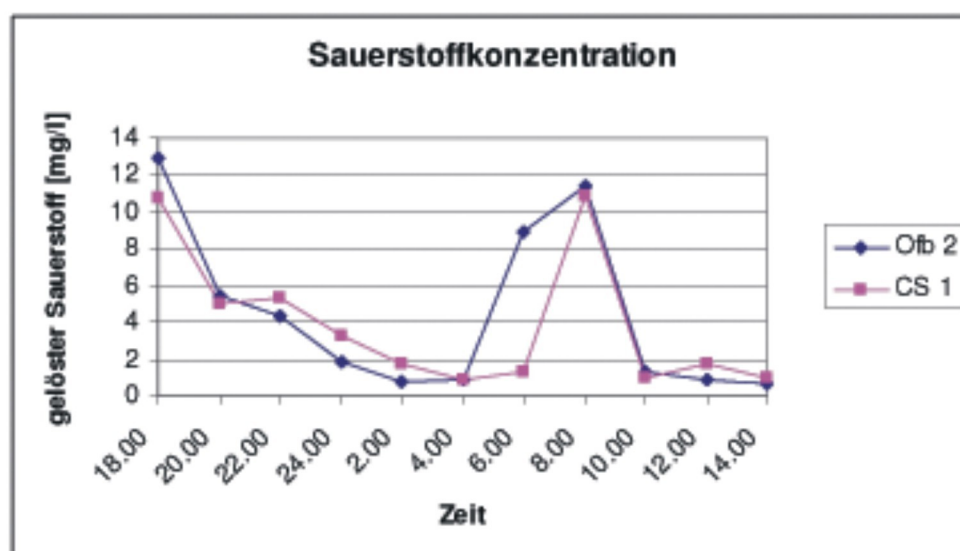


Abb. 4: Gelöster Sauerstoff der Quellen Ofb 2 und CS1

Die Menge an gelöstem Sauerstoff schwankt zwischen 0.6 und 13 mg/l. Dass der Verlauf der Konzentrationen in beiden Quellen jedoch beinahe identisch ist, lässt vermuten, dass dieser Parameter nicht durch geochemische Prozesse gesteuert wird.

Es stellt sich die Frage, ob die Sauerstoffkonzentration möglicherweise durch meteorologische Faktoren wie den Luftdruckschwankungen gesteuert wird. Leider stehen die Angaben zum Luftdruck nicht in genügend hoher zeitlicher Auflösung zur Verfügung, um diese Frage zu beantworten.

Schneeproben

Um abschätzen zu können welche Ionen durch Niederschläge der Quelle zugeführt werden, wurden die ebenfalls im Quellgebiet entnommenen Schneeproben geschmolzen und ionenchromatographisch analysiert.

In Abbildung Abb. 5 sind die nachgewiesenen Ionen graphisch dargestellt.

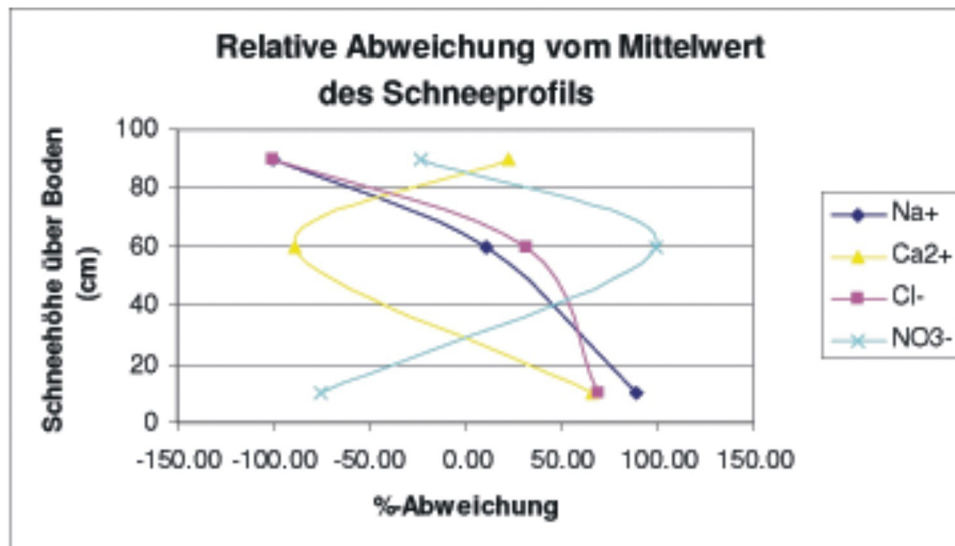


Abb. 5: Schneeprofil 2009 der Quellregion Ofb 2. Die vorhandenen Ionen sind als relative Abweichung von ihrem Mittelwert dargestellt

Es ist zu erkennen, dass die Konzentration von Magnesium und Natrium vom Dach zur Basis zunehmen. Calcium ist im mittleren Bereich abgereichert, Nitrat angereichert. Quantitativ sind Calcium (152,30 µg/l) und Nitrat (181,07 µg/l) am stärksten vertreten.

Vergleicht man die Mittelwerte dieser beiden Ionen so fällt auf, dass sie 5 – 95 mal kleiner sind als die Konzentrationen von Graf (2005); Gaar (2006) und Riner (2007) und Goldabella (2008). Somit wird die Beobachtung bestätigt, dass mit zunehmendem Alter die Schneeproben kaum noch Ionen enthalten, aufgrund der Fraktionierung bei der Rekristallisation des Schnees. Da beim diesjährigen Schneeprofil keine Eisschicht an der Basis der Schneedecke vorhanden ist, werden die Ionen dort nicht zurückgehalten und fehlen somit komplett in der Schneedecke.

Aufgrund der vielen Wildspuren im Quellbereich von Ofb 2, sind die Wildtiere eine mögliche Ursache für den hohen Nitratgehalt in der Schneedecke. Dies erklärt jedoch nicht den hohen Calcium-Wert. Nach Steiner (2005) sind NO_3^- und Ca_2^+ jedoch auch im Niederschlag aufgrund der Verbrennung von fossilen Brennstoffen möglich.

Natrium und Chlorid liegen beinahe in der gleichen Konzentration vor, was darauf hindeutet, dass das Na^+ und Cl^- durch Windverfrachtungen vom Strassensalz eingebracht worden sind.

CS 1

Aus der tabellarischen Zusammenstellung im Anhang der gemessenen Werte ist ersichtlich, dass die Messwerte von Magnesium, Calcium, Nitrat und Sulphat mit einer Standardabweichung von maximal fünf Prozent als stabile Signale interpretiert werden können.

Unter Berücksichtigung der geologischen Umgebung ist anzunehmen, dass Calcium und Magnesium aus dem Dolomit gelöst worden sind und das Sulphat aus den Evaporiten der „Raibler-Formation“. Diese Werte können somit als stabiles geogenes Signal interpretiert werden.

Offen bleibt die Herkunft der relativ hohen Nitratkonzentrationen für ein landwirtschaftlich ungenutztes Gebiet in einer Bergregion; die langjährig hohe Wilddichte im Nationalpark ist aber eine mögliche Ursache dafür.

Die relativ stark schwankenden Ionenkonzentration von Natrium, Kalium und Chlorid besitzen eine relative Standardabweichung von 12-30% vom Mittelwert 14:00h – 14:00h (31.1. – 1.2.'09).

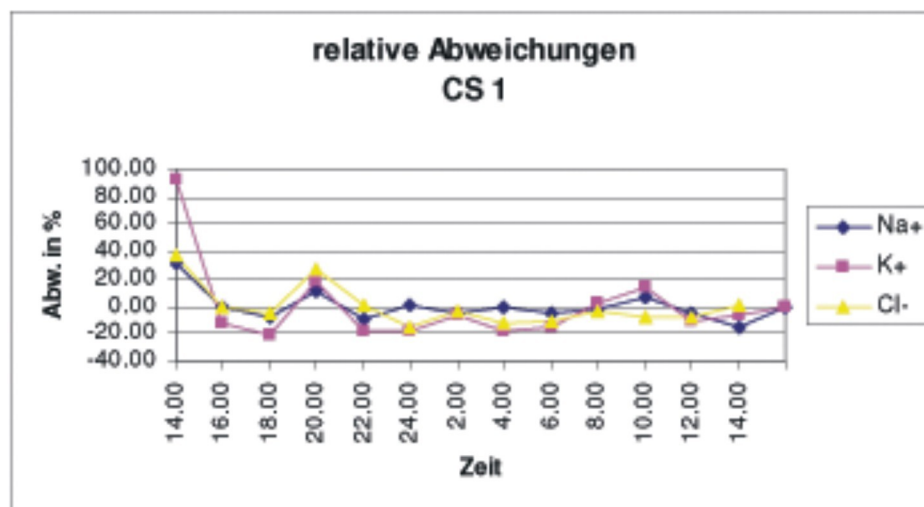


Abb. 6: Prozentuale Abweichung bezüglich dem Mittelwert (31.1. – 1.2.'09)

Aus Abbildung 6 geht hervor, dass um 14:00 Uhr (31.1.) und 20:00 Uhr alle drei Ionen eine positive Abweichung aufzeigen.

Am Nachmittag des 31.1. herrschte Sonnenschein und um 14 Uhr eine Lufttemperatur von $-1,3^{\circ}\text{C}$. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Strasse um die Mittagszeit eine positive Temperatur besessen hat. Somit könnte ein Schmelzwasserfluss entstanden sein, welcher um 14:00 Uhr registriert wurde.

Um 16:45 Uhr fand eine Salzung der Passstrasse statt, was wiederum einen verstärkten Schmelzvorgang auf der Strasse hervorgerufen hat. Somit würde das Wasser von der Strasse bis zum Quellaustritt ca. drei Stunden benötigen, was den Peak um 20 Uhr erklären kann.

Dass am Mittag des 1.2. keine positive Abweichung zu messen war, lässt sich wahrscheinlich durch den bedeckten Himmel und einer Lufttemperatur von $-3,3^{\circ}\text{C}$ erklären.

Jedenfalls schwanken diese drei Signale stark, was darauf hindeutet, dass dieses Signal nicht durch die Gesteins-Wasser-Interaktion im Untergrund zurückzuführen ist.

Die folgende Grafik, bei welcher die prozentualen Abweichungen vom Mittelwert zwischen 2005 und 2006 dargestellt sind, zeigt ebenfalls die starke Schwankungen der erwähnten Ionen.

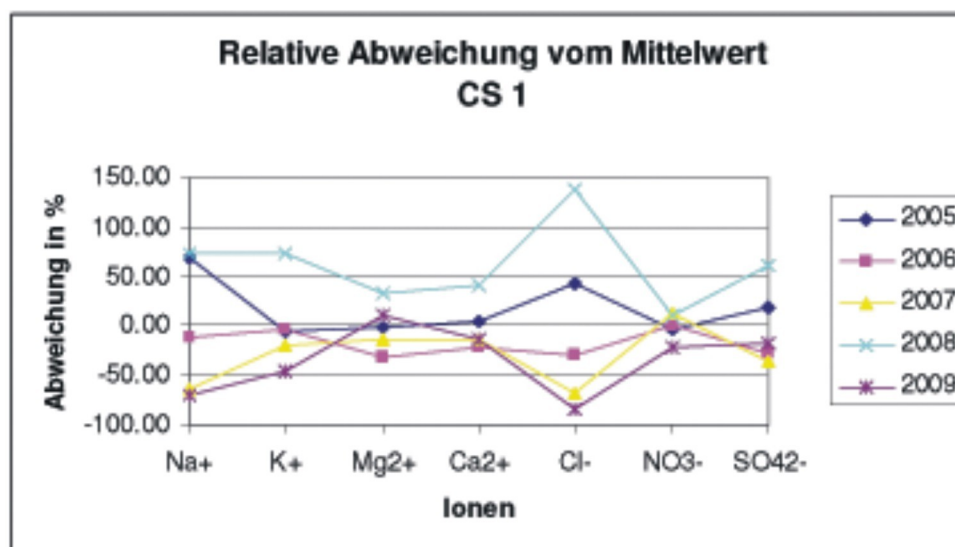


Abb. 7: Abweichung vom Mittelwert 2005 – 2009 der Ionenkonzentrationen im Vergleich der Jahresmessungen

Es fällt auf, dass zwischen den einzelnen Jahren Schwankungen von über 100% stattfinden. Weiter lässt sich jedoch auch ein Trend erkennen, bei welchem Natrium, Kalium und Chlorid die stärksten relativen Abweichungen aufweisen. Magnesium, Calcium, Nitrat und Sulfat hingegen deutlich geringere Schwankungen besitzen.

Die Jahre 2008 und 2009, besitzen ähnliche mittlere Monatslufttemperaturen (2008: $-9,6^{\circ}\text{C}$, 2009: $-8,3^{\circ}\text{C}$) sowie ähnliche Monatsniederschläge (2008: 28.7 l, 2009: 31.5 l), was auf ein

etwa gleich intensives "Strassensalzen" schliessen lässt. Betrachtet man jedoch die Ionenkonzentrationen dieser beiden Jahre, liegen die Werte 2009 über 100% tiefer als 2008. Zieht man die Natrium- und Chloridkonzentrationen des Schneeprofiles hinzu und vergleicht sie mit denjenigen von Goldabella (2008) zeigt sich, dass die Chloridkonzentration 2008 ca. 260 mal und die Natriumkonzentration 2008 ca. 96 mal höher waren.

Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die Ionen Natrium, Kalium und Chlorid hauptsächlich durch das Streusalz in das Quellwasser gelangt.

Ofb 2

Aus der Zusammenstellung der Messwerte im Anhang geht ebenfalls hervor, dass die Natrium-, Kalium- und Chlorid-Konzentrationen mit einer relativen Standardabweichung zwischen 15% und 18% am stärksten schwanken. Aus Abbildung 8 ist zu erkennen, dass innerhalb der Messperiode die positive relative Änderung von Natrium, Kalium und Chlorid zwischen 16:00 und 22:00 Uhr parallel verläuft. Goldabella konnte im Jahr 2008 eine ähnliche Schwankung zwischen 20:00 und 24:00 beobachten (Goldabella, 2008). Ansonsten scheinen die Abweichungen jedoch zufällig.

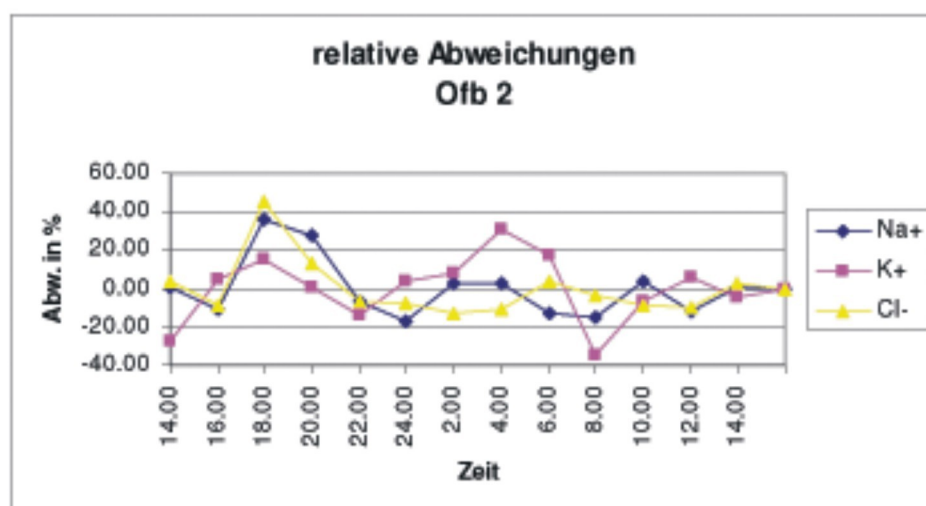


Abb. 8: Prozentuale Abweichung bezüglich dem Mittelwert (31.1. – 1.2.'09)

Wie bei CS 1 ist die relative Standardabweichung der dominierenden Komponenten Magnesium, Calcium, Nitrat und Sulphat deutlich kleiner als bei den vorgängig erwähnten Ionen und liegt zwischen 1.5% und 5%. Aufgrund der Calcium- und Magnesiumkonzentration kann davon ausgegangen werden, dass das Wasser längere Zeit in Interaktion mit dem Dolomiten steht. Die Sulfatkonzentration, welche wahrscheinlich ebenfalls aus den Evaporiten der „Raibler-Formation“ stammt, ist jedoch tiefer konzentriert als bei CS 1. Die folgende Graphik (Abb. 9) zeigt die relative Änderung der Mittelwerte von 2006 - 2009.

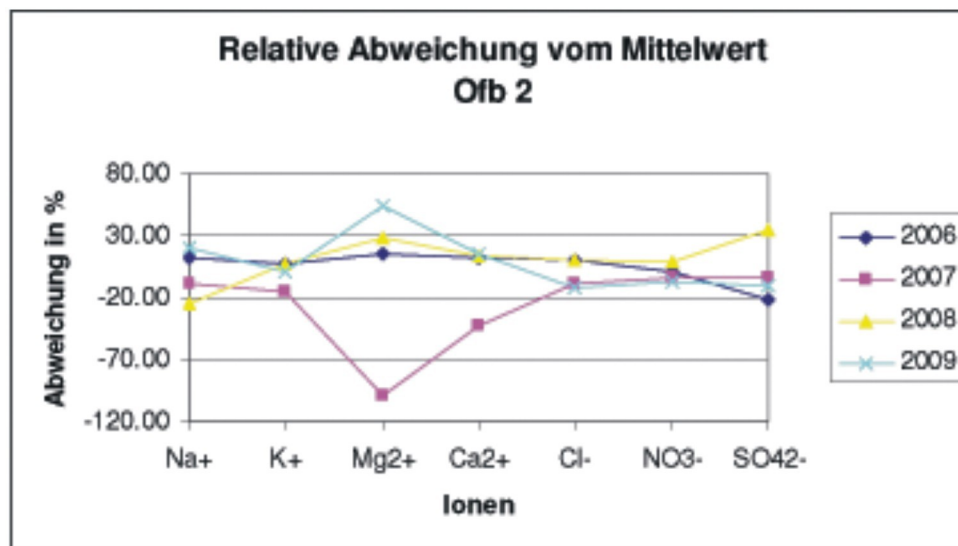


Abb. 9: Abweichung vom Mittelwert von 2006 – 2009 der Ionenkonzentrationen im Vergleich der Jahresmessungen

Erstaunlicherweise schwanken Magnesium (ca. 160%), Calcium (ca. 60%) und Sulfat (ca. 50%) im Durchschnitt am stärksten, welche bei den diesjährigen Messungen die kleinsten Abweichungen zeigten und welche als geogenes Signal gedeutet werden.

Betrachtet man die Monatsniederschlagssummen sowie die Monatsmittel der Lufttemperatur aus Tab. 2, so fällt auf, dass bei den Messungen im Januar 2008 und 2009 die Temperaturen deutlich unter dem Gefrierpunkt lagen. Der Niederschlag ging somit als Schnee nieder und nur wenig Wasser wurde im Quelleinzugsgebiet infiltriert. Das Wasser beim Quellaustritt ist somit mehrheitlich Grund- und Porenwasser, die Quellchemie zeigt relativ hohe Anteile an Magnesium und Calcium.

Im April 2007 lag die Lufttemperatur mit einem Mittel von 4.6°C deutlich über dem Gefrierpunkt und eine Monatsniederschlagssumme von 6,7 l deutet darauf hin, dass vor allem Schmelzwasser aus der Quelle austritt. Der Quellchemismus ist durch tiefe Magnesium- und Calciumwerte charakterisiert.

Im April 2006 liegt die Monatsmitteltemperatur mit + 0.2°C um den Gefrierpunkt, die Niederschläge von 51,4 l gingen als Schnee und Regen nieder, die Herkunft des Wassers stammt aus den Niederschlägen und dem Schmelzwasser. Der Quellchemismus liegt zwischen den Werten von 2007 und 2008/2009.

Diese Beobachtungen können dadurch erklärt werden, dass im Einzugsgebiet der Quelle zwei unterschiedliche Fließwege vorhanden sind. Zum einen ein eher oberflächennaher Fließweg, zum Beispiel in der Moräne. Zum anderen ein tiefer gelegener Fließweg in Dolomit.

Aufgrund der konstanten Wassertemperatur von 4.7°C beim Quellaustritt folgt, dass sich diese beiden Fliesswege in eher grosser Tiefe vereinen müssen, bevor das Wasser auf der Quelle tritt.

Schlussfolgerungen

Die Schwankungen des Quelchemismus können nicht eindeutig erklärt werden. Es scheint jedoch, dass bei der Quelle CS 1 die Variabilitäten der Ionen Chlorid, Natrium und Kalium durch das Schmelzwasser, welches durch die Strassensalzung entsteht, eine mögliche Ursache ist. Dies würde auch die starken Unterschiede der einzelnen Jahre erklären.

Bei der Quelle Ofb 2 wurden jedoch bisher keine Ursachen für die schwankende Konzentration dieser Ionen gefunden. Dafür sollte in Betracht gezogen werden, dass die Schwankung der Calcium- und Magnesiumkonzentrationen einen Zusammenhang mit den Monatsniederschlagsmengen sowie der Art der Niederschläge und die Menge des infiltrierten Wassers besitzt. Diese Variablen stehen möglicherweise im Zusammenhang mit zwei verschiedenen Fliesswegen im Quelleinzugsgebiet. Existieren wirklich zwei unterschiedliche Fliesswege, müssen sich diese vor dem Quellaustritt vereinen und aufgrund der konstanten Temperatur gemeinsam in relativ grosser Tiefe vorzufinden sein.

Die Konzentrationszunahme der Ionen in der Schneedecke zur Basis hin, in Kombination der deutlich tieferen Ionenkonzentrationen, im Vergleich zu den vorgängigen Messungen, steht im Einklang mit der Annahme, dass durch die Rekristallisation der Schneekristalle die Ionen in der Schneedecke verloren gehen. Liegt an der Basis eine Eisschicht, werden die Ionen dort zurückgehalten, fehlt diese hingegen, verliert die Schneedecke diese Ionen komplett an den Untergrund.

Für weitere Beprobungen wäre es sinnvoll, den Beprobungszeitpunkt im Sommer oder Herbst zu wählen, so dass der Einfluss von Streusalz ausgeschlossen werden kann. Zudem sollte auch der Luftdruck gemessen werden, um einen möglicher Zusammenhang von Luftdruck und Sauerstoffkonzentration im Quellwasser zu überprüfen.

Glazialgeologische Erweiterung

Die Bedeutung von Erratikern

Erratiker sind Gesteinsbruchstücke, welche durch einen Gletscher von ihrem Ursprungsgebiet wegtransportiert werden und somit auf einer fremden Lithologie abgelagert werden. Diese durch glaziale Prozesse transportierten Gesteinsbruchstücke werden im Allgemeinen als Erratiker bezeichnet, ab einer gewissen Grösse wird von Findlingen gesprochen. Leitgesteine sind Erratiker welche einer bestimmten Lithologie und Region zugeordnet werden können. Jeder Gletscher besitzt charakteristische Leitgesteine aus seinem Ursprungsgebiet. Aufgrund der Fundorte von Leitgesteinen kann die Ausdehnung sowie der Fliessweg von Gletschern rekonstruiert werden.

Handstücke

Die Handstücke Kiss 1 und Kiss 2 stammen von einem Steinhauften aus dem westlichen Napfgebiet und sind mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht durch Menschenhand in diese Region transportiert worden.

Kiss 1

Makroskopische Beschreibung

Das Handstück Kiss 1 besitzt eine elliptische Form mit einer Dimension von ca. 25 cm x 10 cm x 2,5 cm. Die verwitterte Oberfläche zeigt eine braune, stellenweise rotbraune Farbe und eine schuppige Textur. Der frische Schnitt lässt im Querschnitt angerundete Quarzkörner von 2 - 3 mm erkennen welche ein Rotationsgefüge der dunkelgrauen feinkörnigen Matrix und der Glimmerplättchen bewirken. Im Längsschnitt besitzen die angerundeten Quarzkörner eine elliptische Form und die Glimmerminerale bilden eine Foliation mit einer Mächtigkeit von 2 - 3 mm.

Mikroskopische Beschreibung

Quarz lässt sich durch seinen farblosen Pleochroismus, die graue Interferenzfarbe, seine undulöse Auslöschung und das hohe Relief einfach erkennen. Da Quarz als einer der letzten Minerale auskristallisiert ist typischerweise xenomorph. Er tritt hier in zwei unterschiedlichen Korngrössen auf: Der eine, grobkörnigere Quarztyp besitzt eine mittlere Korngrösse von 0,5 – 1,0 mm und ist monomineralisch. Oft sind in diesen Quarzkörnern Granate, Biotit und opake Minerale eingeschlossen. Weiter ist oft ein Rotationsgefüge erkennbar.

Die zweite Art von Quarzmineralen ist deutlich kleiner mit einer mittleren Korngrösse von 0,1 – 0,2 mm, ist oft polymineralisch und besitzt lobate Kornränder. Durch die Deformation des Gesteins sind diese Quarzkörner zum Teil ausgezogen und oft in Lagen angehäuft und mit Glimmer und Chlorit vergesellschaftet, weiter treten sie auch im Druckschatten der Rotationsgefüge der grösseren Quarzminerale auf.

Biotit ist blättrig bis schuppig, zeigt einen hellbraunen Pleochroismus und eine hohe, anormale Interferenzfarbe.

Muskovit ist ebenfalls blättrig bis schuppig besitzt einen farblosen bis schwach grauen Pleochroismus und eine hohe, anormale Interferenzfarbe. Die Muskovitminerale sind generell grobkörniger als die Biotitminerale und maximal 1 mm lang.

Diese beiden Glimmer bilden eine deutliche Foliation und sind zum Teil durch das Rotationsgefüge der Quarzminerale deformiert.

ausgebildet.

Kalifeldspat ist xenomorph bis subidiomorph und zeigt Zwillingsbildungen sowie Entmischungslamellen. Die Kalifeldspäte weisen eine mittlere Grösse von 0,2 – 0,3 mm auf. Der Pleochroismus ist farblos, die Interferenzfarbe entspricht einem quarzgrau. Die Kalifeldspäte sind durch eine retrograde Reaktion mit Serizitplättchen durchsetzt, zum Teil fast vollständig ersetzt.

Die Serizitminerale entsprechen bezüglich Pleochroismus und Interferenzfarbe dem Hellglimmer. Sie sind mit einer mittleren Korngrösse von 0,005 mm deutlich kleiner als Hellglimmer. Meist wachsen sie geregelt, parallel zu den Entmischungslamellen der Feldspäte oder 60° dazu.

Die opaken Minerale sind xenomorph, zum Teil spröde deformiert, ausgezogen oder alteriert und können nicht weiter bestimmt werden.

Granate zeigen einen gräulichen, körnigen oder fast farblosen Pleochroismus und sind unter gekreuzten Polarisatoren isotrop. Das Relief ist höher als Quarz und somit sehr hoch. Sie sind einfach an ihrer ideo- bis subideomorphen Kornform erkennbar und meist reliktsch im Quarz vorhanden. Oft sind sie spröde deformiert und aufgrund der fehlenden Spaltbarkeit willkürlich zerbrochen und partiell oder fast vollständig alteriert. Die Alteration besitzt einen hellen Pleochroismus und eine bernsteinfarbene Interferenzfarbe.

Das Gefüge zeigt eine deutliche Foliation welche durch Glimmerminerale gebildet wird, weiter ist jedoch auch der feinkörnigere Quarz entlang der Foliation ausgezogen.

An den Feldspäten- und Quarzphänokristallen ist ein Rotationsgefüge erkennbar. Da die Orientierung eines Erratikers nicht gegeben ist, kann auch kein Schersinn abgeleitet werden. Weiter lassen sich Lagen, welche sehr glimmerreich sind und viel Chlorit enthalten und Lagen mit dem grobkörnigen Quarz, welcher gut ausgebildete Druckschatten mit feinkörnigerem Quarz, Glimmer und Chlorit besitzt. Diese Lagen besitzen eine Mächtigkeit von 2 – 3 mm.

Der Modalbestand bildet sich folgendermassen: Bt 12%, Mu 11%, Ser 1%, Qz 52%, Fsp 13%, Opake 5%, Chl 6%, Grt <1%.

Es handelt sich also um einen Chloritführenden-Zweiglimmer-Gneis.

Kiss 2

Makroskopische Beschreibung

Das Handstück Kiss 2 besitzt ebenfalls eine ovale Form mit einer Dimension von 20 cm x 25 cm x 3 cm. Die Verwitterungsfarbe ist jedoch hellbraun bis grau und die Oberfläche mit Hellglimmer durchzogen. Der Anschnitt zeigt eine dunkelgrüne, feinkörnige Matrix mit ca. 2 mm grossen Quarzkörnern und ca. 1 mm grossen Hellglimmerplättchen.

Mikroskopische Beschreibung

Bei der mikroskopischen Beschreibung von Kiss 2 werden nicht alle optischen Eigenschaften der Minerale erneut beschrieben sondern vor allem auf das Gefüge und den Modalbestanteil eingegangen.

Die Feldspäte zeigen oft eine Zwillingsbildung, seltener jedoch Entmischungslamellen und sind deutlich weniger stark von Serizit durchzogen als im Dünnschliff Kiss 1 beobachtet werden konnte. Dies kann daran liegen, dass die Feldspäte mehr Natrium und Calcium enthalten als Kalium oder schneller exhumiert wurden und so weniger Zeit für die retrograde Reaktion zur Verfügung stand.

Serizit treten ausserdem gehäuft in Vergesellschaftung mit Muskovit, Biotit und Chlorit auf. Die Quarzkörner besitzen entweder eine mittlere Korngrösse von ca. 0.1 mm oder ca. 1 mm. Ebenfalls sind in den grobkörnigeren Quarzminerale vereinzelt Granate eingeschlossen, welche ebenfalls oft eine Spröddeformation und Alteration wie in Kiss 1 zeigen. Weiter fällt auf, dass die Gillerminerale relativ homogen verteilt sind, es existieren Lagen von 1,5 – 3 mm Mächtigkeit welche glimmer- oder quarzreicher sind, diese Lagen sind jedoch nicht so deutlich ausgebildet wie in Kiss 1. Die Glimmerminerale bilden durch eine bevorzugte Wachstumsrichtung ebenfalls eine Foliation aus. Der Modalbestand setzt sich folgendermassen zusammen: Chl 2,5%, Mu 31%, Bt 2.5%, Ser 8%, Qz 50%, Opake 2%, Grt <1%, Fsp 4%. Es handelt sich also um einen Zweiglimmer-Gneis.

Schlussfolgerungen:

Das Stabilitätsfeld von Chlorit, Muskovit und Biotit sowie die retrograde Umwandlung von Plagioklas in Serizit wie auch das vorwiegend reliktsche Vorhandensein von Granat deuten darauf hin, dass die letzte metamorphe Überprägung vor der Exhumation die obere Grünschieferfazies war.

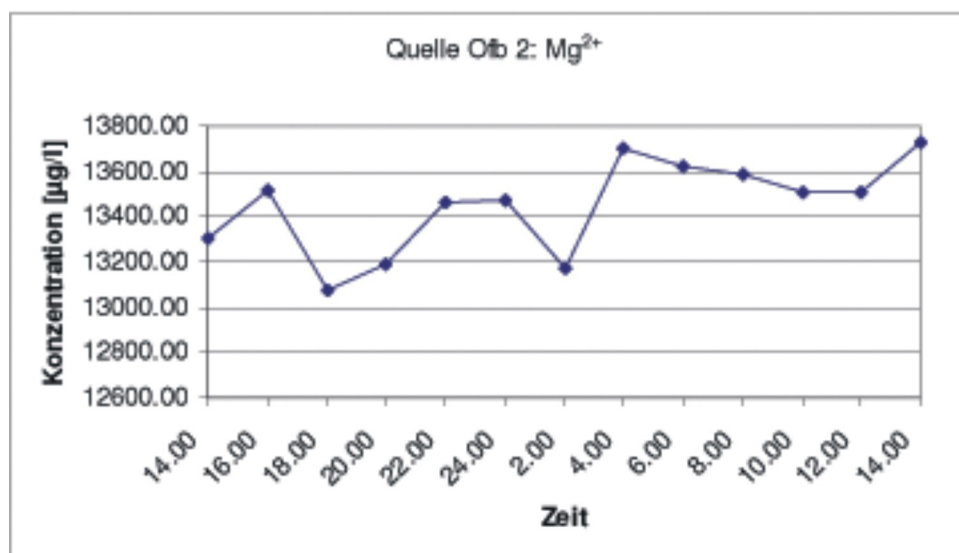
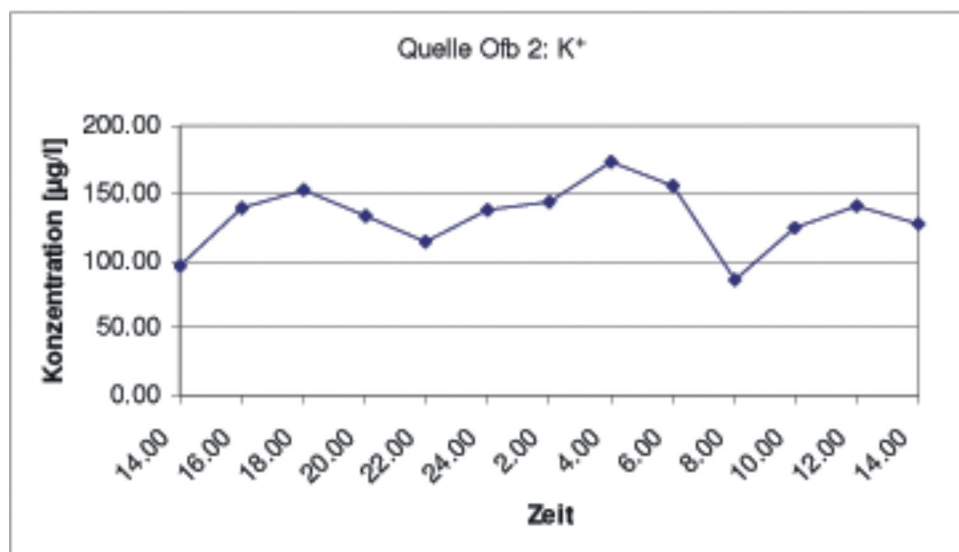
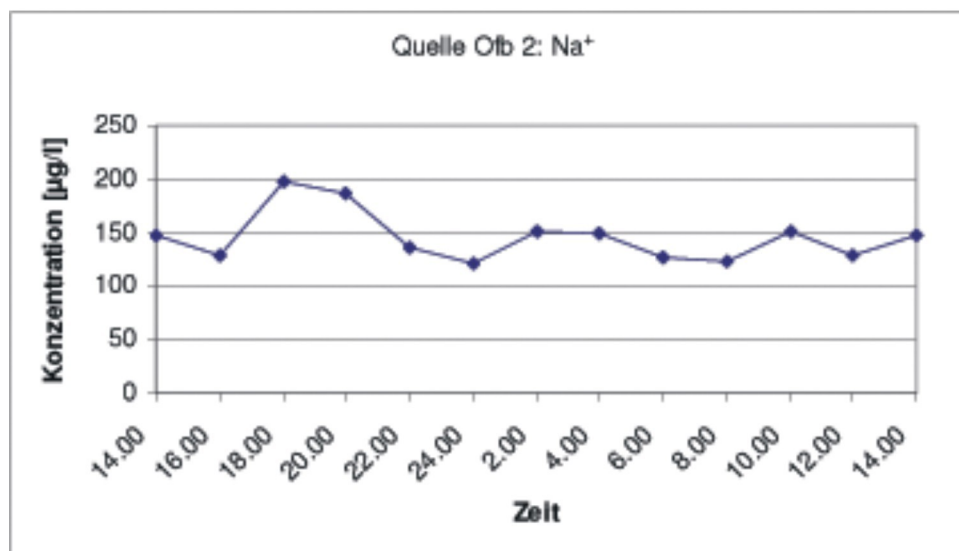
Anstehende Gesteine sind heute im Einzugsgebiet des Walliser- wie auch des Aaregletschers zur Zeit der quartären Vergletscherung zu finden.

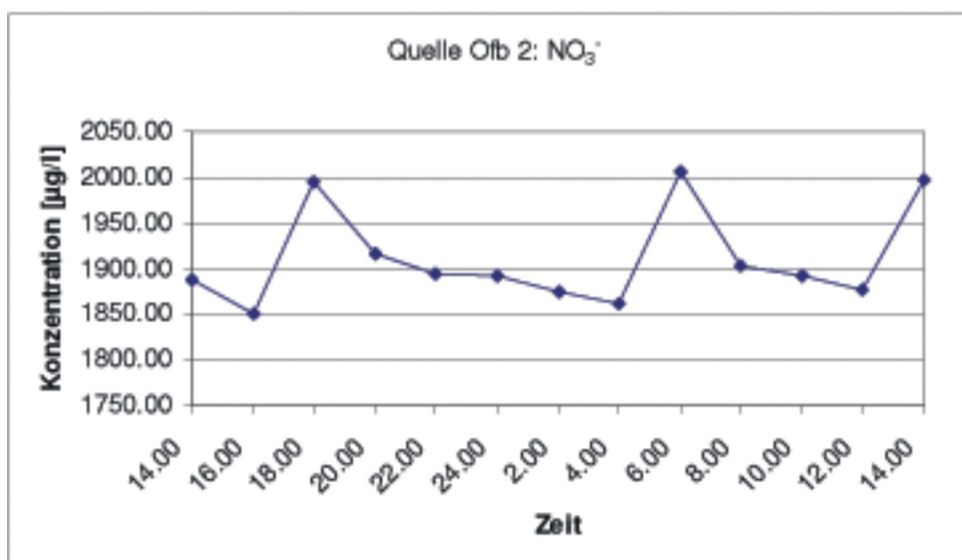
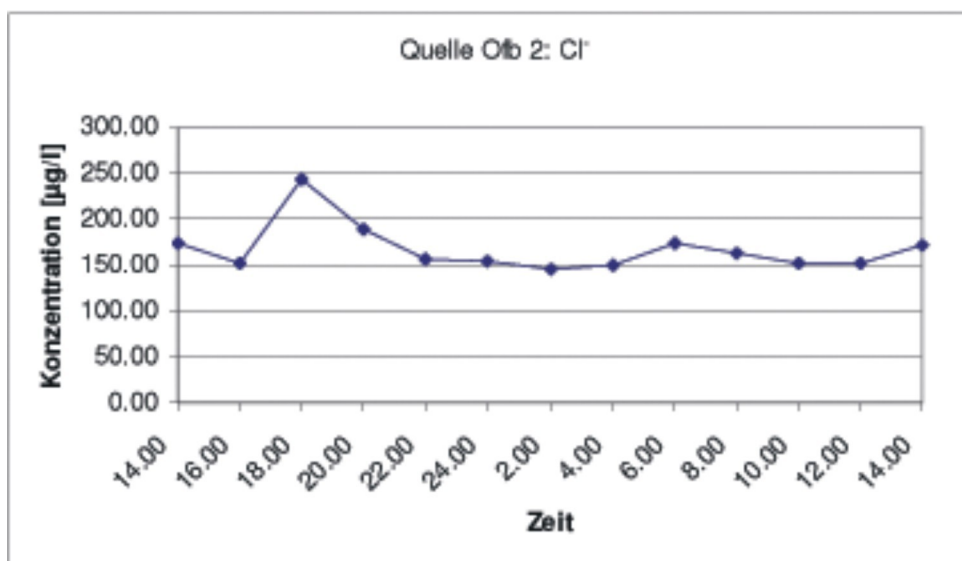
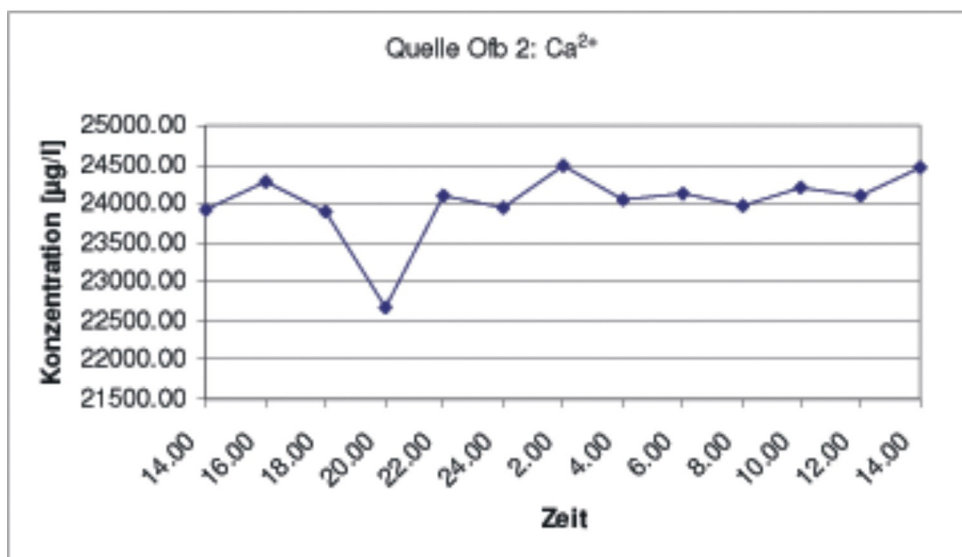
Da die Erratiker auf dem Boden gefunden wurden, ist davon auszugehen, dass sie entweder bei der letzten Eiszeit, der „Würm“-Vereisung oder bei der grössten Ausdehnung der Gletscher bei der „Riss“-Vereisung abgelagert wurden.

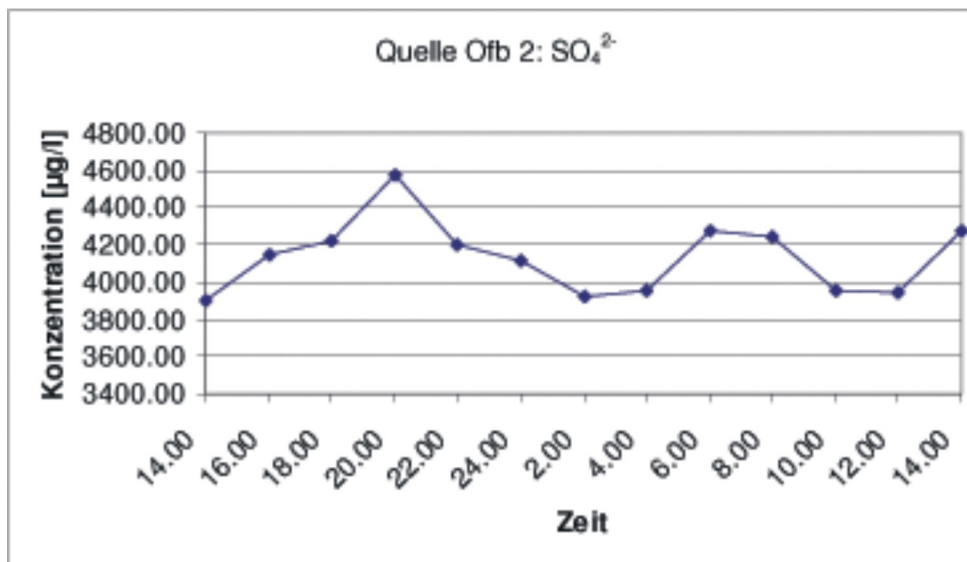
- Geologische Karte des Schweizerischen Nationalparks 1:50 000 (1987). Geologische Spezialkarte Nr. 122. Herausgeber: Schweizerische Geologische Kommission und Kommission für die wissenschaftliche Erforschung des Nationalparks.
- Trümpy, R., Schmid, S.M., Conti, P. und Froitzheim, N. (1997). Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:50 000 des Schweizerischen Nationalparks (Geologische Spezialkarte Nr. 122) Nationalpark-Forschung in der Schweiz, Nr. 87
- Bedienungsanleitung WTW Multi 350i und Multiline P4
- Pfiffner, Adrian (ohne Jahresangabe). Geologie der Schweiz, Vorlesungskript Wintersemester 2007/2008
- Haemming, Christoph & Strasky, Stefan (2003). Quartär- und Hydrogeologie in der Val Chaschauna (GR) – eine GIS und SGPS gestützte Datenaufnahme. Diplomarbeit Universität Bern
- Graf, Andreas (2005). Quellenhydrologie im Schweizerischen Nationalpark mit einer niederschlagsanalytischen und glazialgeologischen Erweiterung. Bachelorarbeit Universität Bern
- Steiner, Benno (2005). Hydrologie und –geochemie von ausgewählten Quellen im Schweizerischen Nationalpark. Teil 1, Diplomarbeit Universität Bern
- Gaar, Dorian (2006). Hydrogeologie und –geochemie ausgewählter Quellen im Schweizerischen Nationalpark, Bachelorarbeit Universität Bern
- Riner, Rachel (2007). Quellenhydrologie im Schweizerischen Nationalpark – mit einer glazialgeologischen Erweiterung, Bachelorarbeit Universität Bern
- Coldabella, Remo (2008). Quellenhydrologie im Schweizerischen Nationalpark – mit einer glazialgeologischen Erweiterung. Bachelorarbeit Universität Bern

Erhobene Daten der Quelle Ofb 2

	Zeit	Datum	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	T _{Wasser} [°C]	T _{Luft} [°C]	pH	Sal. [µg/l]	O ₂ [mg/l]
	14.00	31.01.2009	146.5	96.90	13310.00	23933.00	174.60	78.60	1888.30	3906.70	4.7	-4.5	7.77	140	(172.4%)
	16.00	31.01.2009	129.40	138.70	13518.30	24285.70	153.00	63.30	1851.80	4147.90	4.7	-8.5	7.66	140	---
	18.00	31.01.2009	198.50	153.30	13075.50	23906.30	243.50	63.70	1995.60	4227.90	4.7	-12	7.82	140	12.9
	20.00	31.01.2009	185.80	133.30	13188.70	22666.10	189.70	77.00	1916.90	4572.10	4.7	-13.8	7.75	140	5.4
	22.00	31.01.2009	135.60	114.00	13462.10	24114.10	156.70	77.10	1895.10	4205.20	4.7	-12.1	7.45	140	4.3
	24.00	31.01.2009	120.70	137.90	13476.30	23940.80	154.00	62.00	1892.80	4115.20	4.7	-11.1	8.06	140	1.81
	2.00	01.02.2009	150.50	143.90	13172.70	24497.20	146.50	69.30	1875.00	3920.30	4.7	-13.1	7.71	140	0.76
	4.00	01.02.2009	149.30	173.40	13703.70	24044.40	149.80	69.40	1862.20	3953.20	4.7	-16.8	8.14	140	0.86
	6.00	01.02.2009	127.70	156.10	13619.90	24127.20	174.30	83.20	2006.60	4280.10	4.7	-17.2	7.6	140	8.89
	8.00	01.02.2009	123.70	86.40	13592.40	23980.90	162.20	85.40	1904.10	4243.70	4.7	-15	7.43	140	11.42
	10.00	01.02.2009	152.00	124.40	13513.00	24215.60	153.20	72.50	1892.40	3954.40	4.7	-9.1	7.63	136	1.27
	12.00	01.02.2009	129.00	140.30	13508.10	24116.50	151.20	96.10	1877.20	3943.50	4.7	-4.3	7.68	136	0.91
	14.00	01.02.2009	147.40	126.70	13731.30	24463.20	171.60	69.80	1998.50	4277.40	4.7	-7.1	7.64	136	0.62
Mittelwert			145.85	132.72	13451.69	24022.38	167.72	74.42	1912.04	4134.43	4.7	-11.12	7.72	139.08	4.47
Std.Abw.(%)			16.02	17.88	1.53	1.87	15.53	13.26	2.78	4.73					





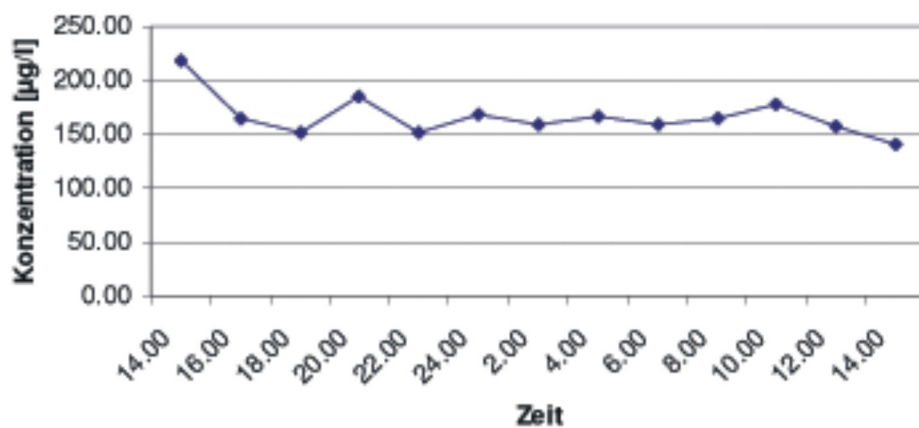


Erhobene Daten der Quelle CS 1

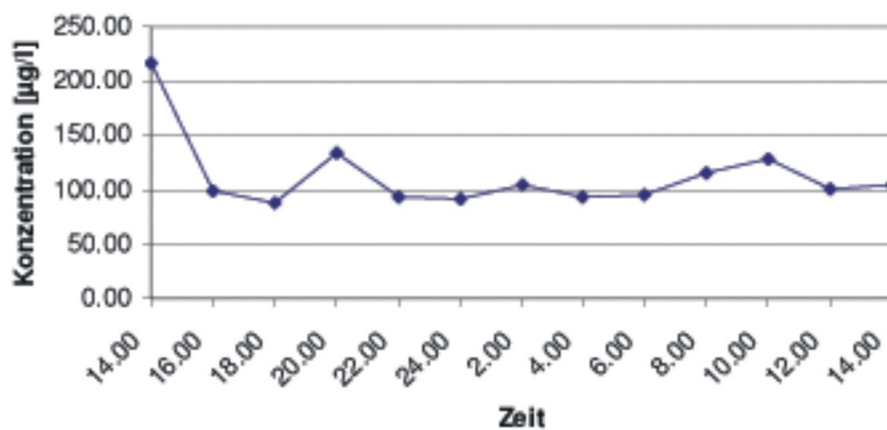
	Zeit	Datum	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	T _{Wasser} [°C]	T _{Luft} [°C]	pH	Sal. [µg/l]	O2 [mg/l]
	14.00	31.01.2009	218.00	217.20	12879.50	22976.30	215.40	71.30	1124.40	9367.10	0.9	-1.3	7.79	136	(395%)
	16.00	31.01.2009	164.70	99.70	13041.50	22523.70	155.10	69.30	1216.00	9017.10	0.9	-9.8	8	137	---
	18.00	31.01.2009	152.20	88.60	13348.30	22805.70	149.00	92.30	1165.20	9004.20	0.9	-18.3	7.68	137	10.75
	20.00	31.01.2009	185.80	133.30	13188.70	22666.10	198.50	86.20	1167.80	9031.80	0.9	-19.8	7.82	137	4.99
	22.00	31.01.2009	151.70	93.10	13237.10	22729.30	157.30	75.30	1220.60	9057.80	0.9	-14.9	7.57	137	5.33
	24.00	31.01.2009	168.70	91.60	13087.00	23059.10	132.80	66.30	1098.30	8891.10	0.9	-10.9	8.05	137	3.26
	2.00	01.02.2009	159.40	104.70	13414.20	22605.10	151.10	91.90	1094.00	8899.20	0.9	-12.7	7.9	137	1.69
	4.00	01.02.2009	165.80	93.10	12967.40	22998.50	137.70	---	1129.30	9442.90	0.9	-20.6	7.63	137	0.84
	6.00	01.02.2009	158.60	95.20	13113.10	23098.70	139.10	74.90	1039.50	8873.60	0.9	-22.2	8.03	137	1.26
	8.00	01.02.2009	163.90	115.40	13160.30	22904.50	149.50	62.50	1136.80	8896.30	0.9	-21.5	8.07	137	10.85
	10.00	01.02.2009	177.80	128.30	13301.90	22923.00	144.40	107.40	1104.90	9484.40	0.9	-9.8	7.68	133	1.02
	12.00	01.02.2009	157.60	100.40	12885.40	22786.90	143.40	70.10	1098.10	8814.60	0.9	-5.2	8.49	133	1.75
	14.00	01.02.2009	141.20	105.00	13056.90	22621.30	156.40	69.50	1206.50	9083.40	0.9	-3.3	8.24	133	1.01
Mittelwert			166.57	112.74	13129.33	22822.94	156.13	78.08	1138.57	9066.42	0.9	-13.1	7.92	136	3.89
Std.Abw.(%)			11.53	30.45	1.28	0.82	15.36	17.18	4.77	2.47					



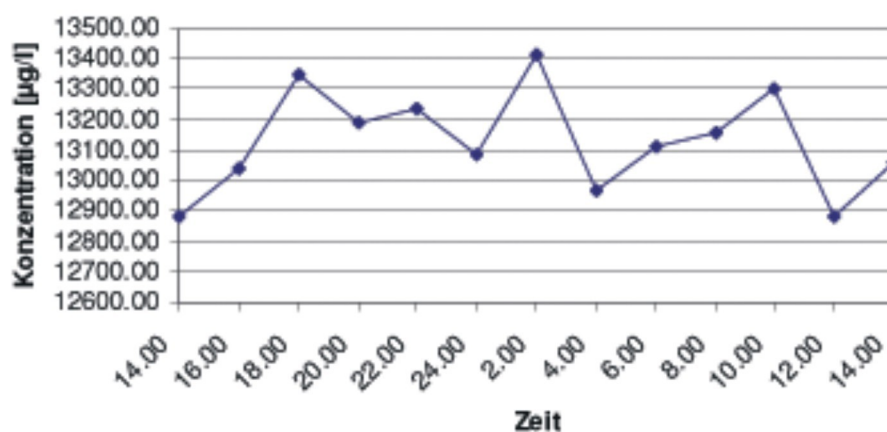
Quelle CS 1: Na⁺

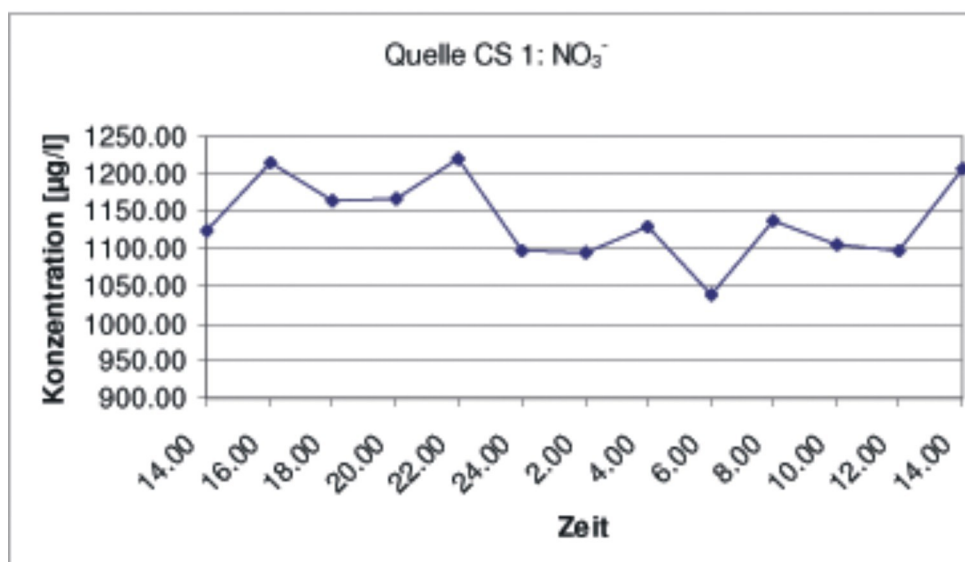
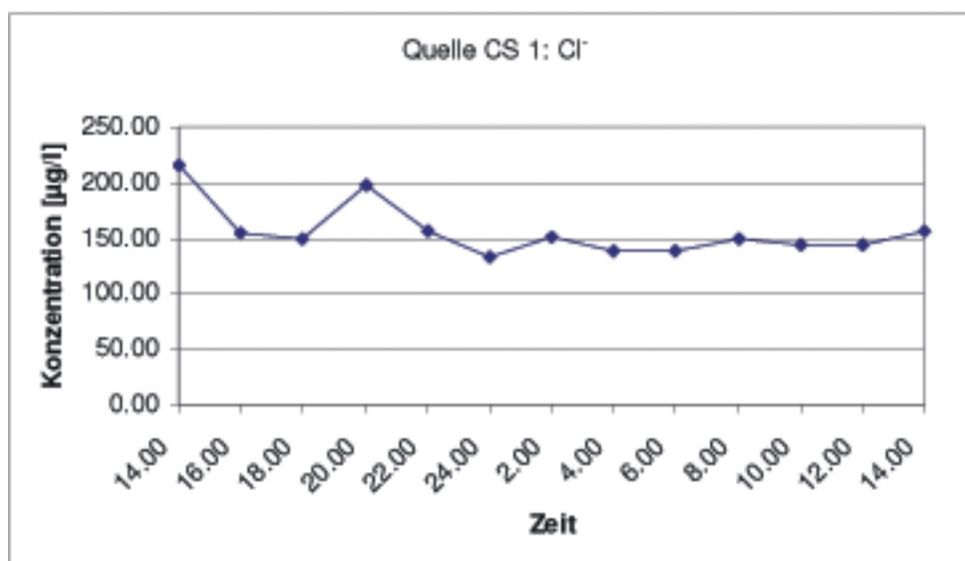
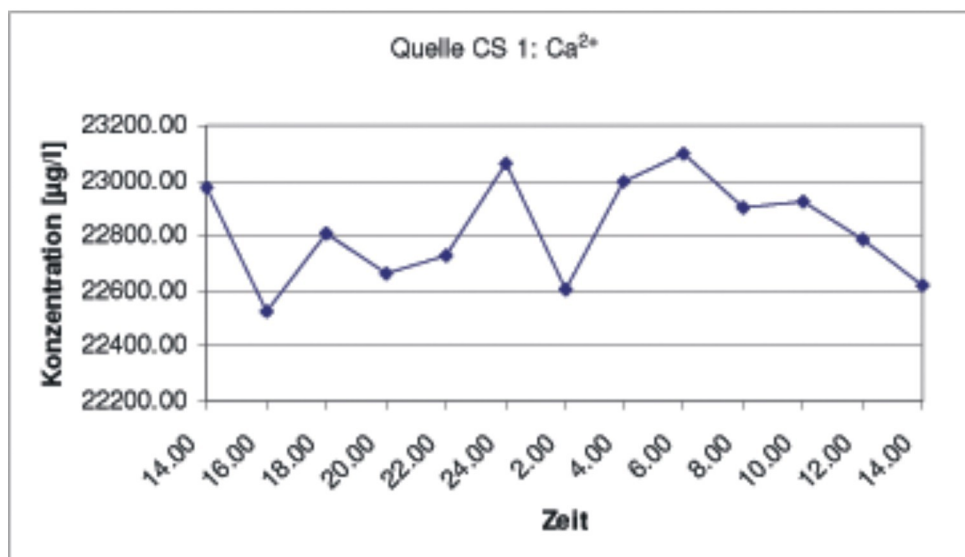


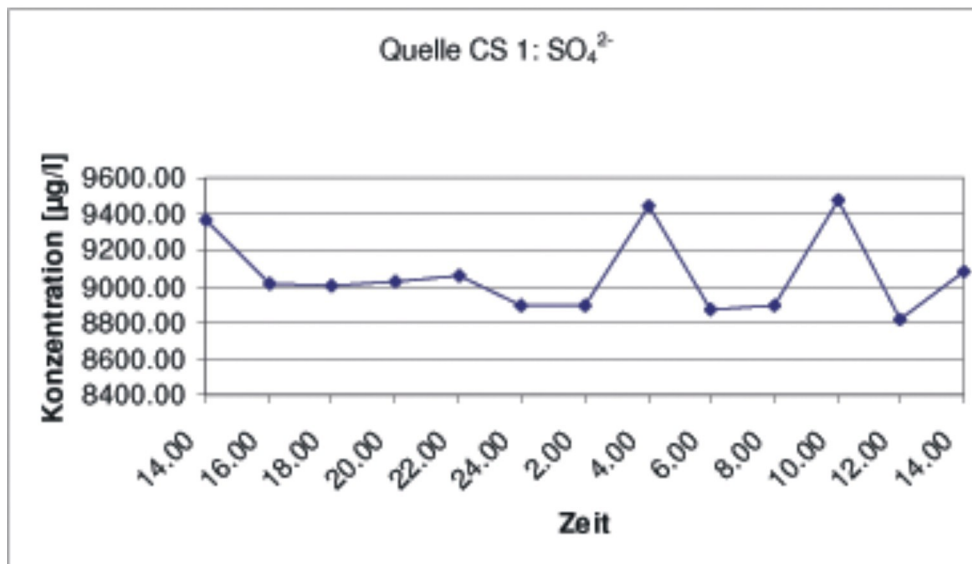
Quelle CS 1: K⁺



Quelle CS 1: Mg²⁺

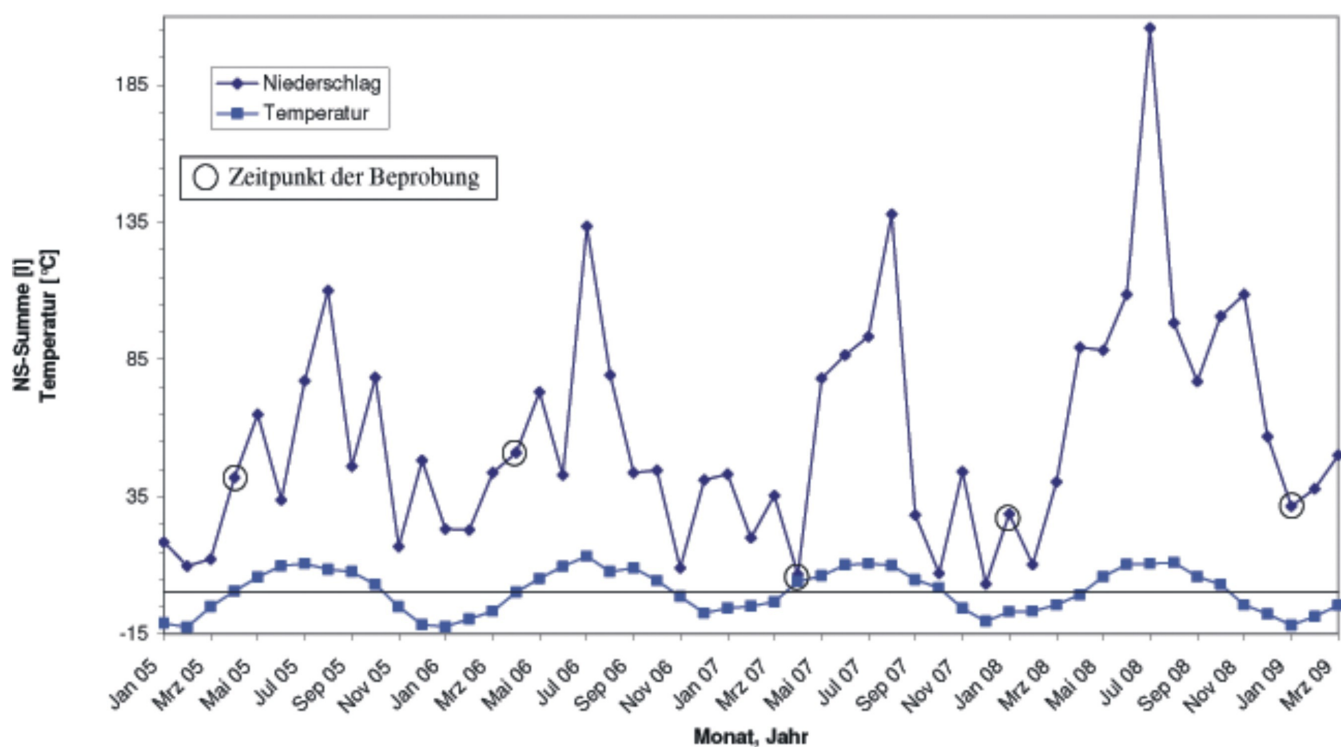






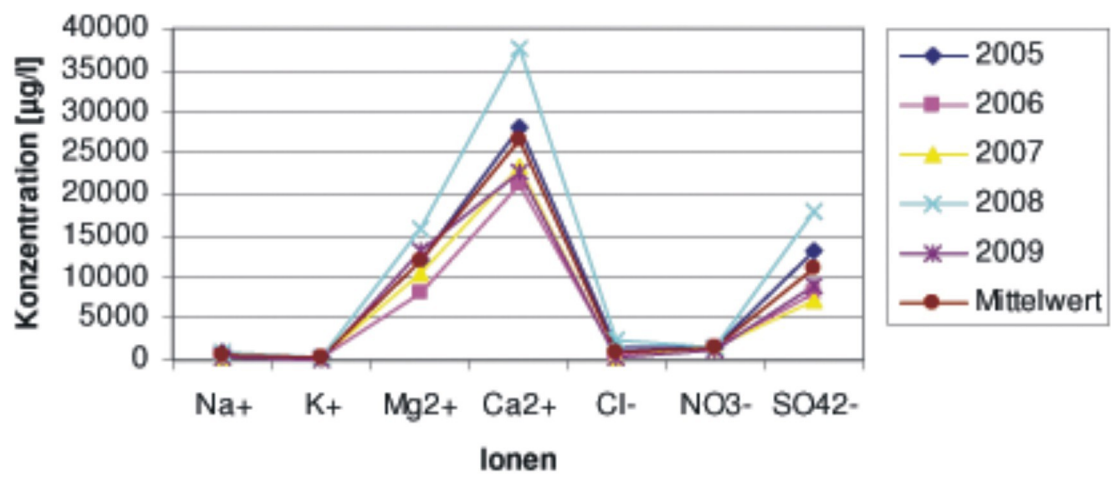
Höhe [cm]	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
90	0.00	0.00	187.00	0.00	138.20
60	51.20	0.00	17.00	67.30	360.70
10	87.00	11.80	252.90	86.30	44.30
Mittelwert	46.07	3.93	152.30	51.20	181.07
Summe	138.20	11.80	456.90	153.60	543.20

Monatsniederschlagssumme und mittlere Monatstemperatur 2005 - 2009
Station Buffalora

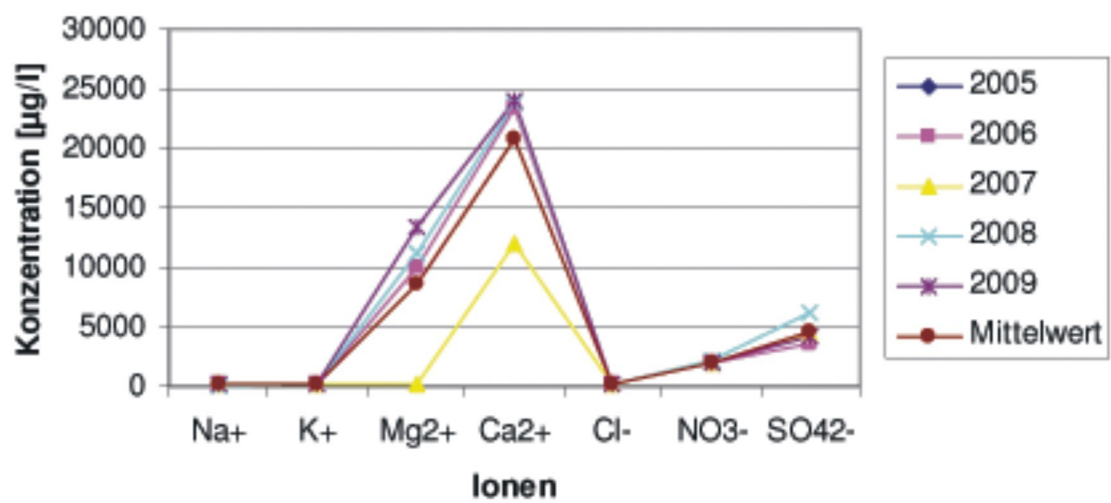


Quelle: MeteoSchweiz

Schöllerdiagramm Off 1



Schöllerdiagramm Offb 2



1) System and sample informations

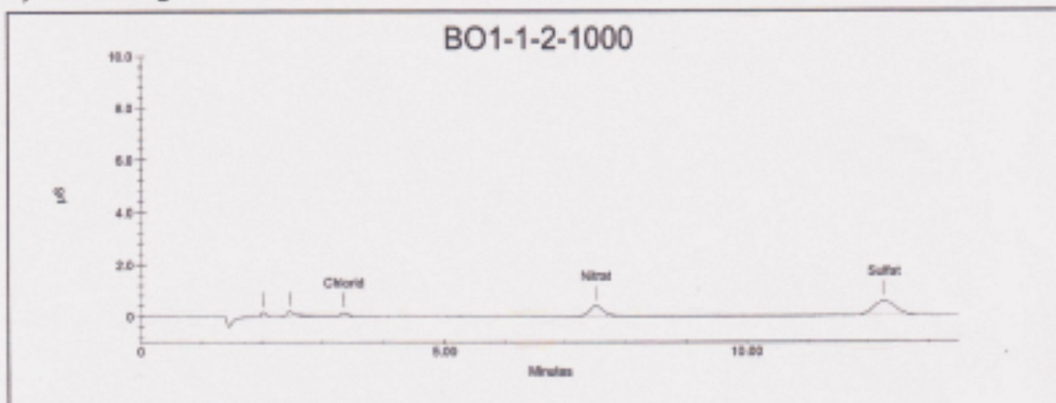
Sample Name : BO1-1-2-1000
Data File Name : ...ASTD_new_003.DXD
Date Time Updated : 09.03.09 12:22:14
Date Time Collected : 09.03.09 12:08:41
Calibration Date : 02.03.09 13:19:33
Injection Number : 3

Data Collection Rate : 5.00 Hz
System Name : Anionen
System Operator : Simon
Column Type :
Moduleware Version : 03.03
Method File Name : C:\PeakNet\method\Anionen.sabine.met

Calibration Type : EXTERNAL
Injection Volume : 1.00
Dilution Factor : 1.00

Area Reject Value : 1000.00
Starting Peak Width : 2.00
Starting Peak Threshold : 0.93

2) Chromatogram



3) Results

Peak Information : All Peaks					
Ret Time	Component Name	Concentration (ug/l)	Height	Area	Theoretical Plates (USP)
2.02		0.0	1849	8715	3507
2.45		0.0	2052	19328	1990
3.34	Chlorid	153.2	1291	9049	4954
7.51	Nitrat	1892.4	3907	59717	5277
12.26	Sulfat	3954.4	5588	145030	5148



1) System and sample informations

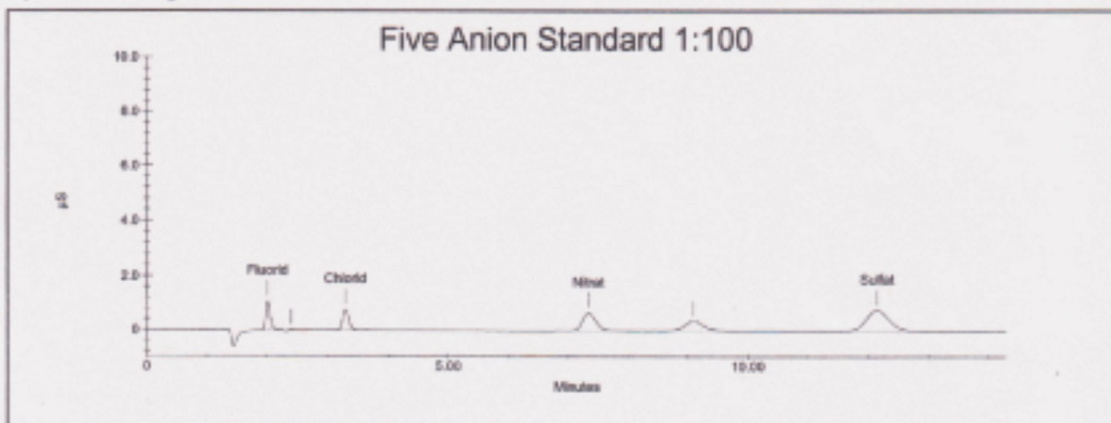
Sample Name : Five Anion Standard 1:100
 Data File Name : ...ASTD_NEW_F002.DXD
 Date Time Updated : 16.03.09 10:43:16
 Date Time Collected : 16.03.09 10:16:59
 Calibration Date : 16.03.09 10:43:02
 Injection Number : 2

Data Collection Rate : 5.00 Hz
 System Name : Anionen
 System Operator : Simon
 Column Type :
 Moduleware Version : 03.03
 Method File Name : C:\PeakNet\method\Anionen.sabine.met

Calibration Type : EXTERNAL
 Injection Volume : 1.00
 Dilution Factor : 1.00

Area Reject Value : 1000.00
 Starting Peak Width : 2.00
 Starting Peak Threshold : 0.93

2) Chromatogram



3) Results

Peak Information : All Peaks						
Ret Time	Component Name	Concentration (ug/l)	Height	Area	Theoretical Plates (USP)	
2.01	Fluorid	0.0	10659	54802	3548	
2.41		0.0	241	1361	0	
3.30	Chlorid	989.3	7699	53741	5184	
7.34	Nitrat	3290.4	6546	99888	9090	
9.10		0.0	3556	72149	4430	
12.14	Sulfat	4774.2	7660	198785	5001	

