

Untersuchung naturnaher Quellen im Val S-Charl

Katrin Althaus



Bachelorarbeit
BSc Geowissenschaften
Universität Basel
Mai 2021

Betreuung:
PD Dr. Stefanie von Fumetti

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich bei der Verfassung meiner Bachelorarbeit unterstützt und motiviert haben.

In erster Linie danke ich Dr. Stefanie von Fumetti für die engagierte Betreuung und Hilfe während dem ganzen Prozess dieser Arbeit.

Ich bedanke mich bei Angelika Abderhalden für das Ermöglichen der Arbeit, insbesondere für die Organisation der Unterkunft und die Übernahme der Kosten während der Feldarbeit.

Ebenfalls möchte ich mich bei Lucas Blattner für die Unterstützung bei der Feldarbeit und die Hilfe bei der Bestimmung der Acari bedanken.

Weiter danke ich Andri Bandli für die gemeinsame Feldarbeit bei Wind und Wetter.

Für das Korrekturlesen meiner Arbeit und die konstruktiven Anregungen bedanke ich mich bei Anna Häfeli und Michael Dipner.

Ein herzlicher Dank gilt meinem Umfeld, das mich in vielerlei Bereichen unterstützt und ermutigt hat.

Abstract

Quellen sind einzigartige Ökotope an der Schnittstelle zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser mit relativ stabilen abiotischen Bedingungen. Durch ihre Habitatdiversität weisen Quellen oft eine besonders hohe Artenvielfalt auf. In dieser Arbeit wurden zehn alpine Quellen im Val S-Charl untersucht. Das Tal liegt im UNESCO-Biosphärenreservat Engiadina Val Müstair, welches nur geringfügig von direkten anthropogenen Störungen beeinflusst ist. Betrachtet wurden sowohl faunistische, strukturelle als auch physikochemische Parameter der Quellen. Im Zentrum stand die Fragestellung, wie sich die Artenzusammensetzung entlang des Höhengradienten verändert. Insgesamt wurden in den zehn Quellen 60 verschiedene Taxa identifiziert. Die höchste taxonomische Vielfalt wurde bei den Gruppen der Diptera, Plecoptera und Trichoptera nachgewiesen. Unter den Plecoptera und Trichoptera fanden sich ausserdem mehrere gefährdete Arten, welche auf der Roten Liste verzeichnet sind. Gemäss der Analyse mittels PCA und RDA erwiesen sich hauptsächlich spezifische Substratparameter als entscheidende Faktoren für die Zusammensetzung der Quellfauna. Bei vielen Arten liess sich eine Präferenz für bestimmte Mikrohabitate erkennen. Die strukturelle Bewertung zeigte, dass sich ein Grossteil der untersuchten Quellen im Val S-Charl in einem naturnahen Zustand befindet. Der Schutz dieser wertvollen Lebensräume ist für die Erhaltung der spezialisierten Quellfauna von grosser Bedeutung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Untersuchungsgebiet	3
2.1	UNESCO Biosfera Engiadina Val Müstair	4
2.2	Klima	5
2.3	Geologie und Geomorphologie	6
3	Material und Methoden	7
3.1	Vorgehensweise	7
3.2	Strukturelle Erfassung	7
3.3	Erfassung abiotischer Parameter	7
3.4	Erfassung der Fauna	8
3.5	Statistische Auswertung	9
4	Resultate	10
4.1	Übersicht der Standorte	10
4.2	Beschreibung der untersuchte Quellen	11
4.3	Abiotische Parameter und Struktur.....	22
4.4	Ionenkonzentration der Wasserproben	23
4.5	Quellfauna	25
4.6	Bewertung der Fauna nach Fischer (1996).....	26
4.7	Statistische Auswertung	29
4.7.1	nMDS	29
4.7.2	PCA	30
4.7.3	RDA	32
5	Diskussion	33
5.1	Methodendiskussion	33
5.2	Ergebnisdiskussion	34
6	Literaturverzeichnis	37
7	Anhang	37

Abbildungsverzeichnis

Titelblatt: Ravitschana 1 (Althaus, K. 2019)	
Abb. 1: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes (Swisstopo 2020)	3
Abb. 2: Zonierung der UNESCO Biosfera Engiadina Val Müstair (Nationalpark.ch 2021)	4
Abb. 3: Klimadiagramm der Station Scuol (Meteo Schweiz 2020)	5
Abb. 4: Geologie des Untersuchungsgebietes (Swisstopo 2020)	6
Abb. 5: Quellen im Untersuchungsgebiet (Swisstopo 2020)	10
Abb. 6: Plan da Funtanas 1 (K. Althaus 2019)	11
Abb. 7: Plan da Funtanas 2 (K. Althaus 2019)	12
Abb. 8: Ravitschana 1 (K. Althaus 2019)	13
Abb. 9: Tiatscha Sot 1 (K. Althaus 2019)	14
Abb. 10: Tiatscha Sot 2 (K. Althaus 2019)	15
Abb. 11: Laviner Lad 1 (K. Althaus 2019)	16
Abb. 12: Charbunera 1 (K. Althaus 2019)	17
Abb. 13: Tablasot 1 (K. Althaus 2019)	18
Abb. 14: Tablasot 2 (K. Althaus 2019)	19
Abb. 15: Tamangur 1 (K. Althaus 2019)	20
Abb. 16: Tamangur 2 (K. Althaus 2019)	21
Abb. 17: Summierte Anzahl Taxa pro Quelle	26
Abb. 18: Shannon-Index der Quellfauna	26
Abb. 19: nMDS der untersuchten Quellen, gruppiert nach Höhenlage (>1800, <1800)	29
Abb. 20: Biplot der abiotischen Parameter mittels PCA	31
Abb. 21: RDA Plot	32

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Bewertungsklassen der Quellstruktur nach Lubini et al. (2014)	7
Tab. 2: Bewertungsklassen der Quellfauna nach Fischer (1996)	8
Tab. 3: Resultate Strukturbewertung	22
Tab. 4: Messwerte Abiotik	22
Tab. 5: Häufigkeit der verschiedenen Substrattypen.	23
Tab. 6: Konzentration Kationen	24
Tab. 7: Konzentration Anionen	24
Tab. 8: Bewertung der Quellfauna	26
Tab. 9: Artenliste und Abundanzen der Quellfauna.	27
Tab. 10: Eigenwerte und Varianz der ersten fünf Hauptkomponenten	30
Tab. 11: Komponentenmatrix der PCA. Hohe Ladungen sind hervorgehoben.	30
Tab. 12: Scores der Hauptkomponenten der PCA	31

1 Einleitung

Als Quellen werden natürliche Austritte des Grundwassers an die Erdoberfläche bezeichnet, welche permanent oder temporär sein können (Reiss et al. 2016). Quellaustritte entstehen an der Schnittstelle zwischen der Geländeoberfläche und der grundwasserführenden Gesteinsschicht (Bahlburg & Breitzkreuz 2012). Folglich werden die chemischen und physikalischen Bedingungen des Quellwassers massgebend durch die Geologie im Aquifer beeinflusst (Cantonati et al. 2020). Quellen können in ihrer Erscheinungsform sehr divers sein. Die noch heute gängige Klassifizierung der drei Haupttypen Helokrene (Sickerquelle), Rheokrene (Sturzquelle) und Limnokrene (Tümpelquelle) wurde von Steinmann (1915) und Thienemann (1924) definiert und beruht auf der morphologischen Struktur des Wasseraustritts. Sowohl ökomorphologisch als auch faunistisch sind Quellen vielfältige Süsswasserökosysteme (von Fumetti & Nagel 2011). Sie stellen komplexe Ökotope im Übergangsbereich zwischen aquatischer und terrestrischer Umwelt dar und stehen sowohl vertikal, horizontal wie auch lateral in Verbindung mit ihrer Umgebung (Cantonati et al. 2006; von Fumetti & Blattner 2017). Trotz ihrer meist geringen Grösse sind Quellen keine homogenen Lebensräume, sondern bestehen aufgrund der ausgeprägten Mosaikstruktur aus einer Vielzahl von Mikrohabitaten (Cantonati et al. 2012). Diese Heterogenität ist einer der Hauptgründe für die häufig hohe Artenvielfalt und Populationsdichte in Quellen (Cantonati et al. 2006). Charakteristisch für den Lebensraum Quelle sind die vergleichsweise konstanten, saisonal unabhängigen Umweltbedingungen, wie beispielsweise die über das ganze Jahr relativ stabile Wassertemperatur. Diese Eigenschaften zeichnen Quellen als Habitate für eine spezialisierte Biozönose aus (Van der Kamp 1995, Cantonati et al. 2012). Im Lebensraum Quelle, dem Krenal, koexistieren krenobionte Arten (Quellspezialisten), rhithrobionte Arten (Grundwasserspezialisten) sowie Vertreter der Fauna liminaria (Arten der Wasser-Land-Grenzfläche) (von Fumetti & Blattner 2017). Ausserdem werden Quellen von zahlreichen gefährdeten Arten besiedelt, welche an die vorherrschenden Umweltbedingungen dieser speziellen Ökotope angepasst sind. (Küry et al. 2018).

Das Ökosystem Quelle reagiert äusserst sensibel auf sich ändernde Umweltbedingungen und Einflüsse von aussen (Zollhöfer 1997). Die teilweise starke Isolation und räumliche Fragmentierung der einzelnen Quellen erschwert die Wiederbesiedlung nach einer Störung. Der Schutz dieser Lebensräume ist deshalb wichtig, um bedrohte Arten zu erhalten (Lubini et al. 2012). Quellen stehen jedoch unter einem grossen Nutzungsdruck und gelten per Gesetz in der Schweiz nicht als explizit geschützte Landschaftselemente (Zollhöfer 1997). Viele Quellen werden zur Trinkwassergewinnung gefasst, durch übermässige Nährstoff- und Pestizideinträge beeinträchtigt oder durch Drainage zerstört (Lubini et al. 2014). In den Alpen werden Quellen hauptsächlich von der Forst- und Alpwirtschaft beeinflusst (Weber 2006).

Die globale Klimaerwärmung stellt eine weitere Bedrohung für das Ökosystem Quelle dar. Besonders stark sind dabei alpine Regionen betroffen (IPCC 2014). Es wird angenommen, dass sich im Zuge des Klimawandels die Umweltbedingungen in Quellen verändern werden, insbesondere wird eine Erhöhung der Wassertemperatur sowie eine Veränderung des Schüttungsregimes erwartet (von Fumetti et al. 2017). Diese Veränderungen könnten gravierende Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung alpiner Quellen haben und zur Gefährdung endemischer Arten führen (Claret & Marmonier 2019).

Im Alpenraum ist die Quelldichte besonders hoch (Lubini et al. 2014). Alpine Quellen sind junge Biotope postglazialen Ursprungs (Cantonati et al. 2006). Sie unterscheiden sich in mehreren Bereichen von Quellen in tieferen Lagen. Die durchschnittliche Wassertemperatur nimmt mit zunehmender Höhe ab (Küry et al. 2017). Während Quellen in niederen Lagen meist durch tiefes Grundwasser gespeist sind, werden sie in hohen Lagen stärker von oberflächennahen Aquiferen sowie von Schmelzwasser aus Schnee und Permafrost beeinflusst. Dies verändert die Abiotik des Systems Quelle. Entlang des Höhengradienten lässt sich eine Veränderung des Abflussregimes, ein Rückgang der elektrischen Leitfähigkeit sowie eine Abnahme der Variabilität der Wassertemperatur feststellen. Die während den Wintermonaten oft geschlossene Schneedecke in hohen Lagen hat eine isolierende Wirkung (von Fumetti et al. 2017). In den Alpen ist ein Grossteil der Quellen rheokren (Cantonati et al. 2006). Grundsätzlich unterscheidet sich die Artenzusammensetzung alpiner Quellen von tiefer liegenden Quellen (von Fumetti et al. 2017). In tiefen Lagen wird die Quellfauna von krenobionten Arten dominiert, während hoch gelegene Quellen hauptsächlich von alpinen Arten besiedelt werden (Wigger et al. 2015). In hochalpinen Regionen sind Quellen oft stark isoliert, was einen verstärkten Endemismus begünstigt (von Fumetti und Blattner 2017).

Das UNESCO-Biosphärenreservat Engiadina Val Müstair weist eine hohe Anzahl alpiner Quellen auf. Erste Standorte im Regionalen Naturpark Val Müstair und in der Pflegezone Scuol wurden bereits systematisch untersucht (Abderhalden 2018; Conradin 2018), ein Grossteil der Quellen ist jedoch noch nicht kartiert. Durch die vorliegende Bachelorarbeit sollen zehn Quellen im Val S-Charl strukturell, physikochemisch und faunistisch erfasst werden und die gewonnenen Erkenntnisse einen Beitrag zur Implementierung eines Langzeitmonitorings im UNESCO-Biosphärenreservat Engiadina Val Müstair leisten. Im Zentrum der Untersuchung steht dabei folgende Hypothese: Die Artenzusammensetzung der Quellen im Val S-charl verändert sich entlang des Höhengradienten.

2 Untersuchungsgebiet

Die in dieser Arbeit untersuchten Quellen liegen im Val S-Charl, einem Tal im Unterengadin im östlichen Teil der Schweizer Alpen (Abb. 1). Sie befinden sich auf einer Höhe von 1464 bis zu 2033 Meter über Meer. Der Hauptfluss des Tals ist die Clemgia, ein rund 23 km langer Nebenfluss des Inn, der am Pass da Costainas in der Nähe der Grenze zum italienischen Südtirol entspringt (Engadiner Kraftwerke AG 2021). Vom Quellgebiet fliesst die Clemgia nordwärts nach S-Charl und anschliessend im Val S-Charl entlang der Grenze zum Schweizerischen Nationalpark. Durch die Clemgia-Schlucht stürzt sie rund 200 Höhenmeter ins Tal und mündet schliesslich in der Nähe von Scuol in den Inn. Durch die Engadiner Kraftwerke wird die Clemgia zur Energiegewinnung genutzt (Lanz 2016). Auf beiden Talseiten finden sich Hänge mit relativ steilem Gefälle. Die Landschaft der Region wird weitgehend von alpinem Mischwald geprägt, bestehend aus Fichten, Bergföhren, Arven und Lärchen (Nationalpark.ch 2021). Oberhalb der klimatischen Baumgrenze, welche bei rund 2300 m.ü.M. liegt, dominieren alpine Matten und unproduktive Flächen wie Felsen und Geröllhänge (Baur et al. 2014). Die direkten anthropogenen Einflüsse im Untersuchungsgebiet sind relativ gering. Weite Teile des Val S-Charl sind jedoch von extensiver land- und forstwirtschaftlichen Nutzung sowie vom Tourismus beeinflusst.

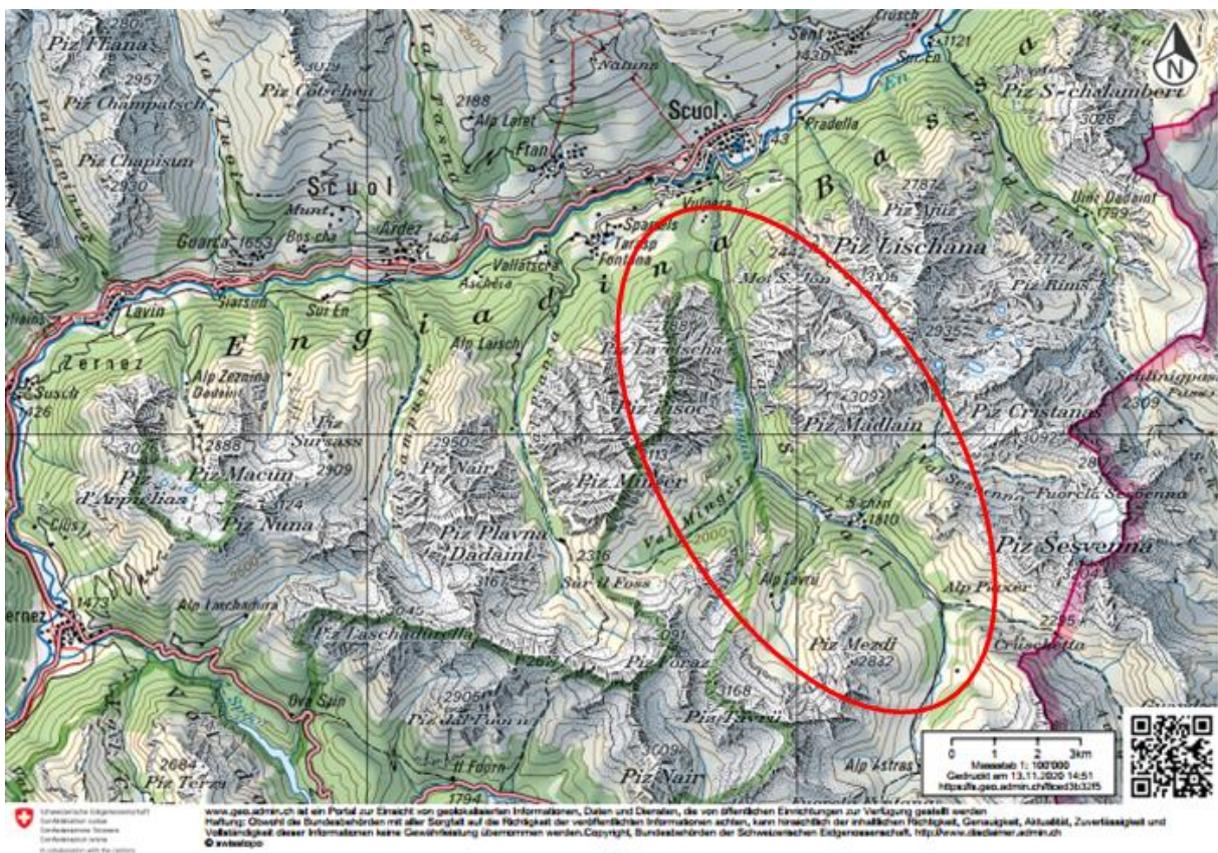


Abb. 1: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes
Swisstopo. Bundesamt für Landestopografie. Verändert durch K. Althaus 2021

2.1 UNESCO Biosfera Engiadina Val Müstair

Gemäss den Internationalen Leitlinien der UNESCO sind Biosphärenreservate Modellregionen für eine nachhaltige Entwicklung (Borsdorf et al. 2020). Das UNESCO-Biosphärenreservat Engiadina Val Müstair besitzt eine Gesamtfläche von 448.7 km². Von der UNESCO anerkannt wurde das Biosphärenreservat im Jahr 2017. Der Schweizerische Nationalpark (SNP) bildet zusammen mit den Gemeinden Val Müstar und Scuol die Trägerschaft (Filli & Abderhalden 2020). Das Gebiet wird unterteilt in eine Kernzone, eine Pflegezone und eine äussere Entwicklungszone (Nationalpark.ch 2021). Die Kernzone (38% der Gesamtfläche) bildet der Schweizerische Nationalpark, welcher als Wildnisgebiet der IUCN-Kategorie 1a die strengsten Normen für Schutzgebiete erfüllt und somit eine Entwicklung der Natur ohne direkte menschliche Einflüsse gewährleistet (IUCN, International Union for Conservation of Nature 2021). An den Nationalpark angrenzend befindet sich die Pflegezone (39% der Gesamtfläche), welche zu etwa gleichen Teilen in Scuol und der Val Müstair liegt. Die Entwicklungszone (23% der Gesamtfläche) befindet sich grösstenteils in der Val Müstair. Die Pflege- und Entwicklungszone sind ein Mosaik unterschiedlicher, gut vernetzter Lebensräume, geprägt durch eine traditionelle Nutzung. Ein Grossteil dieser beiden Zonen ist durch nationale oder kantonale Bestimmungen geschützt (Filli & Abderhalden 2020). Bezüglich der Flora und Fauna gehört das Biosphärenreservat zu den artenreichsten Regionen Europas (Nationalpark.ch 2021). Die in dieser Arbeit untersuchten Quellen liegen in der Pflegezone Scuol der Unesco Biosfera Engiadina Val Müstair (Abb. 2).

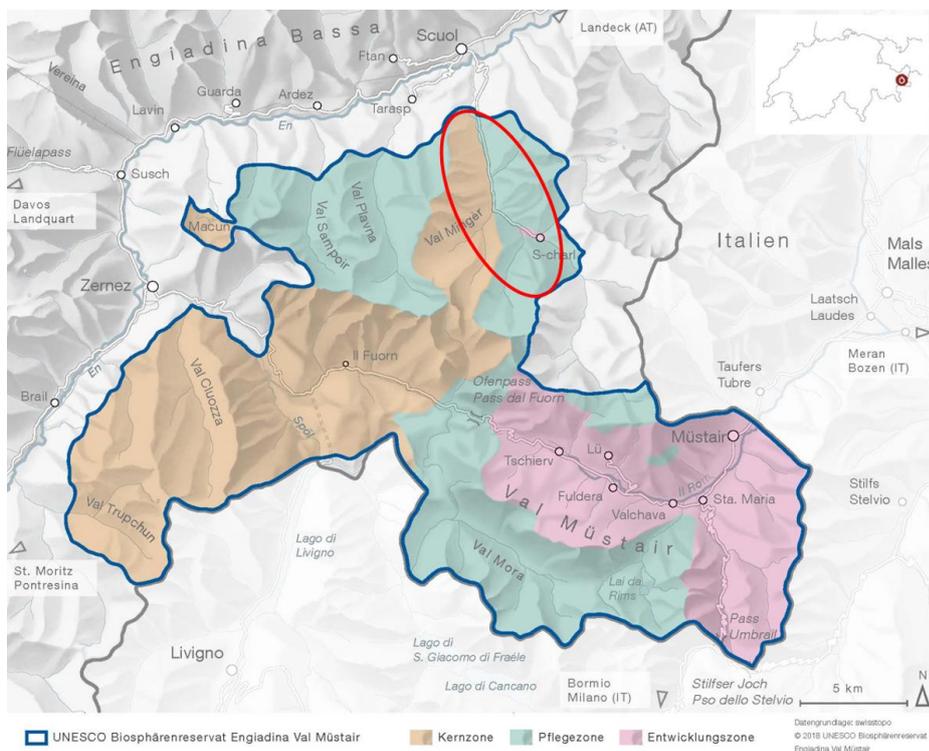


Abb. 2: Zonierung der UNESCO Biosfera Engiadina Val Müstair
Nationalpark.ch. Verändert durch K. Althaus 2021

2.2 Klima

Das Untersuchungsgebiet ist geprägt von kontinentalen inneralpinen Verhältnissen mit leichtem mediterranem Einfluss (Baur et al. 2014). Die nächstgelegene Klimastation befindet sich in Scuol. Sie liegt nördlich vom Val S-Charl in der Klimaregion Engadin auf 1304 m ü. M. (Abb. 3). Gemessen über die Normperiode 1981 bis 2010 zeigt die Klimastation eine Jahresmitteltemperatur von 5.5°C, wobei ein grosser Temperaturunterschied zwischen den Sommer- und den Wintermonaten besteht. Die mittlere Julitemperatur beträgt 15.2°C und die mittlere Januar-temperatur -4.5°C. Der Jahresniederschlag liegt während dieser Zeitperiode bei 706 mm mit einem Maximum im Sommer (102 mm im August) und einem Minimum im Winter (33 mm im Februar). Diese Niederschlagsmengen sind im Vergleich zu anderen Regionen der Schweiz sehr gering, was auf die inneralpine Lage zurück zu führen ist. Die Alpen wirken als Klimaschranke zwischen Nord und Süd und erzeugen mehrere verschiedene Klimabereiche. Die inneralpinen Täler haben ein eigenes, ausgeprägtes Klima, weil sie sowohl gegen Niederschlag aus dem Süden als auch vom Norden abgeschirmt sind. Das Engadin ist ein typischer Vertreter dieser inneralpinen Täler und weist somit ganzjährig eher trockene Bedingungen auf. Die Vegetationsperiode ist im Engadin aufgrund der tiefen Durchschnittstemperatur relativ kurz (Meteo Schweiz 2020).

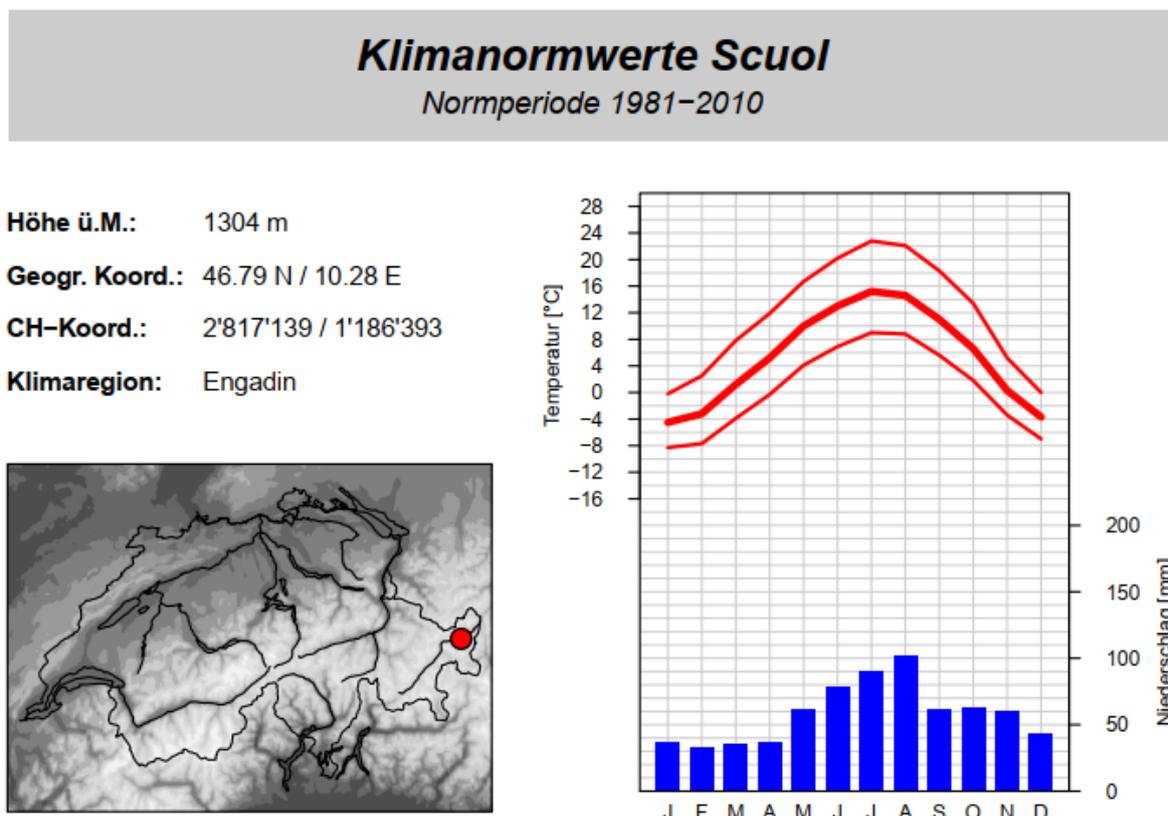


Abb. 3: Klimadiagramm der Station Scuol
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz 2020

2.3 Geologie und Geomorphologie

Das Val S-Charl liegt im Bereich der Ostalpinen Decken. Diese bestehen aus kristallinem Grundgebirge und darauf sedimentierten Meeresablagerungen, welche während des Mesozoikums im Gezeitenbereich der Tethys entstanden sind (Trümpy et al. 1997). In der gesamten Ostalpinen Trias Graubündens wurden hauptsächlich Flachwassersedimente abgelagert (Weissert & Stössel 2009). Aus diesem Zeitraum stammt auch der Hauptdolomit, der den Grossteil des Untersuchungsgebietes prägt und Schichten von bis zu 1500 m Mächtigkeit bildet (Trümpy et al. 1997). Wie in der Graphik ersichtlich dominieren im Südosten des Tals die hochmetamorphen, prämesozoischen Metagranitoide (Abb. 4). Der Bereich der Flussebene ist weitgehend von Hangschutt aus dem Quartär bedeckt (swisstopo 2021). In der letzten Kaltzeit wurden ältere Ablagerungen und Geländeformen in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes glazial überprägt. Die Entstehung der Clemgia-Schlucht lässt sich ebenfalls durch die damalige Vergletscherung erklären, denn sie bildete sich ursprünglich als subglaziale Abflussrinne unter dem Eis (Trümpy et al. 1997). Neben postglazialen Entwicklungen ist das Gebiet stark durch geomorphologische Prozesse wie Verwitterung und Erosion beeinflusst (Pfiffner 2015). Für die Hydrologie und die Bodenbildung des Gebietes ist hauptsächlich der karbonatische, leicht erodierbare Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) prägend (Schlüchter et al. 2021).

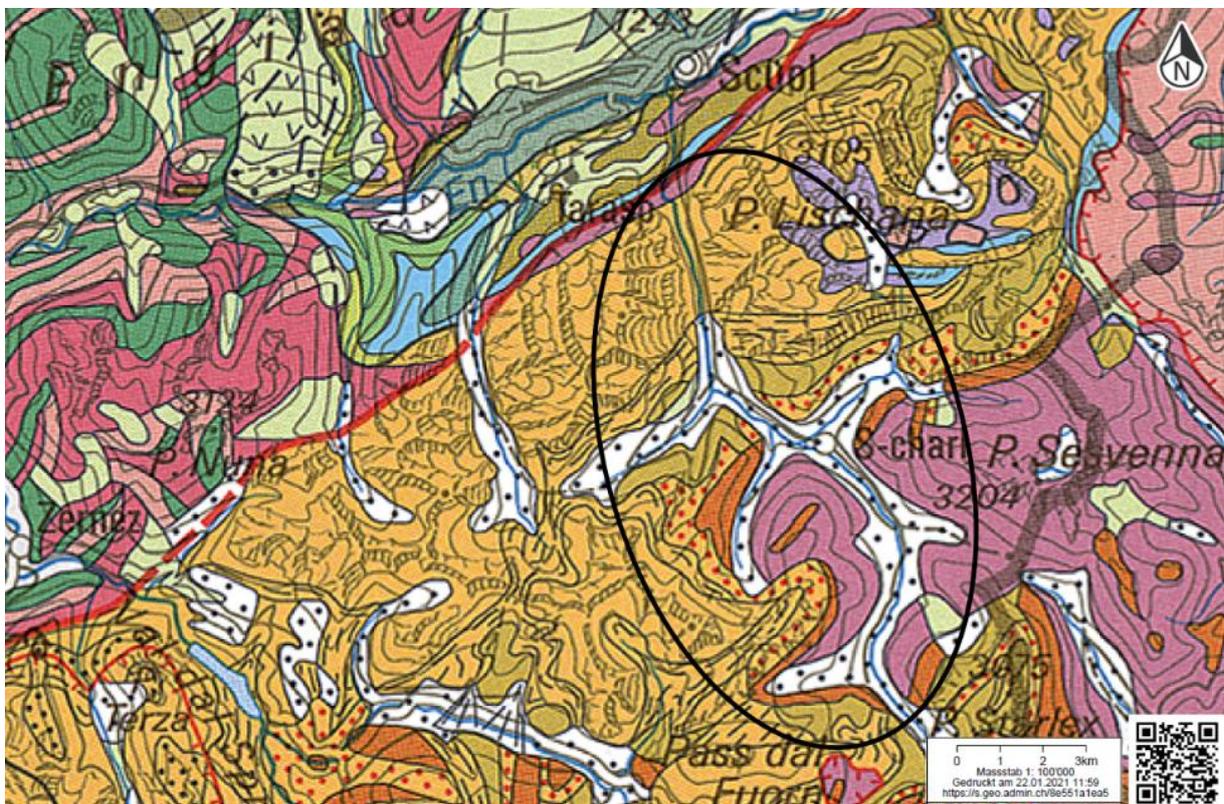


Abb. 4: Geologie des Untersuchungsgebietes
Swisstopo, Bundesamt für Landestopografie. Verändert durch K. Althaus 2021
Legende im Anhang

3 Material und Methoden

3.1 Vorgehensweise

Die Feldarbeit erfolgte zwischen dem 29.06.2019 und dem 07.07.2019. Kartiert wurden elf möglichst naturnahe und repräsentativ über das Untersuchungsgebiet verteilte Quellen. Die Koordinaten und Höhenlagen wurden mit dem GPS aufgenommen. Von elf Quellen wurden abiotische Parameter sowie die Struktur untersucht und Fotografien erstellt. Zusätzlich wurden von zehn ausgewählten Quellen Wasserproben genommen und die Fauna erfasst.

3.2 Strukturelle Erfassung

Die Struktur der Quellen wurde gemäss BAFU anhand des Bewertungsverfahrens von Lubini et al. (2014) untersucht. Das Verfahren beruht auf der Methode von Schindler (2004) und gibt Auskunft über die Natürlichkeit der Quellstruktur. Mithilfe von Quellprotokollen werden die für Quellorganismen wichtigen Lebensraumstrukturen sowie die Beeinträchtigungen der Quellaustritte kartiert. Anhand dieser Faktoren lässt sich ein Strukturwert berechnen, welcher die ökologische Qualität der Quelle beurteilt. Die Bewertung erfolgt anhand eines fünfstufigen Klassensystems (Tab. 1). Dabei werden die Quellen bezüglich ihres Strukturwerts von naturnah, bedingt naturnah, mässig beeinträchtigt, geschädigt bis hin zu stark geschädigt klassifiziert (Lubini et al. 2014).

Tab. 1: Bewertungsklassen der Quellstruktur nach Lubini et al. (2014)

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 beeinträchtigt	geschädigt	stark geschädigt
Ziffer	1	2	3	4	5

3.3 Erfassung abiotischer Parameter

Von elf untersuchten Quellaustritten wurden chemische sowie physikalische Parameter untersucht. Im Feld wurden Sauerstoffgehalt [%], Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$], Temperatur [$^{\circ}\text{C}$] und pH mit den Messgeräten Oxi330i, Cond3110 und pH3210 der Firma WTW gemessen. Die Geräte wurden jeweils vor den Messungen kalibriert. Zudem wurden von 10 repräsentativen Quellen Wasserproben genommen, um die Konzentration von Anionen [mg/L] und Kationen [mg/L] im Labor der Umweltgeowissenschaften des Departements Umweltwissenschaften der Universität Basel messen zu lassen. Mittels eines Ionenchromatographen (761 Compact IC Metrohm) bzw. eines Massenspektrometers (ICP OES Instrument) wurden die Anionen Fluorid, Chlorid, Nitrat, Phosphat und Sulfat sowie die Kationen Natrium, Ammonium, Magnesium, Kalium und Calcium gemessen.

3.4 Erfassung der Fauna

Für die Erfassung des Makrozoobenthos wurden von den zehn ausgewählten Quellen jeweils vier quantitative und zusätzlich eine qualitative Probe genommen. Bei den quantitativen Proben wurde ein kleiner Surber-Sampler mit einer Maschenweite von 500 µm und einer Rahmengrösse von 10x10 cm verwendet. Es wurde darauf geachtet, die Proben vom Quellbach in Richtung Quellursprung zu nehmen, um Verfälschungen der Resultate zu vermeiden. Substrate, welche mit dem Surber-Sampler nicht erfasst werden konnten, wurden zusätzlich qualitativ mit einem Handnetz (500 µm Maschenweite) beprobt. Die unsortierten Proben wurden vor Ort in Grob- und Feinfraktion getrennt, anschliessend mithilfe einer Weisschale ausgewaschen und so gut wie möglich von organischem und anorganischem Material befreit. Die Aufbewahrung der Proben erfolgte in hundertprozentigem unvergälltem Ethanol. Im Fließgewässerlabor der Forschungsgruppe Biogeographie der Universität Basel wurden die Proben später aussortiert und alle gefundenen Invertebraten mithilfe eines Binokulars auf das genauest mögliche taxonomische Niveau morphologisch bestimmt. Einzelne Organismen, die morphologisch nicht eindeutig bestimmbar waren, wurden durch Lucas Blattner genetisch verifiziert.

Anhand des von Fischer (1996) entwickelten Verfahrens wurde die Quellfauna bezüglich ihrer Quellbindung bewertet. Die Bewertungsmethode teilt allen Taxa eine ökologische Wertezahl «ÖWZ» zu. Aus den Abundanzen und der ÖWZ lässt sich schliesslich für jede Quelle eine ökologische Wertesumme «ÖWS» berechnen, welche analog der Strukturbewertung in ein fünfstufiges Klassensystem eingeteilt wird (Tab. 2). Je höher der Wert, desto stärker ist die Quellbindung der Organismen (Lubini et al. 2014).

Tab. 2: Bewertungsklassen der Quellfauna nach Fischer (1996)

ÖWS	> 20	15.0 – 19.9	10.0 – 14.9	5.1 – 9.9	< 5
Werteklasse	quelltypisch	bedingt quelltypisch	quellverträglich	quellfremd	sehr quellfremd
Ziffer	I	II	III	IV	V

Zur Abschätzung der biologischen Diversität in den betrachteten Quellen wurde anhand der identifizierten Taxa der Shannon-Index (H') berechnet (Shannon 1948). Dazu wurde das Statistikprogramm Primer 7.0 (Clarke & Gorley 2006) verwendet. Der Shannon-Index ist ein mathematisches Maß für die Artenvielfalt einer Gemeinschaft und wird in ökologischen Untersuchungen häufig verwendet. Sowohl die Artenzahl als auch die Abundanz werden bei der Berechnung berücksichtigt. Wenn wenige Arten dominieren, werden niedrige Werte erreicht (van Strien et al. 2012).

3.5 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse der abiotischen und faunistischen Daten wurde mit den Programmen PRIMER 7.0 (Clarke & Gorley 2006) und CANOCO 5 (Ter Braak & Šmilauer 2012) durchgeführt. Zur Untersuchung der faunistischen Daten wurde die Anzahl Individuen pro Taxa summiert und in einer species-site Matrix dargestellt. Die Abundanzen wurden mit $\log(x+1)$ transformiert. Anschliessend wurde mit den transformierten Werten eine Ähnlichkeitsmatrix berechnet, wobei als Ähnlichkeitsindex die für ökologische Fragestellungen sinnvolle Bray-Curtis Similarity verwendet wurde (Leyer & Wesche 2007). Die Ähnlichkeit der Quellen bezüglich ihrer Artenzusammensetzung lässt sich mittels nMDS (nonmetric Multidimensional Scaling) graphisch darstellen. Der Stress-Wert gibt die Präzision der zweidimensionalen Abbildung an. Liegt dieser Wert bei < 0.1 ist die Projektion gut, liegt er bei < 0.2 ist sie ausreichend abbildend (Clarke & Gorley 2006).

Mittels einer PCA (Principal Components Analysis) wurde analysiert, anhand welcher abiotischer Parameter die Zusammenhänge zwischen Variablen möglichst genau erklärt werden können. Untersucht wurden die abiotischen Parameter pH, Leitfähigkeit, Temperatur und Höhe der Quellen sowie die Abundanz von Steinen, Kies, Feinmaterial, Moos, Pflanzen und Totholz im Substrat. Da die Daten unterschiedliche Skalen haben, mussten sie zuerst normiert werden. Die PCA erfolgte dann mit den normierten Werten. Die PCA basiert auf der Annahme, dass verschiedene Umweltfaktoren untereinander korrelieren und somit redundante Informationen enthalten. Bei einer Hauptkomponentenanalyse werden neue Achsen gesucht, welche diese Redundanz möglichst exakt zusammenfassen. Diese synthetischen Achsen stellen die Hauptkomponenten (PC) dar. Die Korrelation einer Umweltvariablen mit der Hauptkomponente wird als Ladung bezeichnet, die Summe aller Ladungen auf einer Hauptkomponente ergibt den Eigenwert (Leyer & Wesche 2007).

Um zu ermitteln, welche spezifischen Umweltparameter die einzelnen Arten am stärksten beeinflussen, wurde eine Redundanzanalyse (RDA) durchgeführt. Das Verfahren der RDA basiert auf der Annahme eines linearen Verhaltens der Taxa entlang der betrachteten Umweltgradienten und bildet das Gegenstück zur PCA. Auch bei der RDA werden synthetische Achsen aufgespannt, welche durch eine Erweiterung des PCA-Algorithmus berechnet werden. Die Achsen der RDA stellen Linearkombinationen der Umweltvariablen dar (Leyer & Wesche 2007). Betrachtet wurde bei der RDA der Einfluss der Umweltparameter Höhe, Temperatur, pH, Leitfähigkeit, Feinmaterial, Kies, Totholz, Detritus, Moos und Pflanzen auf die Artenzusammensetzung.

4 Resultate

4.1 Übersicht der Standorte

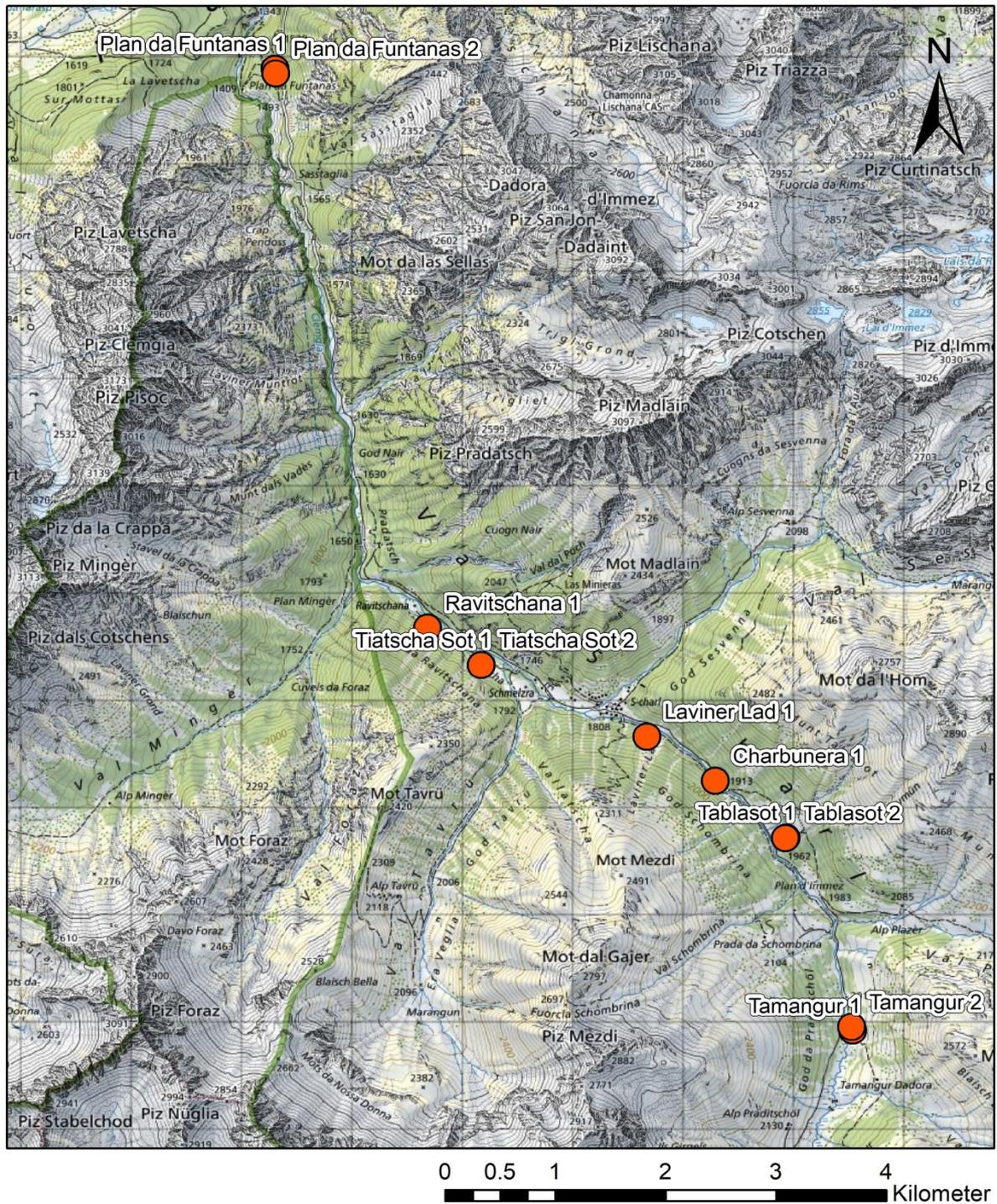


Abb. 5: Quellen im Untersuchungsgebiet
Swisstopo, Bundesamt für Landestopografie. Bearbeitet in ArcGIS durch K. Althaus 2021

4.2 Beschreibung der untersuchten Quellen

Plan da Funtanas 1

Die Quelle Plan da Funtanas 1 (818302 / 183888) hat eine Grösse von 20 m² und liegt auf 1465 m ü. M. im tiefsten Teil des Val S-Charl. Sie befindet sich in natürlichem Zustand und weist ausser dem Vorhandensein eines unbefestigten Weges im näheren Umfeld keine ersichtlichen Beeinträchtigungen auf. Die Quelle liegt am Mittelhang bei schwacher Geländeneigung und fliesst mit mässiger Fliessgeschwindigkeit nach Südwesten ab. Durch ihre Lage im standorttypischen Nadelwald ist die Sommerbeschattung mittel. Das Substrat besteht grösstenteils aus Kies und Schotter, aber auch grössere Steine sowie Moospolster sind vorhanden. Die Quelle weist eine grosse Strömungsdiversität und eine mittlere Wasser-Land-Verzahnung auf (Abb. 6).



Abb. 6: Foto von Plan da Funtanas 1, K. Althaus 2019

Plan da Funtanas 2

Plan da Funtanas 2 (818309 / 183843) ist benachbart zu Plan da Funtanas 1. Sie ist mit einer Höhe von 1464 m ü. M. die tiefst liegende Quelle aller 11 betrachteten Quellen. Analog zu ihrer Nachbarquelle weist Plan da Funtanas 2 kaum Beeinträchtigungen auf. Sie liegt ebenfalls am Mittelhang und die Sommerbeschattung sowie die Wasser-Land-Verzahnung sind mittel. Im Gegensatz zu Plan da Funanas 1 ist die Abflussrichtung von Plan da Funtanas 2 Nord. Auffällig ist der grosse Anteil von Moospolster im Substrat. Die Quelle weist eine beträchtliche Anzahl an besonderen Strukturen auf, unter anderem sind natürliche Pools, grosse Tiefenvarianz und diverse Fließhindernisse vorzufinden (Abb. 7).



Abb. 7: Foto von Plan da Funtanas 2, K. Althaus 2019

Ravitschana 1

Die Quelle Ravitschana 1 (819684 / 178675) befindet sich auf 1732 Metern Höhe am Hangfuss. Der Austritt dieser 5 m² grossen Sturzquelle wurde gefasst, ansonsten sind keine Beeinträchtigungen erkennbar. Sie fliesst mit einer hohen Fliessgeschwindigkeit nach Nordosten ab, obwohl die Geländeneigung nur mässig ist. Umgeben ist die Quelle von Gebüsch und standorttypischem Nadelwald, was zu einer mittleren Sommerbeschattung führt. Im Quellbach, am Quellufer, im Quellbereich wie auch im näheren Umfeld sind Moosgesellschaften und standorttypische Vegetation am stärksten vertreten. Neben Steinen, welche das Substrat dominieren, weist die Quelle auch diverse andere Substrattypen auf. Die Strömungsdiversität ist ebenfalls auffallend gross, die Wasser-Land-Verzahnung mittel (Abb. 8).



Abb. 8: Foto von Ravitschana 1, K. Althaus 2019

Tiatscha Sot 1

Die Quelle Tiatscha Sot 1 (820169 / 178328) ist mit 4 m² die kleinste der untersuchten Quellen. Sie befindet sich am Hangfuss auf einer Höhe von 1737 m ü. M. und fliesst mit mässiger Fliessgeschwindigkeit nach Westen ab. Das Substrat ist dominiert von Kies und Schotter, des Weiteren sind auch grössere Steine, Sand, Feinmaterial und organischer Schlamm vorhanden. Die Quelle weist eine mittlere Wasser-Land-Verzahnung auf, die Strömungsdiversität geht von glatt zu fliessend und geripelt bis hin zu plätschernd. Tiatscha Sot 1 liegt in extensiv genutztem Offenland, wodurch sie komplett unbeschattet ist. Deutlich ersichtlich ist die Beeinträchtigung durch Trittschäden (Abb. 9).



Abb. 9: Foto von Tiatscha Sot 1, K. Althaus 2019

Tiatscha Sot 2

Die Sturzquelle Tiatscha Sot 2 (820170 / 178327) liegt auf 1726 m ü. M. und ist benachbart zu Tiatscha Sot 1. Sie weist eine Grösse von 30 m² auf und befindet sich am Hangfuss. Die Abflussrichtung ist Nord, die Fliessgeschwindigkeit langsam bei geringer Geländeneigung. Tiatscha Sot 2 weist ebenfalls geringe Trittschäden auf, ansonsten sind keine Beeinträchtigungen vorhanden. Die Vegetation im Einzugsgebiet der Quelle setzt sich aus extensiv genutztem Offenland, Mischwald und Gebüsch zusammen. Quellbereich, Quellufer sowie Quellbach sind von Moosgesellschaften dominiert. Durch den lichten Baumbestand im Umfeld der Quelle ist die Sommerbeschattung mittel. Die Strömungsdiversität ist relativ gross. Ausserdem finden sich neben natürlichen Pools, Fliesshindernissen, Lückensystemen und Inselstrukturen auch Wassermoos sowie eine grosse Tiefenvarianz (Abb. 10).



Abb. 10: Foto von Tiatscha Sot 2, K. Althaus 2019

Laviner Lad 1

Die Quelle Laviner Lad 1 (821672 / 177661) liegt auf einer Höhe von 1880 m ü. M. am Mittelhang mit Abflussrichtung Nord. Es handelt sich um einen Quell-Komplex mit zehn verschiedenen Austritten, die sich zusammen auf eine Grösse von 150 m² belaufen. Aufgrund der verschiedenen Austritte entsteht eine grosse Strömungsdiversität, von glatt über fließend, geripgelt bis plätschernd. Die Vegetation im Einzugsgebiet besteht hauptsächlich aus standorttypischem Nadelwald und extensiv genutztem Offenland. Im nahen Umfeld und im Quellbereich sind keine grössere Büsche und Bäume vorhanden, wodurch die Quelle unbeschattet ist. Das Substrat weist vorwiegend Sand, Feinmaterial und Detritus auf (Abb. 11).



Abb. 11: Foto von Laviner Lad 1, K. Althaus 2019

Charbunera 1

Charbunera 1 (822292 / 177248) ist eine auf 1897 m ü. M. liegende Sturzquelle mit einer Grösse von 5 m². Die mittlere Fliessgeschwindigkeit ist aufgrund der schwachen Geländeneigung langsam und die Abflussrichtung ist Nordost. Das Substrat ist dominiert von Moospolster, daneben sind verschiedene Pflanzen, Detritus und Feinmaterial häufig zu sehen. Die Sommerbeschattung ist schwach. Durch das Auftreten von Holz- und Pflanzenabfall, einer Zuwegung sowie geringen Trittschäden im Quellbereich ist die Quelle leicht beeinträchtigt (Abb. 12).



Abb. 12: Foto von Charbunera 1, K. Althaus 2019

Tablasot 1

Die Quelle Tablasot 1 (822931 / 176718) weist eine Grösse von 15 m² auf. Das Quellsystem befindet sich auf 1996 m ü. M., liegt am Mittelhang und fliesst mit mässiger Geschwindigkeit nach Südwesten ab. Sowohl das Substrat als auch die Strömungsdiversität sind vielfältig. Die Vegetation im Einzugsgebiet besteht vorwiegend aus standorttypischem Nadelwald, im Quellbereich treten Moosgesellschaften und Hochstaudenfluren auf. Die Quelle weist eine mittlere Sommerbeschattung auf und ist durch Trittschäden leicht beeinträchtigt (Abb. 13).



Abb. 13: Foto von Tablasot 1, K. Althaus 2019

Tablasot 2

Tablasot 2 (822927 / 176715) ist benachbart zu Tablasot 1 und liegt auf einer Höhe von 1997 m ü. M. Sie ist mit einer Grösse von 7 m² die kleinere der beiden Quellen (Abb. 14). Aufgrund der unmittelbaren Nähe von Tablasot 2 zu ihrer Nachbarquelle sowie der nahezu identischen abiotischen Eigenschaften wurde diese Quelle nur strukturell aufgenommen und nicht faunistisch ausgewertet.



Abb. 14: Foto von Tablasot 2, K. Althaus 2019

Tamangur 1

Die Quelle Tamangur 1 (823537 / 174918) ist mit ihrer Lage auf 2033 m ü. M. die höchstgelegene untersuchte Quelle. Es handelt sich um eine am Mittelhang liegende Sturzquelle, die mit einer mittleren Fliessgeschwindigkeit nach Westen abfließt. Sie ist mit einer Grösse von 5 m² eine eher kleine Quelle. Tamangur 1 befindet sich weitgehend in einem natürlichen Zustand, es finden sich jedoch geringe Trittschäden. Ausserdem befindet sich ein unbefestigter Weg im Umfeld der Quelle. Die Vegetation im Einzugsgebiet besteht aus extensiv genutztem Offenland und standorttypischem Nadelwald. Eine Sommerbeschattung ist nicht vorhanden. Das Substrat besteht grösstenteils aus mittelgrossen Steinen, in geringem Ausmass treten Fadenalgen auf. Die Quelle ist in Bezug auf die Strömungsdiversität relativ vielfältig, ausserdem findet sich eine Vielzahl an besonderen Strukturen und eine mittlere Wasser-Land-Verzahnung (Abb. 15).



Abb. 6: Foto von Tamangur 1, K. Althaus 2019

Tamangur 2

Tamangur 2 (823526 / 174954) ist die einzige untersuchte Sickerquelle. Aufgrund ihrer Austrittsform weist sie eine beachtliche Grösse von 100 m² und eine grosse Wasser-Land-Verzahnung auf. Sie liegt mit 1998 m ü. M. etwas tiefer als ihre Nachbarquelle Tamangur 1. Die Quelle befindet sich am Mittelhang mit Abflussrichtung Südwest, die Fliessgeschwindigkeit ist im mässig geneigten Gelände langsam. Quellbach, Quellbereich, Quellufer sowie näheres Umfeld der Quelle sind dominiert von Moosgesellschaften. Im Einzugsgebiet findet sich standorttypischer Nadelwald und extensiv genutztes Offenland. Die Sommerbeschattung ist schwach. Das Substrat besteht hauptsächlich aus organischem Schlamm und die Strömungsdiversität ist im Vergleich zu den anderen betrachteten Quellen klein. Wie ihre benachbarte Quelle hat auch Tamangur 2 geringe Trittschäden, weist ansonsten aber keine Beeinträchtigungen auf (Abb. 16).



Abb. 7: Foto von Tamangur 2, K. Althaus 2019

4.3 Abiotische Parameter und Struktur

Die Strukturelle Bewertung der untersuchten Quellaustritte gemäss dem Verfahren von Lubini et al. (2014) zeigt, dass sich ein Grossteil der Quellen in einem weitgehend natürlichen Zustand befindet. Als „naturnah“ wurden die sieben Quellen Laviner Lad 1, Tablasot 1, Plan da Funtanas 1, Plan da Funtanas 2, Tiatscha Sot 2, Tamangur 1 sowie Tamangur 2 eingestuft. Die drei Quellen Tablasot 2, Charbunera 1 und Ravitschana 1 wurden als „bedingt naturnah“ bewertet. Tiatscha Sot 1 wurde mit einem Strukturwert von 3.36 als einzige Quelle als „mässig beeinträchtigt“ eingestuft (Tab. 3).

Tab. 3: Resultate Strukturbewertung gemäss Lubini et al. (2014)

Funtanas_1	Funtanas_2	Ravit_1	Tiatscha_1	Tiatscha_2	Lav_Lad 1	Charb_1	Tablasot_1	Tablasot_2	Tamangur_1	Tamangur_2
1.09	1.15	2.22	3.36	1.67	1.77	2.44	1.57	1.82	1.76	1.73

Der pH-Wert liegt bei allen untersuchten Quellen relativ hoch, er schwankt zwischen 6.7 und 7.9 (Tab. 4). Die Leitfähigkeit variiert zwischen 25µS/cm und 335µS/cm. Die meisten Quellen weisen Sauerstoffwerte um die 100% auf und sind somit O₂-gesättigt. Am höchsten ist die gemessene Sauerstoffkonzentration mit 136.7% bei Plan da Funtanas 1, am tiefsten mit 83.1% bei Laviner Lad 1. Die Wassertemperatur liegt zwischen 4.1°C und 7.5°C. Bezüglich der Schüttung weisen die Quellen kaum Unterschiede auf, sie beträgt bei allen Messungen rund 1 l/s.

Tab. 4: Messwerte Abiotik

Quelle	Koordinaten [LV95]	Höhe [m.ü.M]	Quellentyp	pH	Leitfähigkeit [µS/cm]	O ₂ [%]	Temperatur [°C]
Plan da Funtanas 1	818302/183888	1465	rheokren	7.9	301	136.7	5.1
Plan da Funtanas 2	818309/183843	1464	rheokren	7.9	266	118.3	4.9
Ravitschana 1	819684/178675	1732	rheokren	7.9	335	96.7	4.1
Tiatscha Sot 1	820169/178328	1737	rheokren	7.9	204	94.3	4.7
Tiatscha Sot 2	820170/178327	1726	rheokren	7.8	266	104.2	4.7
Laviner Lad 1	821672/177661	1880	rheokren	6.8	42	83.1	7.5
Charbunera 1	822292/177248	1897	rheokren	7.0	42	91.7	4.4
Tablasot 1	822931/176718	1996	rheokren	6.7	30	92.4	4.7
Tablasot 2	822927/176715	1997	rheokren	7.3	25	107.3	4.5
Tamangur 1	823537/174918	2033	rheokren	7.4	61	106.0	6.7
Tamangur 2	823526/174954	1998	helokren	7.2	67	88.3	6.6

Die Substratdiversität ist bei den untersuchten Quellen im Val S-Charl gross. Viele Quellen weisen neun, Tablasot 2 sogar zehn verschiedene Substrattypen auf (Tab. 5). Am kleinsten ist die Diversität bei Plan da Funtanas 2 und Tamangur 2 (sechs Substrattypen).

Moospolster kommen in allen untersuchten Quellen vor, bei drei Quellen machen sie sogar einen Anteil von >50% aus. Felsen/Blöcke, Steine sowie Kies/Schotter gibt es ebenfalls in jeder betrachteten Quelle. Bei einem Grossteil der Quellen treten auch Pflanzen, Totholz, Feinmaterial und Detritus auf. Fadenalgen sind ausschliesslich in den Quellen Tablasot 1, Tiatscha Sot 2 und Tamangur 1 vorhanden.

Tab. 5: Häufigkeit der verschiedenen Substrattypen
1 = gering (>1%), 2 = mittel (>20%), 3 = stark (>50%)

	Fels/Blöcke	Steine	Kies/Schotter	Sand	Feinmaterial	Moospolster	Wurzeln	Totholz	Pflanzen	Fallaub	Detritus
Plan da Funtanas 1	1	2	3	1	1	2	1	1	-	-	1
Plan da Funtanas 2	1	2	1	-	-	3	-	-	1	-	1
Ravitschana 1	2	3	2	2	1	2	-	2	1	-	1
Tiatscha Sot 1	1	2	3	2	2	1	1	-	2	-	2
Tiatscha Sot 2	1	2	2	1	1	3	-	1	1	-	1
Laviner Lad 1	1	1	1	3	2	1	-	1	2	-	2
Charbunera 1	1	1	1	1	2	3	-	1	2	-	2
Tablasot 1	2	2	2	2	2	1	-	2	3	-	1
Tablasot 2	2	2	2	2	2	1	1	2	3	-	1
Tamangur 1	1	3	1	-	1	1	-	-	2	-	1
Tamangur 2	1	1	1	-	-	2	-	-	2	-	3

4.4 Ionenkonzentration der Wasserproben

Die Ionenkonzentrationen weisen gewisse Unterschiede zwischen den Quellen auf. Die Konzentration von Ammonium und Phosphat ist mit <0.1 mg/L bei allen Quellen äusserst gering. Differenzen sind jedoch deutlich bei den Kationen Magnesium und Calcium sowie bei den Anionen Fluorid, Nitrat und Sulfat zu sehen. Diese Ionen treten bei den Quellen Plan da Funtanas 1, Plan da Funtanas 2, Ravitschana 1, Tiatscha Sot 1 und Tiatscha Sot 2 in höheren Konzentrationen auf als bei den anderen untersuchten Quellen. Bei Kalium und Chlorid sind die Unterschiede sehr gering. Natrium weist bei Charbunera 1 mit 1.80 mg/L die höchste Konzentration auf (Tab.6).

Tab. 6: Konzentration Kationen

Quelle	Kationen [mg/L]				
	Natrium	Ammonium	Magnesium	Kalium	Calcium
Plan da Funtanas 1	0.34	<0.1	16.7	0.2	33.2
Plan da Funtanas 2	0.20	<0.1	15.6	0.2	29.9
Ravitschana 1	0.30	<0.1	19.1	0.3	39.7
Tiatscha Sot 1	0.85	<0.1	11.8	1.0	27.7
Tiatscha Sot 2	0.40	<0.1	11.8	0.3	24.5
Laviner Lad 1	1.48	<0.1	1.9	0.2	7.2
Charbunera 1	1.80	<0.1	1.6	0.8	8.2
Tablasot 1	0.77	<0.1	1.2	0.4	4.3
Tamangur 1	1.10	<0.1	3.4	0.2	9.1
Tamangur 2	0.92	<0.1	2.8	0.2	8.1

Tab. 7: Konzentration Anionen

Quelle	Anionen [mg/L]				
	Fluorid	Chlorid	Nitrat	Phosphat	Sulfat
Plan da Funtanas 1	0.20	0.26	1.13	<0.1	35.7
Plan da Funtanas 2	0.17	0.25	1.11	<0.1	24.7
Ravitschana 1	0.56	0.28	1.01	<0.1	68.6
Tiatscha Sot 1	0.38	0.76	0.99	<0.1	10.0
Tiatscha Sot 2	0.96	0.29	1.00	<0.1	22.9
Laviner Lad 1	0.07	0.21	0.50	<0.1	2.1
Charbunera 1	0.07	0.34	0.81	<0.1	2.2
Tablasot 1	<0.05	0.20	0.52	<0.1	0.9
Tamangur 1	0.05	0.15	0.38	<0.1	1.4
Tamangur 2	<0.05	<0.1	0.17	<0.1	1.0

4.5 Quellfauna

Aus den 40 quantitativen und 10 qualitativen Proben der untersuchten Quellen wurden gesamthaft 6'139 Individuen separiert und bestimmt (Tab. 9). Identifiziert wurden 60 verschiedene Taxa, wovon 19 auf Artniveau bestimmt werden konnten. Weil sich viele Larven in einem sehr frühen Entwicklungsstadium befanden, wurde die Bestimmung bei jenen Individuen auf einem höheren taxonomischen Niveau belassen. Einige Organismengruppen wurden nur nach Klasse oder Ordnung unterteilt und ausgezählt. Dazu gehören die Gruppen der Ostracoda, Copepoda, Collembola und Oligochaeta. Die Acari wurden nur auf Gattungsniveau bestimmt, weil die Identifizierung der einzelnen Arten sehr komplex ist. Die grösste taxonomische Vielfalt weist die Quelle Tablasot 1 mit 31 Taxa auf, gefolgt von Tamangur 2 mit 29 Taxa und Tamangur 1 mit 27 Taxa (Abb.17). Am wenigsten divers sind Laviner Lad 1, Charbunera 1 und Tiatscha Sot 1 mit jeweils 18 taxonomischen Gruppen. Die Individuenzahl der einzelnen Quellen liegt zwischen 228 Exemplaren (Plan da Funtanas 1) und 1022 Exemplaren (Tamangur 1). Die höchsten Abundanzen wiesen die Diptera mit insgesamt 3'626 ausgezählten Individuen auf, wobei die Chironomidenlarven mit Abstand am häufigsten vertreten sind. Chironomidae wurden in ausnahmslos jeder Quelle gefunden, mit einer Anzahl von 46 (Plan da Funtanas 1) bis zu 843 (Tiatscha Sot 1) Exemplaren pro Quelle. Innerhalb der Chironomidae sind mehrere taxonomische Gruppen vorhanden, die bei der Bestimmung jedoch nicht weiter unterschieden wurden. Die individuenreichste Organismengruppe nach den Diptera stellen die Plecoptera mit 757 aussortierten Tieren dar. Die am häufigsten identifizierte Art der Plecoptera ist *Protonemura lateralis* mit 147 Individuen, welche hauptsächlich in der Quelle Tamangur 1 in grosser Anzahl gefunden wurde. *Nemoura mortoni* ist mit 93 Individuen die zweithäufigste Art und kommt in fast jeder Quelle vor. Ebenfalls hohe Abundanzen weisen *Nemurella pictetii* und *Dictyogenus fontium* auf. Perloidea wurden in ausnahmslos jeder Quelle gefunden, konnten aber aufgrund der frühen Larvenstadien nicht genauer bestimmt werden. Die Gruppe der Ephemeroptera ist mit insgesamt 141 Individuen vertreten. Die Diversität innerhalb der Ephemeroptera ist jedoch gering, ein Grossteil der Individuen wurde als *Baetis alpinus* identifiziert. *Rhithrogena spp.* wurde ausschliesslich in der Quelle Plan da Funtanas 1 gefunden. Als dritte Vertreter der EPT-Taxa stellen die Trichoptera eine wichtige Organismengruppe der Quellfauna dar. Sie sind mit insgesamt 71 Individuen in jeder Quelle vorhanden. Die Abundanzen sind bei den Trichoptera relativ klein, dafür wurde eine grosse taxonomische Vielfalt vorgefunden. Zehn verschiedene Arten und (wenn nicht weiter bestimmbar) höhere Taxa waren in den untersuchten Quellen präsent. *Pseudopsilopterix zimmeri* ist die am häufigsten identifizierte Art, *Melampophylax melampus* tritt ebenfalls in mehreren Quellen auf. Einige Arten wurden nur in einer einzigen Quelle gefunden. So kommen *Beraea pullata* und *Chaetopterygopsis maclachlani* ausschliesslich in der Quelle

Tamangur 2 vor, *Acrophylax zerberus* lediglich in Tiatscha Sot 2. Die Art *Drusus monticola*, welche in den Quellen Charbunera 1 und Ravitschana 1 auftritt, wurde aufgrund von Unsicherheiten in der morphologischen Bestimmung durch Lucas Blattner genetisch verifiziert. Die Gruppe der Oligochaeta war in allen beprobten Quellen vorhanden. *Crenobia alpina* aus der Gruppe der Turbellaria war in jeder Quelle ausser Laviner Lad präsent. Collembola, Ostracoda und Copepoda wiesen ebenfalls in den meisten Quellen hohe Abundanzen auf. Coleoptera und Bivalvia kamen nur in geringer Anzahl vor, die einzigen identifizierten Vertreter dieser Gruppen stellen *Agabus spp.* und *Pisidium spp.* dar. In der Quelle Plan da Funtanas 1 wurde der Höhlenflohkrebs *Niphargus spp.* gefunden.

Die höchste Shannon-Diversität weist Tablasot 1 mit einem Wert von 2.472 auf, was mit der hohen taxonomischen Vielfalt dieser Quelle korreliert. An zweiter Stelle steht Plan da Funtanas 1 mit einem Wert von 2.363. Den mit Abstand tiefsten Shannon-Index zeigt die Quelle Tiatscha Sot 1, der Wert liegt bei 0.778. Bei den restlichen sieben Quellen liegt der Shannon-Index jeweils bei einem Wert zwischen eins und zwei (Abb.18).

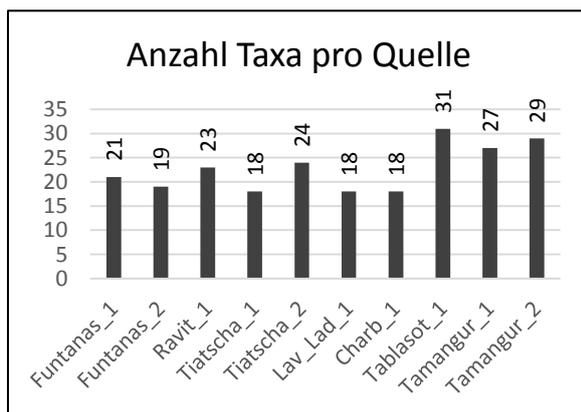


Abb. 8: Summierte Anzahl Taxa pro Quelle

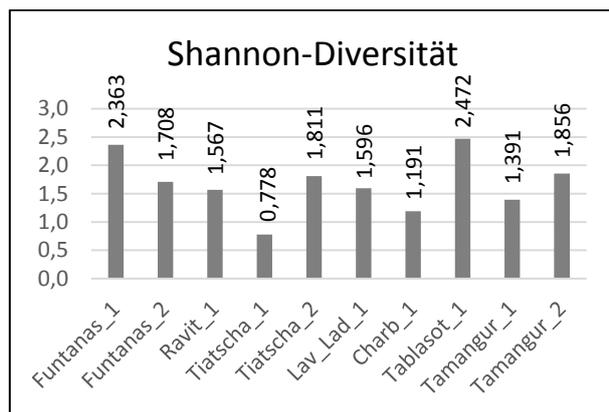


Abb 9: Shannon-Index der Quellfauna

4.6 Bewertung der Fauna nach Fischer (1996)

Gemäss der Methode von Fischer (1996) wird anhand der gefundenen Fauna jeder Quelle eine ökologische Wertesumme «ÖWS» zugeteilt. Anhand dieses Bewertungsverfahrens wird einzig die Quelle Charbunera 1 mit einer ÖWS von 20.0 als „quelltypisch“ eingestuft (Tab. 8). Die Bewertung „bedingt quelltypisch“ wird Tamangur 1 und Ravitschana 1 zugeteilt, als „quellverträglich“ werden die Quellen Tablasot 1, Tamangur 2, Plan da Funtanas 1, Tiatscha Sot 1 sowie Tiatscha Sot 2 bewertet. Die Quellen Laviner Lad 1 und Plan da Funtanas 2 fallen in die Kategorie quellfremd (Lubini et al. 2014).

Tab. 7: Bewertung der Quellfauna nach Fischer (1996)

Funtanas_1	Funtanas_2	Ravit_1	Tiatscha_1	Tiatscha_2	Lav_Lad_1	Charb_1	Tablasot_1	Tamangur_1	Tamangur_2
13.4	8.3	15.3	13.3	11.1	9.7	20.0	14.2	15.9	14.0

Tab. 8: Artenliste und Abundanzen der Quellfauna.
Summierte Anzahl Individuen der quantitativen und qualitativen Proben.

	Funtanas_1	Funtanas_2	Ravit_1	Tiatscha_1	Tiatscha_2	Lav_Lad_1	Charb_1	Tablasot_1	Tamangur_1	Tamangur_2
Turbellaria										
<i>Crenobia alpina</i> (Dana, 1766)	11	6	1	41	75	0	59	70	1	1
Oligochaeta										
	23	39	5	21	8	99	4	54	37	20
Gastropoda										
<i>Galba truncatula</i> (Müller, 1774)	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
<i>Lymnaeidae</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
<i>Planorbidae</i>	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Bivalvia										
<i>Pisidium spp.</i>	0	0	0	14	1	0	0	1	0	0
Crustacea										
<i>Niphargus spp.</i>	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ostracoda										
	55	17	4	2	168	0	70	96	7	8
Copepoda										
	8	68	1	3	0	4	9	118	3	15
Acari										
<i>Atractides spp.</i>	0	5	0	0	2	0	2	2	0	1
<i>Feltria spp.</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Hygrobates spp.</i>	5	0	0	0	37	0	10	1	0	1
<i>Lebertia spp.</i>	0	2	3	2	32	0	3	17	2	0
<i>Partnunia sp.</i>	15	5	0	0	10	1	0	2	0	1
<i>Sperchon spp.</i>	0	3	6	1	33	0	14	25	1	1
<i>Sperchonopsis spp.</i>	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0
Ephemeroptera										
<i>Baetis alpinus</i> (Pictet, 1843)	0	0	25	0	2	0	0	30	32	1
<i>Baetis spp.</i>	0	0	11	0	1	1	0	10	26	0
<i>Rhithrogena spp.</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plecoptera										
<i>Amphinemura spp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
<i>Dictyogenus fontium</i> (Ris, 1896)	0	0	11	0	0	0	0	0	9	0
<i>Leuctra armata</i> (Kempny, 1899)	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Leuctra spp.</i>	5	1	3	3	0	0	0	10	10	4
<i>Nemoura mortoni</i> (Ris, 1902)	2	2	25	0	2	6	1	46	5	3
<i>Nemoura cf. mortoni</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Nemoura spp.</i>	2	0	0	0	1	1	3	1	3	3
<i>Nemurella pictetii</i> (Klapálek, 1900)	0	0	0	0	2	0	31	5	0	43
<i>Perloidea</i>	21	10	4	56	12	1	0	140	12	1
<i>Protonemura auberti</i> (Illies, 1954)	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
<i>Protonemura cf. auberti</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
<i>Protonemura lateralis</i> (Pictet, 1836)	0	0	13	0	0	3	0	3	37	0
<i>Protonemura cf. lateralis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	91	0
<i>Protonemura spp.</i>	0	0	29	0	0	32	0	4	91	0

	Funtanas_1	Funtanas_2	Ravit_1	Tiatscha_1	Tiatscha_2	Lav_Lad_1	Charb_1	Tablasot_1	Tamangur_1	Tamangur_2
Coleoptera										
<i>Agabus spp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Trichoptera										
<i>Acrophylax zerberus</i> (Brauer, 1867)	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
<i>Allogamus uncatus</i> (Brauer, 1857)	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0
<i>Beraea pullata</i> (Curtis, 1834)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Chaetopterygopsis maclachlani</i> (Stein, 1874)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Drusus monticola</i> (McLachlan, 1876)	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
<i>Limnephilidae</i>	10	3	1	0	6	2	1	1	0	0
<i>Melampophylax melampus</i> (McLachlan, 1876)	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0
<i>Philopotamidae</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Pseudopsilopteryx zimmeri</i> (McLachlan, 1876)	4	1	0	1	9	5	0	3	3	1
<i>Sericostomatidae</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Diptera										
<i>Blephariceridae</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Ceratopogonidae</i>	0	1	0	5	0	1	0	1	0	3
<i>Chironomidae</i>	46	156	305	843	354	97	563	223	684	150
<i>Clinocerinae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Dicranota spp.</i>	2	0	7	8	4	0	12	9	2	6
<i>Empididae</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3
<i>Forcipomyia</i>	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
<i>Limoniidae</i>	0	0	0	1	1	0	1	0	2	0
<i>Oxycera meigenii</i> (Staeger, 1844)	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oxycera pardalina</i> (Meigen, 1822)	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oxycera cf. Pygmaea</i> (Fallen, 1817)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pedicia spp.</i>	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
<i>Psychodidae Gen. sp.</i>	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0
<i>Scleroprocta</i>	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0
<i>Simuliidae</i>	1	0	0	0	0	0	8	69	8	4
<i>Tabanidae Gen. sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Tipulidae</i>	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Anzahl Individuen pro Quelle	228	326	473	1010	775	264	793	965	1022	283

4.7 Statistische Auswertung

4.7.1 nMDS

Mittels nMDS (non-metric Multidimensional Scaling) wurde analysiert, ob der Höhengradient einen entscheidenden Einfluss auf die Artenzusammensetzung der Quellen hat. Dazu wurden die Quellen gruppiert in hoch gelegene Standorte (>1'800 m.ü.M.) und tief gelegene Standorte (<1'800 m.ü.M.). Die nMDS anhand der Höhenlage ergibt jedoch kein eindeutiges Bild (Abb.19). Die Zusammensetzung der Fauna lässt sich somit allein durch die Höhe der Quellen nicht erklären. Der Plot der nMDS bestätigt aber, dass sich die benachbarten Quellen Plan da Funtanas 1 und Plan da Funtanas 2 sowie Tamangur 1 und Tamangur 2 relativ ähnlich sind, denn diese Standorte liegen auf der Grafik nahe beieinander. Die Projektion ist mit einem 2D Stress von 0.15 ausreichend abbildend (Clarke & Gorley 2006).

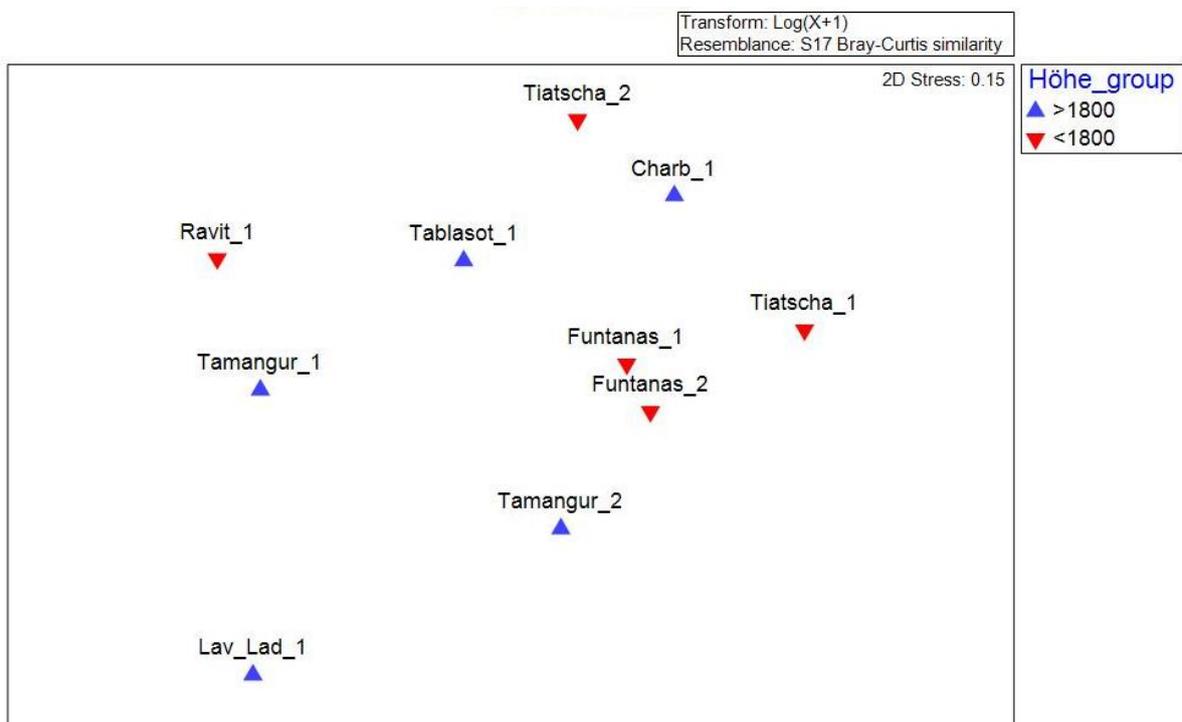


Abb. 10: nMDS der zehn untersuchten Quellen im Val S-Charl, gruppiert nach Höhenlage (>1800, <1800). Je grösser die Distanz zwischen den Proben, desto unterschiedlicher ist ihre Artenzusammensetzung. Ähnlichkeitsindex: Bray-Curtis-Similarity, Transformation: $\log(x+1)$

4.7.2 PCA

Bei der PCA (Principal Component Analysis) der abiotischen Faktoren ist ersichtlich, dass die ersten fünf Komponenten zusammen 94.8% der Varianz erklären. Dabei beschreibt die erste Hauptkomponente (PC1) 46.4% der Varianz und hat einen Eigenwert von 4.64. PC2 erklärt 24.1% mit einem Eigenwert von 2.41 und PC3 12.6% mit einem Eigenwert von 1.26. Der Einfluss von PC4 und PC5 ist geringer. PC4 ist noch für 8.1% der Varianz verantwortlich mit einem Eigenwert von 0.814, PC5 für 3.6% mit einem Eigenwert von 0.362 (Tab.10).

Tab. 9: Eigenwerte und Varianz der ersten fünf Hauptkomponenten

PC	Eigenvalues	%Variation	Cum. %Variation
1	4.64	46.4	46.4
2	2.41	24.1	70.4
3	1.26	12.6	83.0
4	0.814	8.1	91.1
5	0.362	3.6	94.8

Auf der Komponente 1 (PC1) haben hauptsächlich *Leitfähigkeit* (0.453) und *pH* (0.430) eine hohe Ladung in positiver Richtung (Tab.11). Betrachtet man die Scores wird ersichtlich, dass diese Faktoren vor allem bei Plan da Funtanas 1 (2.88), Plan da Funtanas 2 (2.18) und Ravitschana 1 (2.26) entscheidend sind. In negativer Richtung sind vor allem *Höhe* (-0.406) und *Pflanzen* (-0.405) ausschlaggebend. Die höchsten Scores erreichen dabei die Quellen Laviner Lad 1 (-2.8) und Tablasot 1 (-2.33).

Bei Komponente 2 (PC2) haben in positiver Richtung vor allem *Totholz* (0.568), *Feinmaterial* (0.495) und *Kies* (0.432) eine hohe Ladung. Anhand der erreichten Scores ist dies am stärksten bei den Quellen Tablasot 1 (2.34) und Tiatscha Sot 1 (1.78) der Fall. Die höchsten Ladungen in negativer Richtung haben *Temperatur* (-0.307) und *Moos* (-0.293), aufgrund der Scores hauptsächlich bei den Quellen Tamangur 2 (-2.29) und Plan da Funtanas 2 (-2.24).

Tab. 10: Komponentenmatrix der PCA. Hohe Ladungen sind hervorgehoben.

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Höhe	-0.406	0.054	-0.123	0.352	-0.089
pH	0.430	-0.050	-0.218	0.006	-0.317
Leitfähigkeit	0.453	0.045	-0.061	-0.011	0.174
Temperatur	-0.277	-0.307	-0.399	-0.432	0.384
Steine	0.213	0.186	-0.565	0.569	0.171
Kies	0.252	0.432	-0.125	-0.385	-0.422
Feinmaterial	-0.195	0.495	0.173	-0.241	0.009
Moos	0.235	-0.293	0.602	0.266	0.010
Totholz	0.030	0.568	0.219	0.114	0.556
Pflanzen	-0.405	0.153	0.004	0.275	-0.445

Tab. 11: Scores der Hauptkomponenten der PCA

Sample	SCORE1	SCORE2	SCORE3	SCORE4	SCORE5
Lav_Lad_1	-2.8	-0.17	-0.0683	-1.4	0.944
Tablasot_1	-2.33	2.34	0.266	0.633	-0.0442
Charb_1	-1.37	-0.0298	2.28	0.403	-0.198
Funtanas_1	2.88	0.318	-0.218	-1.42	0.243
Funtanas_2	2.18	-2.24	0.348	0.373	-0.128
Ravit_1	2.26	1.34	-0.359	1.12	0.813
Tiatscha_1	0.611	1.78	-0.651	-0.756	-1.2
Tiatscha_2	1.73	-0.187	0.671	0.273	0.00959
Tamangur_1	-1.53	-0.866	-2.2	0.861	-0.0481
Tamangur_2	-1.65	-2.29	-0.0643	-0.095	-0.392

Die graphische Darstellung der PCA zeigt auf, dass die abiotischen Parameter kaum miteinander korrelieren (Abb. 20). Die Länge der Vektoren stellt ihren Betrag dar, die Richtung der Vektoren entspricht dem Einfluss der einzelnen Umweltparameter auf die jeweiligen Quellen. Wie auf dem Plot ersichtlich, haben bei PC1 rund 50% der Parameter eine positive und 50% eine negative Ladung. Betrachtet man PC2 fällt auf, dass ein Grossteil der Substratparameter (Steine, Kies, Feinmaterial, Totholz und Pflanzen) in positive Richtung zeigt. Auf der Komponente 1 steht die Höhe der Leitfähigkeit und dem pH gegenüber, was darauf schliessen lässt, dass Leitfähigkeit und pH mit ansteigender Höhe der Quellen abnehmen. Des Weiteren stehen sich Moos und Feinmaterial gegenüber. Dabei ist vor allem Plan da Funtanas 2 von Moos dominiert, Tablasot 1 und Tiatscha Sot 1 sind durch Feinmaterial geprägt. Die Temperatur ist gemäss RDA bei Tamangur 1 und Tamangur 2 bedeutsam.

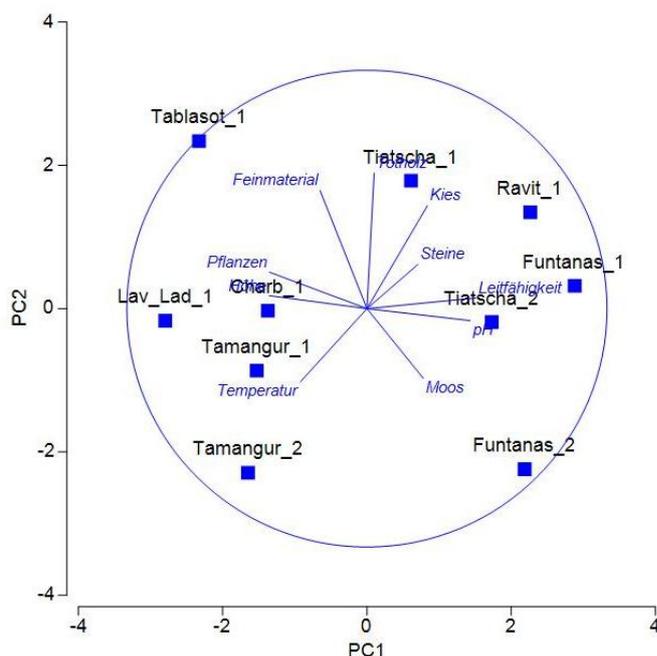


Abb. 11: Biplot der abiotischen Parameter mittels PCA

4.7.3 RDA

Die Analyse mittels RDA ergibt, dass die Umweltparameter Moos ($F=1.5$, $p= 0.132$) und Höhe ($F=1.7$, $p=0.114$) den grössten Einfluss auf die Artenzusammensetzung haben. Moos erklärt 15.9% der Varianz, die Höhe ist für 15.7% der Varianz verantwortlich. Betrachtet man die einzelnen Taxa, lassen sich diese der Abhängigkeit von bestimmten Umweltgradienten zuordnen (Abb. 21). Die Höhe der Quellen hat einen ersichtlichen Einfluss auf das Vorkommen von *Nemoura mortoni*, *Baetis alpinus*, *Baetis spp.* und *Leuctra spp.* Vor allem in der hoch gelegenen Quelle Tamangur 1 wurden diese Taxa in grosser Abundanz gefunden. Ein klarer Zusammenhang lässt sich zwischen dem Vorkommen von *Partnunia sp.* und einem hohen Moosanteil im Substrat erkennen. *Limnephilidae* werden ebenfalls durch das Vorhandensein von Moos begünstigt. *Melampophylax melampus*, *Blephariceridae* und *Oligochaeta* traten vermehrt in der Quelle Laviner Lad 1 auf, die eine hohe Wassertemperatur aufweist. Manche Taxa wie *Lebertia spp.*, *Sperchon spp.*, *Crenobia alpina* und *Ostracoda* sind hauptsächlich von Substrateigenschaften wie Kies, Feinmaterial, Pflanzen oder Totholz abhängig. Ein typischer Vertreter bei Quellen mit viel vorhandenem Detritus ist gemäss der Analyse mittel RDA die Art *Allogamus uncatus*.

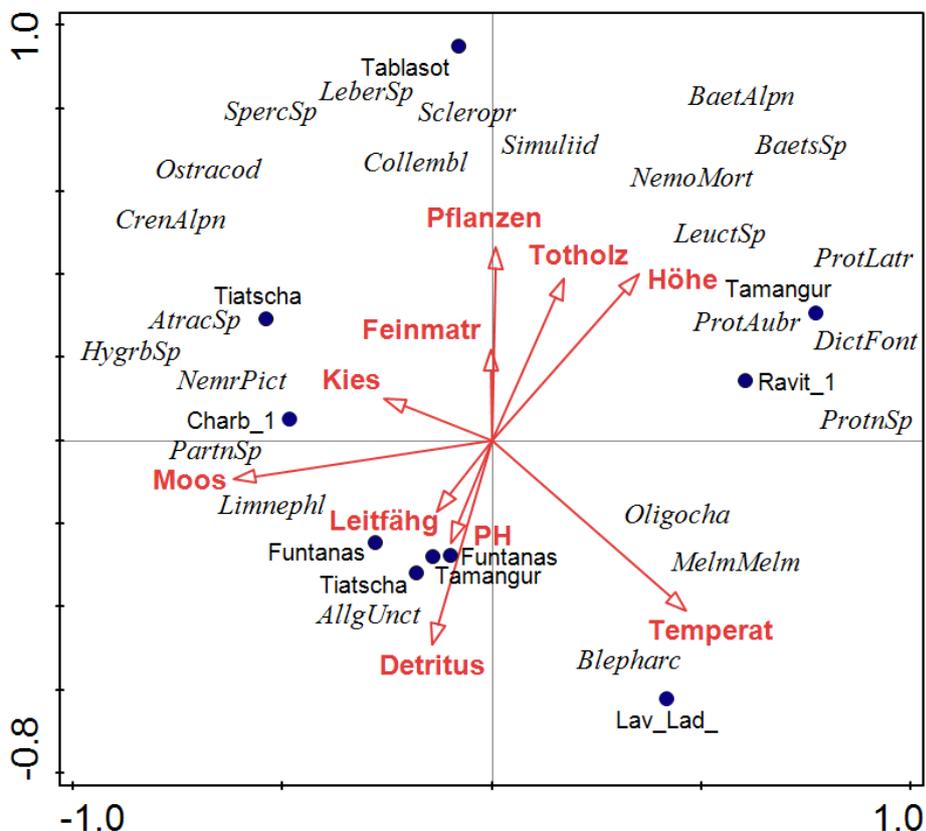


Abb. 12: RDA Plot

Die Länge der Vektoren zeigt den Einfluss der abiotischen Faktoren auf die Artenverteilung der einzelnen Quellen. Je länger ein Vektor, desto wichtiger ist dieser Umweltgradient zur Erklärung der Artenzusammensetzung.

5 Diskussion

5.1 Methodendiskussion

Der Zeitpunkt der Probenahme erwies sich bei einigen Organismengruppen als zu früh im Jahr. Zur morphologischen Bestimmung auf Artniveau sind Merkmale erforderlich, die sich bei gewissen Taxa erst in fortgeschrittenen Entwicklungsstadien ausbilden. Vor allem die Larven der Trichoptera, Plecoptera und Ephemeroptera waren oft zu klein, um die Arten mit Gewissheit zu identifizieren, weshalb viele Individuen nur auf Gattungsniveau bestimmt werden konnten. Um ein vollständiges Arteninventar zu erstellen, wäre eine wiederholte Probenahme im Herbst empfehlenswert. Zudem ist die Datenmenge mit nur 10 faunistisch untersuchten Quellen tendenziell zu klein, um aussagekräftige Resultate zu erzielen.

Durch die Verwendung des Surber-Samplers bei den Probenahmen werden die Makroinvertebraten teilweise stark mechanisch belastet, was zu einem Verlust von Extremitäten führen kann. Beschädigte Individuen können nicht mit Gewissheit bestimmt werden. Vor allem in steinigem Quellen ist die Beprobung mittels Surber-Sampler schwierig. Des Weiteren ist die Berücksichtigung aller vorhandenen Substrattypen durch nur vier quantitative Proben kaum möglich. Es empfiehlt sich eine grössere Anzahl an quantitativen Probenahmen. Mit der verwendeten Maschenweite von 500 µm konnten viele Organismen erfasst werden, für kleine Taxa wie beispielsweise die Acari wäre eine kleinere Maschenweite jedoch geeigneter.

Trotz sorgfältiger Vorsortierung im Feld war bei einigen Proben der Gehalt an organischem Material und Wasser relativ hoch. Dies führte zu einer Verdünnung der Ethanolkonzentration, wodurch bei diesen Proben die Konservierung der Organismen nicht ideal gewährleistet werden konnte. Bei einigen Proben fand deshalb eine leichte Zersetzung statt, was die Bestimmung der Organismen erschwerte.

Die Bewertung der Fauna anhand des Verfahrens von Fischer (1996) fiel bei einigen Quellen erstaunlich schlecht aus. Ein Erklärungsansatz dafür ist, dass die Bewertungsmethode auf einer exakten Artbestimmung beruht, viele Individuen jedoch aufgrund der frühen Larvenstadien nur auf Gattungs- oder Familienniveau bestimmt werden konnten. Folglich wurden nur wenige quelltypische Organismen identifiziert. Einige Organismengruppen wie die Dipteren und die Acari fliessen nicht in die Bewertung ein, sind aber oft spezifisch an ihren Quelllebensraum angepasst. Eine wichtige Rolle spielt nach dem Verfahren von Fischer (1996) die Abundanz der Arten. Zur Bewertung wird eine Taxazahl von mindestens fünf quelltypischen Organismen benötigt (Lubini et al. 2014). Die geringen Abundanzen der identifizierten Arten könnten somit die Plausibilität der Quellbewertung verringern.

5.2 Ergebnisdiskussion

Die Resultate dieser Arbeit zeigen auf, dass sich die Mehrheit der Quellen im Val S-Charl in einem natürlichen Zustand befindet. Direkte Anthropogene Einflüsse sind bei den untersuchten Quellen nur gering ersichtlich, was sich durch den Schutzstatus im UNESCO-Biosphärenreservat Engiadina Val Müstair erklären lässt. Gewisse Störungen sind jedoch bei mehreren Standorten erkennbar. Die meisten Beeinträchtigungen entstehen durch Viehtritt, da weite Teile des Tals durch extensive Weidenutzung geprägt sind. Auch Störungen durch Wildtiere sind bei einigen Quellen sichtbar. So lässt sich der tiefe Strukturwert der Quelle Tiatscha Sot 1 (3.36) bei der Bewertung gemäss Lubini et al. (2014) hauptsächlich auf die starken Trittschäden zurückführen. Der Vergleich zwischen den Strukturdaten (Lubini et al. 2014) und den faunistischen Daten (Fischer 1996) zeigt kaum Ähnlichkeiten auf. Bei den meisten Quellen fällt die Bewertung der Struktur bei weitem besser aus als die Bewertung der Fauna. Insbesondere bei den Quellen Laviner Lad 1 und Plan da Funtanas 2, deren Struktur als „naturnah“ eingestuft wird, die Fauna hingegen die Bewertung „quellfremd“ erhält, ist die Differenz markant. Da die Zusammensetzung der Quellfauna von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst wird, sollten neben der Quellstruktur auch die physikochemischen Parameter betrachtet werden. Beispielsweise können Nährstoffeinträge und anderen Schadstoffbelastungen natürliche Quellen derart beeinträchtigen, dass eine quelltypische Fauna nicht mehr überleben kann (Reiss & Zaenker 2007).

Die Hypothese, dass sich die Zusammensetzung der Quellfauna entlang des Höhengradienten signifikant verändert, wurde in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt. In diversen Studien konnte bereits ein Zusammenhang zwischen der Höhenlage und der Artenzusammensetzung nachgewiesen werden, meist wurde dabei jedoch ein grösserer Höhengradient betrachtet. So wurden in der Studie von Stoch et al. (2011) Quellen über eine Differenz von 2630 Höhenmeter untersucht und dabei die Höhenlage als wichtiger Treiber für die Artenzusammensetzung identifiziert. Claret und Marmonier (2019) stellten über eine Differenz von 1080 Meter eine klare Abnahme der taxonomischen Vielfalt mit zunehmender Höhe fest. Vermutlich ist die im Val S-Charl betrachtete Höhendifferenz von 569 Meter zwischen dem tiefst und dem höchst gelegenen Standort zu gering, um deutliche Auswirkungen auf die Fauna zu zeigen. Vielmehr erwiesen sich bei den untersuchten Quellen spezifische Substratparameter als entscheidende Faktoren. Bezüglich der Leitfähigkeit lässt sich eine Abnahme mit zunehmender Höhe feststellen, was auch bei der Analyse mittels PCA ersichtlich ist. Tamangur 1, Tamangur 2, Tablasot 1, Tablasot 2, Charbunera 1 und Laviner Lad 1 liegen über 1800 m.ü.M. und weisen eine Leitfähigkeit zwischen 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf. Bei den tiefer gelegenen Quellen liegt die Leitfähigkeit zwischen 204 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 335 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dieser Zusammenhang zwischen Höhe und

Leitfähigkeit wurde schon in etlichen vergleichbaren Studien festgestellt (Cantonati et al. 2006; Gerecke et al. 2011). Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Mass für die Anzahl an gelösten Ionen im Quellwasser und gibt Auskunft über die Mineralisierung des Wassers. In naturnahen Quellen wird die Leitfähigkeit hauptsächlich durch die Geologie des Ausgangsgesteins und der Verweildauer des Wassers im Aquifer bestimmt (Cantonati et al. 2006). Die hohe Leitfähigkeit in tief gelegenen Quellen lässt sich darauf zurückführen, dass die Verweildauer des Wassers im Grundwasserleiter länger ist und deshalb mehr Ionen gelöst werden. Des weiteren könnte der Eintrag und Abbau von organischem Material die Leitfähigkeit beeinflussen. Die tief gelegenen Quellen befinden sich mehrheitlich in vegetationsreicher Umgebung, was zu einem verstärkten Eintrag von organischer Substanz führt. Durch deren Abbau wird die Leitfähigkeit erhöht (Haller et al. 2013). Bezüglich der Ionenkonzentration lässt sich eine klare Veränderung mit der Höhe feststellen. Die Kationen Magnesium und Calcium sowie die Anionen Fluorid, Nitrat und Sulfat treten bei den tief gelegenen Quellen in deutlich höheren Konzentrationen auf. Dies lässt sich auf die Unterschiede im Ausgangsgestein zurück führen und könnte ausserdem ein Hinweis auf erhöhte Nährstoffeinträge in tiefen Lagen sein.

Der pH der untersuchten Quellen liegt mit einem durchschnittlichen Wert von 7.4 im basischen Bereich. Dieser Aspekt ist damit zu erklären, dass im Untersuchungsgebiet grösstenteils karbonatisches Ausgangsgestein dominiert, welches als Puffer wirkt (Trümpy et al. 1997). Der pH bei den Quellen Tablasot 1 (pH 6.7) und Laviner Lad 1 (pH 6.8) liegt hingegen im leicht sauren Bereich, was mit den chemischen Eigenschaften der regional auftretenden Metagranitoide zusammen hängen könnte (Bachmann et al. 2003). Neben dem Ausgangsgestein beeinflussen auch Verunreinigungen aus der Luft, der CO₂-Gehalt und in Quellen mit langsam fliessendem Wasser zudem die photosynthetische Aktivität von Algen, Moosen und höheren Pflanzen den pH (Cantonati et al. 2006).

Die hohen gemessenen Sauerstoffkonzentrationen lassen sich damit erklären, dass alpine Quellen meist durch bodennahe Aquifere gespeist sind und somit ein erleichterter Austausch des Grundwassers mit der Atmosphäre stattfinden kann. Alpine Quellen, insbesondere rheokrene Quellen, sind folglich oft sauerstoffgesättigt (Cantonati et al. 1998). Zwischen den verschiedenen Quelltypen lassen sich gewisse Unterschiede bezüglich der physikochemischen Parameter sowie der Fauna beobachten (Cantonati 2006). Helokrene Quellen sind sumpftartige Quellen, aus denen das Wasser diffus an verschiedenen Stellen austritt. Die helokrene Austrittsform kommt oft bei geringem Gefälle vor und weist hohe Gehalte an Detritus auf (Martin & Brunke 2012). Diese Substrateigenschaften bei der helokrenen Quelle Tamangur 2 erklären das Auftreten von *Beraea pullata* sowie die hohe Individuenzahl von *Nemurella pictetii*, die als Detritusfresser auf organisches Material

angewiesen sind (Holm 1989). *Chaetopterygopsis maclachlani*, welche ausschliesslich bei Tamangur 2 gefunden wurde, kommt typischerweise in Quellen mit dichten Moospolstern vor (Burmeister 1982). Die Acari weisen eine hohe Habitatspezialisierung auf und sind ebenfalls von spezifischen Substratparametern abhängig (Di Sabatino et al. 2001). Wie die statistische Analyse mittels RDA zeigt, wird *Partnunia sp.* durch einen hohen Moosanteil im Substrat begünstigt. Das häufige Auftreten verschiedener Arten der Gattung *Partnunia* in moosigen Quellen wurde auch in anderen Studien beobachtet (Goldschmidt & Melzer 2011). *Hygrobatas spp.* und *Atractides spp.* sind gemäss RDA-Analyse vermehrt von Kies beeinflusst, *Sperchon spp.* und *Lebertia spp.* durch Pflanzen und Feinmaterial. Der Alpenstrudelwurm *Crenobia alpina* wurde in jeder Quelle ausser Laviner Lad 1 gefunden. Dies kann damit erklärt werden, dass *crenobia alpina* keine warmen Temperaturen toleriert und Laviner Lad 1 mit 7.5°C deutlich wärmer ist als die anderen Quellen (Cantonati et al. 2006). Die Dipteren, hauptsächlich die Chironomidae, weisen sehr hohe Individuenzahlen auf. Wenn die Fauna von wenigen häufigen Arten dominiert wird, hat dies einen negativen Einfluss auf die Shannon-Diversität (van Strien et al. 2012). So hängt der tiefe Shannon-Wert bei der Quelle Tiatscha Sot 1 vermutlich mit der überdurchschnittlich hohen Individuendichte der Chironomidae zusammen. Bei den Quellen mit einer hohen Anzahl Taxa ist meist auch die Shannon-Diversität gross.

Bei den untersuchten Quellen wurden einige Arten der Plecoptera und Trichoptera gefunden, die auf der Roten Liste verzeichnet sind. *Dictyogenus fontium*, *Leuctra armata*, *Protonemura auberti*, *Beraea pullata* und *Drusus monticola* sind Arten, welche auf der Roten Liste als potenziell gefährdet eingestuft sind. *Chaetopterygopsis maclachlani* ist als stark gefährdet eingestuft, *Acrophylax zerberus* gilt als verletzte Art (Lubini et al 2010). Durch das Vorkommen gefährdeter Arten sind die untersuchten Quellen bezüglich ihrer Fauna besonders bedeutungsvoll. Infolge der globalen Klimaerwärmung verändern sich die Umweltbedingungen insbesondere in den Alpen erheblich, was sich auf die Lebensgemeinschaften in Quellen auswirkt. Betroffen sind vor allem Organismen mit engen Habitatansprüchen und begrenzten Ausweichmöglichkeiten. Typische Quellarten sind oft kaltstenotherm, das heisst sie sind an tiefe Temperaturen angepasst. Die identifizierten Trichoptera-Arten *Drusus monticola* und *Allogamus uncatius* gelten gemäss Küry et al. (2016) als Arten mit besonders enger Bindung an kalte Gewässer und reagieren somit hochsensibel auf klimatische Veränderungen. Wärmere Temperaturen als Folge des Klimawandels stellen für kaltstenotherme Arten eine ernsthafte Bedrohung dar und führen zu einer höheren Mortalität oder zu einer Verschiebung von Arealgrenzen. Für die Erfassung und Überwachung dieser Veränderungen ist ein langzeitiges Monitoring, insbesondere in naturnahen Gebieten wie dem UNESCO-Biosphärenreservat Engiadina Val Müstair, von grosser Bedeutung.

6 Literaturverzeichnis

Literatur

- Abderhalden, A., 2018. Untersuchung von Quell-Lebensräumen im Unterengadin 2018. Bericht im Auftrag des Amtes für Natur und Umwelt, Kanton Graubünden (ANU), 20 pp.
- Bachmann, G. et al. 2003. "Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden." Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz, LABO, 3. Auflage.
- Bahlburg, H., Breitzkreuz, C. 2012. "Grundlagen der Geologie." Springer, Heidelberg.
- Baur, B., Meier, T., Baur, A., Schmera, D. 2014. "Terrestrial gastropod diversity in an alpine region: Disentangling effects of elevation, area, geometric constraints, habitat type and land-use intensity." *Ecography* 37 (4): 390–401.
- Borsdorf, A., Jungmeier, M., Braun, V., Heinrich, K. 2020. "Biosphäre 4.0." UNESCO Biosphere Reserves als Modellregionen einer nachhaltigen Entwicklung. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- Burmeister, E.G. & Burmeister, H. (1982): "Beiträge zur Köcherfliegenfauna Oberbayerns (Insecta, Trichoptera)." I. Die Köcherfliegen des Murnauer Moores. Entomofauna Suppl. 1: 202-226, Linz.
- Cantonati, M., Gerecke, R., Bertuzzi, E. 2006. "Springs of the Alps - Sensitive Ecosystems to Environmental Change: From Biodiversity Assessments to Long-Term Studies." *Hydrobiologia*, 562 (1): 59-96.
- Cantonati, M., Füreder, L., Gerecke, R., Jüttner I., Cox, E. 2012. "Crenic Habitats, Hotspots for Freshwater Biodiversity Conservation: Toward an Understanding of Their Ecology." *Freshwater Science* 31(2): 463-480.
- Cantonati, M., Stevens L.E., Segadelli, S., Springer, A.E., Goldscheider, N., Celico, F., Filippini, M., Ogata, K., Gardini, A. 2020. "Ecohydrogeology: The interdisciplinary convergence needed to improve the study and stewardship of springs and other groundwater-dependent habitats, biota, and ecosystems." *Ecological Indicators* 110.
- Claret, C., Marmonier, P. 2019. "Relative effects of elevational and habitat constraints on alpine spring biodiversity." *Annales de Limnologie* 55
- Gerecke, R., Stoch, F., Meisch, C., Schrankel, I. 2005. "Die Fauna der Quellen und des hyporheischen Interstitials in Luxemburg."
- Clarke, K. R., Gorley, R.N. 2006. PRIMER v6: User manual/Tutorial. Primer-E. Plymouth-UK.
- Conradin, C. 2018. Untersuchung von Quell-Lebensräumen im Regionalen Naturpark BiosferaVal Müstair. Bericht im Auftrag des Amtes für Natur und Umwelt, Kanton Graubünden (ANU), 17 pp.
- Di Sabatino, A., R. Gerecke, & P. Martin, 2001. "The biology and ecology of lotic water mites (Hydrachnidia)." *Freshwater Biology* 44: 47–62.

- Filli, F., Abderhalden, A. (2020) "Der Weg vom *Réserve de Biosphère Parc Suisse* zum UNESCO Biosphärenreservat Engiadina Val Müstair: eine basisdemokratische Herausforderung." In: Borsdorf, A., Jungmeier, M., Braun, V., Heinrich, K. (eds) *Biosphäre 4.0*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- Gerecke, R., Meisch, C., Stoch, F., Acri, F., Franz, H. 1997. "Eucrenon-hypocrenon ecotone and spring typology in the alps of Berchtesgaden." A study of microcrustacea (crustacea: *Copepoda*, *Ostracoda*) and water mites (Araci : Halacaridae, Hydrachnellae)
- Goldschmidt, T., Melzer, R.R. 2011. "An interesting water mite fauna in springs near the city of Munich (Bavaria, Germany) – a pilot study for the monitoring of prealpine and alpine springs (Acari, Hydrachnidia)." *Spixiana* 34(2): 153-194.
- Haller, H., Eisenhut, A., Haller, R. 2013. "Atlas des Schweizer Nationalparks. Die ersten 100 Jahre." Haupt Verlag, Bern.
- Holm, A. (1989). "Ökologische Bewertungsrahmen Fließgewässer (Bäche) für die Naturräume der Geest und des Östlichen Hügellandes in Schleswig-Holstein." Landesamt für Naturschutz und Landschaftspflege des Landes Schleswig-Holstein, Kiel.
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Genf, 151pp.
- Küry, D., Lubini, V., Stucki, P. 2016. "Empfindlichkeit von Quell-Lebensgemeinschaften gegenüber Klimaveränderungen in den Alpen." Projekt-Schlussbericht 2016.
- Küry, D. Lubini, V. Stucki, P. 2017. "Temperature patterns and factors governing thermal response in high elevation springs of the Swiss central alps." *Hydrobiologia* 793 (1):185–97.
- Küry, D., Lubini, V., Stucki, P. 2018. "Verletzlichkeit von Eintagsfliegen, Steinfliegen Und Köcherfliegen alpiner Quellen gegenüber Klimaveränderungen."
- Lanz, K. 2016. *Wasser im Engadin. Nutzung, Ökologie, Konflikte*. Studie im Auftrag des WWF Schweiz Zürich.
- Leyer, I., Wesche, K. 2007. "Multivariate Statistik in der Ökologie: Eine Einführung." Springer-Verlag, Berlin.
- Lubini, V., Knispel, S., Sartori, M., Vicentini, H., Wagner, A. 2010. *Rote Listen Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen. Gefährdete Arten der Schweiz*, Bundesamt für Umwelt Bern und Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna. Neuenburg.
- Lubini, V., Stucki, P., Vicentini, H. 2014. *Bewertung von Quell-Lebensräumen in der Schweiz. Entwurf für ein strukturelles und faunistisches Verfahren*. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- Martin, P., Brunke, M. 2012. "Faunal typology of lowland springs in northern Germany." *Freshwater Science* 31 (2): 542–62.
- Pfiffner, O. A. 2015. *Geologie der Alpen*. 3. Auflage. Haupt Verlag.
- Reiss, M., Zaenker, S. 2007. "Quellen in der Rhön - Eine Faunistisch-Ökologische Erfassung im Biosphärenreservat Rhön."

- Reiss, M., Martin, P., Gerecke, R., Von Fumetti, S. 2016. "Limno-Ecological Characteristics and Distribution Patterns of Spring Habitats and Invertebrates from the Lowlands to the Alps." *Environmental Earth Sciences* 75 (12).
- Schlüchter, C., Lozza, H., Haller, R. 2021. "Geomorphology and landscapes of the Swiss National Park." In *World Geomorphological Landscapes*, 249–62. Springer.
- Shannon, C. E. 1948. "A mathematical theory of communication." *The Bell System Technical Journal*.
- Steinmann, P., Siegrist, R., Gams, H. 1915. *Praktikum der Süßwasserbiologie*.
- Stoch, F., Gerecke, R., Pieri, V., Rossetti, G., Sambugar, B. 2011. "Exploring Species Distribution of Spring Meiofauna (Annelida, Acari, Crustacea) in the South-Eastern Alps." *Journal of Limnology* 70 (1s): 65.
- Ter Braak, C. J. F., Šmilauer, P. 2012. *Canoco reference manual and user's guide: software for ordination (version 5.0)*. Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA.
- Thienemann, A., 1924. *Hydrobiologische Untersuchungen an Quellen*. Archiv für Hydrobiologie 14: 151–189.
- Trümpy, B., Schmid, S.M., Conti, P., Froitzheim, N. 1997. "Erleuterungen zur Geologischen Karte 1: 50000 des Schweizerischen Nationalparks." *Nationalpark-Forschung in der Schweiz. Landeshydrologie und -geologie (BUWAL)*, Bern.
- Van Der Kamp, G. 1995. "The Hydrogeology of Springs in Relation to the Biodiversity of Spring Fauna: A Review." In *Journal of the Kansas Entomological Society*. 68 (2).
- Van Strien, A. J., Soldaat, L.L., Gregory, R.D. 2012. "Desirable Mathematical Properties of Indicators for Biodiversity Change." *Ecological Indicators* 14 (1): 202–8.
- Von Fumetti, S., Nagel, P., Scheifhacken, N., Baltés, B. 2006. "Factors governing macrozoobenthic assemblages in perennial springs in north-western Switzerland." *Hydrobiologia* 568: 467–475.
- Von Fumetti, S., Nagel, P. 2011. "A first approach to a faunistic crenon typology based on functional feeding groups." *Journal of Limnology* 70 (1s): 147.
- Von Fumetti, S., Blattner, L., 2017. "Faunistic Assemblages of Natural Springs in Different Areas in the Swiss National Park: A Small-Scale Comparison." *Hydrobiologia* 793 (1):175–84.
- Von Fumetti, S., Wigger, F., Nagel, P. 2017. "Temperature Variability and Its Influence on Macroinvertebrate Assemblages of Alpine Springs." *Ecohydrology* 10 (7).
- Weber, M. 2006. "Erfassung, Bewertung und strukturelle Typisierung naturnaher Quellen im Schweizer Alpenraum." *Fachhochschule Eberswalde, Bad Mergentheim*.
- Weissert, H., Stössel, I. 2015. "Der Ozean im Gebirge." *Eine geologische Zeitreise durch die Schweiz*. Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.

Wigger, F. W., Schmidlin, L., Nagel, P., Von Fumetti, S. 2015. "Macroinvertebrate assemblages of natural springs along an altitudinal gradient in the Bernese Alps, Switzerland. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology* 51: 237–247.

Zieliński, P., Elżbieta, J., Katarzyna, P. 2020. "Factors affecting the abundance and activity of the bacterioplankton in lowland forest springs in north- eastern Poland." *Ecohydrology and Hydrobiology* 20 (4): 675–86.

Zollhöfer, J. M. 1997. "Quellen, die unbekanntes Biotop im Schweizer Jura und Mittelland: erfassen, bewerten, schützen." *Bristol-Schriftenreihen*, 1-153

Internetquellen

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz.
URL: www.meteoschweiz.admin.ch/ [Stand 17.12.2020]

Engadiner Kraftwerke AG
URL: www.ekwstrom.ch [Stand 27.01.2021]

International Union for Conservation of Nature (IUCN)
URL: www.iucn.org [Stand 25.01.2021]

Schweizer Nationalpark.
URL: <https://www.nationalpark.ch> [Stand 25.01.2021]

Swisstopo. Das Geoportal des Bundes. BAFU.
URL: www.maps.geo.admin.ch [Stand 13.11.2020]

Bestimmungsliteratur

Boschi, C. 2011. Die Schneckenfauna der Schweiz. Ein umfassendes Bild- und Bestimmungsbuch. Bern/Stuttgart/Wien.

Di Sabatino, A., Gerecke, R., Gledhill, T. & Smit, H. 2010. Chelicerata: Acari II. *Süsswasserfauna von Mitteleuropa*. Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag.

Eiseler, B. 2005. Identification key to the mayfly larvae of the German Highlands and Lowlands. In *Lauterbornia*, Dinkelscherben.

Hausser, J. 2005. Bestimmungsschlüssel der Gastropoden der Schweiz. In *Fauna Helvetica* 10. Neuchatel, CSCF & SEG.

Lubini, V., Knispel, S. & Vinçon, G. 2012. Die Steinfliegen der Schweiz: Bestimmung und Verbreitung. In *Fauna Helvetica* 27. Neuchatel, CSCF & SEG.

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.

2. Beispiel eines Protokollblattes zur Erfassung der Fauna

Quellen Protokoll - Fauna				Kanton :	ID :
Quelle : Tamangur 1		Datum : 07/07/2019	Koordinaten X/Y: 823537 174918		
Ortsname :		Höhe : 2033	BestimmerIn : K. Althaus		
TAXALISTE		alpine Quelle <input checked="" type="checkbox"/>	ankreuzen [x]		

Taxa	Stadium	RL	NP	Endemit	ÖWZ	ÖWZA	Anzahl	Klasse	Taxa	Stadium	RL	NP	Endemit	ÖWZ	ÖWZA	Anzahl	Klasse
2 Crenobia alpina					16	8	1	1	38								
3 Galba truncatula					4	4	1	1	39								
4 Baetis alpinus					4	2	32	4	40								
5 Baetis sp.					2	2	26	4	41								
6 Amphinemura sp.					2	2	5	2	42								
7 Dictyogenus fontium			NT		16	16	9	3	43								
8 Leuctra sp.					4	8	10	3	44								
9 Nemoura mortoni					8	4	5	2	45								
10 Nemoura sp.					4	16	3	2	46								
11 Protonemura auberti			NT		8	8	10	3	47								
12 Protonemura lateralis					4	4	128	5	48								
13 Protonemura sp.					8	4	27	4	49								
14 Melampophylax melampus					2	2	1	1	50								
15 Pseudopsilopteryx zimmeri					8	8	3	2	zusätzliche Taxa								
16									51								
17									52								
18									53								
19									54								
20									55								
21									56								
22									57								
23									58								
24									59								
25									60								
26									61								
27									62								
28									63								
29									64								
30									65								
31									66								
32									67								
33									68								
34									69								
35									70								
36									71								

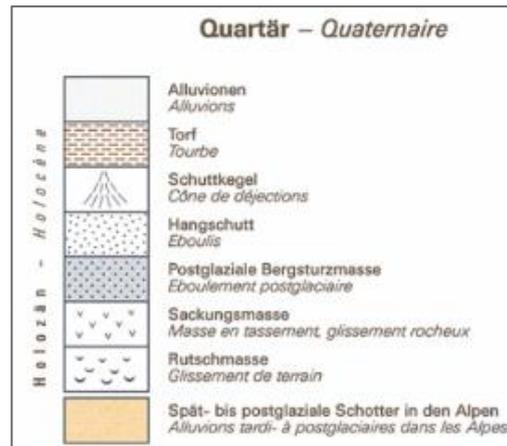
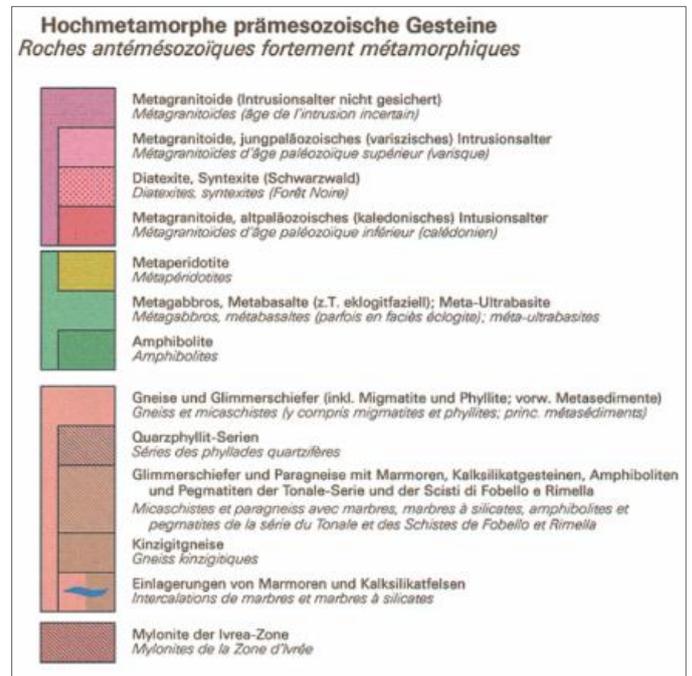
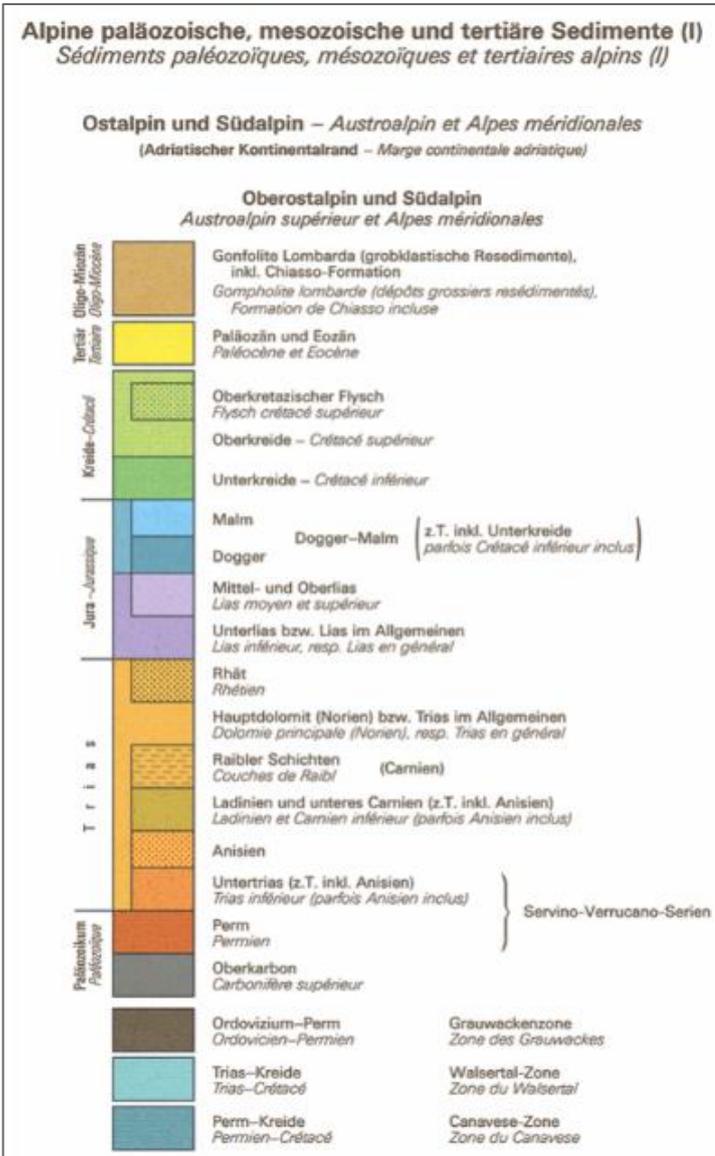
ERGEBNIS :		ÖWS		Anzahl Taxa	
Klassierung :		>20	15,0-19,9	14	
quelltypisch		10,0-14,9	5,1-9,9	2	
bedingt quelltypisch		<5		0	
quellverträglich				0	
quellfremd				2	
sehr quellfremd				4	
				ÖWS	
				15,9	

Abundanzklassen : 1 => 1 - 2 Ind. • 2 => 3 - 7 Ind. • 3 => 8 - 15 Ind. • 4 => 16 - 50 Ind. • 5 => >50 Ind. oder [x] nur genaue Anzahl

FeldbearbeiterIn (leg) ändern falls anders	Protokoll - Struktur (dazugehörig)	ausgefüllt am (Datum)
K. Althaus	ID	-

AQ/ps_ver_20170421

3. Legende zur geologischen Karte



4. Redlichkeitserklärung



**Universität
Basel**

Philosophisch-Naturwissenschaftliche
Fakultät



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

Bachelorarbeit

Titel der Arbeit (*Druckschrift*):

Untersuchung naturnaher Quellen im Val S-Charl

Name, Vorname (*Druckschrift*):

Althaus, Katrin

Matrikelnummer:

17-051-277

Mit meiner Unterschrift 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, 02.05.2021

Unterschrift:

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