



Universität Basel
Departement Umweltwissenschaften
Forschungsgruppe Biogeographie



Lebensgemeinschaften ausgewählter Quellen in der UNESCO- Biosfera Engiadina Val Müstair



Bachelorarbeit

Julien Sentieiro, BSc Geowissenschaften

März 2018

Betreuung:

Dr. Stefanie von Fumetti

Titelbild: Marko von Fumetti

Danksagung

Für die Unterstützung bei der Verfassung dieser Arbeit möchte ich mich bedanken bei:

Dr. Stefanie von Fumetti für die geduldige und tatkräftige Unterstützung auf dem Feld und im Büro.

Marko von Fumetti für das Mitorganisieren der Probenahme und für einige Fotos.

Lea Mühlemann für das Mithelfen bei der Probenahme.

Lucas Blattner für die fachliche Unterstützung, unter anderem bei der Bestimmung der Milben.

Und nicht zuletzt meiner Familie und Freunden für die Unterstützung rund um den Arbeitsprozess.

Abstract

Quelllebensräume sind in Europa und in der Schweiz hochgefährdete Lebensräume. In Folge dessen gibt es viele Bestrebungen, die Quellfauna- und Struktur zu charakterisieren, um den ökologischen Wert von Quellen wissenschaftlich zu erfassen und naturschutztechnisch anzuerkennen bzw. zu schützen.

In diesem Sinne ist auch die Methodologie dieser Arbeit aufgebaut. Es wurden sechs hochalpine Quellen in der UNESCO-Biosfera Engiadina Val Müstair ausgewählt und nach ihren Artenzusammensetzungen des Makrozoobenthos untersucht. Die ausgewählten Quellen sind als naturnah anzunehmen und es handelt sich dabei vor allem um Rheokrenen. In der Biosfera Val Müstair gilt ein integriertes Naturschutzkonzept, welches den Einklang von Mensch und Natur als Kern dessen naturschützerischen Massnahmen darstellt. Dafür kann eine Charakterisierung der Quellen bezüglich des Makrozoobenthos und deren abiotischer Parameter von Nutzen sein; dies ist unter anderem Gegenstand dieser Arbeit.

Die Quellen wurden quantitativ mit einem Surber-Sampler und qualitativ mit einem Kescher beprobt. Ausserdem wurde deren Abiotik (Substratzusammensetzung und physikochemische Parameter) eingeschätzt und gemessen. Die Proben wurden im Labor aussortiert und die gefundene Makrofauna in systematische Grossgruppen aufgeteilt und bestimmt.

Die statistische Datenanalyse hat gezeigt, dass sich allgemein die jeweiligen Quellen in ihren Lebensgemeinschaften voneinander unterscheiden. Jedoch kommen auch grössere Ähnlichkeiten und grössere Unterschiede vor. Die Substratzusammensetzung ist im Allgemeinen durch Kies und Steine geprägt, jedoch konnten bei einigen Quellen für die anderen Substrate ebenfalls klare Dominanzen aufgezeigt werden.

Aufgrund des angewendeten strukturellen Bewertungsverfahrens konnten alle Quellen effektiv als naturnah eingestuft werden.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	7
1.) Einleitung	8
2.) Untersuchungsgebiet	11
2.1.) Geographische Beschreibung.....	11
2.2.) Auswahl und Lage der Quellen.....	13
2.3.) Geologie und Hydrologie.....	14
2.4.) Klima.....	19
2.5.) Vegetation und Landnutzung.....	20
3.) Material und Methoden.....	22
3.1.) Strukturkartierung und Aufnahme der physikochemischen Parameter.....	22
3.2.) Faunistische Aufnahme.....	23
3.3.) Aussortieren und Bestimmen im Labor.....	25
3.4.) Statistische Datenanalyse.....	25
4.) Ergebnisse.....	28
4.1.) Beschrieb der Quellen.....	28
4.2.) Abiotische Parameter.....	33
4.3.) Faunistische Daten.....	35
4.4.) Resultate der statistischen Datenanalyse.....	39
5.) Diskussion.....	42
5.1) Methodenkritik.....	42
5.2.) Diskussion der Ergebnisse.....	43
5.2.1.) Abiotische Parameter.....	43
5.2.2.) Faunistische Daten.....	44
5.2.3.) Statistische Datenanalyse.....	47
5.3.4.) Fazit.....	48
6.) Literaturverzeichnis.....	49
Anhang.....	54

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Kartenausschnitt des Untersuchungsgebiets (map.geo.admin.ch).

Abb. 2: Karte des UNESCO-Biosphären-Reservats Engiadina Val Müstair (nationalpark.ch).

Abb. 3: Kartenausschnitt der Lithologie des Untersuchungsgebiets (map.geo.admin.ch).

Abb. 4: Kartenausschnitt *GeoCover*, Vektordatensätze (map.geo.admin.ch).

Abb. 5: Kartenausschnitt *GeoCover*, Vektordatensätze: S-Charl-Kalk und Vallatscha-Dolomit (map.geo.admin.ch).

Abb. 6: Gewässernetz der Biosfera Val Müstair (atlasnationalpark.ch).

Abb. 7: Permafrostverteilung im Untersuchungsgebiet (map.geo.admin.ch).

Abb. 8: Klimadiagramm des Ofenpasses (meteoblue.com).

Abb. 9: Landnutzungsklassen für die Biosfera Val Müstair. Habitatp Datensatz, GIS (MEIER 2013).

Abb. 10: Räumliche Verteilung verschiedener Baumtypen/-arten im Untersuchungsgebiet (MEIER 2013, S. 57).

Abb. 11: Bewertungsklassen nach Schindler 2004 (LUBINI et al., 2014).

Abb. 12: Messung der physikochemischen Parameter (J. Sentieiro, 2017).

Abb. 13: Materialien für die faunistische Probenahme (J. Sentieiro, 2017).

Abb. 14: La Posa 1 (M. von Fumetti, 2017).

Abb. 15: La Posa 2 (J. Sentieiro, 2017).

Abb. 16: Era la Bescha unten (J. Sentieiro, 2017).

Abb. 17: Era la Bescha oben (M. von Fumetti, 2017).

Abb. 18: Era la Bescha oben nr. 2 (M. von Fumetti, 2017).

Abb. 19: Non-metric Multidimensional Scaling (nMDS) der sechs untersuchten Quellen.

Abb. 20: Principal Components Analysis (PCA) für die getesteten abiotischen Parameter.

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Die beprobten Quellen mit Kürzel, Exposition, Koordinaten (LV95) und Höhe über Meer (mNN).

Tab. 2: Verschiedene Vegetationsbedeckungen mit jeweiliger Fläche und prozentualen Anteil an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebiets (MEIER 2013).

Tab. 3: Messwerte der physikochemischen Parameter des Quellwassers der untersuchten Quellen.

Tab. 4: Häufigkeit der unterschiedlichen Substrattypen in den untersuchten Quellen.

Tab. 5: Einige beschreibende Grössen für die faunistischen Daten.

Tab. 6: Vollständige Taxaliste mit Häufigkeiten in den beprobten Quellen.

Tab. 7: Ähnlichkeitsmatrix für die beprobten Quellen.

Tab. 8: Eigenwerte, Varianz und Kumulative Varianz für die Hauptachsen der PCA.

Tab. 9: Text-Output der PCA mit Eigenvektoren.

Tab. 10: Text-Output der PCA nr. 2 mit Scores.

Tab. 11: Auflistung einiger der gefundenen Taxa mit Substrat- und Futterpräferenzen (SCHMEDTJE 1996).

Tab. 12: Auflistung einiger der gefundenen Taxa mit Habitatpräferenzen- und Bindungen (SCHMEDTJE 1996, MOOG 1995).

1.) Einleitung

„Quellen sind natürliche, permanent bis temporär fließende Grundwasseraustritte.“ (V. LUBINI ET. AL 2014, S. 4). Sie stellen also den Übergang vom Grundwasser in den Anfang eines Fließgewässers dar. Als solche Übergänge werden sie auch ‚Ökotope‘ genannt und beherbergen unterschiedliche Lebensgemeinschaften.

Es gibt ganz unterschiedliche Quelltypen, namentlich Rheokrenen (Sturzquellen), Helokrenen (Sickerquellen) und Limnokrenen (Tümpelquellen). Weiter können unterschiedliche hydrogeologische Quelltypen unterschieden werden wie z.B. Talquellen, Schichtquellen, Verwerfungsquellen, Karstquellen. Die Übergänge und Kombinationen dieser Quelltypen können sehr vielfältig sein (SCHÖNBORN & RISSE-BUHL 2013).

Der krenale Lebensraum ist aufgrund der hohen Wasser-Land-Verzahnung und der Beeinflussung des Einzugsgebiets (Geologie, Geomorphologie, umgebende Vegetation etc.) nicht ausschliesslich aquatisch und kann sehr divers sein (LUBINI et al. 2014).

Quellen sind im Allgemeinen besondere Lebensräume, die vor allem im naturnahen Zustand von einer spezialisierten und adaptierten Fauna besiedelt werden (SCHÖNBORN 2013). Dies ist unter anderem auf relativ konstante physikalische und chemische Bedingungen zurückzuführen. Sie gehören zu den limnischen Sonderlebensräumen, wie z.B. auch Auen, und sind sporadisch auftretende Inselbiotope. Als quelltypische Fauna können krenobionte und krenophile Arten sowie die sogenannte *Fauna Liminaria* bezeichnet werden. Jedoch gibt es in vielen Quellen auch eindringende Bach- und Grundwasserarten und andere Faunenelemente, welche unterschiedliche Anteile an der Gesamtf fauna annehmen.

Die Verteilung und Häufigkeit der quelltypischen Fauna (d.h. an Quellen ökologisch adaptierte Fauna) kann verwendet werden, um die ökologische Güte und Naturnähe der Quelle zu bestimmen, beispielsweise mit dem strukturellen und faunistischen Bewertungsverfahren nach Fischer (1996), welches auch von LUBINI et al. (2014) in abgeänderter Form verwendet wird.

Für die Diversität von Quellbiozöosen ist die Struktur- und Substratvielfalt entscheidend. Damit sind unter anderem die Beschaffenheit und Grösse von Quellufer und Quellbach, Vorhandensein von verschiedenen Gesteinsfraktionen (Fels, Kiesel, Sand etc.), verschiedenen Substraten wie Pflanzen, Moospolstern, Falllaub, Detritus/Schlamm usw., gemeint. Sie können mithilfe eines Strukturprotokolls erfasst werden und zur Kartierung einer Quelle beitragen.

In der Schweiz wurden seit 1880 mehr als die Hälfte der Quellen im Mittelland verdolt. In den Alpen wurden weniger Quellen verdolt, jedoch steigt auch dort der Nutzungsdruck stetig, unter anderem im Zusammenhang mit dem Klimawandel. Quellen und ihre Lebensgemeinschaften sind heutzutage hochgefährdet (LUBINI et al. 2014).

Die Zerstörung des Lebensraums Quelle hat stark negative Folgen auf die Biodiversität, weil viele Arten eine starke Bindung an ihr Habitat aufweisen (typische Quellfauna, stenöke und kaltstenotherme Arten etc.). Ausserdem trägt die sogenannte „Verinselung“ zu vermindertem genetischem Austausch bei, da die Quellen weniger nahe beieinander liegen als früher (SCHÖNBORN 2013). Die Quelldichte in einem Gebiet sinkt und die Vernetzung zwischen den Lebensräumen fehlt.

Die Gesetzesgrundlage für den Quellschutz in der Schweiz hat wenig geholfen, die Beeinträchtigung, Eindolung und Übernutzung von Quellen einzudämmen. So bezieht sich der Quellschutz in der Schweiz vor allem auf die Trinkwassernutzung, und nicht auf die Erhaltung der Quellen aufgrund ihres ökologischen Wertes (ZOLLHÖFER 1997).

Es gibt in der Schweiz Quellschutzgebiete, die aber, ähnlich wie die Grundwasserschutzgebiete, für die Trinkwassernutzung ausgeschrieben werden (ZOLLHÖFER 1997). „Von Gesetzes wegen sind Quellen durch Art. 18 des Natur- und Heimatschutzgesetzes (NHG, SR451) geschützt, sofern sie ‚schutzwürdige Lebensräume‘ darstellen“ (LUBINI et al. 2014).

Es fragt sich natürlich, ab wann ein Lebensraum schutzwürdig ist. Oftmals wird dafür seine Biodiversität als Indikator verwendet, welche nicht das einzige Kriterium sein muss (Naturnähe und Wildnis stellen beispielsweise andere Kriterien für Schutzgebiete dar, die aber weniger gut messbar sind). Im Natur- und Heimatschutzgesetz wird definiert, welche Biotop unter Schutz genommen werden sollen (Wälder, Moore, Trockenrasen etc.), jedoch werden die Quellen nicht ausdrücklich genannt. Allerdings enthält das NHG eine zusätzliche Generalklausel, in der auch weitere Biotop als die aufgelisteten unter „Minimalanforderungen bezüglich Grösse und ökologischer Qualität“ ebenfalls in Schutz genommen werden können (LUBINI et al. 2014).

Die Kantone verfügen alle über ein Quellkataster, in dem viele Angaben über den Status (gefasst, ungefasst), Besitz etc. von Quellen stehen. Jedoch liefern diese Dokumente wenig Informationen über den ökologischen Wert der Quellen. Für die Quellen im Schweizerischen Nationalpark gibt es einige Studien über die Lebensgemeinschaften der Makrofauna, wie z.B. von KAUFMANN 2014 und FELDER 2013. Für die Biosfera Val Müstair konnten allerdings keine faunistischen Untersuchungen gefunden werden (biosfera.ch).

Diese Arbeit stellt eine faunistische Charakterisierung von ausgewählten Quellen in der Biosfera Val Müstair dar, wobei insbesondere die faunistische Zusammensetzung des Makrozoobenthos bezüglich der Höhenlage, der Exposition und der Substratzusammensetzung untersucht wurde.

LUBINI et al. stellen eine Methodologie zur Verfügung, wie mit einer Erfassung der Fauna und Struktur von Quellen Aussagen über deren ökologische Qualität gemacht werden können. Dies ist ebenfalls Gegenstand dieser Arbeit.

2.) Untersuchungsgebiet

2.1.) Geographische Beschreibung

Für diese Arbeit wurden insgesamt sechs Quellen beprobt. Diese liegen in der Biosfera Val Müstair im östlichen Graubünden nahe bei Fuldera.

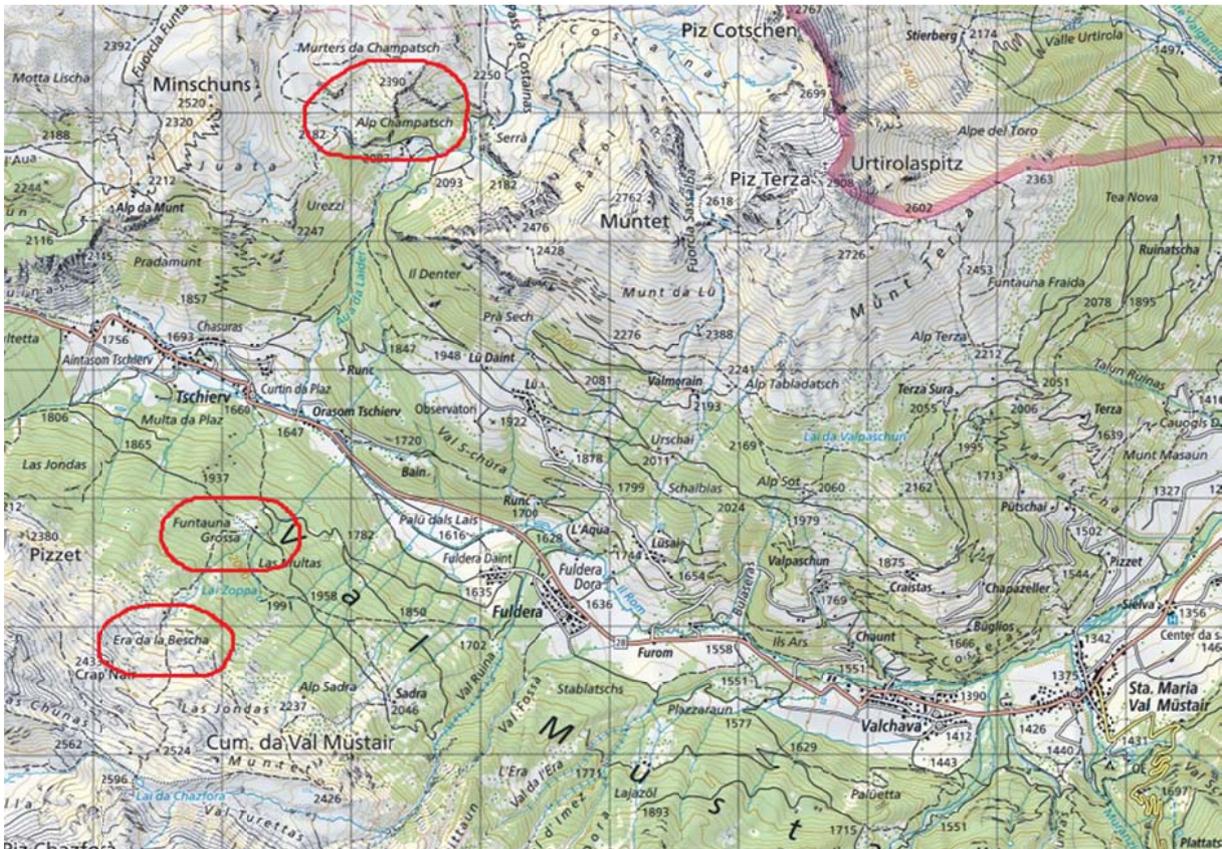


Abb. 1: Kartenausschnitt des Untersuchungsgebiets. Rot markiert sind die Gebiete der untersuchten Quellen La Posa, Era La Bescha und Funtauna Grossa (map.geo.admin.ch).

Auf der Abb. 1 kann man gut sehen, wie das Untersuchungsgebiet aus der Vogelperspektive aussieht. Besiedelt ist das Val Müstair durch mehrere Dörfer. Nebst Santa Maria und Müstair, den grössten Siedlungen in der Gegend, sind dies auch Fuldera, Tschier, Valchava und Lü. Zusammen bilden diese Dörfer eine grosse Gemeinde namens Val Müstair. Die drei Quellgebiete liegen etwa auf einer NNO-verlaufenden Gerade zwischen Lü und Tschier.

„Das Tal ist mit der übrigen Schweiz durch den Ofenpass verbunden. Das angrenzende Italien (Südtirol) kann von Müstair nach Taufers oder über den Umbrailpass (Bormio) erreicht werden (...). Die Bevölkerung betrachtet das Projekt der Biosfera Val Müstair als eine Chance für die zukünftige, nachhaltige Entwicklung des Lebensraumes und der gesellschaftlichen Strukturen“ (Biosphera Val Müstair).

Die Biosfera Val Müstair unterliegt dem integrierten Konzept der UNESCO-Biosphärenreservate. Dabei geht es darum, „eine ausgewogene Beziehung zwischen Menschen und der Biosphäre zu fördern und beispielhaft darzustellen“ (nationalpark.ch). Im Gegensatz zum Schweizerischen Nationalpark, der ausschliesslich aus einer streng geschützten Kernzone besteht, besteht die Biosfera nur aus einer Entwicklungs- und einer Pflegezone.

Heute sind der Schweizerische Nationalpark (SNP), Die Biosfera Val Müstair sowie Teile der Gemeinde Scuol jedoch zu einem integrierten Naturschutzprojekt der UNESCO namens „Engiadina Val Müstair“ zusammengeschlossen, bestehend aus einer Kernzone (der SNP), einer Pflege- und einer Entwicklungszone (Abb.2). Die Gebiete ergänzen sich also gegenseitig in ihrer Funktion.

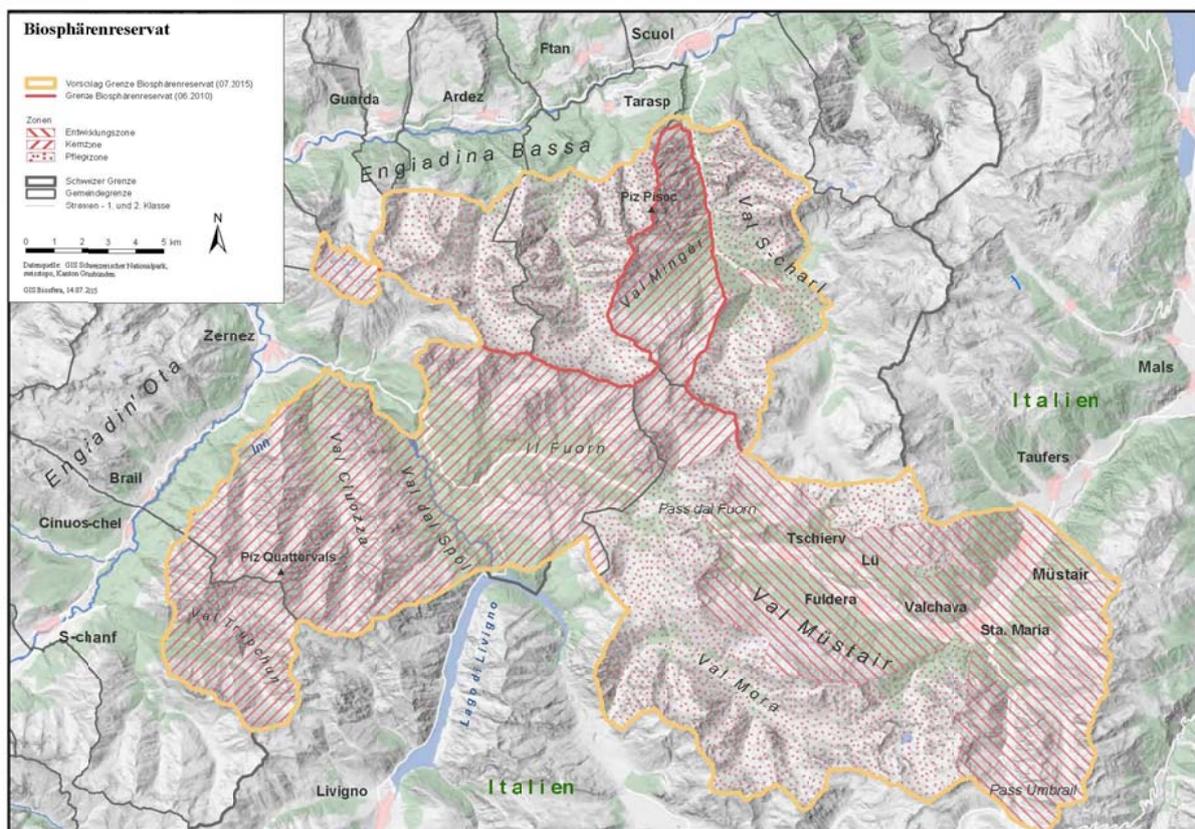


Abb. 2: Karte des UNESCO-Biosphärenreservats Engiadina Val Müstair (nationalpark.ch).

2.2.) Auswahl und Lage der Quellen

Die in dieser Arbeit untersuchten Quellen wurden ursprünglich aufgrund eines Auftrags des Bundesamts für Umwelt (BAFU) ausgesucht. Teil des Auftrags war es, ausgewählte Quellen zu kartieren und faunistisch zu untersuchen, um potentiell anthropogen beeinflusste bzw. geschädigte, eigentlich als „naturnah“ anzunehmende Quellen zu revitalisieren. Daraufhin erhielt Stefanie von Fumetti (NLU, Basel) von Yves Schwyzer von der Biosfera Val Müstair, Leiter der Abteilung „Natur und Landschaft“, eine Excel-Liste mit einer Vorauswahl potentiell zu untersuchenden Quellen. Von dieser Auswahl wurden dann viele Quellen schon von Anfang an aufgrund der Landnutzung von der Untersuchung ausgeschlossen.

Die Standorte der Quellen wurden dann am 15. Und 16. Juni 2017 erstmals begangen und begutachtet. Solche Quellen, die letztendlich für die Untersuchung in Frage kamen, wurden dann ausgewählt:

Tab. 1: Die beprobten Quellen mit Kürzel, Exposition, Koordinaten (LV95) und Höhe über Meer (mNN).

Quellname	Kürzel	Exposition	Koordinaten	Höhe
La Posa 1	LP1	Süd	823309 / 169778	2140
La Posa 2	LP2	Süd	823525 / 169965	2145
Era la Bescha (oben)	EBo	Nord	821574 / 165983	2230
Era la Bescha (unten)	Ebu	Nord	821701 / 166181	2155
Funtauna Grossa (oben)	FGo	Nord	821895 / 166618	2020
Funtauna Grossa (unten)	FGu	Nord	822015 / 166747	1965

Die Koordinaten gehören zum Schweizer Landeskoordinatensystem (CH1903+/LV95). Relativ zu Tschierv liegen die Quellen namens „La Posa 1“ und „La Posa 2“ (LP1 und LP2) am Nordhang (südlich exponiert). „Era La Bescha oben“, „Era La Bescha unten“ (EBo und Ebu) sowie „Funtauna Grossa oben“ und „Funtauna Grossa unten“ (FGo und FGu) liegen am Südhang (nördlich exponiert). Era la Bescha und Funtauna Grossa wurden jeweils paarweise (zwei verschiedene Quellaustritte) beprobt, LP1 und LP2 liegen fast auf derselben Höhe. Das Gebiet Era La Bescha befindet sich im am südlichsten und höchsten gelegenen Gebiet (Abb. 1).

2.3.) Geologie und Hydrologie

Das Gebiet der Biosfera Val Müstair gehört, wie auch der Schweizerische Nationalpark, zu den Oberostalpinen Decken. Diese bestehen aus mehreren Tausend Metern dicken Gesteinspaketen, die während des Mesozoikums am Nordwestrand der Tethys abgelagert wurden (FURRER et al. 2013). Die Tektonik ist durch die Engadiner Linie geprägt, die einen abrupten Übergang vom Unterostalpin und Penninikum ins Oberostalpin darstellt.

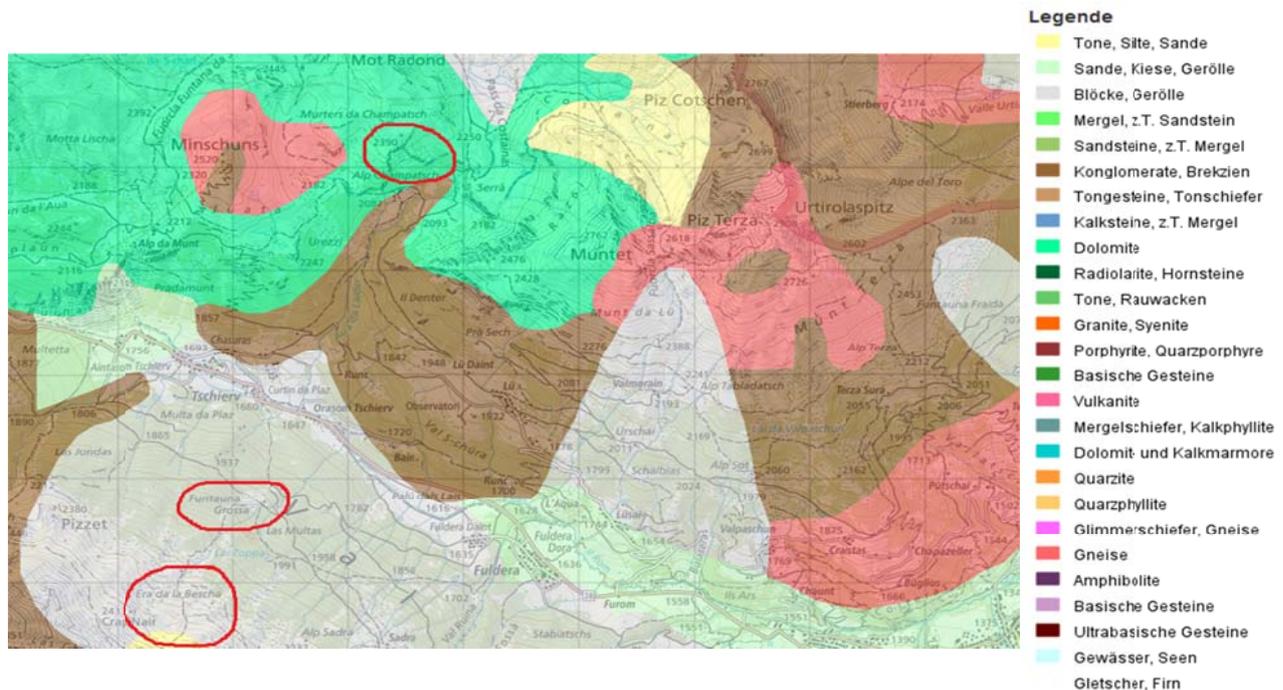


Abb. 3: Kartenausschnitt der Lithologie des Untersuchungsgebiets (*Min. Rohstoffe 500*). Im Hintergrund ist die Landeskarte 1:50'000 zu sehen (map.geo.admin.ch).

Die sedimentären Ablagerungen aus der Tethys bilden einen Grundbestandteil der Geologie der Alpen. „Die Ostalpinen Decken wurden in den frühesten Gebirgsbildungsphasen vom Untergrund abgeschert und viele Kilometer weit nach Nordwesten über das Penninikum geschoben. Diese Überschiebung fand weitestgehend unter Meeresbedeckung statt“ (FURRER et al. 2013). Erst viel später wurden diese Gesteine samt den Fossilien im Rahmen der Alpenfaltung gehoben und unter komplexen tektonischen Dynamiken verfaultet und geformt.

Gesteine im Untersuchungsgebiet

Bei den Gesteinen handelt es sich in den drei beprobten Quellgebieten gemäss Abb. 3 um „Blöcke und Gerölle“ sowie Dolomitgesteine. Die Quellen FG_u, FG_o, EB_u und EB_o fallen unter erstere Kategorie (graue Fläche), die Quellen LP1 und LP2 unter letztere Kategorie.

Im übrigen Gebiet sind ausserdem die Kategorien „Konglomerate und Brekzien“, „Gneise“, „Sande, Kiese & Gerölle“ sowie „Tone, Silte und Sande“ zu finden. Die meisten Gesteine im Bereich des Tals werden auch als „Sackungen“ bezeichnet (*Geology 500*, map.geo.admin.ch).

Formationen

Angaben zu den Gesteinsformationen sind auf der Karte „GeoCover“ zu finden (Abb. 4 und Abb. 5). In den Bereichen der Quellen EB_o und EB_u sowie FG_o und FG_u sind auf dieser Karte ein Sackungs- und ein Moränengebiet zu sehen (Abb. 4, gelb). Es handelt sich hier also um relativ junges Lockermaterial. Oberhalb von LP1 und LP2 dominieren jedoch Kalk- und Dolomitgesteine mit dem sogenannten S. Charl-Kalk und dem Vallatscha-Dolomit. In der Nähe von LP1 und LP2 findet man auch die Bezeichnungen „Hangschutt – Quartär“ und „Block-/ Felssturzmasse – Quartär“. Wahrscheinlich sind LP1 und LP2 jedoch von der Anwesenheit von Kalk- und Dolomitgesteinen beeinflusst.

Auch für das Gebiet der Biosfera Val Müstair ist also kennzeichnend, dass ältere Sedimentgesteine aus dem Mesozoikum von Gesteinsformationen, die in der Eiszeit durch Erosions-, Ablagerungs- und Transportprozesse entstanden sind, sporadisch abgelöst werden. Im Gegensatz zum Schweizerischen Nationalpark wird die Geologie jedoch nicht durch den Hauptdolomit dominiert, sondern vor allem durch Moränenmaterial der Chazforà-Formation und Raibl-Gruppe (FURRER et al. 2013).

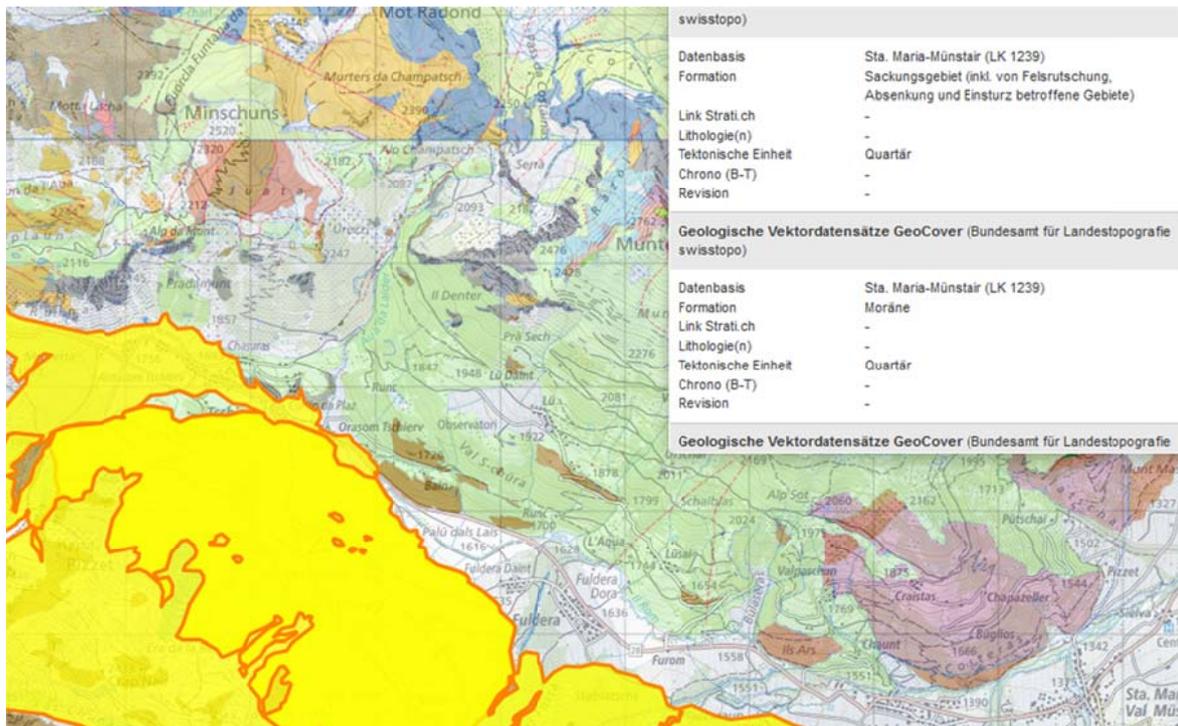


Abb. 4: Kartenausschnitt GeoCover, Vektordatensätze (map.geo.admin.ch). Sackungsgebiet und Moräne im Bereich von EBo/EBu und FGo/FGu. Im Hintergrund ist die Landeskarte 1:50'000 zu sehen.

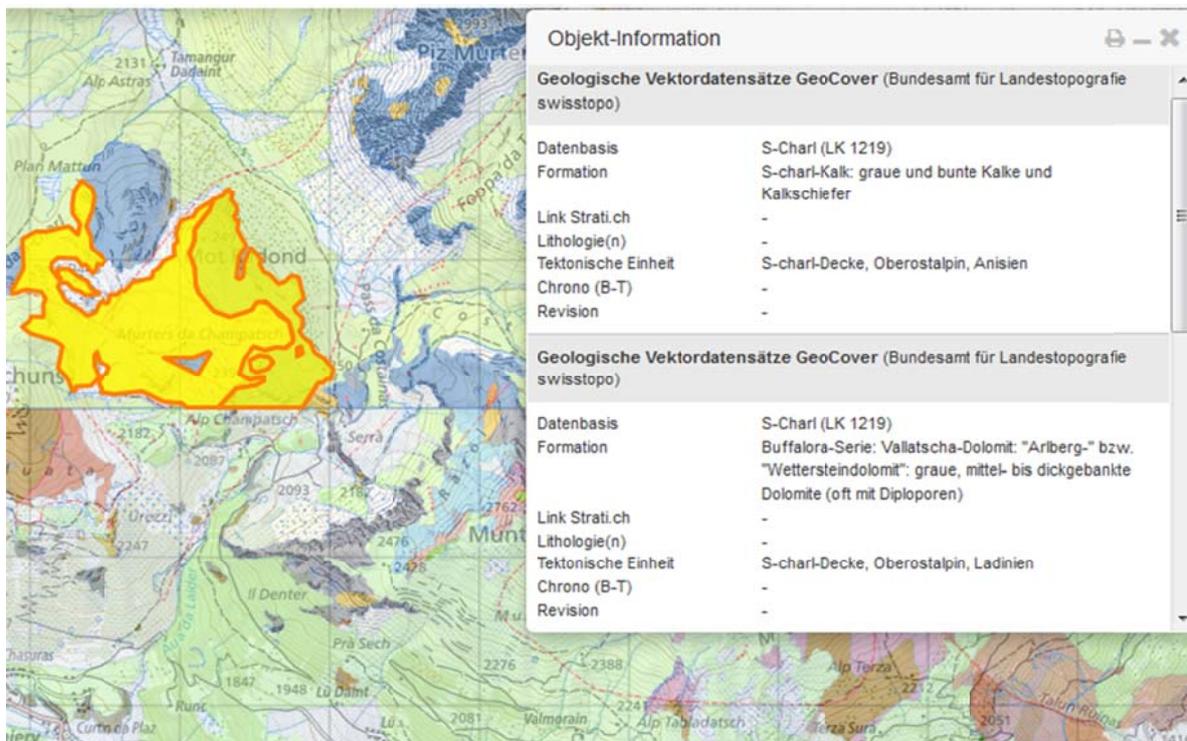


Abb. 5: Kartenausschnitt GeoCover, Vektordatensätze: S-Charl-Kalk und Vallatscha-Dolomit: Kalkgesteine und Dolomite im Bereich oberhalb LP1 und LP2. Im Hintergrund ist die Landeskarte 1:50'000 zu sehen (map.geo.admin.ch).

Die Biosfera Val Müstair und der Schweizerische Nationalpark gehören zu den sogenannten „Engadiner Dolomiten“, obwohl in der Biosfera Dolomitgesteine weniger dominant sind als im SNP. Der Hauptdolomit und die Vallatscha-Formation sind in der Biosfera nicht oder kaum vertreten (FURRER et al. 2013). Auf Fotos ist gut zu sehen, dass die Berge in der Biosfera abgerundeter und abgeflachtere Oberflächenformen haben als im SNP, obwohl natürlich in beiden der Einfluss der glazialen Erosion vorhanden ist. Im SNP sind die Gipfformen etwas kantiger als in der Biosfera, wobei diese Aussage natürlich mehr eine qualitative und subjektive Betrachtung ist.

Hydrologie

Die Hydrologie des Untersuchungsgebiets ist durch das Einzugsgebiet des Rombachs geprägt (auch „Il Rom“ genannt). Der Rombach fließt über in die Etsch und dann weiter ins adriatische Meer. Auf der anderen Seite des Ofenpasses beim SNP würde der Niederschlag allerdings ins Einzugsgebiet des Spöls fließen.

„Die glazial geformten Rundhöcker bei Döss Radond im Val Mora fungieren als kontinentale Wasserscheide. Entweder fließt das Wasser in den das Münstertal entwässernden Rombach, bei Glurns in die Etsch und von dort ins Mittelmeer oder durch eine enge Talschlucht zum Spöl, mit ihm weiter in den Lago di Livigno, anschließend in den Inn und schließlich mit der Donau ins Schwarze Meer (NOLFI 1958)“ (Universität Oldenburg).

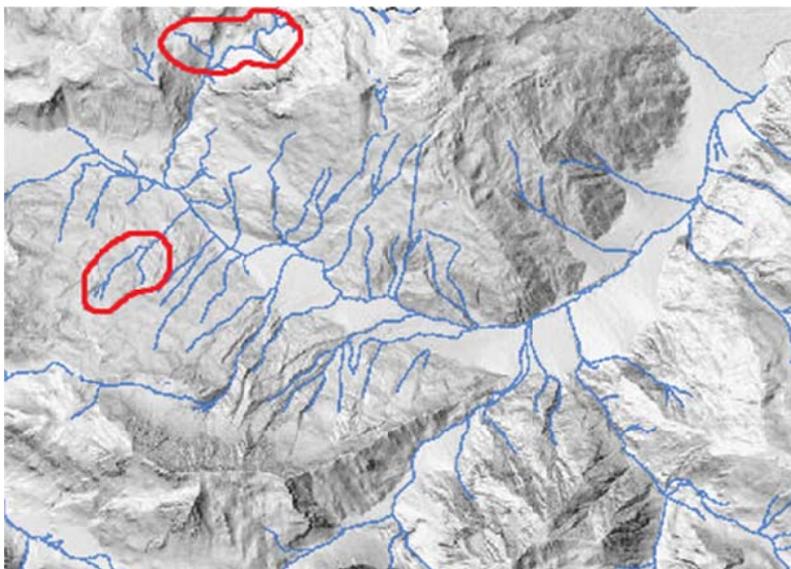


Abb. 6: Gewässernetz der Biosfera Val Müstair auf einem DGM mit Hillshading. Rot eingezeichnet sind wieder die beprobten Quellen (Atlas Nationalpark).

Auch die in dieser Arbeit beprobten Quellen liegen im Einzugsgebiet des Rombachs. Das Untersuchungsgebiet ist, sowie das Engadin im Allgemeinen, stellenweise stark durch Permafrost beeinflusst (Abb. 7). Dies kann sich auf die Temperatur der Quellen und somit auf die Zusammensetzung ihrer Lebensgemeinschaften auswirken.

Die Wassertemperatur von Quellen hängt ausserdem mit Austauschprozessen im Gestein zusammen. Höhe über Meer, Exposition und das Vorkommen von Permafrost im Einzugsgebiet sind Schlüsselfaktoren der Wassertemperatur in alpinen Quellen. Die Wassertemperatur von Quellen, welche nordexponiert sind ist meistens signifikant niedriger als in südexponierten Quellen. Die Wassertemperatur nimmt zudem signifikant zu mit zunehmender Distanz zu Permafrostfeldern (KÜRY et al. 2016).

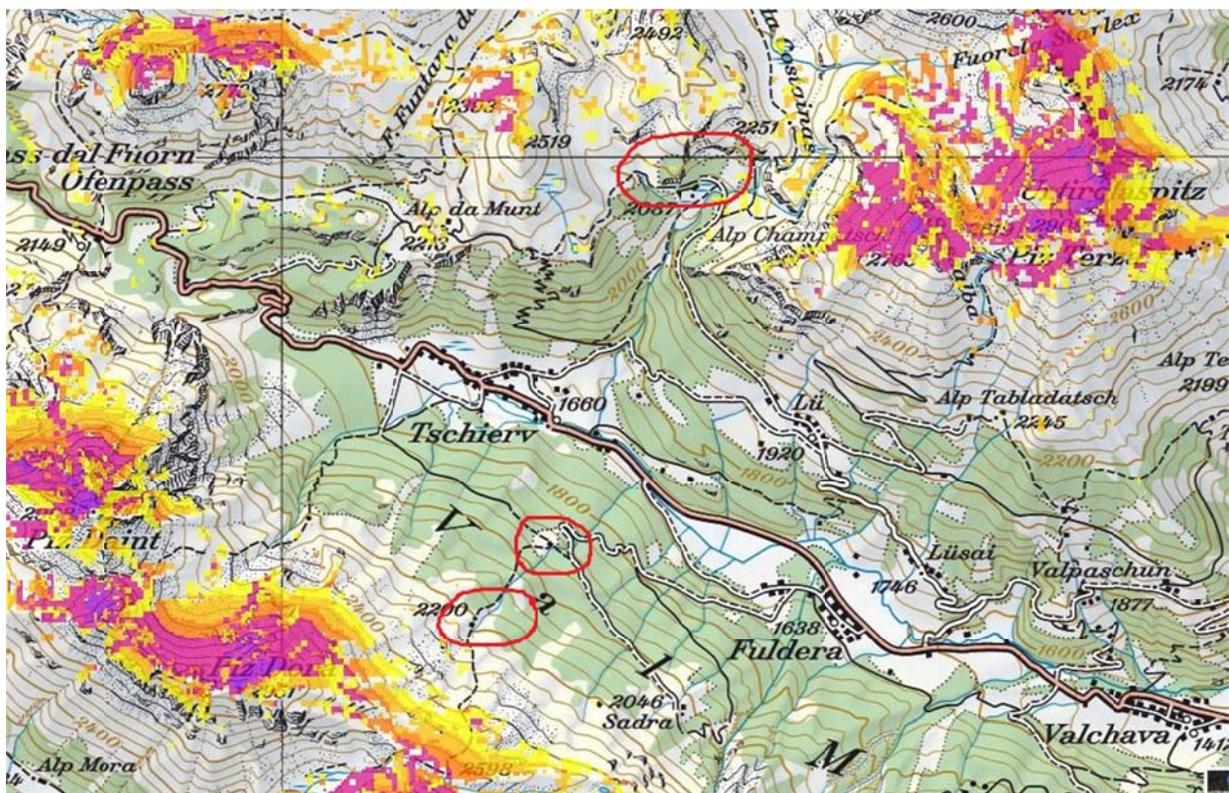


Abb. 7: Permafrostverteilung im Untersuchungsgebiet (map.geo.admin.ch).

2.4.) Klima

Das Klima in der Biosfera Val Müstair ist geprägt durch einen kontinentalen Charakter mit hoher Sonnenscheindauer und relativ niedrigen Niederschlägen.

Durch die inneralpine Lage ist die Region gegen die Niederschlagsaktivität aus allen Richtungen relativ abgeschirmt. An der Messstation Buffalora fallen mit rund 800mm pro Jahr knapp die Hälfte des Niederschlags, der in den Glarer oder Tessiner Alpen auf derselben Höhe fällt (HALLER 2014). Durch die hohe Kontinentalität und abgeschirmte Lage gibt es auch hohe Temperaturschwankungen.

Abb. 8 zeigt ein Klimadiagramm des Ofenpasses (Pass Dal Fuorn). Darauf sind die monatlichen Niederschlagsmittel (blaue Balken), die durchschnittliche Tagesminimal- und Maximaltemperatur jedes Monats (rote und blaue durchgezogene Linien) sowie absolute Temperaturmaxima und -minima (rote und blaue gestrichelte Linie) angegeben. Dies sind zwar modellierte Daten, jedoch ergibt ein Vergleich mit der Klimastation Buffalora ähnliche Resultate (HALLER 2014).

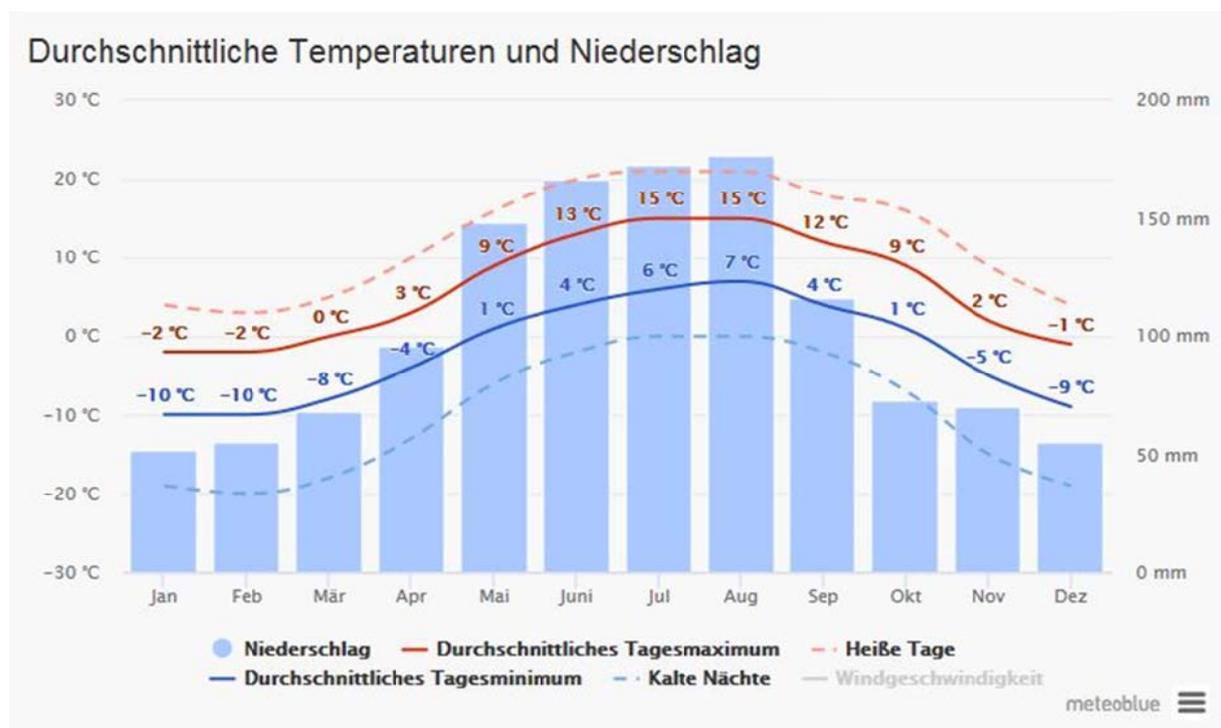


Abb. 8: Klimadiagramm des Ofenpasses (meteoblue.com).

Das Klimadiagramm von Buffalora zeigt einen deutlichen Jahrgang des Niederschlags mit einem Maximum im Sommer und einem Minimum im Winter. Im Winter fallen die Niederschläge fast nur aus herangeführten Luftmassen als advektiver Niederschlag. Der Wassergehalt dieser Luftmassen wird durch die vorherige Anstauung an den Alpen und

Voralpen meist schon ausgegnet bzw. –geschneit (HALLER 2014). Es geht bereits viel Feuchtigkeit verloren, bevor der Winterniederschlag im Val Müstair fällt.

2.5.) Vegetation und Landnutzung

Auf einer Landnutzungskarte, erstellt von Luzia Meier (2013) ist gut zu sehen, dass die drei Hauptklassen „Extremstandorte“ (Schutt, Geröll, Moräne etc.), „Wald“ und „Rasen/Staudenfluren“ bei weitem die Oberflächenbedeckung im Val Müstair dominieren. Es fallen des Weiteren einige Moore im Westen des Gebiets, ein paar kleine Seen, die Siedlungen und wenige Landwirtschaftsgebiete auf (Abb.9).

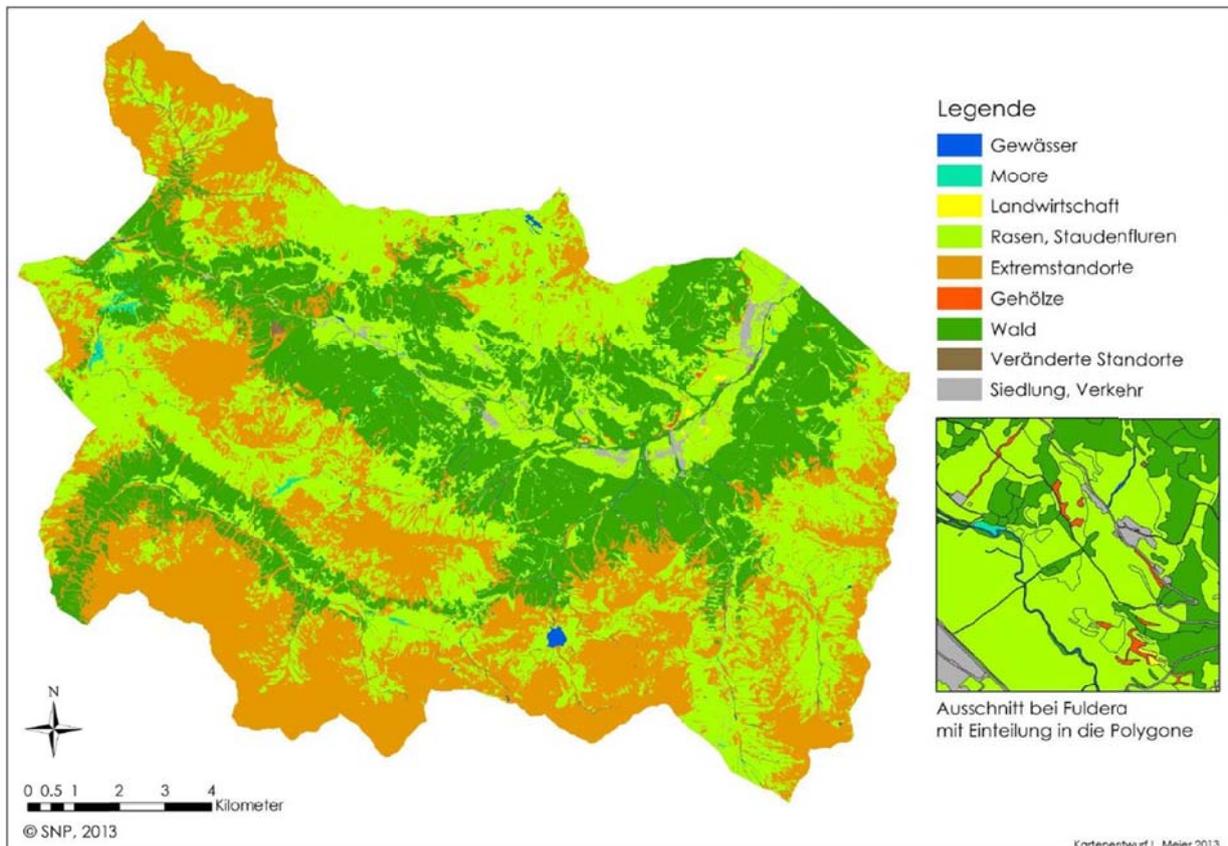


Abb. 9: Landnutzungsklassen für die Biosfera Val Müstair. Habitatp Datensatz, GIS (MEIER 2013).

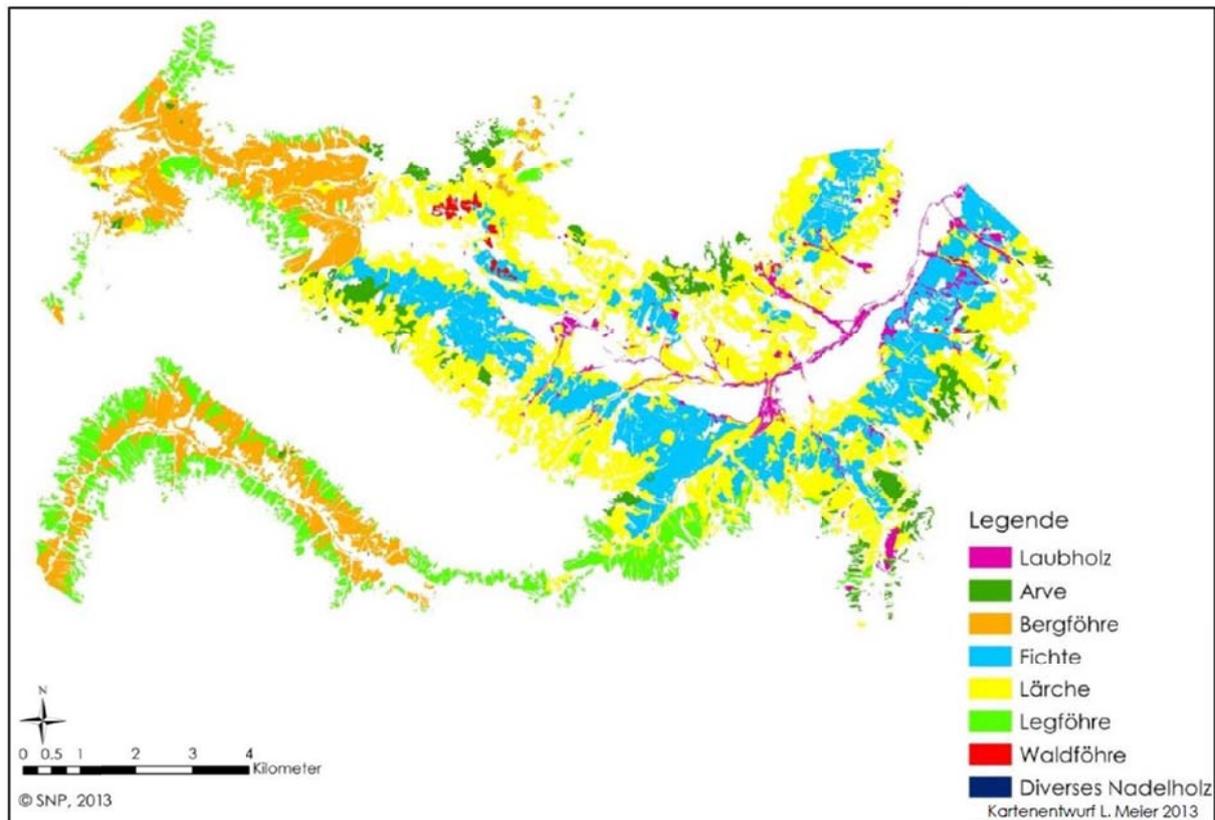


Abb. 10: Räumliche Verteilung verschiedener Baumtypen/-arten im Untersuchungsgebiet (MEIER 2013).

In den Wäldern des Untersuchungsgebiets dominieren bei weitem Nadelbäume. Laubbäume sind fast nur in den tieferen Tallagen zu finden. Neben grossen zusammenhängenden Fichten- und Lärchenwäldern finden wir Berg- und Legföhrenwälder vor allem im Val Mora im SW und rund um den Ofenpass im NW. Auch Arven und Waldföhren haben lokal einige dichte, zusammenhängende Vorkommen (Abb. 11).

An den Hängen im zentralen Bereich des Val Müstair sieht man sehr gut, dass in tieferen Lagen die Fichte, mit zunehmender Höhe die Lärche dominiert, was mit der Anpassbarkeit der Lärche an Extrembedingungen zusammenhängt (hohe Temperaturschwankungen, sehr niedrige Temperaturen, Trockenheit etc.). Noch weiter in der Höhe werden diese Lebensgemeinschaften von *Pinus mugo* und ihren Subspezies (Bergföhre und Legföhre) abgelöst. Auch auffällig ist, dass die verschiedenen Baumarten geschlossene Wälder bilden und sich nicht gross miteinander vermischen.

3.) Material und Methoden

3.1.) Strukturkartierung und Aufnahme der physikochemischen Parameter

Die **Strukturkartierung** der untersuchten Quellen erfolgte mit dem von LUBINI et al. (2014) entwickelten Kartierbogen. Diese teilen sich auf in eine „Bewertung Teil A“ (Beeinträchtigung) und eine „Bewertung Teil B“ (Vegetation-Nutzung-Struktur). Bei der „Beeinträchtigung“ werden allfällige anthropogene Eingriffe dokumentiert, wie z.B. der Verbau des Ufers oder der Sohle, Wasserentnahme, Verlegung, Trittschäden etc. Bei der Vegetation geht es um eine qualitative Abschätzung der räumlichen Verteilung und Dichte von verschiedenen Vegetationstypen wie z.B. Standorttypische und standortfremde Vegetation, Moosgesellschaften, Zwergstrauchheiden, Nadelwald etc., während unter derselben Rubrik auch die anthropogene Nutzung des unmittelbaren Umfelds der Quelle abgeschätzt werden kann (extensiv oder intensiv genutztes Weideland, Weg/Strasse, Siedlung etc.); diese Eigenschaften werden für verschiedene Skalen markiert (Einzugsgebiet, Umfeld, Quellbereich, Quellufer und Quellbach). Unter „Struktur“ wird dann im Wesentlichen das Substrat erfasst, aber auch die Strömungsdiversität und die Wasser – Land - Verzahnung.

Die „Bewertung Teil A“ ergibt im Excel-File einen Wert A und die „Bewertung Teil B“ ergibt einen Wert B, welche beide in eine Gesamtbewertung der Quelle einfließen. Die Gesamtbewertung enthält letztendlich einen Wert von 0.6 – 5, der wiederum in verschiedene Bewertungsklassen nach Schindler (2004) eingeteilt wird, um so Aussagen über die Naturnähe bzw. Beeinträchtigung der Quelle machen zu können (Abb. 11).

Tabelle 1: Bewertungsklassen nach SCHINDLER (2004)

Wert	0.6 – 1.8	1.81 - 2.6	2.61 - 3.4	3.41 - 4.2	4.21 - 5.0
Wertungs- klassen	naturnah	bedingt natur- nah	mässig beein- rächtigt	geschädigt	stark geschädigt
Ziffer	1	2	3	4	5

Abb. 11: Bewertungsklassen nach Schindler 2004 (LUBINI et al. 2014).



Abb. 12: Messung der physikochemischen Parameter.

Es wurden des Weiteren **physikochemische Parameter** für das Quellwasser erhoben, welche zusätzlich helfen sollen, den ökologischen Zustand der Quelle zu charakterisieren. Es sind dies die Leitfähigkeit, die Temperatur, der Sauerstoffgehalt und der pH-Wert.

3.2.) Faunistische Aufnahme

Die Probenahme des Makrozoobenthos erfolgt in groben Zügen ebenfalls mit der Methode von Schindler (2004), die von LUBINI et al. verwendet wird. Es werden **qualitative und quantitative Proben** im Quellbach entnommen. Bei den quantitativen Proben wird viel mehr Substrat mitgeführt als bei den qualitativen Proben. Das Ziel ist dabei, die Tiere mitsamt ihrem Mikrohabitat einzufangen, um so auch anhaftende Organismen untersuchen zu können. Ausserdem kann mit den quantitativen Proben aufgrund der flächigen Aufnahme mit verschiedenen Substraten besser quantitativ gearbeitet werden.

Um die **quantitativen Proben** zu nehmen, wurde ein *Surber-Sampler* verwendet. Dieser hat eine vordefinierte Fläche von 0.01 m^2 und eine Maschenweite von $500 \mu\text{m}$.



Abb. 13: Materialien für die faunistische Probenahme.

Es wurden 4 - 5 Proben pro Quelle genommen. Ihre Aufnahmestellen wurden an unterschiedlichen Standorten im Quellbach anhand des dort dominierenden Substrats definiert (z.B. moosreicher Standort, kiesreicher Standort etc.), um so mehrere Proben mit einer gewissen Repräsentativität zu erhalten. In unterschiedlichen Substraten leben unterschiedlich angepasste Arten, von welchen für eine umfassende Untersuchung möglichst viele aufgenommen werden sollen. So wurden z.B. auch grosse Blöcke und Steine umgedreht und ebenfalls beprobt.

Die Aufnahme der quantitativen Proben erfolgte folgendermassen: Der Surber-Sampler wurde mit einer Kante in das Substrat (z.B. Kies) ‚eingegraben‘ und mit der Öffnung in die Fliessrichtung gehalten. Dann wurde das Substrat von Hand in den Surber-Sampler ‚hineingeschoben‘. Sein Inhalt wurde für grobe Materialien (Steine, Geröll, Holz) direkt im Gelände in den Laborschalen aussortiert und so gefundene Organismen vor Ort in Probenahmeröhrchen in 95%-Ethanol konserviert. Die Feinfraktion wurde auch vorsortiert, damit die Proben nicht allzu viel grobes Substrat enthielten. Dann wurden sie abgesiebt, um möglichst wenig Wasser zu führen, und schliesslich mit 80%-Ethanol in die Probenahmebecher gefüllt. Somit waren die Proben schon vor Ort mit möglichst wenig Wasser und möglichst viel Ethanol konserviert.

Es wurde pro Quelle ebenfalls eine **qualitative Probe** entnommen, mit welcher man versch. Substrattypen kreuz- und quer mit einem Handkescher von 200µm Maschenweite aufnimmt und in eine weisse Laborschale aussiebt. Durch grobe Sortierung konnten einzelne

Organismen schon erkannt werden, welche dann in kleine Probenahmeröhrchen in 95%-Ethanol konserviert wurden. Gröberes Substrat wurde auch vorsortiert, damit die Probenahmebecher nicht überfüllt wurden. Die Proben wurden anschliessend alle ins Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz (NLU) gebracht und dort im Kühlschrank aufbewahrt.

3.3.) Aussortieren und Bestimmen im Labor

Mithilfe eines Binokulars und mit Pinzetten wurde das Substrat in der Petrischale untersucht und systematisch bei mittlerer Vergrößerung sichtbare Organismen in Probenahmeröhrchen überführt. Diese wurden bereits in verschiedene taxonomische Grossgruppen unterteilt: Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera, Diptera, Mollusken, Milben, Crustacea und ‚Rest‘.

Die Probenahmeröhrchen wurden vorerst im Kühlschrank nach Probennummer (beschriftet im Feld) in Probenahmebechern aufbewahrt. Als alle substrathaltigen Proben aussortiert waren, wurden in einem späteren Schritt die gefundenen taxonomischen Grossgruppen näher bestimmt. Hiermit wurde die Bestimmungsliteratur verwendet, welche im Literaturverzeichnis aufgeführt ist.

3.4.) Statistische Datenanalyse

Für die Datenanalyse wurde mit dem Statistikprogramm PRIMER (CLARKE & GORLEY 2006) gearbeitet, welches besonders auf biologische Daten ausgerichtet ist.

Es wurden für die faunistischen Daten eine Ähnlichkeitsmatrix und eine damit verknüpfte graphische Darstellung, eine nMDS (non-metric Multidimensional Scaling) erstellt. Dies stellt die Ähnlichkeit zwischen den Quellen hinsichtlich ihrer Lebensgemeinschaften analysieren und darstellen. Für die Analyse der abiotischen Parameter (physikochemische Messwerte und Substratzusammensetzung der Quelle) wurde eine PCA (Principal Component Analysis) durchgeführt.

Faunistische Daten: Ähnlichkeitsmatrix, nMDS und ANOSIM

In einem ersten Schritt wurden die Daten mit $\log(x+1)$ transformiert. Dies war notwendig, um hohe Werte weniger stark zu gewichten (wie z.B. bei den Chironomidae, die zum Teil mit über 300 Individuen pro Quelle vertreten waren). Mit den transformierten Daten wurde dann die Ähnlichkeitsmatrix berechnet. Unter „Resemblance“ wurde der Ähnlichkeitsindex „Bray-

Curtis similarity“ verwendet, welche sich gut für quantitative Ähnlichkeitsmasse eignet. Dieser Ähnlichkeitsindex ergibt einen Ähnlichkeitswert, der zwischen 0 (kein Unterschied) und 1 (maximaler Unterschied) liegt (CLARKE & GORLEY 2006).

Daraus lässt sich in einem nächsten Schritt eine nMDS (non-metric Multidimensional Scaling) erstellen, welche die Ähnlichkeit zwischen den verschiedenen Quellbiozönosen graphisch darstellen soll. Die nMDS ist ein rangbasiertes Verfahren, und setzt daher keine normalverteilten Daten voraus (LEYER & WESCHE 2007).

Des Weiteren wurde eine ANOSIM (Analysis of Similarities) erstellt, welche die Ähnlichkeit zwischen den „Quellregionen“ (La Posa, Era la Bescha und Funtauna Grossa) darstellen sollte und somit der Frage nachgehen, ob sich die Lebensgemeinschaften zwischen diesen Quellregionen unterscheiden. Diese Analyse setzt ebenso keine normalverteilten Daten voraus.

Abiotische Parameter: PCA (Principal Components Analysis)

Bei den abiotischen Parametern ist es für die Charakterisierung der Quellen wichtig zu wissen, wie relevant die jeweiligen Parameter für die jeweiligen Quellen sind. Die PCA soll unter den abiotischen Parametern diejenigen ermitteln, welche davon möglichst viel der Varianz der Daten in den Quellen erklären. Ausserdem wird dargestellt, wieviel der Varianz die einzelnen Umweltparameter erklären. Für die PCA wurden die Daten zunächst normalisiert, da die Parameter unterschiedliche Skalen haben.

In der Umwelt gibt es vielseitige sich gegenseitig beeinflussende Wechselwirkungen, deswegen korrelieren Umweltparameter oft miteinander. Das heisst, die Varianz des einen Parameters erklärt teilweise die Varianz des anderen. Um den Einfluss dieser redundanten Informationen auf die Datenanalyse zu vermeiden, welcher die Aussagekraft der Ergebnisse verschlechtert, wird mit der PCA eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt, welche die vielen einzelnen Umweltvariablen in zwei oder mehr neue Achsen zusammenfasst. Die zwei Hauptachsen werden in x- und y-Richtung dargestellt und stehen daher in einem rechten Winkel zueinander. Die erste Hauptachse beschreibt einen möglichst grossen Teil der insgesamt vorhandenen Varianz, die zweite beschreibt einen möglichst grossen Teil der restlichen Varianz. So geht es auch mit der dritten Hauptachse weiter.

Die PCA liefert zusätzlich zu den beiden Hauptachsen Eigenwerte und Eigenvektoren. Der Eigenwert zur Hauptachse gibt an, wieviel der Varianz eine Hauptachse erklärt. Die Eigenvektoren stehen für die graphische Darstellung aller untersuchten Umweltparameter. Sie haben Koeffizienten, welche Werte zwischen 0 und 1 in positiver und negativer Richtung

haben. Wie nahe einer dieser Werte für einen jeweiligen Umweltparameter bei 1 oder -1 ist, gibt an, wie stark der jeweilige Umweltparameter mit der Hauptachse korreliert. Dies ergibt Werte für jede Hauptkomponente und für jeden Umweltparameter.

Die Stärke der Korrelation eines Umweltparameters mit einer der Hauptachsen wird ausserdem mithilfe von „Scores“ aufgezeigt.

4.) Ergebnisse

4.1.) Beschrieb der Quellen

La Posa 1 (LP1)



La Posa 1 befindet sich auf dem südexponierten Nordhang des Untersuchungsgebiets. Sie liegt in mittlerer Hanglage, bei schroffer Geländeneigung auf einer Höhe von 2140 mNN und fliesst Richtung Süden. Die Distanz zur Nachbarquelle – La Posa 2 – beträgt ca. 300m.

Die Quelle fliesst ganzjährig und hat eine mittlere Schüttung von ca. 3 l/s. Sie überfließt grössere Blöcke und Steine sowie braun gewordenes Moos und hat eine relativ hohe Strömungsdiversität mit plätschernden, fließenden und überfließenden Abschnitten.

Abb. 14: La Posa 1 (LP1).

Das Substrat ist geprägt durch die dominierenden Moospolster, aber auch durch Steine, Kies und ein wenig Totholz. Das Umfeld der Quelle ist geprägt durch standorttypische Vegetation. Dies schliesst den standorttypischen Nadelwald – hier vor allem aus Arven bestehend – sowie extensiv genutztes Offenland mit ein.

La Posa 2 (LP2)



Abb. 15: La Posa 2 (LP2). Der Quellaustritt befindet sich weiter oben.

La Posa 2 befindet sich ebenfalls auf dem südexponierten Nordhang in mittlerer Hanglage. Die Quelle fließt aus einer Gesteinsschicht im Bereich der Baumgrenze heraus Richtung Süden. Es handelt sich dabei um eine Sturzquelle mit relativ hoher Fließgeschwindigkeit und ganzjähriger Quellschüttung. Die Strömungsdiversität ist relativ gross mit gerippten, plätschernden und überfließenden Abschnitten.

Das Substrat der Quelle ist vor allem durch Kies, kleine Steine und grössere Blöcke geprägt. Sie führt aber auch Sand und Moospolster sowie ein wenig Totholz. Die Quelle ist unmittelbar, aber auch in weiterer Umgebung, von standorttypischer Vegetation umgeben. Dies sind Gräser und Gebüsche, aber auch standorttypische Nadelbäume wie Arven und Bergkiefer. Da sie im Grenzbereich der Baumgrenze fließt, ist jedoch kein geschlossener Wald vorhanden.

Era la Bescha unten (EBu)



Abb. 16: Era la Bescha unten. Oben rechts im Bild ist die Austrittsstelle der Quelle zu sehen.

Era La Bescha unten befindet sich auf dem nordexponierten Südhang des Untersuchungsgebiets, so wie alle folgend beschriebenen Quellen. Sie befindet sich im Bereich unterhalb der Baumgrenze, wo der Nadelwald immer lichter wird und mit grossen offenen Flächen verbunden ist. Es handelt sich dabei um einen Lärchenwald. Die Distanz zur Nachbarquelle (Era La Bescha oben) beträgt ca. 200m.

EBu ist ebenfalls eine Sturzquelle. Der Quellaustritt ist relativ schmal (ca. 50cm). Der Quellbach geht aber nach ein paar Metern Fliessstrecke in eine flächenhafte Fliessform über. Die Quelle fliesst ganzjährig und hat eine mittlere Quellschüttung von ca. 3 l/s. Das Substrat besteht zu einem relativ grossen Teil aus Kies, kleinen Steinen und Blöcken. Verglichen mit den anderen untersuchten Quellen beinhaltet EBU auch viel Moospolster, Wurzeln und Pflanzen. Sie überfließt an einigen Stellen dichte Grasbüschel.

Era la Bescha oben (EBo)



Abb. 17: Era la Bescha oben. Stelle kurz vor einem der Quellaustritte mit ruhig fließendem Wasser.

Era La Bescha oben (EBo) befindet sich gerade oberhalb der Baumgrenze, 75m höher gelegen als EBU auf 2230 mNN. Sie ist von den untersuchten Quellen die am höchsten gelegene. Sie befindet sich in mittlerer Hanglage und fließt Richtung Nordosten.

Die Quelle hat drei grosse Austritte und umfließt Geröllblöcke mit Vegetationsauflage unter ruhigen Strömungsbedingungen. Weiter bachabwärts fließen die verschiedenen Arme wieder zusammen und die Quelle fließt überstürzend und plätschernd als breiter Quellbach talabwärts (Abb. 19). Die Quelle hat spezielle Strukturen, wie die erwähnten Kaskaden, relativ tiefe Pools, Laufverzweigungen und Inselstrukturen. Sie weist eine hohe strukturelle Diversität auf. Die Quelle hat eine mächtige Schüttung von mindestens 6 l/s.

Das Substrat der Quelle ist vor allem durch Kies geprägt, aber auch durch grössere Blöcke und Moospolster. Zu kleinen Anteilen kommen auch Sand, Feinmaterial und Pflanzen vor. Im Bereich des Quellbachs sowie in dessen Umfeld ist die Vegetation standorttypisch. Die Quelle befindet sich oberhalb des lichten Lärchenwaldes, der bei EBU zu finden ist. Im Umfeld von EBo selbst finden sich viele Zwergstrauchgesellschaften und Gräser.



Abb. 18: Era la Bescha oben. Stelle mit starker Hangneigung weiter bachabwärts.

Funtauna Grossa unten (FGu)

Funtauna Grossa unten (FGu) ist von den beprobten Quellen die am tiefsten gelegene. Sie liegt auf 1965 mNN in einem tiefer liegenden Bereich des bereits erwähnten Lärchenwaldes, unterhalb der Baumgrenze. Sie fließt in Richtung Nordosten und befindet sich auf einem Mittelhang mit starker Geländeneigung.

FGu ist ebenfalls eine Rheokrene. Die Quelle fließt relativ schnell und hat eine hohe Quellschüttung von ca. 6 l/s. Sie fließt das ganze Jahr hindurch, hat keine sehr hohe Strömungsdiversität und fließt glatt und überfließend.

Das Substrat ist gleichermassen durch Fels und Blöcke, Steine und Kies geprägt. Die Quelle führt ebenfalls viel Totholz, Nadeln und Pflanzen, aber auch Detritus und org. Schlamm. Das hier gefundene Substrat unterscheidet sich von dem der unbewaldeten Quellen. Leider konnte von FGu aufgrund der Witterung kein Bild gemacht werden. Der Fokus wurde auf die Probenahme und strukturelle Erfassung gelegt.

Funtauna Grossa oben (FGo)

Funtauna Grossa oben (FGo) befindet sich in einer Lichtung im oberen Bereich des Lärchenwaldes nahe der Baumgrenze, auf 2020 mNN. Es handelt sich dabei, im Gegensatz zu den anderen Quellen, eher um eine Sickerquelle: Sie tritt aus dem Boden heraus. Der Quellaustritt befindet sich im oberen Teil der Lichtung an einem Hangfuss.

Die Quelle hat eine mittlere Fliessgeschwindigkeit und eine Schüttung von ca. 4 l/s. Sie fliesst glatt und plätschernd, hat eine grosse Tiefenvarianz und weist kaskadenartige Strukturen auf. Das Substrat der Quelle ist geprägt durch Felsen und Blöcke sowie in geringerem Ausmass durch Kies und Sand. Sie führt ausserdem viel Moospolster, Wurzeln und Pflanzen. Das Substrat ist geprägt durch einen hohen Anteil an organischem Schlamm und Detritus. Die den Quellbach und sein Umfeld umgebende Vegetation ist geprägt durch standorttypischen Nadelwald, extensiv genutztes Offenland, Moosgesellschaften und Zwergstrauchheiden. Die Vermutung liegt jedoch nahe, dass die Quelle durch Viehtritt geprägt sein könnte. Von FGo konnte ebenfalls kein Foto aufgenommen werden.

4.2.) Abiotische Parameter

Physikochemische Parameter

Die **Leitfähigkeit** hat die Einheit [$\mu\text{S}/\text{cm}$] und hängt direkt mit der Masse an gelösten Stoffen und der Masse der Suspensionsfracht zusammen. Für das Quellwasser der untersuchten Quellen kommen Werte zwischen 45 – 510 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vor (Tab. 3). Die Werte sind bei LP1 und LP2 am höchsten. Dies zeigt uns an, dass LP1 und LP2, aber auch FGo eine erhöhte Menge an gelösten Stoffen aufweisen.

Tab. 3: Messwerte der physikochemischen Parameter des Quellwassers der untersuchten Quellen. Die Einträge „x“ bedeuten „keine Angabe“.

Phys.- chem. Parameter	LP1	LP2	EBu	EBo	FGu	FGo
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	510	330	77	45	88	180
Temp [$^{\circ}\text{C}$]	7.3	6.8	2.6	2.1	5.4	4.5
O2 [mg/l]	x	8.64	x	x	x	x
O2 [%]	x	89.4	x	x	x	x
pH	7.7	9.574	7.3	7	7	7.6

Die **Temperatur** hat Werte zwischen 4.5 – 7.3 °C. LP1 und LP2 haben die höchsten Temperaturen, dann folgen FGU und FGO und schliesslich haben die am höchsten gelegenen Quellen die tiefste Temperatur.

Bei den Werten des **Sauerstoffgehalts** fehlen etliche Messwerte, da das entsprechende Messgerät an den Untersuchungstagen nicht richtig funktionierte.

Der **pH-Wert** hat, wie auch die Leitfähigkeit, unmittelbar mit der Geologie des Einzugsgebiets zu tun. In Tab. 2 sehr schön zu sehen sind die erhöhten pH-Werte bei LP1 und LP2 gegenüber den anderen Quellen, welche relativ neutrale Werte von ca. pH= 7 haben.

Substrattypen

Die am häufigsten vorkommenden und am gleichmässigsten verteilten Substrattypen sind **Moospolster, Feinkies, Mittel-Grobkies und Steine** (Tab. 4). Gerade bei den hoch gelegenen Quellen EBo und EBU ist das hohe Vorkommen an Kies und Steinen durchaus zu erwarten.

Tab. 4: Häufigkeit der unterschiedlichen Substrattypen in den untersuchten Quellen. Bedeckungsgrade: **1:** 1-20%, **2:** 20-50%, **3:** >50%. Anzahl Substrate und Resultat der Strukturkartierung.

Substrattypen	LP1	LP2	EBu	EBo	FGU	FGO
Moospolster	3	2	3	3	2	3
Wurzelsräume	0	0	3	1	1	2
Fallaub	0	0	0	0	0	0
Totholz	1	1	1	1	3	1
FPOM/Detritus	0	2	1	1	2	3
Vegetation	0	0	2	2	3	2
Ton/Schluff	0	0	3	3	0	0
Sand	0	2	1	1	3	1
Feinkies	2	2	3	3	3	1
Mittel-Grobkies	2	3	3	3	3	2
Steine	2	3	3	3	3	2
Blöcke	0	2	2	2	3	3
Anzahl Substrate	5	7	11	11	10	10
Bewertung Strukturkartierung	1.25	1.79	1.22	0.79	1.37	0.71

Blöcke und Felsen waren vor allem bei FG_u und FG_o zu finden. Die Quelle fließt an der unteren Stelle (FG_u) zwischen grossen Felsen.

Die **Vegetationsbedeckung** ist ebenfalls bei FG_u und FG_o am höchsten. Die untere Quelle (FG_u) fließt unter einem Wald hindurch und weist auch im Quellbach die höchste Vegetationsbedeckung auf.

Ton und Schluff sind vor allem bei EBo und EBu stark vertreten. Dies hat wahrscheinlich etwas mit den Böden zu tun, jedoch können hier nur Vermutungen angestellt werden.

Es fällt auf, dass sich die verschiedenen Quellen in ihrer Substratzusammensetzung zum Teil deutlich voneinander unterscheiden. Die höchste Substratdiversität (hinsichtlich der Streuung und Grösse der Werte) ist wohl bei den Quellen Era la Bescha (EB_u und EBo) zu finden. Auch Funtauna Grossa (v.a. FG_u) weist viele unterschiedliche Substrate in ausgeprägter Form auf. LP1 ist hingegen vor allem durch Moosbedeckung, Kies und Steine geprägt, hat aber dafür keine Vegetation, Blöcke oder Ton/Schluff.

Die Ergebnisse der Strukturkartierung nach Fischer (1995) und LUBINI et al. sind ebenfalls in der Tab. 4 aufgeführt. Den Bewertungsklassen nach Schindler (2004) zufolge können also alle Quellen als ‚naturnah‘ eingestuft werden.

4.3.) Faunistische Daten

Insgesamt wurden 1817 Individuen aus 54 verschiedenen Taxa gefunden. Von den 54 untersuchten Taxa konnten 24 auf Artniveau bestimmt werden (Tab. 6). LP2 und FG_o haben am meisten gefundene Taxa pro Quelle, wobei bei LP2 und EBu am meisten Individuen gefunden wurden (Tab. 5). LP2 und FG_u waren die Quellen, die deutlich am wenigsten Individuen aufwiesen.

Tab. 5: Einige beschreibende Grössen für die faunistischen Daten.

Grösse	LP1	LP2	EB _u	EBo	FG _u	FG _o
Anzahl Taxa/Quelle:	17	23	19	16	12	22
Anzahl Ind./Quelle	566	91	598	153	81	328
Anzahl Ind./m ²	141.5	22.8	149.5	38.3	20.3	82.0

LP2 ist zwar mit vielen Taxa vertreten, hat aber niedrige Individuenzahlen. FGU hat sowohl wenige Taxa pro Quelle als auch niedrige Individuenzahlen, schneidet somit also unterdurchschnittlich ab. Die höchsten Werte für beide Größen liegen bei LP1, EBU und FGO. Die Anzahl Individuen pro m² wurde mithilfe der normierten Fläche des Surber-Samplers (0.01m²) und der Anzahl Proben pro Quelle ermittelt.

Tab. 6: Vollständige Taxaliste mit Häufigkeiten in den beprobten Quellen.

Taxagruppe:	Taxa:	LP1	LP2	EBu	EBo	FGu	FGo
Plathelminthes	<i>Crenobia alpina</i> (Dana, 1776)	0	9	147	0	0	12
Gastropoda	<i>Radix labiata</i> (Rossmäessler, 1835)	1	0	0	0	0	0
	<i>Vertigo genesii</i> (Gredler, 1856)	1	2	0	0	0	0
	<i>Vertigo modesta</i> (Say, 1824)	0	6	0	0	0	0
	<i>Valvata</i> sp.	0	4	0	0	0	0
	<i>Valvata piscinalis</i> (O.F. Mueller, 1774)	0	2	0	0	0	0
	<i>Galba truncatula</i> (O.F. Mueller, 1774)	0	1	0	0	0	0
Bivalvia	<i>Pisidium</i> sp.	0	0	0	0	0	1
Oligochaeta	Oligochaeta	0	4	13	1	8	17
Acari	<i>Feltria</i> sp.	2	0	0	0	0	5
	<i>Hydrovolzia placophora</i> (Monti, 1905)	7	0	0	0	0	0
	<i>Hygrobates norvegicus</i> (Thor, 1897)	0	0	0	0	0	9
	<i>Lebertia</i> sp.	60	2	5	5	1	2
	<i>Paniscus michaeli</i> (Koenike, 1896)	0	0	0	0	0	4
	<i>Partnunia steinmanni</i> (Walter, 1906)	218	18	3	1	2	0
	<i>Sperchon</i> sp.	6	1	3	0	0	3
Crustacea	Copepoda	0	0	0	0	0	7
	Ostracoda	0	0	3	0	0	72
Ephemeroptera	<i>Baetis alpinus</i> (Pictet, 1843)	4	1	1	0	2	3
Plecoptera	<i>Protonemura</i> sp.	15	2	1	1	3	1
	<i>Protonemura lateralis</i> (Pictet, 1835)	4	0	0	0	0	0
	<i>Dictyogenus fontium</i> (Ris, 1896)	6	0	0	0	0	0
	<i>Leuctra</i> sp.	0	1	1	3	0	5
	<i>Leuctra</i> gr. <i>Braueri</i> – <i>muranyii</i> (Kempny, 1898)	0	14	0	0	0	0
	<i>Nemoura</i> sp.	0	0	0	0	2	0
	<i>Nemoura mortoni</i> (Ris, 1902)	0	3	0	1	0	0
	<i>Nemurella pictetii</i> (Klapalek, 1900)	0	0	14	0	0	6

Trichoptera	<i>Drusus</i> sp.	1	0	0	25	0	2
	<i>Drusus monticola</i> (McLachlan, 1876)	0	0	12	0	0	0
	<i>Drusus nigrescens</i> (Meyer-Dür, 1875)	1	0	13	10	0	0
	<i>Drusus melanchaetes</i> (McLachlan, 1876)	0	0	0	10	0	0
	Limnephilidae	0	2	0	0	0	1
	<i>Micropterna</i> sp.	0	0	1	0	9	5
	<i>Allogamus uncatus</i> (Brauer, 1857)	0	0	0	0	0	2
	<i>Leptotaulius gracilis</i> (Schmid, 1955)	0	0	1	0	0	0
	<i>Lithax niger</i> (Hagen, 1859)	0	0	1	0	2	0
	<i>Rhyacophila</i> sp.	1	0	0	0	0	0
	<i>Pseudopsilopteryx zimmerii</i> (McLachlan, 1876)	0	1	1	0	0	0
Coleoptera	Helodidae (Larven)	0	5	0	0	0	0
	<i>Helophorus arvernicus</i> (Mulsant, 1846)	0	1	0	0	1	0
	<i>Helophorus brevipalpis</i> (Bedel, 1881)	0	0	0	1	0	0
Diptera	<i>Tipula</i> sp.	5	0	0	0	0	0
	Psychodidae	41	2	0	1	0	0
	<i>Dicranota</i> sp.	17	0	53	9	1	6
	<i>Prosimulium</i> sp.	0	1	0	0	0	0
	<i>Beris</i> sp.	0	1	0	0	0	0
	<i>Antocha</i> sp.	0	0	0	1	0	0
	<i>Scleroprocta</i> sp.	0	0	0	1	0	0
	<i>Chelifera</i> sp.	0	0	0	0	0	2
	Clinocerinae	0	0	0	0	0	2
	Chironomidae	176	8	325	82	50	161

Die Plecoptera und Trichoptera sind zum Teil mit unterschiedlichen dominanten Gattungen vertreten, wie z.B. *Protonemura* und *Dictyogenus* bei LP1 und *Leuctra* bei LP2, verschiedene *Drusus*-Arten bei EBo und EBU. Die Diptera sind auch sehr unterschiedlich vertreten. Dies ist zu beobachten bei den Chironomidae, Psychodidae und bei *Dicranota*. Die Milben zeigen ebenfalls relativ unterschiedliche Häufigkeiten auf.

Von den **Trichoptera** (Köcherfliegenlarven) und **Plecoptera** (Steinfliegenlarven) wurde ein grosser Teil auf Artniveau bestimmt, jedoch auch einige Individuen nur auf Gattungsniveau, obwohl die Zeit für das Bestimmen auf Artniveau gereicht hätte. Dies liegt zum Teil an der

mangelnden Erhaltung der Tiere und daran, dass sie zum Teil zu klein waren, um an morphologischen Merkmalen erkannt zu werden. Bei den **Trichoptera** dominierten *Drusus*-Arten (*Drusus* sp.), wobei *Drusus nigrescens* und *Drusus monticola* die häufigsten Arten waren. Jedoch wurden vereinzelt auch seltenere Arten gefunden, so z.B. *Leptotaulius gracilis* und *Lithax niger*.

Bei den **Plecoptera** dominiert die Gattung *Protonemura* mit 27 Individuen. Jedoch wurden auch von den Gattungen *Nemurella* und *Leuctra* relativ viele Exemplare gefunden. *Dictyogenus fontium* war mit 6 grossen Exemplaren von bis zu ca. 5 cm Grösse vertreten. Auch eine Ephemeroptera-Art, *Baetis alpinus*, war in mehreren Proben vertreten. Jedoch kommen ansonsten die Ephemeroptera auf dieser Höhe über Meer kaum vor.

Von den **Diptera** waren die Chironomidae in allen Quellen mit bis zu 325 Individuen pro Quelle zahlreich vertreten und wurden nur auf Unterfamilien-Niveau bestimmt. Die Bandbreite war jedoch von 8 - 325 Individuen pro Quelle. Sie wurden nach morphologischen Merkmalen unterschieden (Morphospezies), jedoch ist die genaue und sichere Bestimmung auf Artniveau sehr schwierig und Spezialisten vorbehalten. Die restlichen Diptera wurden fast alle auf Gattungsniveau bestimmt (mit Ausnahme der Psychodidae und Clinocerinae).

Von den **Mollusken und Milben** konnten auch viele auf Artniveau bestimmt werden. Darunter waren aber nicht alle Arten rein aquatisch. *Vertigo*-Arten sind beispielsweise terrestrisch, sind jedoch an feuchte Habitate gebunden und sind für Quellstandorte nicht untypisch. *Pisidium*, mit nur einem Individuum vertreten, gehört zu den Bivalvia (Muscheln). Weitere Taxa wurden nur in Ordnungen unterteilt (Ostracoda, Copepoda und Oligochaeta).

Von der Gruppe der **Plathelminthes** kam *Crenobia alpina* häufig vor. Jedoch war am Anfang der Untersuchung noch nicht klar, dass die relativ unscheinbaren ovalen Tiere nicht Teil des Substrats selbst waren. Deshalb wurde bei einigen Quellen *Crenobia alpina* weggelassen.

Die **Coleoptera** waren mit wenigen Individuen vertreten. Neben einigen Helodidae-Larven waren dies zwei *Helophorus*-Arten.

4.4.) Resultate der statistischen Datenanalyse

Faunistische Daten: Ähnlichkeitsmatrix und nMDS

Die Ähnlichkeitsmatrix ergab Werte von 27.2 – 53.4% für die Ähnlichkeit zwischen den verschiedenen Quellbiozönosen (Tab. 7).

Relativ grosse Ähnlichkeiten sind zwischen den Quellen EBU und EBO, EBU und FGU, EBU und FGO sowie FGU und FGO zu sehen. Grosse Unterschiede finden sich zwischen LP1 und LP2, LP2 und EBO sowie LP2 und FGO. Am ähnlichsten sind sich EBU und FGO, am unterschiedlichsten LP2 und EBO.

Tab. 7: Ähnlichkeitsmatrix für die beprobten Quellen. Hohe Ähnlichkeitswerte sind rot markiert, niedrige blau.

	LP1	LP2	EBu	EBo	FGu
LP2	29.9				
EBu	38.1	35.4			
EBo	37.5	27.2	44.3		
FGu	31.7	34.2	42.1	36.3	
FGo	33.5	30.0	53.4	35.1	38.9

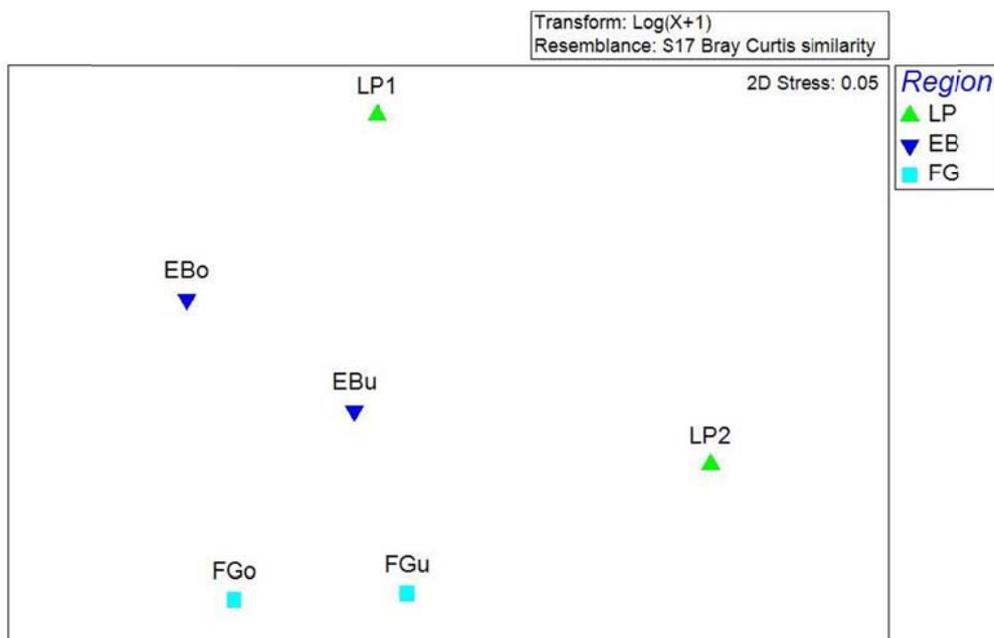


Abb. 19: Non-metric Multidimensional Scaling (nMDS) der sechs untersuchten Quellen auf Basis der faunistischen Daten. Ähnlichkeitsindex: Bray-Curtis Similarity, Transformation: log(x+1).

Auf der nMDS-Grafik ist gut zu sehen, dass die Quellen LP1 und LP2 sehr unterschiedlich sind, obwohl sie geographisch nahe beieinander liegen (Abb. 19). Dem gegenüber sind sich FGo und FGu sehr ähnlich und liegen nahe beieinander. Man kann auch gut sehen, dass sich die Quellen im Allgemeinen stark voneinander unterscheiden und signifikante Unterschiede in den Lebensgemeinschaften zu vermuten sind.

Es wurde ausserdem eine ANOSIM (Analysis of Similarities) durchgeführt, welche darstellen soll, wie sich die Lebensgemeinschaften zwischen den Quellregionen unterscheiden (LP, EB und FG). Diese ergab aber keine signifikanten Resultate. Der *Global R* – Wert lag bei 0.222 und das *Significance Level* bei 20%.

Dies bedeutet insgesamt, dass sich die Quellen in ihren Lebensgemeinschaften zwar allgemein voneinander unterscheiden, jedoch nicht signifikant von den Regionen her.

Abiotische Parameter: PCA (Principal Components Analysis)

Das Resultat der durchgeführten PCA besteht im Wesentlichen aus drei Hauptachsen, die möglichst viel der Varianz der Daten erklären sollen. Die erste Hauptachse PC1 erklärt 43.5% der Varianz der abiotischen Parameter. Die zweite Hauptachse PC2 erklärt 27.8% und die dritte Hauptachse PC3 erklärt 19.3%. Kumulativ wird 90.6% der Gesamtvarianz durch die ersten drei Hauptachsen erklärt (Tab. 8).

Tab. 8: Eigenwerte, Varianz und Kumulative Varianz für die Hauptachsen der PCA.

PC	Eigenwerte	Varianz (%)	Kum. Varianz (%)
1	5.22	43.5	43.5
2	3.34	27.8	71.4
3	2.31	19.3	90.6
4	1.11	9.3	99.9
5	8.83E-03	0.1	100

Auf der Abb. 20 sind die ersten beiden Hauptachsen dargestellt sowie die Eigenvektoren zu den jeweiligen abiotischen Parametern. Die Länge der Eigenvektoren zeigt ihren Betrag an und die Richtungen der Vektoren entsprechen dem Einfluss des jeweiligen Umweltparameters auf die jeweiligen Quellen.

Beispielsweise ist gut zu sehen, dass die Leitfähigkeit, Temperatur und pH einen grossen Teil der Varianz von LP1 und LP2 erklären. Die beiden Quellen haben tatsächlich hohe Messwerte für die Leitfähigkeit, die Temperatur und für den pH. Moospolster und Ton/Schluff

sind bei EBo und EBU, aber auch bei FGo relevant. Weiter sieht man, dass Sand, Blöcke, Totholz, Vegetation etc. bei FGu prägend waren.

Die PCA lieferte ausserdem zwei Text-Outputs. Auf dem ersten sind die Beträge der Eigenvektoren für die jeweiligen Parameter und Hauptachsen zu sehen (Tab. 9, s. Anhang). Auf dem zweiten sind die Scores der PCA für die jeweiligen Hauptachsen gezeigt (Tab.10, s. Anhang).

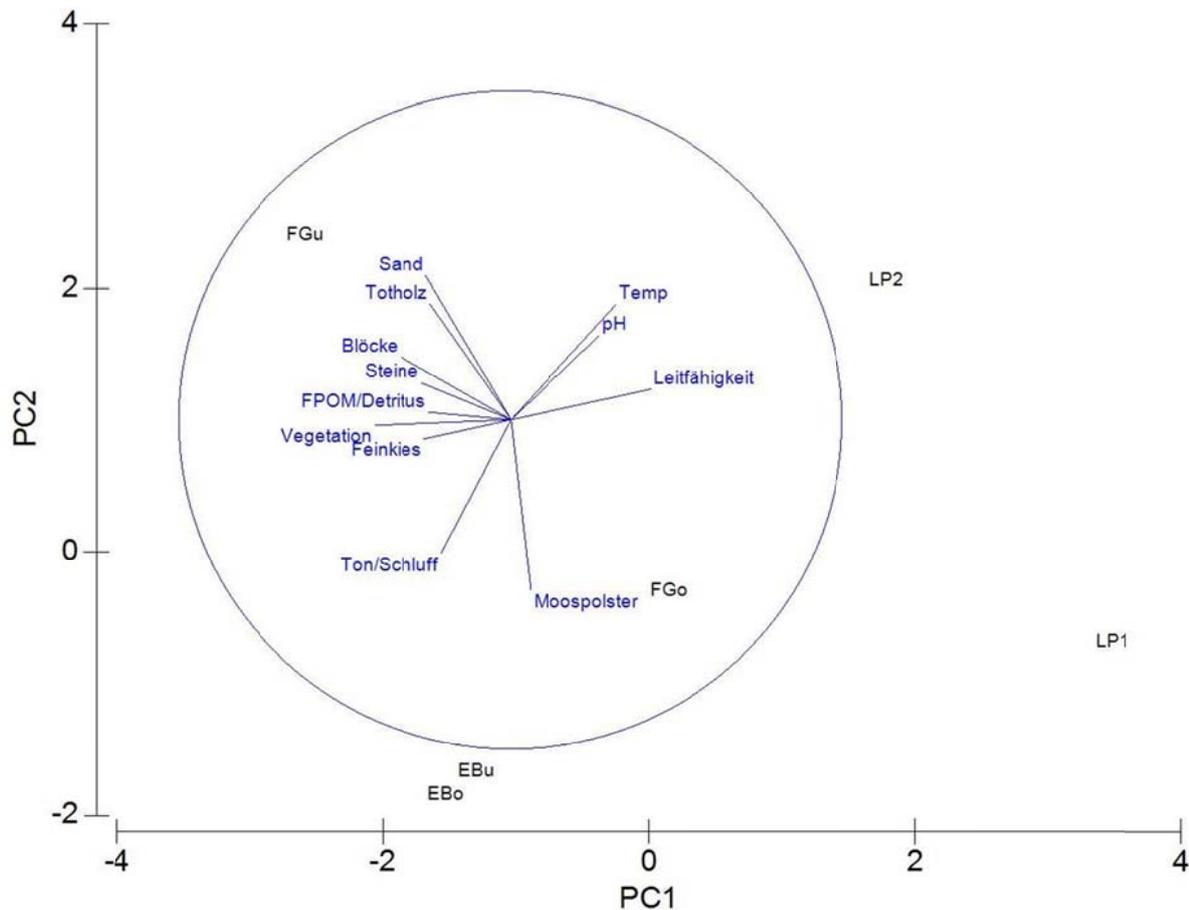


Abb. 20: Principal Components Analysis (PCA) für die getesteten abiotischen Parameter. Abgebildet sind die Eigenvektoren für die jeweiligen Parameter (in blau), die in Richtung ihres höchsten Einflusses auf bestimmte Quellen zeigen.

5.) Diskussion

5.1.) Methodenkritik

Die Aufnahme der Fauna erfolgte zu einem Zeitpunkt, an dem die Larven der Trichoptera und Plecoptera voll entwickelt sein können. Trotzdem wurden viele Larven gefunden, die für die Bestimmung noch zu klein waren oder welche bestimmte Merkmale noch nicht richtig aufwiesen. Die unterschiedlichen Organismen haben ausserdem unterschiedliche Lebenszyklen und können zu unterschiedlichen Zeiten ihre volle Ausprägung zeigen. Eine Lösung, um umfangreichere Untersuchungen zu machen, wäre die mehrfache Beprobung durch das Jahr hindurch, eventuell auch über mehrere Jahre. Die hier durchgeführte Untersuchung war eine punktuelle und einmalige Untersuchung, die die zeitliche Veränderung der Lebensgemeinschaften nicht berücksichtigt.

Durch die hohe mechanische Beanspruchung, insbesondere beim Aussortieren der quantitativen Proben, fehlten den Tieren z.T. die notwendigen Merkmale, um auf Artniveau bestimmt zu werden. Die Kante des Surber-Samplers, das Aussortieren von Hand und das teilweise zerkrüschende Substrat liess einigen Tieren die Beine oder andere Körperteile verkommen. In den eher steinigen Quellen ist die Beprobung mit dem Surber-Sampler etwas schwierig, weil das Substrat sehr grob ist und es zwischen den Steinen Stellen gibt, wo die Organismen nach unten entweichen können (VON FUMETTI 2004). Es waren alle beprobten Quellen relativ steinig und kiesig, bei LP2 z.B. ist wenig sonstiges Substrat vorhanden. LP2 ist auch die Quelle, die am meisten gefundene Taxa aber vergleichsweise wenige Individuen enthielt. Ein Verbesserungsvorschlag für die quantitative Probenahme wäre, dass man einen Surber-Sampler mit einer dünneren Kante aus einem anderen Material nehmen würde – z.B. Kunststoff -, welche das Substrat beim Eingraben weniger beanspruchen würde und tiefer eindringen könnte. Man könnte auch einen Surber-Sampler mit einer grösseren Fläche nehmen. Dabei wäre allerdings der Nachteil, dass mehr Substrat auszusortieren wäre.

Trotz sorgfältiger Vorsortierung und Filtrierung der Proben wurden einige zu wässrig konserviert. Dies trug bei diesen Proben zu geringem Weichwerden oder leichte Zersetzung der Tiere bei; dies erschwerte zum Teil auch die Bestimmung und die permanente Konservierung, vor allem bei den schlammigen Proben. Ein Lösungsvorschlag wäre hier, dass man einerseits gründlicher das Wasser ausfiltriert und/oder gründlicher in den Laborschalen vorsortiert. Man könnte auch das 95%-Ethanol zur Konservierung in den Probenahmebechern verwenden anstatt das 80%-Ethanol, bei solchen Proben, wo der Wassergehalt schlecht minimiert werden kann.

Gerade zu Anfang der Untersuchung war es schwierig, die Substrathäufigkeiten abzuschätzen. Auch andere Rubriken im Kartierbogen sind qualitative Schätzungen und Beobachtungen, so z.B. „Vegetation/Nutzung“ und „Strömungsdiversität“. Eventuell könnte dies auch ein Grund sein, warum die als erstes erfasste Quelle (LP2) ein hohes Gesamtergebnis bei der Auswertung erhielt (1.79).

5.2.) Diskussion der Ergebnisse

5.2.1.) Abiotische Parameter

Die Werte der **Leitfähigkeit** sind bei LP1 und LP2 deutlich am höchsten. Dies hängt u.a. mit der Geologie des Einzugsgebiets zusammen. LP1 und LP2 befinden sich auf dem Nordhang, an dem Kalk- und Dolomitgesteine die Geologie prägen, während auf dem Südhang bei den restlichen Quellen Moränenmaterial dominiert. Auch FGo weist jedoch eine erhöhte Leitfähigkeit auf, was wahrscheinlich mit deren hohem Gehalt an FPOM und Detritus zusammenhängt.

Die **Temperatur** des Quellwassers korreliert im Allgemeinen mit der Höhe über Meer (KÜRY et al. 2016). Jedoch gibt es auch komplexere Zusammenhänge, die die Temperatur von hochalpinen Quellen beeinflussen. Die Höhe über Meer allein kann die hier aufgeführten Messwerte, welche zwischen 4.5 – 7.3 °C liegen, nur teilweise erklären. FGU und FGo sind am tiefsten gelegen, weisen jedoch nicht die höchsten Temperaturen auf. Diese kommen stattdessen bei LP1 und LP2 vor, welche zwar etwas höher liegen, aber am südexponierten Nordhang fließen. Auch die Strahlungsexposition und die Permafrostverteilung hat einen signifikanten Einfluss auf hochalpine Quellen (KÜRY et al. 2016). Die erhöhte Strahlungsexposition könnte bei LP1 und LP2 einen erhöhenden Einfluss auf die Wassertemperatur haben. Ansonsten könnte auch thermaler Austausch im Untergrund und in den Böden einen Einfluss haben. Dieser könnte auch durch das erhöhte potentielle Vorkommen von Permafrost im Einzugsgebiet von EBo und EBU einen erniedrigenden Einfluss auf die dortige Wassertemperatur haben. Beim Hang von LP1 und LP2 kommt potentiell weniger Permafrost vor, welcher wahrscheinlich durch die erhöhte Sonneneinstrahlung auch weniger persistent ist (Abb. 8).

LP1 und LP2 weisen ebenfalls erhöhte **pH-Werte** auf. Diese liegen in einem von Kalk- und Dolomitgesteinen beeinflussten Gebiet, welche vermutlich den pH des Quellwassers ansteigen lassen. Grund dafür ist die pH - Verschiebung im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht in Richtung höherer pH - Wert bei dominanter (CO₃⁻) - Spezies. Die anderen Quellen befinden sich auf dem Südhang, in dem eine andere geologische Situation herrscht.

Substrattypen

Bei fast allen Quellen kommen viel Kies und Steine als Substrat vor. Dies ein bisschen weniger bei LP1 und FGo, welche vom braunen Moos bzw. von FPOM und Detritus ebenfalls stark geprägt sind. Gerade bei den hoch gelegenen Quellen EBo und EBU ist das hohe Vorkommen an Kies, Steinen und Blöcken wenig verwunderlich. Die beiden Quellen EBo und EBU haben Moränenmaterial als Untergrund und befinden sich oberhalb der Baumgrenze bzw. unterhalb eines Berggipfels, von dem aus laufend Gesteinspartikel wegerodiert werden.

Ton und Schluff sind vor allem in den Quellen EBo und EBU sehr häufig vertreten; dies könnte mit den dortigen Böden zusammenhängen. Der höchste Wert für Vegetation erhielt FGU, welche eine bewaldete Quelle ist mit Kräutern, Sträuchern und Farnen in der Unterschicht. Auch Totholz ist bei FGU am meisten zu finden.

Mithilfe der Ergebnisse der Strukturkartierung nach Fischer (1995) und LUBINI et al. sind alle Quellen als ‚naturnah‘ eingestuft worden. LP2 fällt knapp in diese Auswahl, ebenso könnte man dies bei FGU diskutieren. Bei LP2 könnte der hohe Wert damit zusammenhängen, dass zu Anfang das Arbeiten mit dem Bewertungsbogen ungewohnt war. Allerdings konnten bei LP2 auch leichte Trittschäden im Umfeld der Quelle beobachtet werden. FGo hat einen relativ niedrigen Wert, obwohl dies zu Anfang aufgrund des hohen Gehalt an FPOM und Detritus nicht zu erwarten war.

5.2.2.) Faunistische Daten

Da die faunistischen Ergebnisse pro Quelle dargestellt wurden und die Proben nicht einzeln aufgeführt sind, kann nicht mehr direkt auf die Substratpräferenz der gefundenen Taxa zurückgeschlossen werden. Allerdings dominieren gewisse Substrate in den jeweiligen Quellen und es gibt Untersuchungen, die die Substratpräferenz vieler der gefundenen Taxa thematisieren.

LP2 und FGo weisen am meisten gefundene Taxa pro Quelle auf, wobei bei LP1 und EBU am meisten Individuen gefunden wurden (Tab. 5). FGo weist auch viele Individuen auf, jedoch wurden bei LP2 vergleichsweise wenige Individuen gefunden. FGU wies deutlich am wenigsten Individuen und gefundene Taxa auf, obwohl das Substrat relativ divers war. Gemäss der Beschreibung der Substrattypen sind also nicht unbedingt die Quellen mit der grössten Substratdiversität (EBo, EBU und FGU) auch am diversesten und am dichtesten besiedelt.

In der Tab. 11 und Tab. 12 (im Anhang) werden einige der Taxa mit Substrat-, Futter- und Habitatpräferenzen gemäss ausgewählter Literatur aufgeführt. Die aufgeführten Taxa wurden anhand ihrer Relevanz und Häufigkeit ausgesucht, um die ermittelten Substrathäufigkeiten (Tab. 4) mit den Substrat- und Habitatpräferenzen zu vergleichen.

Einige der gefundenen Taxa kamen gleichmässig in den Quellen vor; so z.B. *Crenobia alpina* und *Leuctra sp.*, welche als krenobiont oder krenophil bezeichnet werden können. Sie haben eine hohe Bindung an Quellen und Hochgebirgsbäche. Beide Arten haben ihre Habitatpräferenz im Lital, welches in allen Quellen zu finden ist. Auch *Baetis alpinus* wurde in allen Quellen ausser bei EBo gefunden; sie kann auch als krenophil oder als rhithrobiont bezeichnet werden. Sie ist ebenfalls eine „Hochgebirgs-und Bergbachart“ (BURMEISTER & REISS 1983).

Bei den **Mollusken** kamen viele Arten in den Quellen vor, die am schlickigsten waren bzw. viel FPOM und organischen Schlamm enthielten (FGo und LP2) - gerade FGo war von den untersuchten Quellen die sumpfigste und trübste. So z.B. *Vertigo modesta*, *Vertigo genesii*, *Valvata piscinalis*, und *Pisidium sp.* *Valvata piscinalis* und *Pisidium sp.* werden in der Literatur mit dem Schlammgrund eher langsam fliessender oder stehender Gewässer in Verbindung gebracht (GLÖER et al. 1992 und BREHM & MEIJERING 1990). Die beiden gefundenen *Vertigo*-Arten sind typischerweise in der Gegend vom SNP und im Val Müstair zu finden (FELDER 2012). Sie wurden bei den Quellen LP1 und LP2 gefunden, welche an einem kalkreichen Standort fliessen: Dies passt gut zur Beschreibung der Ökologie der beiden Arten in der Literatur (BOSCHI 2011).

Bei den **Plecoptera** wurde *Protonemura sp.* in allen Quellen gefunden, jedoch am häufigsten bei LP1. *Protonemura*-Arten werden als "steinbesiedelnde Gebirgs-/Bergbacharten" bezeichnet (Tab. 19). Die Resultate stimmen mit dieser Aussage nicht wirklich überein; LP1 enthielt von den untersuchten Quellen am wenigsten Steine und Kies. *Leuctra gr. Braueri-muranyii* wurde nur bei LP2 gefunden. *Leuctra braueri* ist eine rhithrobionte Art und nicht unbedingt an Quellen gebunden (BURMEISTER & REISS 1983). Sie kommt ebenfalls im Lital und Feinkies vor (SCHMEDTJE 1996).

Nemoura mortoni ist eine krenophile Art, kommt aber auch in tiefer liegenden Flüssen und Bächen vor. Sie kommt normalerweise am meisten in Feinsedimenten bzw. im Phytal vor, obwohl dies nicht unbedingt mit dem gefundenen Substrat in LP2 übereinstimmt, wo sie am häufigsten gefunden wurde (GRAF et al. 1995). *Nemurella pictetii* wurde hingegen bei EBU am häufigsten gefunden, wo auch das von ihr präferierte Substrat – FPOM und Phytal – zu finden ist (ILLIES 1955). Alle aufgeführten Plecoptera-Arten sind auf Verbreitungskarten effektiv in der untersuchten Region anzusiedeln (LUBINI et al., 2014).

Eine weitere Untersuchung aus dem SNP bestätigt die vermuteten Tendenzen für die Substratpräferenz bei *Nemoura*- und *Nemurella*-Arten (organische Substrate wie FPOM und Phytal), sowie bei *Drusus*-Arten, insbesondere *Drusus melanchaetes* (Lithal) (VON FUMETTI & BLATTNER 2017).

Die **Trichoptera** waren stark durch *Drusus*-Arten vertreten. Die meisten dieser Arten sind Weidegänger und krenobiont oder krenophil. Einige werden als „kleinräumige Endemiten der Alpen“ bezeichnet, darunter auch *Drusus melanchaetes* und *Drusus nigrescens* (WARINGER 2011). Leider ist es schwierig, an Informationen über deren Substratpräferenz zu gelangen. Interessant zu beobachten ist, dass die gefundenen Exemplare fast ausschliesslich in den zusammenhängenden Quellen EBo und EBu zu finden waren. Gemäss der durchgeführten PCA (Principal Components Analysis) sind bei diesen Quellen Ton/Schluff und Moospolster ausser Steinen und Kies die relevantesten Substrate.

Lithax niger kommt bei EBu und FGu vor. Die dort dominierenden Substrate sind Moospolster, Sand, Kies und Steine. *Lithax niger* baut Köcher mit flügelartigen Verbreiterungen aus Sandkörnchen.

Bei den **Coleoptera** ist der Fund von *Helophorus arvernicus* weniger überraschend als der Fund von *Helophorus brevipalpis*. Erstere Art ist eine „montane Art kalter Gebirgsbäche“ (Tab. 19), während letztere als Ubiquist in vielen aquatischen Lebensräumen vorkommt.

Bei den **Diptera** sind die Arten der Familie der Psychodidae häufig aufgetreten. Diese sind nicht unbedingt quelltypische Arten, kommen aber unter anderem in Quellen vor. Arten der Gattung *Dicranota* sp. kommen laut Literatur vor allem in FPOM und Detritus bzw. im Phytal und in Feinsedimenten vor (AMBÜHL 1959, SCHMEDTJE 1996). In den Quellen LP1 und EBu, wo *Dicranota* sp. am meisten gefunden wurde, kommen Moospolster und Ton/Schluff vor, jedoch wenig bis gar kein FPOM und Detritus.

Vergleich der faunistischen Resultate mit anderen Untersuchungen

Bei einem Vergleich mit der Fauna in versinterten Quellbächen des Schweizer Jura (BOSSHART 2017) fällt auf, dass unter den Plecoptera ähnliche Taxa vorkommen, die Trichoptera jedoch ganz anders vertreten sind. Beispielsweise kommen *Crunoecia* sp., *Ernodes* sp. und *Polycentropodidae* Gen sp. vor, welche in der Untersuchung im Val Müstair nicht vorkommen. Bei den Diptera kommen auch einige Taxa in der Arbeit von BOSSHART vor, die in den hier untersuchten Quellen nicht vorkommen.

Bei einem Vergleich mit der Fauna im Einzugsgebiet des Talbachs im Kanton Aargau (MÜHLEMANN 2015) fällt bei den Plecoptera auf, dass die Gattung *Nemoura* im Talbach öfters vertreten ist, ansonsten jedoch *Protonemura* an beiden Standorten vorkommt. Bei den Quellen im Talbach wurden allgemein weniger Individuen für die Plecoptera gefunden. Die Trichoptera sind in beiden Untersuchungen mit ganz anderen Taxa vertreten.

Es ist natürlich anzunehmen, dass die Quellen im Schweizerischen Nationalpark und im Val Müstair sich ähnlicher sind als bei obigen Vergleichen. Bei einem Vergleich mit der Quellflur *Punt Periv* im Einzugsgebiet des Spöls (KAUFMANN 2014) fällt auf, dass die Plecoptera mit ähnlichen Taxa vertreten sind (*Leuctra* sp., *Nemoura mortoni*, *Nemurella pictetii*, *Protonemura* sp. etc.). Bei den Trichoptera kommen *Drusus* sp., *Lithax niger* und *Rhyacophila* sp. an beiden Standorten vor, jedoch sind unterschiedliche *Drusus*-Arten zu finden und sie waren in den untersuchten Quellen des Val Müstair häufiger. Bei den Diptera kommen gewisse Taxa auch an beiden Standorten vor (*Dicranota*, *Psychodidae* Gen sp. etc.). Die Gattung *Oxycera* kommt beispielsweise in den Quellen des Val Müstair nicht vor.

5.2.3.) Statistische Datenanalyse

Die grössten Ähnlichkeiten sind zwischen den Quellen EBU und EBO, EBU und FGO sowie FGU und FGO zu sehen (Tab. 7). Die grössten Unterschiede finden sich zwischen LP1 und LP2 sowie LP2 und EBO. Dies ist durchaus zu erwarten, da die Quellen EBU, EBO, FGU und FGO relativ nahe beieinander liegen und zum Teil hydrologisch miteinander verbunden sind. Sie befinden sich alle auf dem Südhang des Untersuchungsgebiets. Die Ergebnisse suggerieren also einen guten Faunenaustausch und/oder ähnliche Gemeinschaften unter ähnlichen Umweltbedingungen. Die Landschaft mit dem lichten Lärchenwald des Südhangs des Untersuchungsgebiets umfasst beispielsweise die Quellen EBU, FGU und FGO.

LP1 und LP2 sind relativ unterschiedlich, obwohl sie sehr nahe beieinander liegen (ca. 300m). Dies ist überraschend, denn die beiden Quellen fliessen unter ähnlichen geologischen Bedingungen, befinden sich im gleichen Einzugsgebiet und haben relativ ähnliche Substratzusammensetzungen. Die Unterschiede zwischen LP2 und EBO sowie LP2 und FGO sind noch eher zu erwarten, da diese sich geografisch und geologisch klar voneinander abtrennen und somit unterschiedliche Lebensbedingungen für die gefundenen Taxa zu erwarten sind.

Die nMDS zeigt, dass sich die Quellen im Allgemeinen in ihren Lebensgemeinschaften ziemlich unterschiedlich sind. Andererseits wurden bei der Untersuchung sicher nicht alle vorhandenen Organismen gefunden und die Quellen befinden sich relativ nahe beieinander;

es kann gut sein, dass sich bei umfangreicherer Probenahme noch mehr Ähnlichkeiten zeigen würden. Die Populationen der einzelnen Taxa kommen vermutlich aggregiert vor und in dem Fall kann es vorkommen, dass einzelne Populationen durch die räumlich punktuellen Aufnahmen nicht erfasst werden können (LUBINI 2014). Die qualitativen Proben verbessern diesen Umstand.

5.2.4.) Fazit

Wie schon erwähnt, beherbergen die untersuchten Quellen relativ unterschiedliche Lebensgemeinschaften. Dies gilt im Allgemeinen für die einzelnen Quellen, jedoch nicht signifikant für die drei Quellregionen. Die Relevanz der verschiedenen Substrate ist jeweils mit unterschiedlichen Tendenzen vertreten – Leitfähigkeit und Temperatur, Moospolster und Ton/Schluff etc. -, jedoch sind alle Quellen gleichermaßen durch Steine und Kies geprägt.

Die Vermutung zu Anfang dieser Untersuchung war, dass die Höhenlage und Exposition, die Wassertemperatur, das Vorhandensein von Permafrost und die Substratzusammensetzung relevant für die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften sein könnten. LP1 und LP2 scheiden sich aufgrund der höheren Wassertemperatur und des niedrigeren Permafrost-Vorkommens von den anderen Quellen ab. Dafür sind sich aber LP1 und LP2 faunistisch gesehen relativ unterschiedlich. EBo, EBU, FGo und FGU sind sich faunistisch ähnlicher und liegen geografisch nahe beieinander. Sie gleichen sich in punkto Wassertemperatur und liegen am gleichen Hang. EBo und EBU dürften am meisten vom Permafrost beeinflusst sein (Abb. 7), dies zeigte sich auch in der Wassertemperatur. Tatsächlich sind sich die beiden Quellen faunistisch und vom Substrat her ähnlich.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Exposition, die Wassertemperatur und das Vorhandensein von Permafrost durchaus einen gewissen Einfluss auf die Lebensgemeinschaften hat, jedoch bleibt unklar, wie stark jeweils dieser Einfluss ist. Der Einfluss der Substratzusammensetzung konnte trotz den erwähnten Substratpräferenzen nur bedingt gezeigt werden, da zum Teil grössere Unterschiede in den Lebensgemeinschaften bei ähnlicher Substratzusammensetzung gefunden wurden (LP1 und LP2, FGo und FGU).

6.) Literaturverzeichnis

AMBÜHL, H. (1959): Die Bedeutung der Strömung als ökologischer Faktor. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 21. S. 133 – 264.

BIGGS, J., VON FUMETTI, S. (HRSG.): Hydrobiologia - The International Journal of Aquatic Sciences. Volume 793, June 2017. Springer Verlag, Luxemburg.

BOSSHART, S. (2017): Längszonale Gliederung der Fauna in versinterten Quellbächen des Schweizer Jura. Bachelor Arbeit. Universität Basel, Departement Umweltwissenschaften, Forschungsgruppe Biogeographie.

BOTOSANEANU, L., MALICKY, H. (1978): Trichoptera. In : ILLIES, J. (HRSG.): Limnofauna Europaea. Eine Zusammenstellung aller Binnengewässer bewohnenden mehrzelligen Tierarten mit Angaben über ihre Verbreitung und Ökologie, 2. Auflage. Stuttgart, New York, Amsterdam. S. 333 – 359.

BRAUKMANN, U. (1987): Zooökologische und saprobiologische Beiträge zu einer allgemeinen regionalen Bachtypologie. Archäologisch - Hydrobiologisches Beiheft 26 (Ergebnisse der Limnologie 26). Stuttgart.

BREHM, J., MEIJERING, M.P.D. (1990): Fliessgewässerkunde. Einführung in die Limnologie der Quellen, Bäche und Flüsse. Biologische Arbeitsbücher 36. Quelle & Meyer Verlag, Heidelberg, Wiesbaden.

BURMEISTER, E.-G., REISS, F. (1983): Die faunistische Erfassung ausgewählter Wasserinsektengruppen in Bayern (Eintagsfliegen, Libellen, Steinfliegen, Köcherfliegen, Zuckmücken). – Informationsbericht des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft 7/83, München.

CLARKE K.R. & GORLEY, R.N. (2006): Primer v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth.

FELDER, S. (2013): Faunistische Charakterisierung alpiner Quellen im Schweizerischen Nationalpark. Masterarbeit. Universität Basel, Departement Umweltwissenschaften, Forschungsgruppe Biogeographie.

FURRER, H., SCHLÜCHTER, C., INDERBITZIN, E., POITNER, 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.

GLÖER, P., MEIER-BROOK, C. & OSTERMANN, O. (1992): Süßwassermollusken. Deutscher Jugendbund für Naturschutz, 10. erw. Auflage, Hamburg.

GRAF, W., GRASSER, U., & WARINGER, J. (1995): Plecoptera (Steinfliegen). In: MOOG, O. (HRSG.): Fauna Aquatica Austriaca. Katalog zur autökologischen Einstufung aquatischer Organismen Österreichs. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Abteilung für Hydrobiologie, Fischereiwirtschaft und Aquakultur der Universität für Bodenkultur, Wien.

HALLER, H., EISENHUT, A., & HALLER, R. (2014): Atlas des Schweizerischen Nationalparks. Die ersten 100 Jahre. National-Park-Forschung Schweiz 99/1. Haupt Verlag, Bern. S. 22-25 (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz).

HEBAUER, F. (1992): Rote Liste gefährdeter Wasserkäfer (Hydradephaga, Palpicornia, Dryopoidea) Bayerns. In: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (HRSG.): Schriftenreihe des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz 111 (Beiträge zum Artenschutz 15), München.

ILLIES J. (1955): Steinfliegen oder Plecoptera. Die Tierwelt Deutschlands 43, Jena.

ILLIES, J., BOTOSANEANU, L. (1963): Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. Int. Verh. für theoretische und angewandte Limnologie, Stuttgart.

KAUFMANN, L. (2014): Charakterisierung der Quellflur *Punt Periv* im Tal des Spöls (Schweizerischer Nationalpark). Bachelorarbeit. Universität Basel, Departement Umweltwissenschaften, Forschungsgruppe Biogeographie.

KÜHLMANN, D., KILIAS, R., MORITZ, M. & RAUSCHERT, M. (1993): Wirbellose Tiere Europas, ausser Insekten. Neumann Verlag, Radebeul.

KÜRY, D., LUBINI, V. & STUCKI, P. (2016): Temperature patterns and factors governing thermal response in high elevation springs of the Swiss Central Alps. In: KELLY-QUINN M., BIGGS, J., VON FUMETTI, S. (HRSG.): Hydrobiologia - The International Journal of Aquatic Sciences. Volume 793, June 2017. Springer Verlag, Luxemburg.

LEYER, I. & WESCHE, K. (2007): Multivariate Statistik in der Ökologie: Eine Einführung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

LUBINI, V., STUCKI, P., VICENTINI, H. & KÜRY, D. (2014): Bewertung von Quell-Lebensräumen in der Schweiz. Entwurf für ein strukturelles und faunistisches Verfahren. Bundesamt für Umwelt BAFU. Bern.

MEIER, L. (2013): Landschaftsanalyse Biosfera Val Müstair. Analyse des Habitat-Datensatzes mit GIS. Departement Umweltsystemwissenschaften, ETH Zürich.

MEYER, E. (1987): Makroskopisch – biologische Feldmethoden zur Wassergütebeurteilung von Fließgewässern; AG Limnologie und Gewässerschutz e.V. & Bund für Umwelt und Naturschutz, Hannover. 156 S.

MOOG, O. (1995): Fauna Aquatica Austriaca. Katalog zur autökologischen Einstufung aquatischer Organismen Österreichs. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Abteilung für Hydrobiologie, Fischereiwirtschaft und Aquakultur der Universität für Bodenkultur, Wien.

MÜHLEMANN, L. (2015): Faunistische Charakterisierung und Bewertung naturnaher Quellen im Einzugsgebiet des Talbachs. Bachelorarbeit. Universität Basel, Departement Umweltwissenschaften, Forschungsgruppe Biogeographie.

SCHMEDITJE, U. (1996): Ökologische Typisierung der aquatischen Makrofauna. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft. Gebr. Parcus KG, München.

SCHÖNBORN, W., RISSE-BUHL, U. (2013): Lehrbuch der Limnologie. Verlag Schweizerbart, Stuttgart.

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

VON FUMETTI, S., BLATTNER, L. (2017): Faunistic assemblages of natural springs in different areas of the Swiss National Park: a small-scale comparison. In: KELLY-QUINN M., BIGGS J., VON FUMETTI S. (HRSG.): Hydrobiologia - The International Journal of Aquatic Sciences. Volume 793, June 2017. Springer Verlag, Luxemburg.

ZOLLHÖFER, J.M. (1997): Quellen. Die unbekanntesten Biotop im Schweizer Jura und Mittelland erfassen – bewerten – schützen. Bristol-Stiftung Ruth und Herbert, UHL-Forschungsstelle Natur- und Umweltschutz. Bristol-Schriftenreihe Band 6.

Bestimmungsliteratur:

AMANN, E., BRANDSTETTER, C. M. & KAPP, A. (1994): Käfer am Wasser. Gattungsschlüssel der (semi-)aquatischen Käfer Mitteleuropas. Eigenverlag des Ersten Vorarlberger Coleopterologischen Vereins, Bürs.

BOSCHI, C., HEIM, R., NEUBERT, E., RÜETSCHI, J., STUCKI, P. (2011): Die Schneckenfauna der Schweiz. Ein umfassendes Bild- und Bestimmungsbuch. Haupt Verlag, Bern.

LUBINI, V., KNISPEL, S., VINÇON, G. (2012): Fauna Helvetica – Plecoptera. Die Steinfliegen der Schweiz. Bestimmung und Verbreitung. Schweizerische Entomologische Gesellschaft (SEG/SES), Neuchâtel.

MÜLLER, H. J. (1995): Bestimmung wirbelloser Tiere – Bildtafeln für zoologische Bestimmungsübungen und Exkursionen. Gustav Fischer Verlag Jena, 3. Auflage, Stuttgart.

SCHMEDTJE, U., KOHLMANN, F. (1988): Bestimmungsschlüssel für die Saprobier-Din- Arten (Makroorganismen). Informationsberichte 2/88. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft. München.

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

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

Internetquellen

Map Geo Admin - Karten der Schweiz

URL: <https://map.geo.admin.ch/> (02.03.18).

Biosfera Val Müstair

URL: <http://www.biosfera.ch/> (13.02.2018).

Nationalpark.ch – Schweizerischer Nationalpark

URL: <http://www.nationalpark.ch/de/about/ueber-uns/unesco-biosphaerenreservat/> (13.02.2018).

Universität Oldenburg

URL:

https://www.uni-oldenburg.de/fileadmin/user_upload/biologie-geoumwelt/download/Karthaeuser_2008_Akzeptanz_Biosfera.pdf (14.02.2018).

Atlas Nationalpark

URL:

<http://www.atlasnationalpark.ch/de/themenbeitrag/gewaesser-und-quellen> (15.02.2018).

Meteoblue

URL:

https://www.meteoblue.com/de/wetter/vorhersage/modelclimate/ofenpass_schweiz_2659304
(15.02.2018).

Parcs.ch, ETH Zürich

URL:

http://www.parcs.ch/bvm/pdf_public/2014/30182_20140811_091951_Bachelorarbeit_Luzia_Meier.pdf (14.02.2018).

Biodiversity Library (*Vertigo genesii* & *Drusus melanchaetes*)

URL: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/43131#page/270/mode/1up> (18.02.2018).

URL: https://www.biodiversitylibrary.org/name/Drusus_melanchaetes_McLachlan_1876
(18.02.2018).

Limnology Journal (*Drusus nigrescens*)

URL:

<https://www.limnology-journal.org/articles/limn/pdf/2007/03/limn200743p161.pdf> (02.03.18).

Mollbase.de (*Vertigo Modesta*)

URL: http://www.mollbase.de/list/index.php?aktion=zeige_taxon&id=445 (02.03.2018).

ANHANG:

- 1.) **Tab. 9:** Text-Output der PCA: Die beiden Hauptachsen PC1 und PC2 und die Werte bzw. Beträge der grössten Eigenvektoren sind fettgedruckt.
- 2.) **Tab. 10:** Text-Output der PCA nr. 2. SCORE1 und SCORE2 steht für die beiden Hauptachsen PC1 und PC2. Hohe Scores sind fettgedruckt.
- 3.) **Tab. 11:** Auflistung einiger der gefundenen Taxa mit Substrat- und Futterpräferenzen (SCHMEDTJE 1996).
- 4.) **Tab. 12:** Auflistung einiger der gefundenen Taxa mit Habitatpräferenzen- und Bindungen (SCHMEDTJE 1996, MOOG 1995).
- 5.) **Erklärung zur wissenschaftlichen Redlichkeit**

Tab. 9: Text-Output der PCA: Die beiden Hauptachsen PC1 und PC2 und die Werte bzw. Beträge der grössten Eigenvektoren sind fettgedruckt.

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Leitfähigkeit	0.421	0.093	-0.003	0.198	-0.263
Temperatur	0.317	0.352	0.038	0.226	-0.398
pH	0.267	0.257	-0.179	-0.544	-0.506
Moospolster	0.06	-0.518	0.187	0.06	-0.311
Totholz	-0.243	0.353	0.047	0.493	-0.119
FPOM/Detritus	-0.248	0.023	0.537	-0.092	-0.24
Vegetation	-0.411	-0.017	0.202	0.141	-0.401
Ton/Schluff	-0.21	-0.405	-0.295	-0.133	-0.324
Sand	-0.255	0.438	-0.077	-0.074	0.097
Feinkies	-0.261	-0.058	-0.466	0.343	-0.259
Steine	-0.27	0.113	-0.482	-0.193	-0.013
Blöcke	-0.329	0.19	0.24	-0.401	-0.071

Tab. 10: Text-Output der PCA nr. 2. SCORE1 und SCORE2 steht für die beiden Hauptachsen PC1 und PC2. Hohe Scores sind fettgedruckt. Die Scores der PCA zeigen an, welche Quelle mit welcher Hauptachse gut korreliert, in positiver oder negativer Richtung.

Quelle	SCORE1	SCORE2	SCORE3	SCORE4	SCORE5
LP1	3.49	-0.68	1.8E-02	1.38	5.2E-04
LP2	1.78	2.06	-1.34	-1.29	9.3E-03
EBu	-1.3	-1.66	-0.902	-0.232	-0.152
EBo	-1.53	-1.84	-0.855	-0.151	0.145
FGu	-2.59	2.41	0.222	1.12	-2.2E-03
FGo	0.15	-0.29	2.86	-0.821	-2.2E-04

Tab. 11: Auflistung einiger der gefundenen Taxa mit Substrat- und Futterpräferenzen (SCHMEDITJE 1996).

Gruppe	Taxon	Substratpräferenz	Futterpräferenz
Plathelminthes	<i>Crenobia Alpina</i>	Lithal	Räuber
Bivalvia	<i>Pisidium</i> sp.	Feinsedimente/Schlick	Weidegänger
Gastropoda	<i>Radix</i> sp.	x	Weidegänger
	<i>Valvata piscinalis</i>	Pelal	Sedimentfresser
Ephemeroptera	<i>Baetis Alpinus</i>	Lithal	Weidegänger/Sedimentfresser
Plecoptera	<i>Protonemura</i> sp.	Lithal	Zerkleinerer/Weidegänger
	<i>Leuctra</i> sp.	Lithal/Feinkies	Zerkleinerer/Sedimentfresser
	<i>Leuctra braueri</i>	Lithal/Feinkies	Sedimentfresser
	<i>Nemoura mortoni</i>	Feinsedimente/Phytal	Zerkleinerer
	<i>Nemurella pictetii</i>	Phytal/FPOM	Zerkleinerer
Trichoptera	<i>Drusus</i> sp.	x	Weidegänger
	<i>Drusus monticola</i>	x	Weidegänger
	<i>Drusus melanchaetes</i>	x	x
	<i>Goera Pilosa</i>	Lithal/Feinkies	Weidegänger
	<i>Lithax Niger</i>	x	Weidegänger/Sedimentfresser
Coleoptera	<i>Helophorus arvernicus</i>	Phytal/FPOM	Zerkleinerer/Sedimentfresser
	<i>Helophorus brevipalpis</i>	Phytal/FPOM	Zerkleinerer/Sedimentfresser
Diptera	Psychodidae Gen sp.	Lithal	Weidegänger/Sedimentfresser
	<i>Dicranota</i> sp.	Feinsedimente/Phytal/FPOM	Räuber

Tab. 12: Auflistung einiger der gefundenen Taxa mit Habitatpräferenzen- und Bindungen (SCHMEDTJE 1996, MOOG 1995).

Gruppe	Taxon	Habitatpräferenz/-bindung
Plathelminthes	<i>Crenobia Alpina</i>	Krenobiont: "Im kalten, klaren und sauerstoffreichen Quellwasser (KÜHLMANN et. Al. 1993).
Bivalvia	<i>Pisidium</i> sp.	"Sand und Schlamm des Bodengrundes von Flüssen und Bächen" (BREHM & MEIJERING 1990).
Gastropoda	<i>Radix</i> sp.	
	<i>Valvata piscinalis</i>	"Lebt im Schlammgrund grossflächiger stehender und langsam fliessender Gewässer" (GLÖER et al. 1992).
	<i>Vertigo modesta</i>	"Feuchte, schattige Standorte auf kalkreichem Untergrund", "Schutt an Bachufern" (BOSCHI 2011).
	<i>Vertigo genesii</i>	"An feuchten, aber nicht überfluteten Stellen, vorzugsweise auf kalkreichem Untergrund." (BOSCHI 2011).
Ephemeroptera	<i>Baetis Alpinus</i>	Krenophil/Rhithrobiont: "Hochgebirgs- und Bergbachart (BURMEISTER & REISS 1983).
Plecoptera	<i>Protonemura</i> sp.	"Steinbesiedelnde Gebirgs-/Bergbacharten (BRAUKMANN 1987).
	<i>Leuctra</i> sp.	Krenophil: "Können in Mittelgebirgsbächen und -flüssen recht häufig sein (MEYER 1987).
	<i>Leuctra braueri</i>	Rhithrobiont: "Quellen, Flüsse und Ströme" (BURMEISTER & REISS 1983).
	<i>Nemoura mortoni</i>	Eurytop: "Eukrenal bis Epirhithral, Litoral" (GRAF et al. 1995).
	<i>Nemurella pictetii</i>	Eurytop: "Süswasserubiquist" (ILLIES 1955).
Trichoptera	<i>Drusus</i> sp.	Rheobiont/stenotop (BURMEISTER & REISS 1983).
	<i>Drusus monticola</i>	Krenobiont: "Hochgebirgsbäche (BURMEISTER & REISS 1983).
	<i>Drusus melanchaetes</i>	Krenophil: "Hypokrenal/Epirhithral" (MOOG O. 1995).
	<i>Goera Pilosa</i>	"Potamal, Stillgewässer, Rhithral" (BOTOSANEANU & MALICKY 1978).
	<i>Lithax Niger</i>	"Krenophil: Quellen, Hochgebirgs- und Bergbäche" (BURMEISTER & REISS 1983).
Coleoptera	<i>Helophorus arvernicus</i>	"Ripicole, montane Art kalter Gebirgsbäche" (HEBAUER 1992).
	<i>Helophorus brevipalpis</i>	Eurytop/Ubiquist
Diptera	Psychodidae Gen sp.	"Bevorzugt im Rhithral" (ILLIES & BOTOSANEANU 1963).
	<i>Dicranota</i> sp.	"Hält sich vornehmlich in faulendem Laub, in Detritus usw. auf" (AMBÜHL 1959).



Universität
Basel

Philosophisch-Naturwissenschaftliche
Fakultät



Erklärung zur wissenschaftlichen Redlichkeit (beinhaltet Erklärung zu Plagiat und Betrug)

Bachelorarbeit / Masterarbeit (nicht Zutreffendes bitte streichen)

Titel der Arbeit (Druckschrift):

Lebensgemeinschaften ausgewählter Quellen in der
UNESCO-Biosphäre Engiadina Val Müstair

Name, Vorname (Druckschrift):

Sentieiro, Julien

Matrikelnummer:

14-056-949

Hiermit erkläre ich, dass mir bei der Abfassung dieser Arbeit nur die darin angegebene Hilfe zuteil wurde und dass ich sie nur mit den in der Arbeit angegebenen Hilfsmitteln verfasst habe.

Ich habe sämtliche verwendeten Quellen erwähnt und gemäss anerkannten wissenschaftlichen Regeln zitiert.

Diese Erklärung wird ergänzt durch eine separat abgeschlossene Vereinbarung bezüglich der Veröffentlichung oder öffentlichen Zugänglichkeit dieser Arbeit.

ja nein

Ort, Datum:

Basel, 09.03.18

Unterschrift:

Dieses Blatt ist in die Bachelor-, resp. Masterarbeit einzufügen.