

Universität Basel
Departement Umweltwissenschaften
Biogeographie

Charakterisierung der Quellflur *Punt Periv* im Tal des Spöls (Schweizerischer Nationalpark)



Bachelorarbeit

Lisette Kaufmann
BSc Geowissenschaften

Betreut von:

Dr. Stefanie von Fumetti
Professor Dr. Peter Nagel

Basel, September 2014

Abstract

Der schweizerische Nationalpark ist ein rund 170 km² grosses Wildnisgebiet in den schweizerischen Alpen und existiert in dieser Form seit 100 Jahren. Dieses Gebiet beherbergt viele Quellen, die weitgehend von direkten anthropogenen Einflüssen verschont sind. Besonders kostbar ist der Quellhorizont entlang dem südwestlichen Ufer des Spöls, rund 300 m oberhalb *Punt Periv* auf einer Fläche von 0,9 ha. Hier wurden vor ca. 20 Jahren erstmals 34 Quellen kartiert und hydrogeochemisch charakterisiert. Die Punt-Periv-Quellen weisen hydrochemische Unterschiede auf und unterscheiden sich leicht in ihrer Struktur, sowie ihrer Distanz zum Spöl. Im Sommer 2013 wurde eine Charakterisierung der Quellflur und der Quellfauna durchgeführt. Hierbei wurde eine Vegetationskartierung durchgeführt und das Makozobenthos der Quellen quantitativ und qualitativ beprobt und abiotische Faktoren aufgenommen. In den zehn faunistisch untersuchten Quellen wurden insgesamt 48 Taxa gefunden, darunter neun Plecopteren- und sechs Trichopterenarten. Die hydrochemischen Unterschiede spiegeln sich nicht in der Artenzusammensetzung der Quellen wider, da die Unterschiede zu gering sind und Quellen räumlich eng vernetzt sind. Unterschiede in der Artenzusammensetzung können jedoch mit der Distanz zum Spöl korreliert werden. Die Gruppe der spölnahen Quellen, die nach kurzer Distanz in den Spöl münden, unterscheidet sich signifikant von der Gruppe der spölfernen Quellen, die über längere Quellbäche mit dem Fluss verbunden sind.

Inhalt

1.	Einleitung	1
2.	Untersuchungsgebiet.....	3
2.1	Nationalpark.....	5
2.2	Punt Periv	5
2.3	Geologie	6
2.4	Klima.....	7
3.	Material und Methoden.....	9
3.1	Vorgehensweise	9
3.2	Kartierung des Untersuchungsgebietes	9
3.3	Aufnahme abiotischer Parameter.....	10
3.4	Faunistische Untersuchung.....	11
3.5	Datenanalyse.....	12
4.	Ergebnisse.....	14
4.1	Beschrieb der Quellen	14
Quelle 2a	15	
Quelle 2b	16	
Quelle 3	17	
Quelle 4	18	
Quelle 8	19	
Quelle 12	20	
Quelle 13	21	
Quelle 16	22	
Quelle 19	23	
Quelle 23	24	
4.2	Abiotische Parameter	25
4.3	Faunistische Daten.....	27
Ökologische Wertezahl.....	28	
4.1	Resultate der statistischen Datenanalyse	30
nMDS und ANOSIM	30	
PCA	31	
5.	Diskussion	32
5.1	Methodenkritik	32
5.2	Ergebnisdiskussion.....	33
6.	Literaturverzeichnis	36
Internetquellen	38	
Bestimmungsliteratur	39	
Anhang	40	

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1 Kartenausschnitt zur Orientierung. (<https://map.geo.admin.ch>)
- Abb. 2 Blick von Nordwest ins Untersuchungsgebiet. (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 3 Geologische Situation rund um das Untersuchungsgebiet Punt Periv. (verändert nach: <http://www.atlasnationalpark.ch/de/themenbeitrag/geologie-und-tektonik>)
- Abb. 4 Klimadiagramm der Klimastation Buffalora im Engadin. (http://www.meteoschweiz.admin.ch/files/kd/climsheet/de/BUF_norm8110.pdf)
- Abb. 5 Foto von Quelle Q2a (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 6 Skizze von Quelle Q2a (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 7 Foto von Quelle Q2b (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 8 Foto von Quelle Q3 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 9 Skizze von Quelle Q3 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 10 Foto von Quelle Q4 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 11 Skizze von Quelle Q4 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 12 Foto von Quelle Q8 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 13 Skizze von Quelle Q8 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 14 Foto von Quelle Q12 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 15 Skizze von Quelle Q12 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 16 Foto von Quelle Q13 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 17 Skizze von Quelle Q13 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 18 Foto von Quelle Q16 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 19 Skizze von Quelle Q16 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 20 Foto von Quelle Q19 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 21 Skizze von Quelle Q19 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 22 Foto von Quelle Q23 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 23 Skizze von Quelle Q23 (L.Kaufmann, 2013)
- Abb. 24 Nicht-metrische Multidimensionale Skalierung (nMDS)

Tabellenverzeichnis

- Tab. 1 Häufigkeit der unterschiedlichen Substrattypen in den Quellen.
- Tab. 2 Messwerte der Quellen bei Punt Periv.
- Tab. 3 Artenliste und Vorkommen in den einzelnen Quellen.
- Tab. 4 Eigenwerte und Varianz der PCA.
- Tab. 5 Komponentenmatrix der PCA.

1. Einleitung

„Quellen sind aus der Erde tretendes Wasser“ (ZOLLHÖFER 1997, S.18). Dabei können zwei Formen von Quellen unterschieden werden. Zum einen sind dies abflusslose, endorheische Quellen, deren Wasser oft aus bodennahen Schichten stammt und nach wenigen bis ein paar hundert Metern wieder versickert, zum anderen sind dies Quellen, die der Beginn eines Fließgewässers sind und die von Grundwasser gespeist werden (ZOLLHÖFER 1997). Quellen bilden den Übergangsbereich zwischen zwei limnischen Lebensräumen, dem Grundwasser und den Fließgewässern, und gelten somit als Ökotope, also als Grenzbereiche. Die Übergänge zu Quellbach und zu terrestrischen Räumen sind oft nicht klar abgrenzbar (SCHÖNBORN 2013).

Quellen sind sehr vielfältig und unterscheiden sich teilweise stark in ihrer Erscheinungsform. THIENEMANN (1924) hat die noch heute gängige Unterteilung der Quellen nach der morphologischen Struktur des Wasseraustritts und des –abflusses entwickelt. Dabei werden drei Typen von Quellen unterschieden: Sickerquellen (Helokrene), Sturzquellen (Rheokrene) und Tümpelquellen (Limnokrene) (WEBER 2006).

Der Lebensraum Quelle, das Krenal, ist ein kleinflächiges, punktuell in der Landschaft verteiltes Inselbiotop mit relativ konstanten physikalischen und chemischen Faktoren (SCHÖNBORN 2013). Daher sind Quellen und Quellabflüsse Lebensraum für eine spezialisierte Biozönose. Konstant niedrige Temperaturen ermöglichen kaltstenothermen Organismen die Besiedelung, diese Kaltwasserarten können auf kaum einen anderen Lebensraum ausweichen. Durch die teilweise starke Isolation der einzelnen Quellen ist eine Wiederbesiedelung nach einer Störung oft schwierig (LUBINI ET AL. 2012).

Unterschiedliche Habitatstrukturen, wie grosse Steine, Kies oder organisches Material sind für die Besiedelung von grosser Bedeutung, da durch diese ein Strömungsmosaik mit vielen unterschiedlichen Nischen und somit einem diversen Quelllebensraum entstehen kann (SCHÖNBORN 2013). Je vielfältiger die Strukturen, umso artenreicher kann die Quellbiozönose sein (WEBER 2006).

Lange Zeit haben die Quellen nur für die Wasserversorgung eine Rolle gespielt und ihr ökologischer Wert wurde kaum wahrgenommen. Dabei gehören die sensiblen Biotope „zu den am stärksten bedrohten Lebensräumen Mitteleuropas“ (SCHINDLER 2004, S.1). Naturnahe Quellen werden durch die ständig wachsenden anthropogenen Eingriffe in die Natur, sei es durch Ausweitung der Siedlungs- und Industriegebiete oder die Intensivierung der Landwirtschaft immer seltener. So werden naturnahe Quellen zur Gewinnung von Trinkwasser gefasst, fallen Anlagen für die Wasserkraft, Fischzuchtanlagen oder dem Bau

von Strassen zum Opfer, verschwinden in Folge von Meliorationen oder dem Bau von Grundwasserfassungen (LUBINI ET AL. 2012).

Quellen sind in der Schweiz aufgrund der aktuellen Gesetzeslage keine geschützten Landschaftselemente, im Gegensatz zu anderen Sonderbiotopen wie Mooren, Auen oder Trockenstandorten, obwohl eine ungestörte Quelle einen genau so vielfältigen Lebensraum bietet wie die genannten Sonderbiotope. Auch die von kantonalen Ämtern ausgewiesenen sogenannten Quellschutzgebiete dienen nicht dem Schutz des Lebensraumes Quelle, sondern ausschliesslich der Trinkwassernutzung (ZOLLHÖFER 1997). Die fehlende gesetzliche Grundlage zum Schutz von Quellen als Biotope hat dazu geführt, dass vor allem im Jura und im Mittelland eine grosse Zahl an Quellen gefasst oder anderweitig beeinträchtigt wurde. Auch im Alpenraum sind naturnahe Quellbiotope gefährdet durch intensive Alpwirtschaft, Ausbau der Infrastruktur, Erschliessung von Gebieten oder Entwässerung der Böden (WEBER 2006).

Das Schutzgebiet Schweizer Nationalpark ist dementsprechend ein wichtiger Standort für naturnahe, alpine Quellen. Verschiedenste Arbeiten aus der Hydrogeologie haben sich bereits mit Quellen im Nationalpark beschäftigt. Noch sind aber längst nicht alle Quellen im Gebiet des Schweizer Nationalparks kartiert (SCHLÜCHTER ET AL. 2013). Die ersten hydrologischen Untersuchungen von Quellen und Quellbächen im Schweizerischen Nationalpark erfolgte 1942 durch NADIG. In seiner Dissertation beschäftigte er sich mit den physikochemischen und faunistischen Eigenschaften von fünf Quellen und deren Quellbächen im schweizerischen Nationalpark.

Susanne Felder hat im Rahmen ihrer Masterarbeit alpine Quelle im Schweizer Nationalpark untersucht. Ihre Arbeit ist die erste faunistische Untersuchung von Quellen nach den Studien von NADIG (1942). Sie hat in einem Monitoring 20 Quellen im Frühsommer und im Herbst 2012 kartiert und die wichtigsten abiotischen Parameter aufgenommen sowie quantitative und qualitative Proben des Makrozoobenthos genommen. Diese Arbeit liefert wichtige Informationen über die Lebensgemeinschaften in natürlichen, ungestörten Quellen in den Schweizer Alpen (FELDER 2013).

Um weitere Quellen im Nationalpark faunistisch zu untersuchen und somit auch die Grundlage für langzeitiges Monitoring zu erweitern, untersucht diese Bachelorarbeit den Quellkomplex bei *Punt Periv*, welcher bereits von VETTER (1992) hydrogeologisch beschrieben wurde. Folgende Fragestellung steht dabei im Zentrum: Inwiefern haben physikochemische Parameter und die Substratzusammensetzung einen Einfluss auf die Zusammensetzung der Quellfauna? Ziel der Arbeit ist es, das Gebiet ökologisch zu charakterisieren, insbesondere anhand einer faunistisch-strukturellen Aufnahme der Quellen.

2. Untersuchungsgebiet

Die in dieser Arbeit untersuchten Quellen liegen relativ eng zusammen im oberen Spöltal, rund 300m oberhalb von *Punt Periv* entlang dem südwestlichen Ufer des Spöls im schweizerischen Nationalpark (Abb. 1). Dieses rund 0.9 ha grosse Untersuchungsgebiet befindet sich am Fusse des nach Nordost ausgerichteten Hangausläufers des *Piz Murtatrous* auf rund 1660 Metern über Meer. Parallel zum Fluss verlaufen mehrere als Schotterterrassen erkennbare kleine Reliefunterschiede. Das Gebiet ist geprägt durch lichte Waldvegetation, Strauch- und Rasengesellschaften und entlang des Flussbettes Schotterflur sowie mehrere Fächer mit Gehängeschutt, die das Gebiet durchschneiden (Abb. 2).

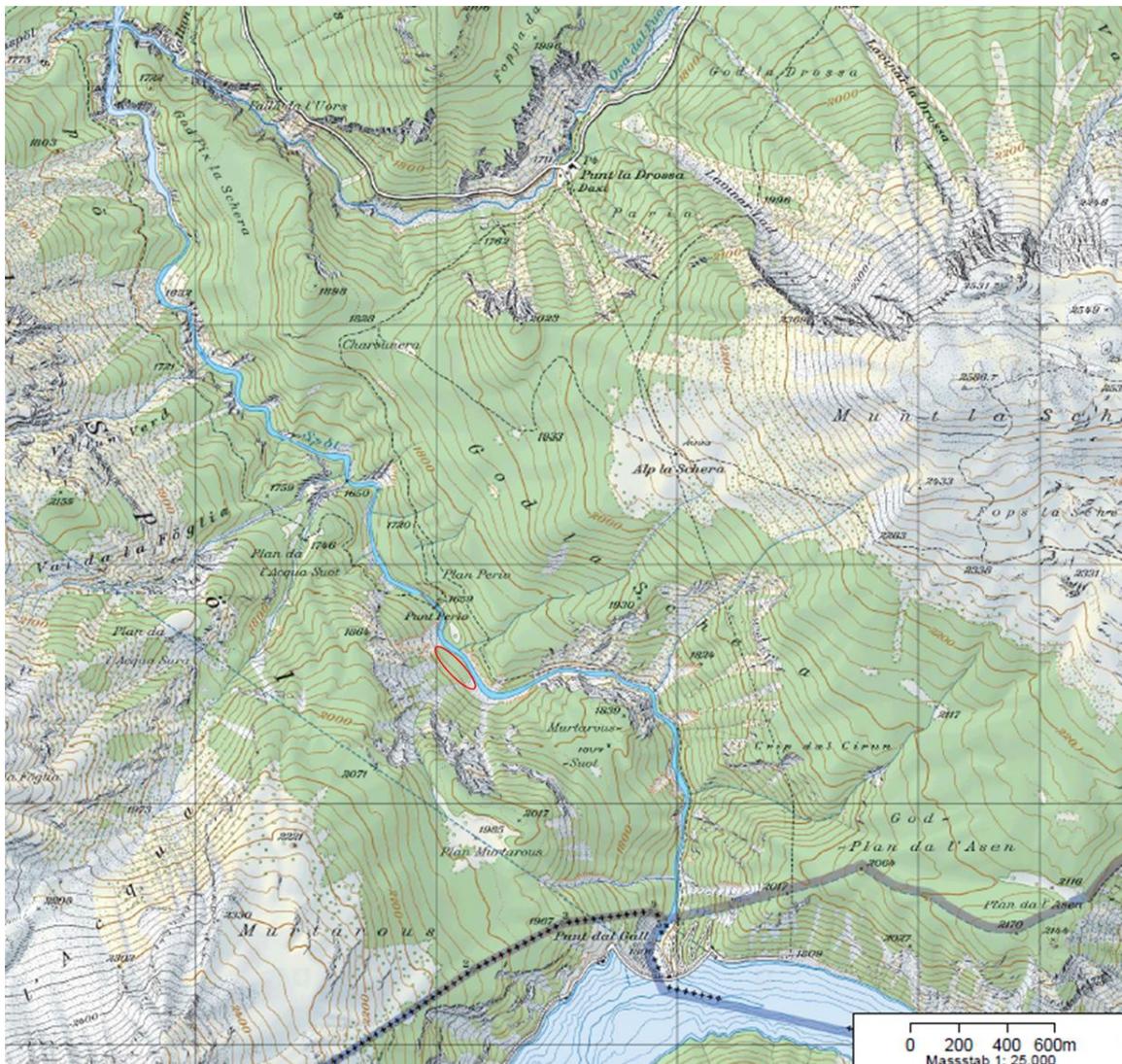


Abb. 1: Kartenausschnitt zur Orientierung. Südlich der Stausee Lago di Livigno mit der Staumauer Punt dal Gall, der Fluss Spöl und im Norden ein Abschnitt der Ofenpassstrasse bei Punt la Drossa. Das Untersuchungsgebiet oberhalb von Punt Periv beim Spöl ist rot markiert. (<https://map.geo.admin.ch>)



Abb. 2: Blick von Nordwest ins Untersuchungsgebiet. Die Quellen befinden sich in dieser Aufnahme rechts vom Spöl im Gebiet zwischen dem Geröllkegel im Vordergrund und dem steilen Geröllhang hinten.

2.1 Nationalpark

«Der Schweizerische Nationalpark im Engadin und Münstertal im Kanton Graubünden ist ein Reservat, in dem die Natur vor allen menschlichen Eingriffen geschützt und namentlich die gesamte Tier- und Pflanzenwelt ihrer natürlichen Entwicklung überlassen wird.»

(NATIONALPARKGESETZ 1980, ART.1)

Das Untersuchungsgebiet liegt im schweizerischen Nationalpark und damit in einem Schutzgebiet, das gemäss Weltnaturschutzunion (IUCN) als Wildnisgebiet (Reservat der Kategorie 1a) bezeichnet wird und somit die strengsten Normen für Schutzgebiete erfüllt. Die Natur kann sich in diesem Gebiet ohne direkte Einflussnahme des Menschen entwickeln. Mit dem Gründungsjahr 1914 ist der schweizerische Nationalpark der älteste Nationalpark der Alpen und Mitteleuropas. Seit hundert Jahren wird im Nationalpark Forschung betrieben. Dank dem hohen Schutzstatus bietet der Nationalpark die Möglichkeit dynamische Prozesse und natürliche Zusammenhänge zu beobachten und zu erforschen (NATIONALPARK.CH 2014).

Der schweizerische Nationalpark liegt im Kanton Graubünden und umfasst ein vorwiegend alpines Gebiet in einer Höhenlage von 1400 bis 3174 Metern über Meer und eine Fläche von rund 170 km² (NATIONALPARK.CH 2014).

Der Nationalpark wird durch mehrere Bäche und Flüsse entwässert. Ein grosser Teil des Abflusses erfolgt durch den Spöl zum Inn, der in die Donau mündet und somit letztendlich ins Schwarze Meer entwässert (SCHLOETH 1976). Bis zum Beginn des Baus der Spölkraftwerke nach 1960 waren die Nationalparkgewässer kaum beeinträchtigt. Der Wasserhaushalt des Flusses Spöl ist seither durch den Betrieb der Kraftwerksanlagen beeinflusst. Er wird nur noch mit einer gesetzlich verankerten Restwassermenge versorgt. Seit dem Jahre 2000 wird ein jährliches künstliches Hochwasser ausgelöst, welches das Flussbett von Feinsedimenten und Schlamm befreit, was sich positiv auf den ökologischen Zustand des Gewässers auswirkt (SCHANZ, SCHEURER & STEINER 2012).

2.2 Punt Periv

Die Quellen bei *Punt Periv* im Tal des Spöls liegen innerhalb des Nationalparks und sind damit seit mindestens 100 Jahren, als der Park gegründet wurde, von direkten anthropogenen Einflüssen verschont. Der Einfluss des beeinträchtigten Wasserregimes des Spöls, der sich in unmittelbarer Nähe zu den Quellen befindet und in welchen die Quellbäche entwässern, ist nicht klar. Es gibt noch eine weitere indirekte Einflussnahme des Menschen auf das Untersuchungsgebiet. Durch den Schutzstatus im Nationalpark sind auch regulierende Massnahmen ausgeschlossen. Dies hat sich im Nationalpark auf eine relativ

hohe Dichte an Huftieren, insbesondere der Rothirsche im Gebiet ausgewirkt, was zu einem grossen Druck auf die Vegetation führt. Das Untersuchungsgebiet bei Punt Periv scheint ein regelmässig besuchter Standort für Hirsche zu sein. So sind auffallend viel Hirschlosung und Hufabdrücke zu finden. Die Rasenflächen sind sehr stark abgeweidet und vereinzelt sind Liegeplätze zu erkennen. Durch Tritte in der Quelle wird das Sediment aufgewirbelt und mit der Strömung abtransportiert, was zu einer Verarmung der Struktur führen kann (WEBER 2006). Hirschlosung innerhalb des Quellbereiches wird sich auf die Nährstoffgehalte im Quellwasser auswirken. Wie gross der Einfluss der Hirsche auf die Quellen ist, ist schwer abzuschätzen, vor allem kann kaum eruiert werden, wie der natürliche Zustand wäre. Denn die Störung des natürlichen Gleichgewichtes hat mit dem Ausrotten der natürlichen Topprädatoren den Anfang genommen und wirkt sich nun im Nationalpark insofern aus, als dass der Mensch in diesem Gebiet seine übernommene Funktion als Topprädatator nicht mehr wahrnimmt.

2.3 Geologie

Das Gebiet des Schweizerischen Nationalparks gehört geologisch zu den Oberostalpinen Decken. Diese umfassen das kristalline Grundgebirge und darauf sedimentierte Meeresablagerungen, wie Sand, Ton oder Kalk, die während dem Mesozoikum am Nordwestrand der Tethys entstanden sind. Das mächtigste Schichtpaket im Gebiet des Nationalparks bildet der Hauptdolomit, aufgrund dessen das Gebirge den Namen „Engadiner Dolomiten“ trägt (FURRER ET AL. 2013).

In der Graphik (Abb. 3) ist das rot eingekreiste Untersuchungsgebiet und seine Lage im geologischen Kontext ersichtlich. Das Gebiet liegt in einem Bereich, der als „Sackungen“ bezeichnet wird. An den Hängen oberhalb des Untersuchungsgebiets liegt der Hauptdolomit an der Oberfläche, darauf folgt im flacheren Bereich Moränenmaterial aus dem Quartär.

Für die Hydrologie prägend sind hauptsächlich die Engadiner Dolomiten mit ihren karbonatischen Eigenschaften. Die meisten hydrogeologisch untersuchten Quellen im Nationalpark weisen aufgrund des Dolomits ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) relativ hohe Konzentrationen von Mg^{2+} und von Ca^{2+} auf. Die Quellen im Spöltal haben zusätzlich Sulfat im Quellwasser gelöst, was darauf schliessen lässt, dass das Grundwasser Evaporite durchflossen hat, wie sie zum Beispiel in der Raibler Gruppe vorkommen (SCHLÜCHTER ET AL. 2013).

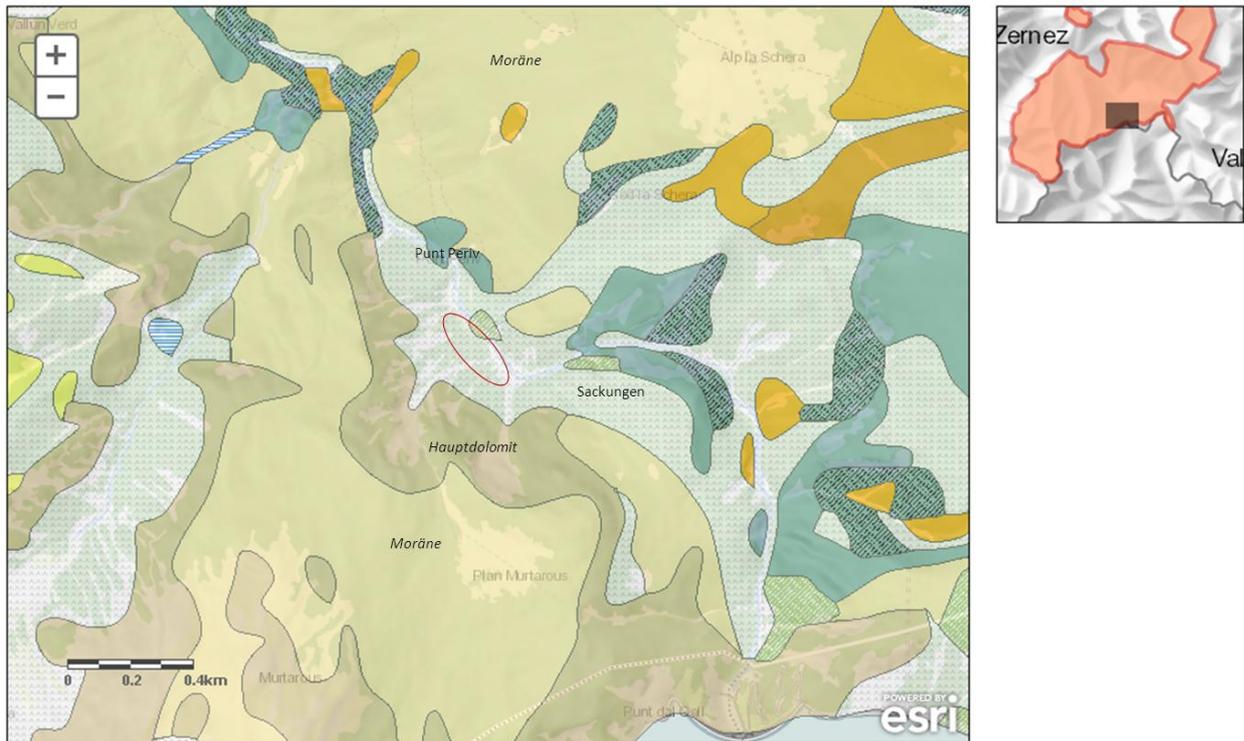


Abb. 3: Geologische Situation rund um das Untersuchungsgebiet Punt Periv. Das Gebiet selbst liegt in einem Bereich, der durch Sackungen geprägt ist, ansonsten sind vor allem der Hauptdolomit (dunkelgrün) und Moränen (hellgrün) wichtig. Die weiteren kleineren Bereiche sind verschiedene Dolomitgruppen (verändert nach: <http://www.atlasnationalpark.ch/de/themenbeitrag/geologie-und-tektonik>)

2.4 Klima

Die nächstgelegene Klimastation vom Untersuchungsgebiet ist die Station Buffalora, welche mit einer Lage auf 1968 m rund 300 Meter höher als *Punt Periv* und rund sieben Kilometer nordöstlich davon liegt und die Klimaregion Engadin abdeckt. Die Jahresmitteltemperatur liegt bei 0.7°C, die mittlere Julitemperatur bei 10.7°C und die mittlere Januartemperatur bei -9.2°C. Die Vegetationsperiode ist sehr kurz, die mittlere Minimumtemperatur übersteigt nur in den Monaten Juni bis September die Nullgradgrenze. Der Jahresniederschlag beträgt 793mm, wobei im Sommer am meisten Niederschlag fällt, während die Wintermonate trockener sind mit einem Minimum im Februar (28mm) (Abb. 4) (METEOSCHWEIZ.CH). Im Vergleich zu anderen Regionen in Graubünden fällt relativ wenig Niederschlag, weil die Region durch den Schutz der umliegenden Berge im Regenschatten liegt. Ausserdem sind die schwache mittlere Bewölkungsdauer, die hohe Sonnenbestrahlung, die geringe Luftfeuchtigkeit und die hohen jahreszeitlichen Temperaturextreme charakteristische Indikatoren für das vorherrschende Kontinentalklima. (SCHLOETH 1976). Das BUNDESAMT FÜR METEOROLOGIE UND KLIMATOLOGIE METEOSCHWEIZ (2013) fasst das Klima des Nationalparks als „trocken-kühl mit ausgeprägten Temperaturunterschieden zwischen Sommer und Winter“ (METEOSCHWEIZ 2013, S.22) zusammen.

Klimanormwerte Buffalora

Normperiode 1981–2010

Höhe ü.M.: 1968 m

Geogr. Koord.: 46.65 N / 10.27 O

CH-Koord.: 816494 / 170225

Klimaregion: Engadin

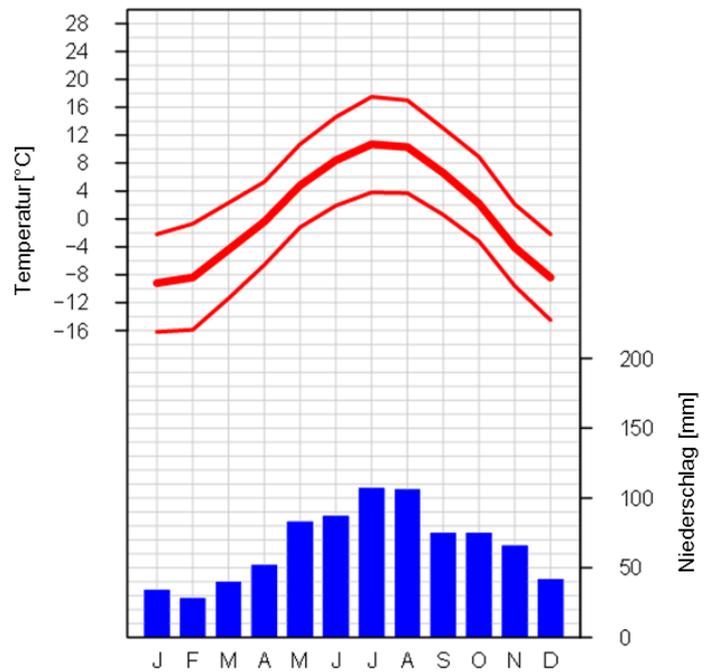


Abb. 4 Klimadiagramm der Klimastation Buffalora im Engadin.
(http://www.meteoschweiz.admin.ch/files/kd/climsheet/de/BUF_norm8110.pdf)

3. Material und Methoden

3.1 Vorgehensweise

Anfangs Juni 2013 wurde das Gebiet in einer ersten Begehung besucht. Zwischen dem 13. und 16. Juni 2013 folgte an vier Tagen die Feldarbeit. Dabei wurde das gesamte Gebiet skizziert und vermessen, verschiedene Pflanzengesellschaften wurden kartiert und alle Quellaustritte aufgenommen. In sämtlichen Quellen wurden die abiotischen Faktoren Leitfähigkeit, Temperatur und Sauerstoffgehalt gemessen. Aufgrund der so gewonnenen Übersicht über das Gebiet wurden zehn möglichst repräsentative Quellen ausgesucht für die quantitative Beprobung.

3.2 Kartierung des Untersuchungsgebietes

Für eine möglichst umfassende Charakterisierung des Gebietes, in welchem der Quellkomplex oberhalb von *Punt Periv* liegt, vornehmen zu können, haben wir uns zuerst einen Überblick über das Gebiet verschafft und eine Skizze erstellt, in welchem alle Quellaustritte lokalisiert sind und der Verlauf der Quellbäche eingezeichnet ist. Die insgesamt 37 Quellaustritte liegen alle am westlichen Ufer des Spöls und treten wenige Meter bis zu etwa 50 Meter vom Fluss entfernt aus dem Hang. Damit umfasst das kartierte Untersuchungsgebiet ein etwa 50 Meter breites und rund 400 Meter langes Band entlang des Spöls. Die Vermessung wurde mithilfe eines Zweimeterzollstabes vorgenommen und mit einem GPS-Gerät wurden die Koordinaten der Quellaustritte sowie wichtiger Eckpunkte aufgenommen zur späteren Verarbeitung in ArcGIS. So wurden alle Quellen und markanten Strukturen, wie grosse Bäume oder auffällige Felsen in der Skizze festgehalten und in die GIS-Karte übertragen.

Der zweite Teil der Kartierung des Quellkomplexes untersuchte die Vegetation. Dazu wurden verschiedene Pflanzen bestimmt und ihr Verbreitungsgebiet auf der Skizze des Untersuchungsgebietes eingetragen. Die Einteilung in neun verschiedene Vegetationsgemeinschaften erfolgte zum einen nach auffälligen Arten, zum andern nach Arten, die einen grossen Anteil der mit Vegetation bewachsenen Fläche bedecken. Die Bestimmung der Pflanzen erfolgte wenn immer möglich bis zur Art, zum Teil wurden aber auch übergeordnete Taxa, wie Bryophyten oder Poaceae zur Charakterisierung der Vegetation verwendet. Zur Bestimmung der Pflanzenarten wurde der „Binz“ (BINZ & HEITZ 1990) und die App der Flora Helvetica (LAUBER ET. AL. 2013) verwendet (BEERLI 2013). Die Arbeit zur Kartierung des Untersuchungsgebietes und der Vegetationsanalyse ist in der Forschungsstudie „Vegetationsanalyse des Umfeldes einiger Quellen im Schweizerischen Nationalpark“ von NICOLAS BEERLI (2013) dokumentiert.

3.3 Aufnahme abiotischer Parameter

Zur ökologischen Bewertung der Quellen wurden bei der Feldarbeit die Quellen kartiert und die Art und Häufigkeit der für Quellorganismen wichtigen Lebensraumstrukturen aufgenommen. Als Anhaltspunkt für das Vorgehen diente die Methodenbeschreibung „Ökologische Bewertung von Quellen“ von LUBINI, STUCKI & VICENTINI (2009). Diese Anleitung für die Bewertung von Quellen ist so aufgebaut, dass man eine Einteilung nach einem fünfstufigen Klassensystem vornehmen kann, welche die Quellen von naturnah über bedingt naturnah, mässig beeinträchtigt, geschädigt bis zu stark geschädigt unterscheidet. Für die Kartierung der Quellen bei *Punt Periv* ist eine solche Einstufung anhand eines detaillierten Kartierbogens nicht notwendig, da es sich bei den *Punt Periv* - Quellen um naturnahe Quellen handelt.

Für die strukturelle Umschreibung der Quellen wurde der „Basisbogen 4 Substrattypen“ (BALTES ET AL. 2004) für alle untersuchten Quellen ausgefüllt. Der Basisbogen unterscheidet zwei Gruppen von Substrattypen, organisch und anorganisch. Folgende Substrattypen sind aufgeführt:

Organisch:

- Moospolster
- durchspülte Wurzelräume
- Falllaub
- Geniste
- Totholz
- Detritusauflage (FPOM)
- Faulschlamm
- Vegetation

Anorganisch:

- Ton und Schluff
- Sand
- Feinkies / Kies und Grus
- Mittel- Grobkies
- Steine
- Blöcke
- Felsen
- Kalksinter
- Eisenocker

Zu jeder Kategorie wurde angekreuzt, wieviel vom jeweiligen Substrattyp vorkommt. Die Klassen sind unterteilt in <20%, 20-40 %, 40-60%, 60-90% und >90%.

Zum Substrat zählen das Material, welches im Gewässerbett liegt, sowie dasjenige des Ufers und der Spritzwasserzone. Es ist immer wasserbenetzt. Die Aufnahme dieser Substrattypen ist sinnvoll, da diese wichtig sind für die Lebensgemeinschaften in einer Quelle, denn alle Substrattypen bilden sowohl Lebensraum als auch Nahrungsgrundlage (LUBINI ET AL. 2014). Die Substratdiversität hat somit einen Einfluss auf die mögliche Artenvielfalt in einem Lebensraum. Denn je abwechslungsreicher die Gewässersohle, umso mehr Kleinstlebensräume stehen für die Besiedelung bereit (WEBER 2006).

Zu jeder Quelle wurde ausserdem eine Skizze angefertigt, die das Wiederauffinden der Quelle ermöglichen sollte. Zudem macht die Skizze auffällige Vegetations-, Substrat- und

Strukturmerkmale sichtbar und ist somit eine wichtige Ergänzung zum Aufnahmebogen. So kann man sich ein gutes Bild der Quelle machen, mit dem Fokus auf den Elementen, die für die Quellfauna von Bedeutung sein könnten (LUBINI ET AL. 2014).

Von 26 Quellaustritten wurden abiotische Parameter aufgenommen. Sauerstoff in mg/l und %, Leitfähigkeit in $\mu\text{S}/\text{cm}$, Temperatur und pH-Wert wurden im Feld untersucht. Dazu wurden die Feldgeräte Oxi330i, Cond3110 und pH3210 der Firma WTW (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, Weilheim, Deutschland) verwendet. Die Geräte wurden im Feld kalibriert. Der pH-Wert konnte bei der Feldarbeit nur von drei Quellen aufgenommen werden, weil eine Pufferlösung zum Kalibrieren des Gerätes ausgeleert ist und kein Ersatz vorhanden war.

3.4 Faunistische Untersuchung

Nach dem Kartieren aller Quellen und der Aufnahme der abiotischen Parameter wurden aus allen Quellaustritten im Untersuchungsgebiet zehn Quellen aufgrund von verschiedenen Kriterien für die faunistische Untersuchung ausgewählt. Die Quellen sollten gleichmässig über das Gebiet verteilt sein, sie sollten unterschiedliche abiotische Faktoren aufweisen, sich in strukturellen Merkmalen unterscheiden und sie sollten gross genug sein und genügend Schüttung aufweisen, damit quantitative Proben mit dem Surber-Sampler genommen werden können. Somit sollte eine möglichst vielseitige Auswahl an Quellen untersucht werden.

Für die quantitative Beprobung wurde ein Surber-Sampler mit einer Maschenweite von 500 μm und einer Rahmengrösse von 10cm x 10cm verwendet (VON FUMETTI ET AL. 2006). Mit diesem wurde jede der ausgewählten Quellen viermal auf einer Fläche von je 0.01 m^2 in möglichst unterschiedlichen Substraten beprobt. Insgesamt beträgt die beprobte Fläche pro Quelle 0.04 m^2 . Die Beprobung erfolgte von unten nach oben hin zum Quellaustritt. Damit soll verhindert werden, dass die Störung durch die Probennahme die nächste Beprobung beeinträchtigt. Der Sampler wurde an geeigneter Stelle ins Gewässer gelegt. Innerhalb des Rahmens wurde von Hand die Gewässersohle beziehungsweise das Substrat aufgewühlt, so dass die Bestandteile von der Strömung ins Netz getragen wurden. Das Material, das sich im Netz angesammelt hat, wurde in eine Weisseschale geleert, dort von groben Substratstücken befreit und danach in ein Sieb geschüttet. Von diesem Sieb wurde die Probe in einen Becher geleert und dort mit 70%-Ethanol fixiert.

Im Labor erfolgte das Aussortieren der Fauna aus dem Substrat mithilfe eines Binokulars mit bis zu 40-facher Vergrösserung und anschliessend das Auszählen und Bestimmen der Taxa. Tiere der Gruppen Plecoptera, Trichoptera, Ephemeroptera, Diptera, Amphipoda, Turbellaria, Gastropoda und Coleoptera wurden wenn möglich bis auf Artniveau bestimmt,

wobei dies beispielsweise bei den Dipteren nicht immer möglich war. Zugehörige der Gruppen Oligochaeta, Acari, Ostracoda, Bivalvia und Heteroptera wurden lediglich diesen Gruppen zugeteilt und ausgezählt, jedoch nicht weiter bestimmt.

3.5 Datenanalyse

Die Analyse der faunistischen und abiotischen Daten wurde mit dem Statistikprogramm PRIMER (CLARKE & GORLEY 2006) durchgeführt.

Für die Untersuchung der faunistischen Daten wurden in einem ersten Schritt die Daten mit $\log(x+1)$ transformiert. Die logarithmische Transformation ist wichtig, weil die Daten für die Analyse normalverteilt sein sollten. Das Addieren von der Konstante 1 zu x ist notwendig, weil es sich um Abundanzwerte handelt und daher viele Nullwerte vorkommen. Da es keinen Logarithmus zu 0 gibt, braucht es diese Addition (LEYER & WESCHE 2007). Mit den transformierten Daten wurde eine Ähnlichkeitsmatrix berechnet. Für quantitative Ähnlichkeitsmasse eignet sich als Ähnlichkeitsindex eine Bray-Curtis-Similarity. Der Global R Wert beschreibt den Ähnlichkeitswert, wobei dieser zwischen 0 (kein Unterschied) und 1 (maximaler Unterschied) liegt (CLARKE & GORLEY 2006).

Aus dieser Ähnlichkeitsmatrix lässt sich eine nMDS (non-metric Multidimensional Scaling) berechnen, die die Ähnlichkeit zwischen den Quellen graphisch darstellt. Eine nMDS ist ein rangbasiertes Verfahren (LEYER & WESCHE 2007) und setzt daher keine Normalverteilung voraus, die in biologischen Daten selten gegeben ist. Die Rangfolge wird direkt aus der Ähnlichkeitsmatrix abgeleitet (LEYER & WESCHE 2007). Der Stress gibt die Güte der Darstellung des multidimensionalen Raumes in zwei Dimensionen an.

Eine ANOSIM (Analysis of Similarities), ebenfalls auf der Ähnlichkeitsmatrix beruhend, testet die Ähnlichkeit zwischen den Gruppen. Auch die ANOSIM setzte keine Normalverteilung voraus.

Eine PCA (Principal Components Analysis) sollte unter den abiotischen Parametern diejenigen ermitteln, welche Zusammenhänge zwischen Variablen möglichst vollständig erklären. Als abiotische Parameter wurden Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Temperatur, sowie die unterschiedlichen Substrattypen in ihrer Abundanz untersucht. In einem ersten Schritt mussten dabei die Daten standardisiert werden, da die Variablen unterschiedliche Skalen haben (LEYER & WESCHE 2007). Die Quelle Q23, zu der keine physikochemische Parameter gemessen wurden, ist in der PCA nicht miteinbezogen. Da Umweltdaten sehr oft miteinander korrelieren und somit redundante Informationen enthalten, werden im Rahmen einer Hauptkomponentenanalyse neue Achsen gesucht, die diese Redundanz möglichst effektiv zusammenfassen. Diese abstrakten Achsen sind die Hauptkomponenten, die unterschiedlich

stark von den Umweltvariablen geprägt sind. Die Korrelation einer Umweltvariablen mit der Hauptkomponente wird Ladung genannt. Hat eine Umweltvariable eine hohe Ladung auf einer Hauptkomponente, dann nimmt sie in Richtung der Komponenten stark zu. Die erste Achse bildet möglichst viel der insgesamt vorhandenen Varianz ab. Die zweite Achse bildet dann den maximal möglichen Teil der Restvarianz ab, wobei sie in einem rechten Winkel zur ersten Achse steht. Ebenso verhält es sich mit der dritten Achse. Der Eigenwert gibt an, wieviel Varianz eine Hauptkomponente erklärt (LEYER & WESCHE 2007).

4. Ergebnisse

4.1 Beschrieb der Quellen

Die Beschreibung der einzelnen Quellen enthält Angaben zur Lage im Untersuchungsgebiet in Bezug zum Spöl oder anderen Quellen, zum Charakter der Umgebung der Quelle und der Quelle selbst, zur Schüttung, sowie zu weiteren auffallenden Merkmalen. Ergänzt ist die Beschreibung jeweils durch ein Foto der Quelle, sowie der Skizze (ausser bei Q2b), welche im Feld angefertigt wurde. Die Skizzen unterscheiden sich leicht in ihrer Detailliertheit. Die Skizzen stellen den Bereich dar, der als eigentlicher Quellbereich erkennbar ist, abgegrenzt mit einer Linie, die den Umriss des vom Wasser geprägten Bereiches wiedergibt. Die Strukturen innerhalb der Quelle, die gezeichnet sind, sind solche, die aus dem Wasser ragen. Es ist also nicht das gesamte Substrat skizziert. Pfeile zeigen die Fließwege des Wassers an. Sie lassen erkennen, wo die Wasseraustrittsstelle liegt und wo die Bereiche mit Strömung sind. Ergänzt sind die Skizzen jeweils mit Angaben zur Nordrichtung, einem Massstab, einer Legende zu den verwendeten Symbolen und teilweise mit weiteren charakteristischen Merkmalen, wie der Distanz zum Bach.

Quelle 2a

Die Quelle 2a liegt am südöstlichen Ende des Untersuchungsgebietes, etwa dreieinhalb Meter vom Spöl entfernt. Sie ist stark geprägt durch den breiten Schuttfächer, aus dem das Wasser der Quelle hervortritt. Wenige Meter weiter flussaufwärts im steileren Gelände reicht dieser bis in den Spöl und deckt dort etliche Quellaustritte zu. Das Substrat ist entsprechend reich an anorganischen Substrattypen, vor allem Steine und Kies. Moospolster dominieren die organische Fraktion. Die Quelle wird nicht beschattet, da Vegetation in ihrem Umkreis weitgehend fehlt.

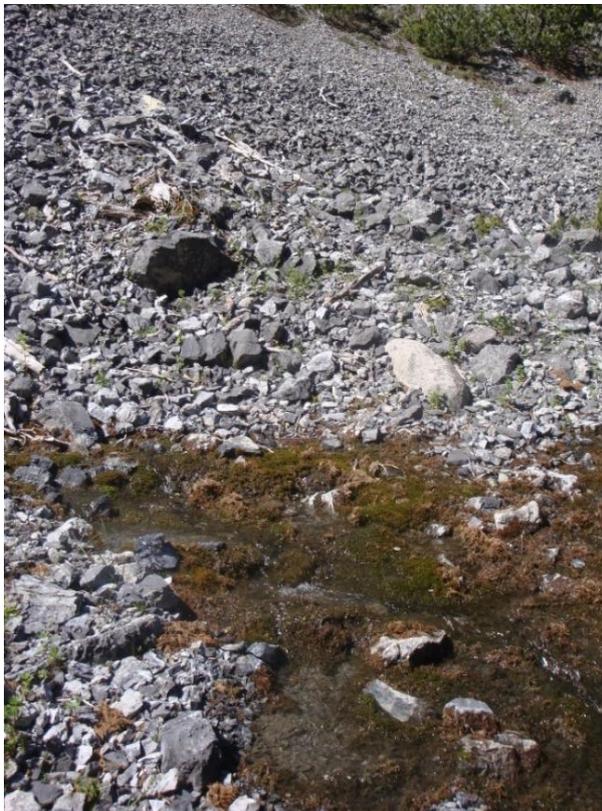


Abb. 5 Foto von Quelle Q2a

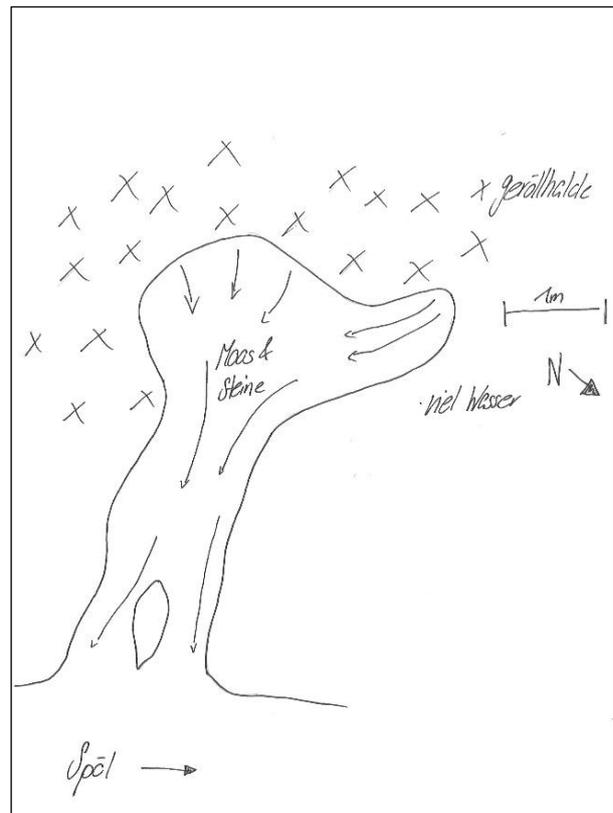


Abb. 6 Skizze von Quelle Q2a

Quelle 2b

Q2b entspringt nur etwa zwei Meter nordwestlich von Q2a. Da sich die beiden Wasseraustritte jedoch deutlich in der elektrischen Leitfähigkeit unterscheiden, wurden beide Quellen faunistisch untersucht. Q2b ist von der Substratzusammensetzung Q2a ähnlich. Allerdings unterscheiden sich Q2a und Q2b aufgrund der Vegetation rund um die Quellen. Bei Q2b konnten sich im Geröllschutt erste Föhren etablieren, was darauf hindeutet, dass hier länger keine grösseren Gerölllawinen das Gebiet überdeckten. Oder die aufkommende Vegetation wirkt stabilisierend auf den Hang und schützt die Quelle gewissermassen vor dem Eintrag von Geröll. Die Schüttung ist relativ gering.



Abb. 7 Foto von Quelle Q2b

Quelle 3

Q3 liegt etwa vier Meter vom Spöl entfernt mit einer Höhendifferenz von etwa zwei Metern. Dies hat ein relativ starkes Gefälle im Quellbach zur Folge. Moos macht den Hauptbestandteil der organischen Substrattypen aus. Anorganische Bestandteile sind hauptsächlich Kies und Steine.



Abb. 8 Foto von Quelle Q3

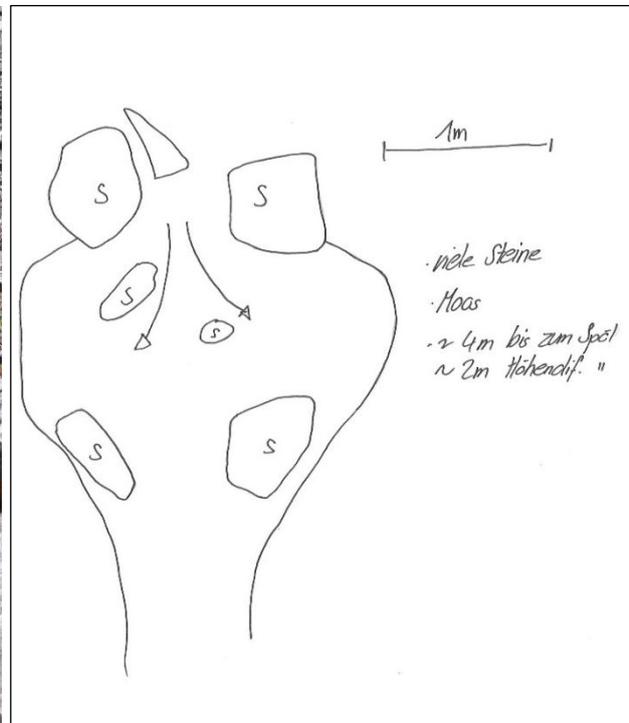


Abb. 9 Skizze von Quelle Q3

Quelle 4

Q4 hat einen etwa 5m langen Quellbach, bevor dieser in einen Nebenarm des Spöls mündet. Auch diese Quelle ist stark mit Moosen bewachsen. Bei den anorganischen Substrattypen zeigt die Quelle ein breites Spektrum von Ton und Schluff bis hin zu Blöcken.



Abb. 10 Foto von Quelle Q4

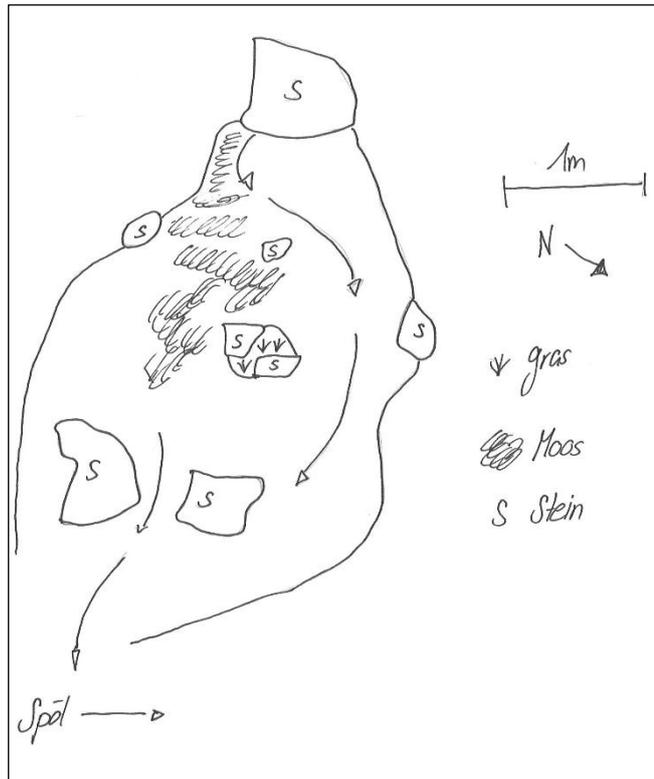


Abb. 11 Skizze von Quelle Q4

Quelle 8

Q8 liegt nur etwa anderthalb Meter entfernt von einem schmalen Bach, in welchen mehrere Quellen entwässern. Die Quelle ist nicht mehr so stark von Hangschutt geprägt wie die zuvor beschriebenen Quellen, sie ist von Rasen umgeben. Auch hier hat es viel Moos, allerdings in Kombination mit Ton, Schluff und Sand.



Abb. 12 Foto von Quelle Q8

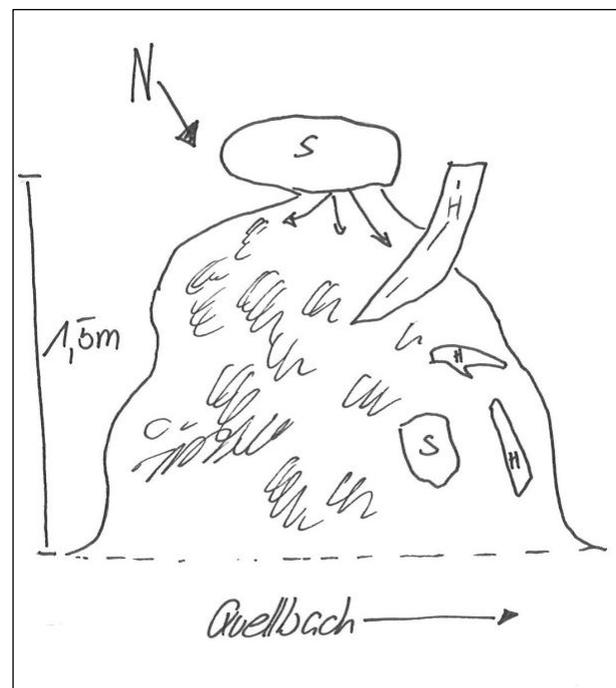
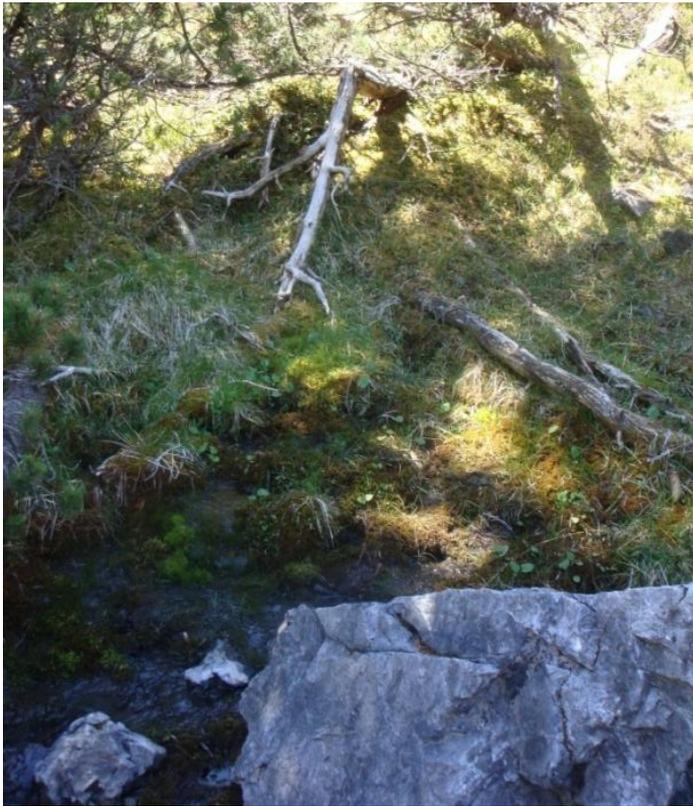


Abb. 13 Skizze von Quelle Q8

Quelle 12



Q12 liegt in einem Bereich eines lichten Föhrenwaldes. Daher ist sie auch meist beschattet. Der Anteil an Moos ist kleiner als in den zuvor beschriebenen Quellen. Dafür hat es mehr Totholz und Falllaub, beziehungsweise Föhrennadeln. Das anorganische Substrat ist in gleichmässigen Anteilen von Ton, Sand, Kies, Steinen bis zu Blöcken hin verteilt. Die Struktur ist vielseitig mit kleinen Inselstrukturen und einer Vielfalt an Strömungszuständen.

Abb. 14 Foto von Quelle Q12

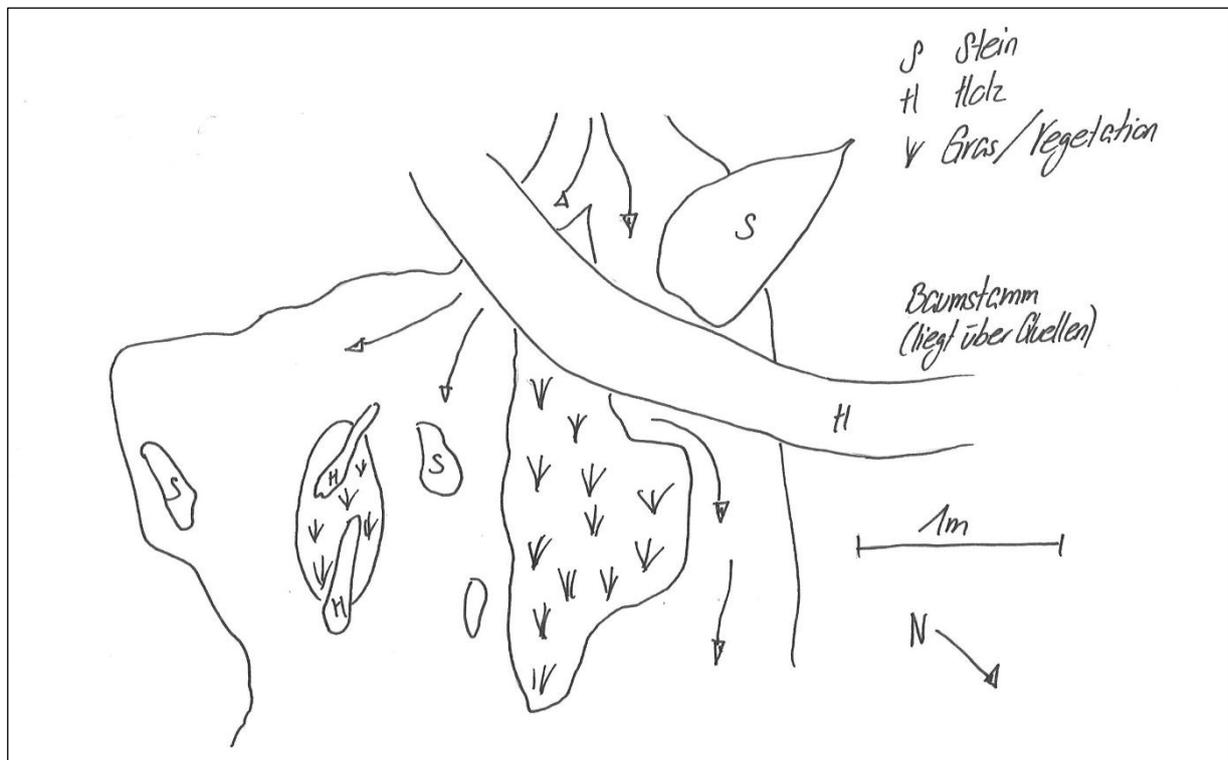


Abb. 15 Skizze von Quelle Q12

Quelle 13

Q13 ist relativ gross. Das Wasser, das an etwa drei Stellen aus dem Hang tritt, verteilt sich auf einen breiten Fächer und führt so zu einer grossen durchnässten Fläche. Die Quelle teilt sich dann in drei Quellbäche, die kurz vor der Mündung in den Spöl wieder zusammenfliessen. Vorallem Moospolster und Steine prägen das Bild. Es hat aber auch Ton, Sand und Kies.



Abb. 17 Foto von Quelle Q13

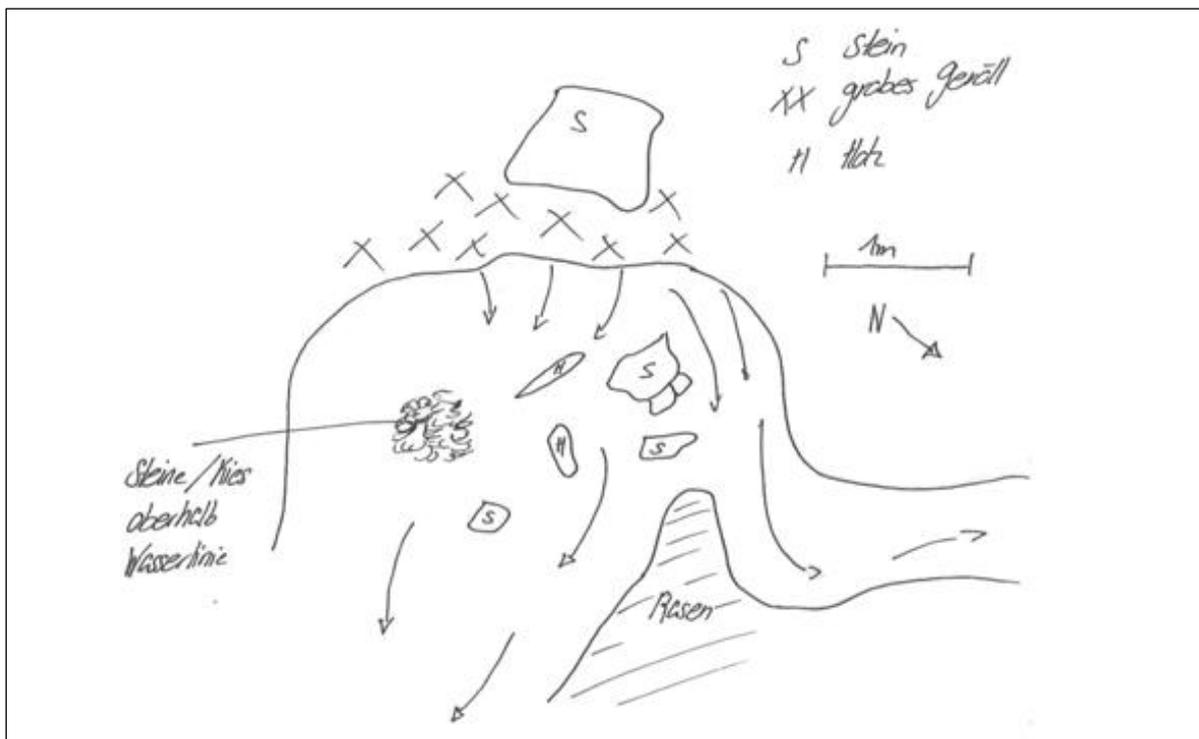


Abb. 16 Skizze von Quelle Q13

Quelle 16

Q16 schüttet relativ stark, was im Zusammenhang mit dem eher flachen Relief dazu führt, dass sich die Quelle zumindest optisch klar von den meisten anderen Quellen unterscheidet. Das Wasser fließt ruhig und die Wassertiefe ist deutlich tiefer als in den meisten anderen Quellen, bei denen das Substrat vom Wasser oft nur überflossen wird, also eine geringe Wassertiefe herrscht. Die Quelle ist zum einen von Fichten umgeben und damit zeitweise beschattet, zum anderen wachsen in der näheren Umgebung zur Quelle Schachtelhalme.



Abb. 18 Foto von Quelle Q16

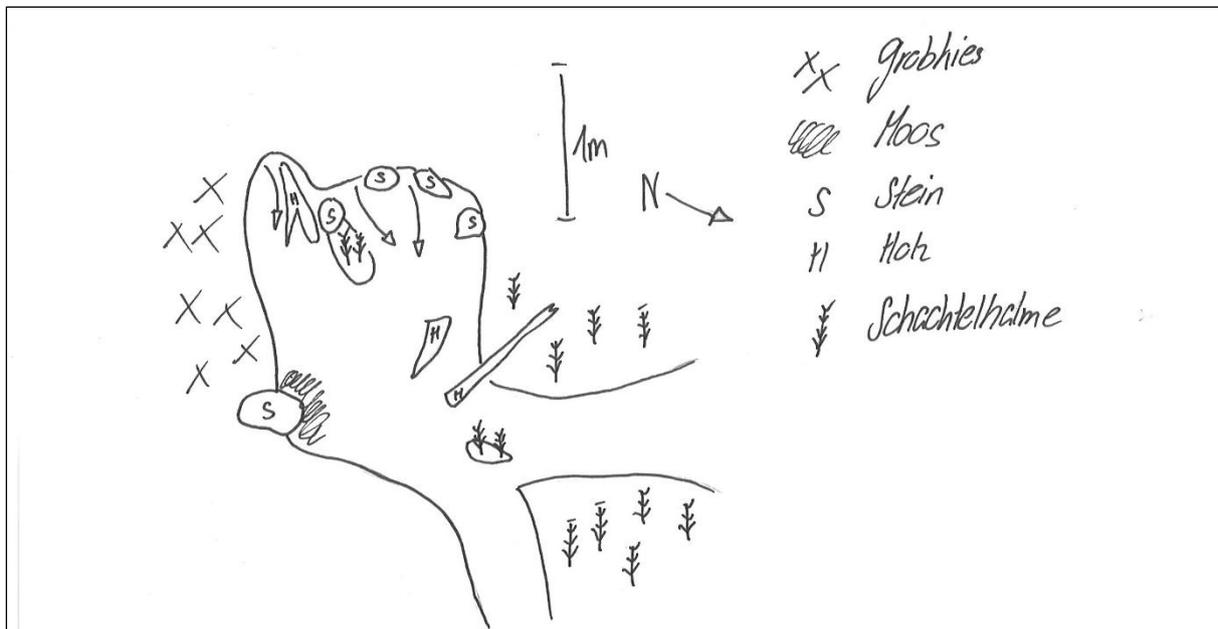


Abb. 19 Skizze von Quelle Q16

Quelle 19

Q19 hat eine relativ grosse Fläche und ist reich strukturiert. Es liegt viel Totholz in der Quelle. Ansonsten ist auch diese Quelle hauptsächlich von Moospolstern bewachsen und die anorganischen Substrattypen sind von Sand bis zu Blöcken vertreten. Der allgemeine Charakter von Q19 gleicht demjenigen von Q13, allerdings hat Q19 eine grössere Anzahl an Strukturelementen, wie Holz oder grosse Steine.



Abb. 20 Foto von Quelle Q19



Abb. 21 Skizze von Quelle Q19. Der Massstab fehlt. Die skizzierte Quellfläche hat eine geschätzte Grösse von 3 x 3 m.

Quelle 23

Q23 hat den Quellaustritt nur etwa 2.5 Meter vom Spöl entfernt. Im obersten Quellabschnitt dominieren die Substrattypen Moos, Sand und Kies. Nach etwa einem Meter erreicht der Quellverlauf die Kiesbank des Spöls, damit ändert sich die Substratzusammensetzung zu Grobkies und Steinen. Es ist die am nächsten zum Spöl gelegene Quelle, zudem ist sowohl die Horizontaldistanz als auch der Niveauunterschied relativ klein.



Abb. 23 Foto von Quelle Q23

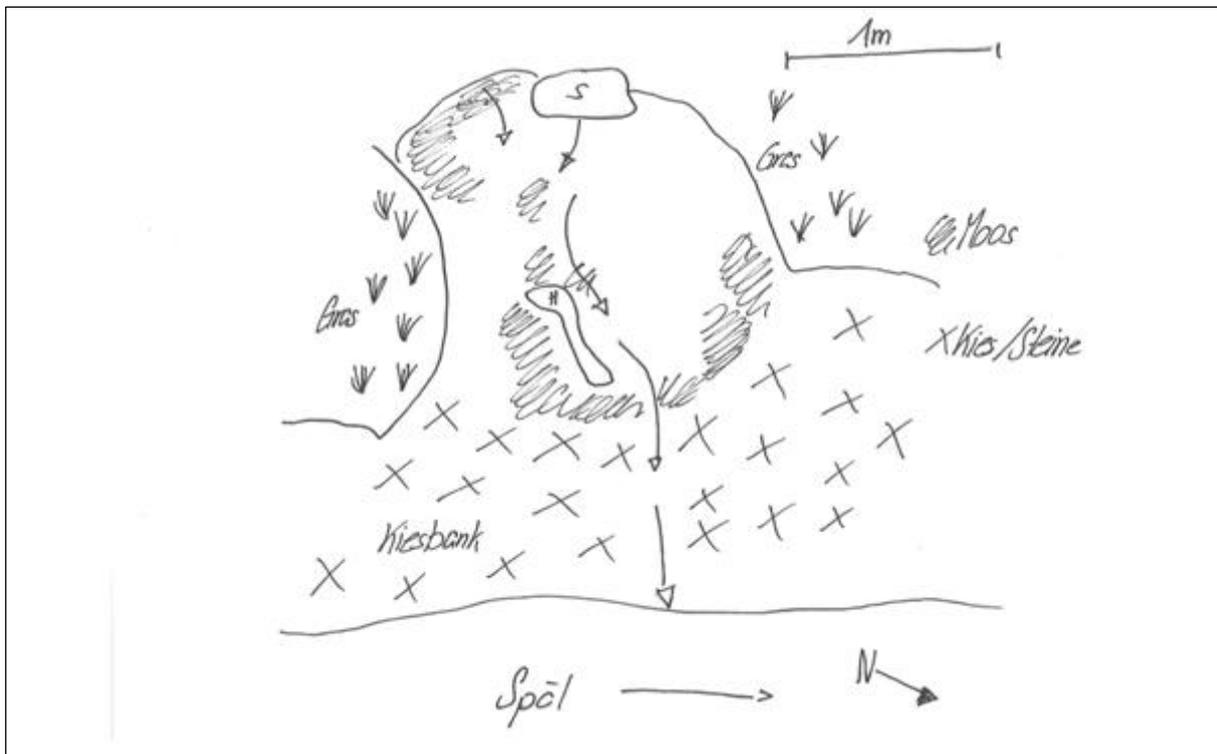


Abb. 22 Skizze von Quelle Q23

4.2 Abiotische Parameter

Die Strukturdaten widerspiegeln, dass sich die Quellen in ihrer Substratzusammensetzung nicht sehr stark voneinander unterscheiden (Tab.1). In allen Quellen hat es Moospolster, Totholz, FPOM (Fine Particulate Organic Matter) und Steine. Die Moospolster spielen in mehr als der Hälfte aller untersuchten Quellen eine wichtige Rolle und machen dort einen Anteil von 40 - 60 % aus.

Tab. 1: Häufigkeit der unterschiedlichen Substrattypen in den Quellen. 1: <20%, 2: 20-40%, 3: 40-60%, 4: 60-90%, 5: >90%

Quelle	Moospolster	Wurzelräume	Fallaub	Totholz	FPOM	Vegetation	Ton / Schluff	Sand	Feinkies	Mittel-Grobkies	Steine	Blöcke
Q2a	3	-	-	1	1	1	-	1	3	3	3	2
Q2b	2	-	-	1	1	1	-	-	-	1	2	1
Q3	3	-	1	1	1	-	-	1	2	1	2	1
Q4	3	-	-	1	1	1	1	1	-	1	1	1
Q8	3	-	-	1	1	-	2	1	-	-	1	1
Q12	1	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Q13	3	-	-	1	1	1	1	1	-	1	2	1
Q16	2	1	-	1	1	1	-	-	-	1	1	1
Q19	3	-	-	2	1	1	-	1	1	2	1	1
Q23	2	-	-	1	1	1	-	1	1	2	1	-

Bei den physikochemischen Parametern fehlen etliche pH-Werte, da während der Feldarbeit eine Pufferlösung zum Kalibrieren verloren ging. Ausserdem wurden zu Q23 keine physikochemischen Parameter aufgenommen, weil diese Quelle bei der Feldarbeit erst am letzten Tag gefunden wurde und aufgrund ihrer Lage in der Nähe des Flusses faunistisch untersucht wurde. Da aber am letzten Tag keine Messgeräte mitgenommen wurden, fehlen nun diese Parameter (Tab. 2).

Die Sauerstoffwerte liegen bei den meisten Quellen um die 100%, was je nach Wassertemperatur Werte zwischen 9.8 und 10.4 mg/l bedeuten. Die Messung bei Q11a weist mit 91% den niedrigsten Sauerstoffgehalt auf. Die Wassertemperaturen liegen zwischen 5.8°C und 7.9°C. Die elektrische Leitfähigkeit des Quellwassers weist

Unterschiede im Bereich von rund 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf und reicht von 358 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Q12) bis zu 469 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Q2b) (Tab.2). In Einzugsgebieten mit Karbonatgestein, wie dies hier mit dem Engadiner Dolomit der Fall ist, liegen die Leitfähigkeitswerte typischerweise zwischen 300 und 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (VETTER 1992).

Tab. 2: Messwerte der Quellen bei *Punt Periv*. Fett markiert sind die zehn Quellen, welche faunistisch und strukturell untersucht wurden.

Quelle	Leitfähigkeit	Temperatur	Sauerstoff		pH
	$\mu\text{S}/\text{cm}$	$^{\circ}\text{C}$	mg/l	%	
Q1	434	7.9	9.8	99	
Q2a	434	7.9	9.8	99	
Q2b	469	7.3	10.1	103	7.4
Q3	467	7.5	9.9	100	
Q4	440	7.4	10.3	104	
Q5	438	7.5	9.8	99	
Q6	434	7.1	9.9	100	
Q7	394	6.1	10.2	101	
Q8	389	5.8	10.4	102	7.8
Q9	385	5.6	9.5	96	
Q10	422	6.7	9.6	96	
Q11a	381	6.5	9.1	91	
Q11b	371	6.2	9.7	98	
Q12	358	5.8	10.4	101	
Q13	399	6.6	9.9	99	
Q14	406	6.8	10	100	
Q15	412	7.1	9.8	98	
Q15a	412	7.8	9.4	97	
Q15b	414	7.1	9.6	99	
Q16	411	6.9	9.8	98	7.7
Q17	410	8.2	9.9	100	
Q18	410	7.3	9.8	99	
Q19	409	7	9.9	100	
Q20	412	7	9.8	99	
Q21	423	8.2	9.4	98	
Q22	410	6.8			
Q23					

4.3 Faunistische Daten

Aus den quantitativen Proben der zehn Quellen wurden insgesamt 3789 Individuen aussortiert und bestimmt. Von den 48 identifizierten Taxa konnten 19 auf Artniveau bestimmt werden (Tab.3). Einige Gruppen wurden nur nach Klasse oder Ordnung unterteilt und ausgezählt. Dies sind Oligochaeta, Acari, Ostracoda, Collembola, Bivalvia und Heteroptera. Die Gruppe der Acari, die in neun von zehn Quellen vorkommt und der insgesamt 208 Individuen zugeordnet werden konnten, ist relativ divers, hier wären bei genauerem Bestimmen mehrere taxonomische Gruppen zu erwarten. Diese Proben wurden nun auch nach Kiel verschickt, wo sie am Zoologischen Institut der Christian-Albrecht-Universität genauer bestimmt werden.

Die Spannweite der Individuenzahlen der einzelnen Quellen reicht von 194 Individuen (Q2a) bis zu 545 Individuen (Q2b). Allerdings ist von der Gesamtanzahl an Individuen in Q2b ein grosser Teil von 407 Exemplaren den Chironomiden zugehörig. Wenn man die Anzahl Chironomiden von den Gesamtindividuenzahlen abzieht, zeigt sich ein anderes Bild, bei dem Q8 mit 371 und Q19 mit 351 Individuen die meisten Individuen haben. Die höchste taxonomische Vielfalt hat Q8 mit 26 Taxa, gefolgt von Q13 mit 24 Taxa und Q12 und Q19 mit jeweils 23 Taxa. Am wenigsten Diversität weist Q2a auf, mit nur 12 taxonomischen Gruppen.

Die grösste Gruppe bilden die Dipteren, welche mit 1922 Exemplaren mit Abstand am häufigsten waren. Auch bei der Anzahl an taxonomischen Gruppen würden die Dipteren die grösste Diversität aufweisen, allerdings konnte nur bei den Waffenfliegenlarven (Stratiomyidae) auf Artniveau bestimmt werden (*Oxycera pardalina* (MEIGEN, 1822), *O.locuples* (LOEW, 1857) und *O.meigenii* (STAEGER, 1844)). Innerhalb der Dipterenlarven sind die Chironomidenlarven mit Abstand am häufigsten vertreten. Sie fehlen in keiner Quelle und haben eine Abundanz zwischen 62 und 407 Exemplaren pro Quelle. Innerhalb der Chironomiden sind mehrere taxonomische Gruppen vorhanden, die bei der Bestimmung nicht unterschieden wurden und somit einfach als Chironomiden zusammengefasst wurden.

Die individuenreichste Gruppe nach den Dipteren sind die Plecopteren. 668 der bestimmten Larven gehören diesem Taxon an. Die meisten Larven (321) wurden als *Nemurella pictetii* (KLAPALEK, 1900) identifiziert. *Protonemura lateralis* (PICTET, 1835) ist die zweithäufigste Art mit 144 Individuen. Beide Arten kommen ausnahmslos in allen Quellen vor. Die Plecopteren sind in Q2a am wenigsten vertreten. Nur die beiden häufigsten Arten *Nemurella pictetii* und *Protonemoura lateralis* kommen in dieser Quelle vor.

Eine weitere wichtige Gruppe sind die Trichopteren. Acht Taxa mit insgesamt 81 Larven wurden erhoben. In den Proben aus Q16 waren keine Trichopterenlarven zu finden. Auch die Proben von Q12 enthielten nur gerade ein Individuum bei den Trichopteren und damit deutlich weniger als die Proben der anderen Quellen. Bemerkenswert sind die Funde von

Apatania sp. die zum ersten Mal in dieser Region nachgewiesen wurde. Ob es sich dabei um *A. muliebris* oder *A. helvetica* handelt, müsste mit Imagines geklärt werden (LUBINI 2014, per Mail).

Die dritten Vertreter der EPT-Taxa, die Ephemeropteren sind in sehr geringer Zahl in den Quellen vertreten. So sind es insgesamt nur 11 Individuen, die in 5 Quellen vorkommen und den beiden Arten *Baetis rhodani* (PICTET, 1843) und *Baetis cf alpinus* (PICTET, 1843) angehören.

In allen Quellen vorhanden mit insgesamt 138 Individuen sind die Turbellaria mit der Art *Crenobia alpina* DANA, 1766). 218 Amphipoden wurden gezählt und der Art *Gammarus fossarum* (KOCH, 1835) zugeordnet. Unter den Gastropoden hat es hauptsächlich Landarten, wie *Punctum pygmaeum* (DRAPARNAUD, 1801), die in die Quelle gefallen sind. *Galba truncatula* (O.F.MUELLER, 1774) ist die einzige identifizierte Art, die zu der Gruppe der Wasserschnecken gehört.

Ökologische Wertezahl

FISCHER (1996) entwickelte ein Bewertungsverfahren für Quellorganismen, das auf ihrer Quellbindung beruht. Dabei erhalten stenotope Quellbewohner eine höhere Wertezahl zugeordnet, und weniger stark an Quellen gebundene eine entsprechend kleinere Zahl. Folgende Wertezahlen werden vergeben: 16 für Kenobiont, 8 für Krenophil, 4 für Krenophil-rhithrobiont, 2 für Rhithrobiont, hygrophil und 1 für Eurytop (LUBINI ET AL. 2014).

Anhand der Tabellen von FISCHER (1996) und LUBINI ET AL. 2014 wurde den identifizierten Organismen der Spölquellen je eine ökologische Wertezahl zugeordnet (Tab.3). Krenobionte Organismen, also Organismen die eng an Quellen gebunden sind, mit der Wertezahl 16 sind folgende: *Nemoura sinuata* (RIS, 1902), *Apatania muliebris / helvetica*, *Oxycera* sp. (MEIGEN, 1803), *O.pardalina* (MEIGEN, 1822) und *Crenobia alpina* (DANA, 1766). Eurytope Organismengruppen mit der Wertezahl 1 hat es nur zwei, *Nemoura cinera cinerea* (RETZIUS, 1783) und *Baetis rhodani* (PICTET, 1843).

Tab. 3: Artenliste und Vorkommen in den einzelnen Quellen. Ökologische Wertezahl (ÖWZ) nach FISCHER (1996) und LUBINI ET AL. (2014). **Rot:** spölnahe Quellen; **Blau:** spöferne Quellen

		ÖWZ	Q2a	Q2b	Q3	Q4	Q8	Q12	Q13	Q16	Q19	Q23
Turbellaria	<i>Crenobia alpina</i> (DANA, 1766)	16	12	13	10	4	13	24	11	4	25	22
Gastropoda	Gastropoda		2	-	-	2	-	20	12	2	-	2
	<i>Galba truncatula</i> (O.F.MUELLER, 1774)	8	-	-	-	1	1	2	6	-	-	-
	Oxychilidae		-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
	<i>Punctum pygmaeum</i> (DRAPARNAUD, 1801)		-	-	-	2	-	1	-	-	-	-
	Vertiginidae (FITZINGER, 1833)		-	-	-	-	-	1	1	-	-	-
Bivalvia			-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Oligochaeta			14	53	10	26	7	1	5	7	-	2
Acari			-	5	7	1	47	23	29	31	55	10
Ostracoda			-	-	1	1	89	11	119	102	19	1
Amphipoda	<i>Gammarus fossarum</i> (KOCH, 1835)	4	16	12	70	84	-	-	1	-	-	35
Collembola			-	2	2	-	2	1	2	-	1	2
Ephemeroptera	<i>Baetis cf alpinus</i> (PICTET, 1843)	4	2	-	-	-	-	-	-	1	2	-
	<i>Baetis rhodani</i> (PICTET, 1843)	1	-	-	-	-	1	-	1	2	2	-
Plecoptera	<i>Leuctra sp.</i> (STEPHENS, 1836)	4	-	-	-	-	2	-	-	-	1	2
	<i>Leuctra gr. braueri-muranyii</i> (KEMPNY, 1898)	8	-	1	1	3	2	1	4	1	6	1
	<i>Leuctra rosinae</i> (KEMPNY, 1900)	8	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
	<i>Nemoura spp.</i>	4	-	2	-	11	3	3	4	1	6	-
	<i>Nemoura cinerea cinerea</i> (RETZIUS,1783)	1	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
	<i>Nemoura mortoni</i> (RIS,1902)	8	-	-	-	-	12	19	7	1	25	-
	<i>Nemoura sinuata</i> (RIS,1902)	16	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-
	<i>Nemurella pictetii</i> (KLAPALEK,1900)	8	1	2	8	28	96	5	43	57	80	1
	Perlodeia	2	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-
	<i>Protonemura sp.</i> (KEMPNY,1898)	4	-	-	-	-	11	-	-	-	61	2
	<i>Protonemura lateralis</i> (PICTET,1835)	4	10	9	13	7	41	8	2	2	43	9
	<i>Protonemura nitida</i> (PICTET, 1835)	4	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Heteroptera			-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
Coleoptera	Dytiscidae		-	-	-	-	2	-	1	-	-	-
	<i>Haliplus</i> (LATREILLE, 1802)	4	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Trichoptera	<i>Apatania muliebris/helvetica</i>	16	-	1	4	1	-	1	2	-	1	-
	<i>Drusus spp.</i> (STEPHENS, 1837)	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	<i>Drusus biguttatus</i> (PICTET, 1834)	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	<i>Lithax niger</i> (HAGEN, 1859)	8	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
	Polycentropodidae		-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
	<i>Plectrocnemia sp.</i> (STEPHENS, 1836)	4	1	9	3	-	-	-	1	-	1	-
	<i>Plectrocnemia geniculata</i> (MCLACHLAN, 1871)	8	-	1	2	3	2	-	-	-	-	-
	<i>Rhyacophila sp.</i> (PICTET, 1834)	2	6	7	6	5	6	-	1	-	5	4
Diptera	Diptera		-	4	-	3	4	1	2	5	-	10
	Ceratopogonidae		-	-	-	-	1	1	1	1	-	-
	Chironomidae		127	407	62	305	66	169	117	287	121	100
	<i>Limoniidae Gen. sp.</i>		-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Eloeophila</i> (RONDANI, 1856)	4	-	-	1	4	-	2	-	-	-	-
	<i>Dicranota sp.</i> (ZETTERSTEDT, 1835)	4	1	3	-	11	-	3	-	-	2	1
	<i>Psychodidae Gen. sp.</i>		-	-	-	-	-	-	1	-	1	1
	<i>Oxycera sp.</i> (MEIGEN, 1803)	16	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
	<i>Oxycera locuples</i> (LOEW, 1857)		-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
	<i>Oxycera meigenii</i> (STAEGER, 1844)	8	-	-	3	1	3	-	1	-	-	-
	<i>Oxycera pardalina</i> (MEIGEN, 1822)	16	-	13	31	5	19	-	-	4	12	1
	Anzahl Taxa		12	18	19	23	26	23	24	18	23	20
	Anzahl Individuen		194	545	236	513	437	300	374	510	472	208

4.1 Resultate der statistischen Datenanalyse

nMDS und ANOSIM

Die nMDS (non-metric Multidimensional Scaling) (Abb. 24) zeigt eine Anordnung der Quellen, die relativ eindeutig eine Einteilung der Daten in zwei Gruppen zulässt. Die Güte der Darstellung im Zweidimensionalen Raum ist mit einem Stress von 0.1 gut. Die Einteilung entspricht der Einteilung der Quellen nach Distanz zum Spöl, in nah und fern. Die Quellen Q2a, Q2b, Q3, Q4 und Q23, die alle zwischen 2.5 und 4 Meter vom Spöl entfernt liegen und direkt in diesen entwässern, sind sich relativ ähnlich, sowie die Gruppe der anderen Quellen Q8, Q9, Q12, Q13 und Q16, die über ausgedehntere Quellbäche den Spöl erreichen. Eine ANOSIM bestätigt diese räumliche Distanz, die beiden Gruppen unterscheiden sich signifikant voneinander (R: 0.864, p:0.008).

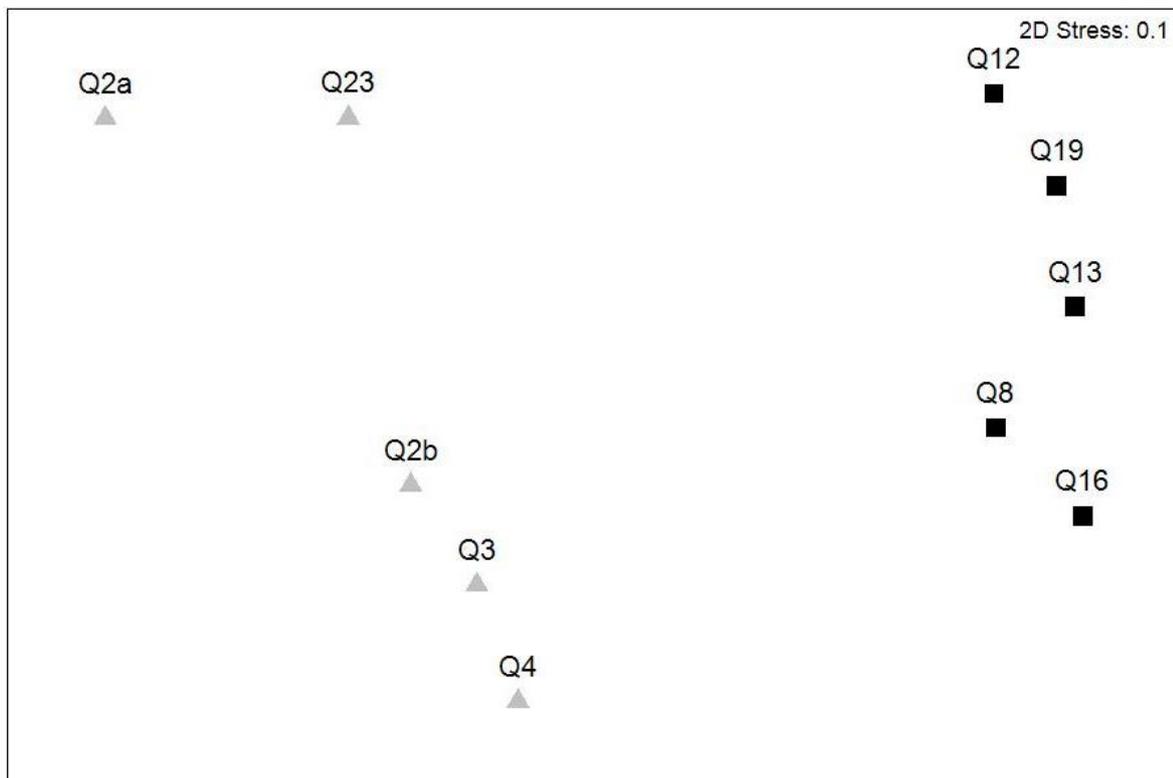


Abb. 24 : Nicht-metrische Multidimensionale Skalierung (nMDS) der zehn untersuchten Quellen auf Basis der faunistischen Daten. Ähnlichkeitsindex: Bray-Curtis-Similarity, Transformation: $\log(x+1)$. Faktor: Distanz zum Spöl: \blacktriangle = 2.5-4m, \blacksquare = >5m. ANOSIM: R=0.864 p=0.008

PCA

Die PCA (Principal Component Analysis) zu den abiotischen Faktoren zeigt, dass die ersten fünf Komponenten insgesamt 87.5% der Varianz erklären. Die Komponente Eins erklärt 34.2 %, die Komponente Zwei 19.3% und die Komponente Drei 14.7% (Tab.4).

Tab. 4: Eigenwerte und Varianz der PCA. Werte der ersten fünf Hauptkomponenten (PC).

PC	Eigenwert	% Varianz	Kumulativ
1	5.47	34.2	34.2
2	3.09	19.3	53.5
3	2.35	14.7	68.2
4	1.61	10.0	78.2
5	1.49	9.3	87.5

Auf der Komponente 1 (PC1) haben vor allem *Sauerstoff mg/l* und *Ton/Schluff* eine hohe Ladung in positiver Richtung. Diese Faktoren sind hauptsächlich in Q8 und Q12 erheblich, die beiden Quellen haben eine Score von 3.47 (Q8) und 2.24 (Q12). In negativer Richtung sind die *Temperatur*, sowie beiden Kiesklassen *Feinkies* und *Mittel-Grobkies* ausschlaggebend. Eine hohe Score erreichen hier Q2a mit -4.55 und Q3 mit -1.95.

Der Substrattyp *Wurzelräume* hat bei der Komponente 2 eine hohe Ladung in positiver Richtung, was auf die Quellen Q16 und Q2b hinweist, die eine Score von 3.94 (Q16) und 1.77 (Q2b) haben. In negativer Richtung dominiert in erster Linie die Variable *Sand* und damit die Quellen Q3 und Q8 mit einer Score von -1.36 (Q3) und -1.48 (Q8).

Tab. 5: Komponentenmatrix der PCA. Hohe Ladungen sind fett markiert.

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	-0.230	0.063	0.473	-0.254	-0.217
Temperatur $^{\circ}\text{C}$	-0.361	0.071	0.197	-0.218	-0.188
Sauerstoff mg/l	0.337	-0.236	-0.015	-0.279	0.063
Sauerstoff %	0.196	-0.189	0.186	-0.540	-0.246
pH	0.194	0.338	0.241	-0.068	0.159
Moospolster	-0.163	-0.247	0.183	0.102	-0.230
Wurzelräume	0.033	0.478	0.008	0.281	0.118
Fallaub	-0.134	-0.165	0.442	0.355	0.001
Totholz	-0.068	-0.029	-0.259	0.233	-0.625
Vegetation	-0.079	0.261	-0.430	-0.338	-0.169
Ton/Schluff	0.322	-0.282	-0.056	-0.036	0.214
Sand	-0.037	-0.524	-0.181	0.162	-0.005
Feinkies	-0.341	-0.193	-0.064	0.100	0.227
Mittel-Grobkies	-0.372	0.009	-0.292	-0.107	-0.040
Steine	-0.337	-0.060	0.100	-0.201	0.321
Blöcke	-0.312	-0.065	-0.171	-0.204	0.374

5. Diskussion

5.1 Methodenkritik

Die Probennahme war vor allem für die Trichopterenarten zu früh im Jahr. Die Larven sind noch zu klein und können daher nicht eindeutig bestimmt werden. Bei den Limnephilidae und Rhyacophila braucht es zur eindeutigen Bestimmung Larven im letzten Larvenstadium, da sich etliche Merkmale erst dann entwickeln.

Bei der quantitativen Beprobung mit dem Surber-Sampler ist die mechanische Beanspruchung durch das mehrmalige Umschütten relativ gross und so haben auch viele Larven Extremitäten, Cerci oder Antennen verloren, die zur Bestimmung teilweise sehr zentral sind. So war die Bestimmung bei den Ephemeroptera erschwert, da die wenigen gesammelten Exemplare meistens keine Beine mehr hatten.

In den eher steinigen Quellen ist die Beprobung mit dem Surber-Sampler etwas erschwert, da sich der Rahmen in der Quelle teilweise nicht gut aufzusetzen lässt und Schlupflöcher entstehen, durch die Organismen entweichen können (VON FUMETTI 2004). In der Quelle Q2b die neben steinigem Substrat auch noch relativ wenig Schüttung aufweist, hat sich die Beprobung mit dem Surber-Sampler entsprechend schwierig gestaltet. Dies ist nun auch die Quelle mit der geringsten Anzahl Taxa.

Zur Strukturierung: es fällt auf, dass bei Q2a deutlich höhere Werte vorliegen in der Strukturierung als bei den anderen Quellen. Dies hat wahrscheinlich damit zu tun, dass Q2a die erste strukturell erfasste Quelle war. Da auch zuvor nie mit dem Strukturbogen gearbeitet wurde, war es sehr schwer, die Strukturen in ihrer Häufigkeit abzuschätzen. Es ist gut möglich, dass diese Unsicherheit in der ersten Erfassung zu erkennen ist. Bei den weiteren Erfassungen war dann klarer, wie es funktioniert und man hatte auch Vergleichswerte.

Die fehlenden pH-Werte sind bedauernd, da der pH-Wert einen sehr grossen Einfluss auf die faunistische Zusammensetzung in einem Gewässer haben kann, da viele Organismen sehr sensibel auf pH-Schwankungen reagieren und ein schmales Spektrum an pH-Werten akzeptieren. Allerdings hat VETTER (1992) bei den Punt Periv Quellen pH-Werte zwischen 7.3 und 7.9 gemessen, es wurden also nur geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Quellen festgestellt.

5.2 Ergebnisdiskussion

Die Auswertung der faunistischen Daten zeigen bei der nMDS eine klare Trennung der Quellen in zwei Gruppen. Diese beiden Gruppen entsprechen der Einteilung nach der Distanz zum Spöl. Spölnahe Quellen weisen eine andere faunistische Zusammensetzung auf als spölferne Quellen. Eine erste Vermutung war, dass dieser klare Unterschied in der Artzusammensetzung mit der Quellbindung der einzelnen Organismen zusammenhängen könnte. Aufgrund der ökologischen Wertezahl (ÖWZ) wurde diese Annahme untersucht. Betrachtet man die Taxa mit der Wertezahl 16, also einer starken Quellbindung, so zeigt sich folgendes Bild: *Cenobia alpina* (DANA, 1766) kommt in allen Quellen vor, auch die Abundanz ist in den beiden Quellgruppen ähnlich. *Oxycera* spp. kommen nicht in allen Quellen vor, allerdings fehlen sie sowohl in spölnahen als auch in spölfernen Quellen. *Apatania muliberis* / *helvetica* kommt gleichmässig verteilt in beiden Gruppen von Quellen vor. Die beiden Exemplare von *Nemoura sinuata* (RIS, 1902) kommen in spölfernen Quellen vor, würden also für die Hypothese sprechen. Da jedoch alle anderen Arten mit der höchsten Wertezahl in beiden Gruppen von Quellen etwa gleichmässig verteilt vorkommen, kann diese Hypothese nicht bestätigt werden. Auch die Verteilung der Arten mit sehr tiefen ökologischen Wertezahlen, wie *Nemoura cinera cinera* (RETZIUS, 1783), *Drusus biguttatus* (PICTET, 1834), *Rhyacophila* sp. (PICTET, 1834) und *Baetis rhodani* (PICTET, 1843) lassen keinen Rückschluss auf die beiden Gruppen zu. Die beiden Gruppen von Quellen unterscheiden sich also in ihrer faunistischen Zusammensetzung nicht aufgrund der Quellbindung ihrer Bewohner. Es hat sowohl krenobionte als auch eurytope Arten in beiden Gruppen von Quellen.

Unterschiede bei den beiden Gruppen von Quellen zeigen sich deutlich in der durchschnittlichen Anzahl Taxa und in der durchschnittlichen Individuenzahl. Die spölnahen Quellen Q2a, Q2b, Q3, Q4 und Q23 haben im Durchschnitt rund 18 Taxa und 339 Individuen. Die spölfernen Quellen Q8, Q12, Q13, Q16 und Q19 beherbergen durchschnittlich rund 23 Taxa und 418 Individuen und sind damit sowohl artenreicher als auch individuenreicher (Tabelle 3). Der durchschnittliche Individuenreichtum der beiden Quellgruppen wird stark durch das Vorkommen von Acari und Ostracoda in den spölfernen Quellen beeinflusst. Denn rund 89% der Acari und 99% der Ostracoda wurden in spölfernen Quellen gesammelt. Acari bilden einen wichtigen Bestandteil der Quellfauna und weisen eine hohe ökologische Spezialisierung auf. Rund 50% der Acari, welche in Quellen vorkommen, sind krenobiont (DI SABATINO, CICOLANI & GERECKE 2003). Des Weiteren fällt auf, dass *Nemoura mortoni* (RIS, 1902) ausschliesslich und *Nemurella pictetii* (KLAPALEK, 1900) deutlich

häufiger in den spölfernen Quellen vorkommt. *Gammarus fossarum* (KOCH,1835) hingegen ist fast ausschliesslich in den spölnahen Quellen zu finden.

Wie diese Unterschiede zustande kommen ist eine spannende Fragestellung. Liegt es grundsätzlich an der Nähe zu einem grösseren Fliessgewässer oder hat es konkret mit dem beeinträchtigten Wasserregime des Spöls zu tun, der aufgrund der Staumauer Punt dal Gall kaum natürliche Pegelschwankungen hat. Zudem ist es denkbar, dass sich das Extremereignis im Spöl vom 30. März 2013, als eine grosse Menge Schlamm den Spöl unwirtlich machte, auf die Artenzusammensetzung in den Quellbächen und Quellen von Punt Periv ausgewirkt hat, da bei diesem ökologischen Extremereignis der Fluss als Lebensraum für die Wasserfauna vorübergehend vollkommen zerstört wurde und daher möglicherweise gewisse Flussbewohner in die intakten Bach- und Quellhabitats in der nahen Umgebung ausgewichen sind. Eine derartige Auswirkung des Ereignisses könnte sich stärker auf die Quellen in Spölnähe ausgewirkt haben als auf diejenigen, die über längere Bäche mit dem Spöl verbunden sind.

Untersuchungen zur regionalen Zonierung von Quellen im Jura haben ergeben, dass sich die Makoinvertebraten Zusammensetzung im eukrenal signifikant von der Artzusammensetzung im hypokrenal unterscheiden. Dabei wurde angenommen, dass das hypokrenal dort beginnt, wo die Wassertemperatur mehr als 1°C höher ist als beim Wasseraustritt, was meistens innerhalb der ersten fünf Meter der Fall war (VON FUMETTI, NAGEL & BALTES 2007). Die untersuchten spölnahen Quellen münden nach weniger als fünf Metern in einen Fluss, somit fehlen die Lebensräume des Hypokrenal und Rhithral, was sich in den untersuchten Quellen auf die Lebensgemeinschaft im Eukrenal auswirkt.

Dass zwischen den abiotischen Parametern und der Quellfauna keine direkten Zusammenhänge eruiert werden konnten, wird daran liegen, dass die Unterschiede in Temperatur, Leitfähigkeit, pH (Messungen von VETTER 1992) und Sauerstoffgehalt zu gering sind, um sich merkbar auf die Quellfauna auszuwirken. Bei ähnlichen physikochemischen Eigenschaften sind Unterschiede in der Faunenzusammensetzung eher aufgrund von Substrat und Schüttung zu erwarten (VON FUMETTI 2006). VETTER (1992) hat eine Quelle kartiert, welche eine ausserordentlich hohe Leitfähigkeit von 1168 µS/cm aufweist. Solche hohen Leitfähigkeiten lassen auf Schichten mit Sulfaten im Einzugsgebiet schliessen. Diese Quelle mit dem Namen Ps 4 und den Koordinaten 808800/170160 (VETTER 1992, Anhang A21) liegt bei *Praspöl*, von *Punt Periv* gut zwei Kilometer flussabwärts, ebenfalls linksseitig des Spöls am Hang. Eine faunistische Untersuchung dieser Quelle wäre interessant, da die relativ grosse Abweichung der Leitfähigkeit auch faunistische Unterschiede erwarten lässt.

Unter den EPT-Taxa (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) hat es auch Arten, die auf der Roten Liste stehen. Bei den Trichopteren ist dies *Apatania muliberis/helvetica*. Um

welche Art es sich handelt, müsste mit Adultfängen überprüft werden. Beide Arten sind Quellbewohner und gelten laut „Rote Liste Eintagesfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen. Gefährdete Arten der Schweiz“ als stark gefährdet (EN). Ihr Lebensraum ist aufgrund von Trinkwasserfassungen oder Absenkung des Grundwasserspiegels zurückgegangen (LUBINI ET AL. 2012). *Plectrocnemia geniculata* (MCLACHLAN, 1871) und bei den Plecopterenlarven die Art *Nemoura sinuata* (RIS, 1902)) sind nach „Rote Liste Eintagesfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen. Gefährdete Arten der Schweiz“ (LUBINI ET AL. 2012) als potenziell gefährdet (NT) eingestuft. Letztere ist eine kaltstenotherme Art und lebt dementsprechend hauptsächlich im Krenal (LUBINI ET AL. 2012). Dies zeigt die Wichtigkeit von Schutzgebieten, wie dies der Schweizerische Nationalpark ist. Quelllebensräume, die nicht direkten anthropogenen Störungen ausgesetzt sind, bieten Habitate für etliche bedrohte Arten und tragen somit zum Erhalt der Biodiversität bei. Es wäre erstrebenswert, wenn auch Quelllebensräume ausserhalb des Nationalparks oder anderen Schutzgebieten besser geschützt würden

„Die Wissenschaft ist sich heute darin einig, dass sich das Klima aufgrund der zivilisationsbedingten Treibhausgas-Emissionen ändert.“ (LUBINI ET AL. 2012, S.68). Die Daten aus der Klimastation Samedan zeigen auf, dass die Temperatur in den letzten 30 Jahren um 0.31°C pro Dekade zugenommen hat (METEOSCHWEIZ.CH). Mit der Zunahme der Temperatur werden sich wohl mit der Zeit auch die Quellwassertemperaturen verändern, was sich unmittelbar auf die Lebensgemeinschaften in den Quellen auswirken kann. So werden die Lebensräume für Glazialrelikte, wie *Crenobia alpina* oder andere kaltstenotherme Organismen, immer knapper werden. Durch die Temperaturzunahme in Flüssen und Bächen ist eine Veränderung der Längszonierung in höhere Lagen zu erwarten. Während subalpine Arten vermehrt in die alpine Stufe ausweichen können und somit in die Areale der dort lebenden, meist kaltstenothermen Arten eindringen, werden die Lebensräume für diese alpinen Arten eng und somit erhöht sich deren Aussterberisiko (LUBINI ET AL. 2014).

Der Wert von Schutzgebieten, wie der Schweizer Nationalpark, ist aus verschiedenen Gründen sehr hoch. Für die Wissenschaft bieten solche Gebiete mit ihren natürlichen Habitaten eine Grundlage für die Forschung. Da es kaum noch Quellen gibt, die nicht anthropogen geprägt sind, sind die Quellen im Nationalpark besonders wichtig, denn hier können Informationen zur natürlichen Artenzusammensetzung in Quellen untersucht werden, sowie im Rahmen von einem Monitoring die Einwirkung von Klimaveränderungen erforscht werden. Diese Bachelorarbeit ergänzt das Inventar der alpinen Quellfauna im schweizerischen Nationalpark, welches im Rahmen von FELDERS (2013) Masterarbeit entstanden ist. Die Erhobenen Daten bilden eine Grundlage für weitere Fragestellungen und Untersuchungen der Quellfauna im schweizerischen Nationalpark.

6. Literaturverzeichnis

- BALTES, B., VON FUMETTI, S., KÜRY, D., BUSER, S., CONTESSE, E. & NAGEL, P. (2004) Entwurf Quellkartieranleitung. Biogeografie, Universität Basel. 10 S.
- BEERLI, N. (2013) Vegetationsanalyse des Umfeldes einiger Quellen im Schweizerischen Nationalpark. Forschungsstudie Biogeografie. Universität Basel. 14 S.
- BINZ, A. & HEITZ, C. (1990) Schul- und Exkursionsflora für die Schweiz, mit Berücksichtigung der Grenzgebiete. Bestimmungsbuch für wildwachsende Gefäßpflanzen. 18. Auflage. Schwabe Verlag, Basel. 624 S.
- BUNDESAMT FÜR METEOROLOGIE UND KLIMATOLOGIE METEOSCHWEIZ (2013) Das Klima im SNP. Viel Sonne, wenig Niederschlag, extreme Temperaturen. In: HALLER, H., EISENHUT, A. & HALLER, R. (HRSG.) Atlas des Schweizerischen Nationalparks. Die ersten 100 Jahre. National-Park-Forschung Schweiz 99/1. Haupt Verlag, Bern 22-23
- CLARKE, K.R. & GORLEY, R.N. (2006) Primer v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth. 190 S.
- DI SABATINO, A.D., CICOLANI, B. & GERECKE, R. (2003) Biodiversity and distribution of water mites (Acari, Hydrachnidia) in spring habitats. *Freshwater Biology* 48. 2163–2173
- FELDER, S. (2013) Faunistische Charakterisierung alpiner Quellen im Schweizerischen Nationalpark. Masterarbeit, Departement Umweltwissenschaften, Universität Basel. 41 S
- FISCHER, J. (1996) Bewertungsverfahren zur Quellfauna. *Crunoecia* 5, 227-240
- FURRER, H., SCHLÜCHTER, C., INDERBITZIN, E., POINTNER, E., MARGRETH, A., GAAR, D., & FREI, J. (2013) Geologie und Erdgeschichte. Lithologisches und zeitliches Fundament des SNP. In: HALLER, H., EISENHUT, A. & HALLER, R. (HRSG.) Atlas des Schweizerischen Nationalparks. Die ersten 100 Jahre. National-Park-Forschung Schweiz 99/1. Haupt Verlag, Bern. 16-17
- LAUBER, K., WAGNER, G. & GYGAX, A. (2012) Flora Helvetica. Mobile Version. Haupt Verlag, Bern
- LEYER, I. & WESCHE, K. (2007) Multivariate Statistik in der Ökologie: eine Einführung. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York. 221 S.
- LUBINI, V., STUCKI, P. & VICENTINI, H. (2009) Ökologische Bewertung von Quellen. Methoden. Entwurf. Bundesamt für Umwelt, Sektion Arten- und Biotopschutz, Abteilung Natur, Bern. 23S.

LUBINI-FERLIN, V., STUCKI, P., VICENTINI, H. & KÜRY, D. (2014) Ökologische Bewertung von Quell-Lebensräumen in der Schweiz. Entwurf für ein strukturelles und faunistisches Verfahren. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. 33 S.

LUBINI, V., KNISPEL, S., SARTORI, M., VICENTINI, H. & WAGNER, A. (2012) Rote Listen Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug Nr. 1212. 111 S.

NADIG, A. (1942) Hydrobiologische Untersuchungen in Quellen des Schweizerischen Nationalparks im Engadin. Unter besonderer Berücksichtigung der Insektenfauna. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchung im Schweizerischen Nationalpark. Band 1. Nr. 9. Verlag H.R. Sauerländer & Co, Aarau. 432 S.

SCHANZ, F., SCHEURER, T. & STEINER, B. (HRSG.) (2012) Ergebnisse aus 70 Jahren Gewässerforschung im Schweizerischen Nationalpark. National-Park-Forschung in der Schweiz 98. Lüdin AG, Liestal. 5-6.

SCHINDLER, H. (2004) Bewertung der Auswirkungen von Umweltfaktoren auf die Struktur und Lebensgemeinschaften von Quellen in Rheinland-Pfalz. Dissertation, Institut für Naturwissenschaften der Universität Koblenz-Landau, Abt. Biologie, 203 S.

SCHLOETH, R. (1976) Der Schweizerische Nationalpark. 2. Auflage. Ringier, Zofingen. 224 S.

SCHLÜCHTER, C., CLAUSEN, M., HAEMMIG, C., MARGRETH, A., POINTNER, E., STEINER, B., STRASKY, S. & VETTER, H. (2013) Quellen. Natürliche Wasseraustritte im Gelände. In: HALLER, H., EISENHUT, A. & HALLER, R. (HRSG.): Atlas des Schweizerischen Nationalparks. Die ersten 100 Jahre. National-Park-Forschung Schweiz 99/1. Haupt Verlag, Bern, 30-31

SCHÖNBORN, W. & RISSE-BUHL, U. (2013) Lehrbuch der Limnologie. 2.Auflage. Schweizerbart, Stuttgart. 51-63

THIENEMANN, A. (1924) Die Gewässer Mitteleuropas.- Eine hydrobiologische Charakteristik ihrer Haupttypen. Schweizerbart, Stuttgart. 144 S.

VETTER, H. (1992) Quartär-, Aktuo- und Hydrogeologie im Val dal Spöl (Schweizerischer Nationalpark) Geologische Grundlagen für langfristige Beobachtungen. Diplomarbeit, Geologisches Institut, ETH Zürich. 86 S.

VON FUMETTI, S. (2004) Anwendung ökologischer Quellbewertungsverfahren auf Quellen im Basler Umland. Diplomarbeit. Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz – Biogeographie, Universität Basel. 70 S.

VON FUMETTI, S., NAGEL, P., SCHEIFHACKEN, N. & BALTES, B. (2006) Factors governing macrozoobenthic assemblages in perennial springs in north-western Switzerland. *Hydrobiologia* 568. 467-475

VON FUMETTI S., NAGEL P., BALTES, B. (2007). Where a springhead becomes a springbrook- a regional zonation of springs. *Fundamental and Applied Limnology. Archiv für Hydrobiologie*. Vol. 196 (1). 37-48.

WEBER, M. (2006) Erfassung, Bewertung und strukturelle Typisierung naturnaher Quellen im Schweizer Alpenraum. Diplomarbeit, Fachhochschule Eberswalde. 149 S.

ZOLLHÖFER, J.M. (1997) Quellen. Die unbekanntes Biotop im Schweizer Jura und Mittelland erfassen – bewerten – schützen. Bristol-Stiftung Ruth und Herbert Uhl-Forschungsstelle für Natur- und Umweltschutz. Bristol-Schriftenreihe Band 6. 153 S.

Internetquellen

Der Schweizerische Nationalpark im Engadin.

URL: <http://www.nationalpark.ch/> (6.9.2014)

Geologie und Tektonik. Atlas des Schweizerischen Nationalparks:

URL:<http://www.atlasnationalpark.ch/de/themenbeitrag/geologie-und-tektonik> (6.9.2014)

Karten der Schweiz – Schweizerische Eidgenossenschaft:

URL:<https://map.geo.admin.ch> (13.9.2014)

Meteoschweiz. Klimastation Buffalora, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie
MeteoSchweiz.

URL:http://www.meteoschweiz.admin.ch/files/kd/climsheet/de/BUF_norm8110.pdf (6.9.2014)

Nationalparkgesetz 1980. Bundesgesetz über den Schweizerischen Nationalpark im Kanton Graubünden.

URL: <http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19800379/index.html> (6.9.2014)

Bestimmungsliteratur

SCHMEDTJE, U. & KOHMANN, F (1988) Bestimmungsschlüssel für die Saprobier DIN- Arten (Makroorganismen). München, Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft.

Diptera

ROZKOSNY, R. (2000) Insecta: Diptera: Stratiomyidae. In: Süßwasserfauna von Mitteleuropa. Band 21. 18. Stratiomyidae von Rudolf Rozkosny. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, Berlin. 110 Seiten.

SUNDERMANN, A. & LOHSE, S (2004) Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Zweiflügler (Diptera) in Anlehnung an die Operatrationelle Taxaliste für Fließgewässer in Deutschland. Forschungsinstitut Senckenberg. 20 S

Ephemeroptera

EISELER, B. (2005) Bildbestimmungsschlüssel für die Eintagsfliegenlarven der deutschen Mittelgebirge und des Tieflandes. Heft 53. Lauterbornia, Dinkelscherben. 112 S

Gastropoda

BOSCHI, C. (2011) Die Schneckenfauna der Schweiz. Ein umfassendes Bild- und Bestimmungsbuch. Haupt, Bern. 624 S.

Plecoptera

LUBINI, V., KNISPEL, S. & VINCON, G. (2012) Die Steinfliegen der Schweiz. CSCF (Hrsg.). Fauna Helvetica.

Trichoptera

WARINGER, J., GRAF, W. (2011) Atlas der mitteleuropäischen Köcherfliegenlarven. Erik Mauch Verlag. Dinkelscherben. 466 Seiten

Anhang

-Karte Untersuchungsgebiet

-Kartierbogenvorlage

-Redlichkeitserklärung