



# Besiedlung von Quellen im Val Müstair unter besonderer Berücksichtigung der Wassermilben

Bachelorarbeit

Tina Moser, Bsc Geowissenschaften  
August 2023

Betreuung: Dr. Stefanie von Fumetti



## DANKSAGUNG

Für die Unterstützung beim Prozess des Verfassens dieser Arbeit möchte ich mich bedanken bei:

Dr. Stefanie von Fumetti für die Geduld und die wertvolle und tatkräftige Unterstützung im Feld und am Mikroskop.

Marko von Fumetti für die Mithilfe beim Aufstellen der Fallen und dem Mitorganisieren.

Meiner Familie, Freunden und Mitbewohnern für die schätzenswerte mentale Unterstützung.

## ZUSAMMENFASSUNG

Quellen in montanen und alpinen Zonen sind in Anbetracht der globalen Erwärmung hochgefährdete Lebensräume. Daher steigen wissenschaftliche Bemühungen, die Folgen des Klimawandels anhand von abiotischen Faktoren und Indikatorarten wissenschaftlich zu erfassen sowie Schutzzonen für besonders empfindliche Gebiete auszuweisen. Forschungsbedarf besteht insbesondere auch im Bereich der Parasit-Wirtsbeziehungen, Wirtsspezifität und den Auswirkungen von Parasiten auf Wirtsorganismen. In diesem Zusammenhang soll diese Arbeit zum besseren Verständnis von Interaktionen innerhalb der Quell-lebensgemeinschaften und des Klimawandels auf die Habitate und deren faunistische Zusammensetzung beitragen.

In einem ersten Teil wurden Interaktionen zwischen parasitären Süßwassermilbenlarven und verschiedenen Gruppen des adulten Makrozoobenthos als Wirte von zwei Quellen der UNESCO-Biosphäre Val Müstair untersucht. Mithilfe von Fallen konnten emergierende Insekten, hauptsächlich der Ordnungen Diptera und Plecoptera gefangen, bestimmt und auf Milben geprüft werden. Die Resultate haben gezeigt, dass Milben sowohl nach dem Eintritt des eigenen Todes als auch nach jenem des Wirtes haften bleiben. Steinfliegen, Tanzfliegen und Gnitzen zeigten sich als häufigste Wirte, wobei bei den Steinfliegen und Gnitzen Präferenzen für die weichen Körperstellen zwischen dem Kopf und dem Thorax sowie den einzelnen Thoraxsegmenten als Anheftungsstellen hergeleitet werden konnten. Bei den Tanzfliegen hingegen erwiesen sich die Beine als häufigste Parasitierungsstelle.

Im zweiten Teil erfolgte eine erste Abschätzung der Folgen des Klimawandels auf die faunistische Zusammensetzung des Makrozoobenthos von vier Quellen in der UNESCO-Biosphäre Val Müstair. Innerhalb der Zeitspanne von 2017 bis 2022 sind in den abiotischen Parametern Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit keine Auffälligkeiten zu beobachten. In Bezug auf die Fauna ist anhand der statistischen Auswertungen, wofür eine nMDS (non-metric Multidimensional Scaling), eine ANOSIM (Ähnlichkeitsanalyse) und eine RDA (Redundanzanalyse) erstellt wurden, eine leichte Verschiebung zwischen 2017 und 2020 festzustellen. Dies zeigt sich einerseits in den abnehmenden Abundanzen der Rote-Liste-Arten *Dictyogenus fontium* (Plecoptera), *Drusus melanchaetes* (Trichoptera) und *Drusus monticola* (Trichoptera), andererseits in der Zunahme des Ubiquisten *Nemurella pictetii* (Plecoptera). Die Unterschiede zwischen den Standorten blieben gemäss ANOSIM (R-Wert 0.65 und Signifikanzlevel  $p = 0.001$ ) aber trotzdem grösser als innerhalb der einzelnen Quellen.

# INHALT

1. EINLEITUNG	4
1.1 QUELLEN ALS LEBENSRAUM	4
1.2 PARASITISMUS	4
1.3 EINFLUSS DES KLIMAWANDELS AUF QUELLEN UND DEREN BEWOHNER	5
2. MATERIAL UND METHODEN	6
2.1 UNTERSUCHUNGSGEBIET LA POSA	6
2.2 AUFNAHMEN 2022	7
2.3 AUFNAHMEN 2017 UND 2020/21	12
2.3.1 <i>Abiotik</i>	12
2.3.2 <i>Faunistische Zusammensetzung</i>	12
2.3.3 <i>Statistische Auswertung</i>	12
3. ERGEBNISSE	14
3.1 AUFNAHMEN 2022	14
3.2 AUFNAHMEN 2017 UND 2020/21	18
3.2.1 <i>Abiotik</i>	18
3.2.2 <i>Faunistische Zusammensetzung</i>	20
3.2.3 <i>Statistische Auswertung</i>	21
4. DISKUSSION	23
4.1 AUFNAHMEN 2022	23
4.1.1 <i>Methodendiskussion</i>	23
4.1.2 <i>Vergleich der Fauna zwischen Quellen und Probennahmen</i>	23
4.1.3 <i>Parasitierung</i>	25
4.2 AUFNAHMEN 2017 UND 2020/21	28
4.2.1 <i>Abiotik</i>	28
4.2.2 <i>Faunistische Zusammensetzung</i>	29
LITERATUR	33
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	37
TABELLENVERZEICHNIS	38
ANHANG	39

# 1. EINLEITUNG

## 1.1 Quellen als Lebensraum

Aus hydrologischer Sicht (Cantonati et al., 2006) sind Quellen Orte mit temporärem oder permanentem Grundwasseraustritt (Küry et al., 2016a; Lubini et al., 2014). In der Ökologie hingegen werden sie als Ökoton und somit als Übergang zwischen der Oberfläche und dem Aquifer beschrieben (Cantonati et al., 2006). Generell gelten Quellen als äusserst stabile Lebensräume (Küry et al., 2016a), die seltenen Arten als wichtiges Refugium dienen (BAFU, 2021). Schmelzwasser (Küry et al., 2016b) und nahegelegener Permafrost wirken kühlend auf die Wassertemperatur und ermöglichen Spezialisten das Besiedeln dieser Habitate (BAFU, 2021). Die faunistische Zusammensetzung korreliert also mit den Temperaturverhältnissen (Wigger et al., 2015), welche durch die Lufttemperatur, Exposition und Höhe über Meer, sowie durch die geologischen Eigenschaften des Aquifers und Niederschlagsmengen beeinflusst werden (Küry et al., 2016a; Küry et al., 2016b). Aufgrund der heterogenen Struktur von Quellen, der sogenannten Mosaikstruktur, bilden sich diverse Mikrohabitate, was sie im Verhältnis zu ihrer relativen Grösse überaus artenreich macht (Cantonati et al., 2006; Gerecke et al., 2017; Küry et al., 2019; Stevens et al., 2021). Charakteristisch für Quellen ist weiter deren geographische Isolation, welche ihnen einen inselähnlichen Habitat-Charakter verleiht (Cantonati et al., 2006; Reiss et al., 2016). Dies führt zu einer hohen Anzahl endemischer Arten (Hering et al., 2009), kann aber bei stark isolierten, kleinflächigen Habitaten aufgrund mangelnder Immigration die Aussterberate erhöhen (Lubini et al., 2014). Dominant sind krenobionte und krenophile Arten (Von Fumetti et al., 2017), deren Abundanz ein nützlicher Indikator für Eigenschaften und Störungen in einzelnen Quellen sein kann (Gerecke et al., 2017). Insbesondere kaltstenotherme und oligotrophe Organismen zeichnen zudem die Quellfauna aus. Unter ihnen finden sich neben Endemiten auch einige Eiszeitrelikte (Küry et al., 2019). Innerhalb der vorkommenden Organismen in Quellen sind für diese Arbeit spezifisch Parasiten relevant. Parasiten als Lebensform sollen in Bezug auf den vorliegenden Untersuchungsgegenstand nachfolgend kurz erläutert und anschliessend innerhalb des Klimawandels kontextualisiert werden.

## 1.2 Parasitismus

Der Parasitismus gehört zu den erfolgreichsten Lebensformen (Poulin und Morand, 2000). In der übergreifenden Definition eines Parasiten sind alle Organismen inkludiert, welche auf oder in einem anderen Organismus leben (Cox, 2009). In der vorliegenden Arbeit wird konkret auf die Parasit-Wirt-Beziehung zwischen Süsswassermilben (Hydrachnidia) und Quellinsekten fokussiert. Der Lebenszyklus von Hydrachnidia startet als obligat (Martin, 2003) ektoparasitische Larve (Gerecke und Martin, 2006; Martin und Stur, 2006) mit verschiedenen Insektenarten als Wirten (Smith und Oliver, 1986). Mithilfe spezialisierter Mundwerkzeuge können sie sich am Wirt festhaften und an den Körpersäften bedienen

(Gerecke und Martin, 2006). Das Vorkommen von Süßwassermilben in Quellen deutet auf gute Wasserqualität und permanenten Wasserfluss hin, da sie in keinem Stadium Adaptionen an intermittierende Gewässer haben (Gerecke und Martin, 2006; Gerecke et al., 2017). Über 50 Prozent der in Quellen lebenden Hydrachnidia gelten gemäss Di Sabatino et al. (2003) als krenobiont oder krenophil. Es besteht aber keine zwingende Abhängigkeit von krenobionten Milben an die Quellbindung des Wirtes (Martin und Stur, 2006).

### 1.3 Einfluss des Klimawandels auf Quellen und deren Bewohner

Wie oben ausgeführt, ist die faunistische Zusammensetzung abhängig von den jeweiligen Temperaturverhältnissen. Im Rahmen des Klimawandels werden höhere Temperaturen kaltstenotherme Quellbewohner zunehmend herausfordern. Diese können im gewohnten Lebensraum bleiben und ihre Existenz durch Anpassung sichern oder in höher gelegene Gebiete mit ähnlichen Bedingungen migrieren. Letzteres ist jedoch nur begrenzt möglich, da das Angebot an geeigneten Habitaten mit zunehmender Höhe abnimmt (Küry et al., 2016a). Zudem ist diese Option abhängig von der Kapazität der Arten sich über lange Gebirgsketten und Einzugsgebiete zu verbreiten (Hering et al., 2009; Sauer et al., 2011; Von Fumetti und Blattner, 2016). Falls eine Anpassung oder Migration nicht möglich ist, führt dies zu lokalem Aussterben einiger Arten (Küry et al., 2016a). Im Zuge des Klimawandels ist zudem mit einer Verschiebung der Niederschlagsmengen zu rechnen (Hock et al., 2019) und damit auch mit einer saisonalen Abnahme des Wasserangebots (NCCS, 2018). Besonders für Quellen in höheren Lagen kann periodisches Austrocknen die Folge sein (Küry et al., 2016a). Des Weiteren werden Permafrost und Gletscher vermehrt schmelzen (Hock et al., 2019; Davaze et al., 2020) und zu Veränderungen in der Wasserzusammensetzung führen (Nickus et al., 2015). Laut Küry et al. (2016a) beeinflusst die Temperatur die Vielfalt, Abundanz und Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften der EPT-Taxa (Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera) am meisten, da es unter ihnen besonders viele Endemiten und verletzte Taxa gibt.

Anhand abiotischer und faunistischer Daten von 2017, 2020 und 2021 zu Quellen im Val Müstair konnte in der vorliegenden Arbeit untersucht werden, ob Umweltveränderungen mit Auswirkungen auf die Zusammensetzung in der Quellfauna bereits zu beobachten sind. Weiter wurden emergierende Imagines gefangen und auf Parasiten untersucht. Einerseits um herauszufinden, ob Milben während der letzten Umwandlung ihres Wirtes haften bleiben, andererseits um Trends bezüglich der Parasitierungsrate pro Taxon und Individuum zu erkennen sowie eine mögliche Artpräferenz von Süßwassermilben festzustellen. Vorgehensweise und Untersuchungsgebiet- bzw. Gegenstand werden in den folgenden Kapiteln ausführlich erläutert und diskutiert.

## 2. MATERIAL UND METHODEN

### 2.1 Untersuchungsgebiet La Posa

Die beprobten Quellen liegen im nordöstlichen Teil des Kantons Graubünden, in der Biosphäre Val Müstair. Sie befinden sich nahe der Alp Champatsch, in einer Höhe zwischen 2100 m ü. M. und 2150 m ü. M. (map.geo.admin.ch). Sie können vom Dorf Lü her zu Fuss erreicht werden. Eine Kiesstrasse führt zur Alp Champatsch, wobei La Posa 2 (LP2) etwas vor der Alp in einem lichten Wald in einer bewirtschafteten Alpweide liegt. Es handelt sich um eine Helokrene (Sickerquelle). La Posa 1 (LP1) ist eine Rheokrene (Sturzquelle) und befindet sich kurz nach der Alp Champatsch, in einem steilen Hang mit viel losem Gestein und dichterem Wald (Abb. 1).

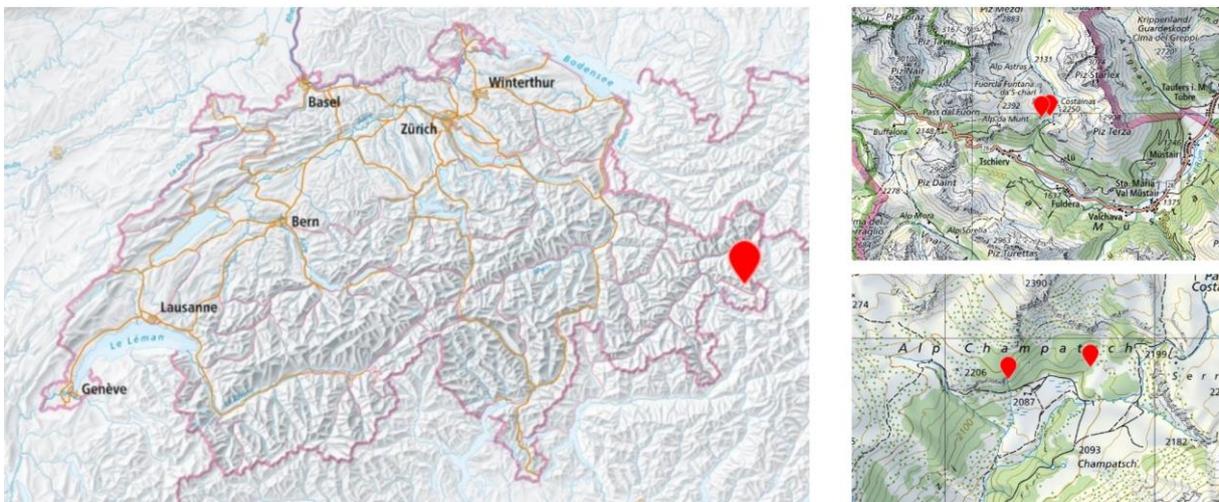


Abbildung 1: Kartenausschnitte mit Markierung des Untersuchungsgebiets, die Alp Champatsch mit den Quellen La Posa 1 und La Posa 2 im Val Müstair (map.geo.admin.ch)

Im inneralpinen Trockental herrscht ein mildes und im Vergleich zum restlichen Alpenraum trockenes Klima mit einer Jahresmitteltemperatur von ca. 5.6°C und 800 mm Niederschlag. Die Waldgrenze liegt aufgrund des Klimas etwas höher als am Alpensüd- und Alpennordhang (Cumün da Val Müstair).

UNESCO-Biosphärenreservate werden um Kernschutzzonen, in diesem Fall der Schweizerische Nationalpark, angelegt. Biosphärenreservate dienen zur Bewahrung der biologischen Vielfalt und Förderung des Biolandbaus. Es steht also nicht ein strenger Schutz mit Verboten im Vordergrund, wie dies in den Kerngebieten der Fall ist, sondern eine nachhaltige Interaktion zwischen Mensch und Natur. Soziale und wirtschaftliche Entwicklung sollen in diesen Gebieten möglich sein, jedoch unter Erhalt der Ökosysteme (Deutsche UNESCO-Kommission, 2021).

Die Alp Champatsch dient im Sommer als Kuhalp und zieht mit dem Restaurant La Posa in der Sommer- wie Wintersaison Touristen an (val-muestair.ch). Es befinden sich Kuhweiden rund um das Alpgebäude, darunter auch in der Nähe der Quelle La Posa 2 (Abb. 2). La Posa 1 tritt an



Abbildung 2: Auf dem Weg zur Alp Champatsch mit Sicht auf die Kuhweide rechts von LP2.

einem steilen und eher kargerem Hang an die Oberfläche und bleibt deshalb von Viehtritt verschont. Wanderwege führen nahe an beiden vorbei (map.geo.admin.ch).

## 2.2 Aufnahmen 2022

An den zwei Quellen LP1 und LP2 wurden mithilfe von je vier Emergenzfallen (Abb. 3) während drei verschiedenen Zeiträumen Makrozoobenthos im Imaginalstadium gefangen. Bei den Emergenzfallen handelt es sich um Netze, welche unten an einem Ring aufgespannt sind und sich gegen oben trichterförmig verengen. Am oberen Ausgang ist ein Behälter angebracht, der zu etwa 2/3 mit der Emergenzflüssigkeit (Ethylenglykol und Isopropanol) gefüllt ist (Remschak, 2018).



Abbildung 3: Emergenzfalle LP 2.3

Die Beprobung erfolgte in drei Zyklen. Die erste Probennahme wurde vom 16. bis am 19. Juni 2022, die zweite vom 05. bis am 08. August 2022 genommen. Im Anschluss an die zweite Beprobung wurden die Fallen für sieben Tage stehen gelassen und am 15. August 2022 wieder geleert und abgeräumt.

Der erste Tag eines Beprobungszeitraumes diente jeweils dem Aufstellen der Fallen (Abb. 4, Abb. 9 und Abb. 10). An den darauffolgenden Tagen wurden sie morgens zwischen 9.30 und 10.00 Uhr geleert und die Insekten in ein mit Ethanol gefülltes Röhrchen gegeben. Zurück im Hotel in Lü wurde das gefangene

Makrozoobenthos unter dem Binokular bestimmt und auf Milben untersucht. Am zweiten Tag der ersten Probennahme (17. Juni) wurde eine zusätzliche Falle (1.4) aufgestellt und alle Netze um 2 cm runtergesetzt, damit sie direkt über der Wasseroberfläche oder dem Substrat sind. So können weniger Insekten zwischen Wasseroberfläche und Netz entweichen. Diese Anpassungen wurden für die zweite Probennahme übernommen. Die Emergenzflüssigkeit wurde jeweils während den vier Tagen nie gewechselt.

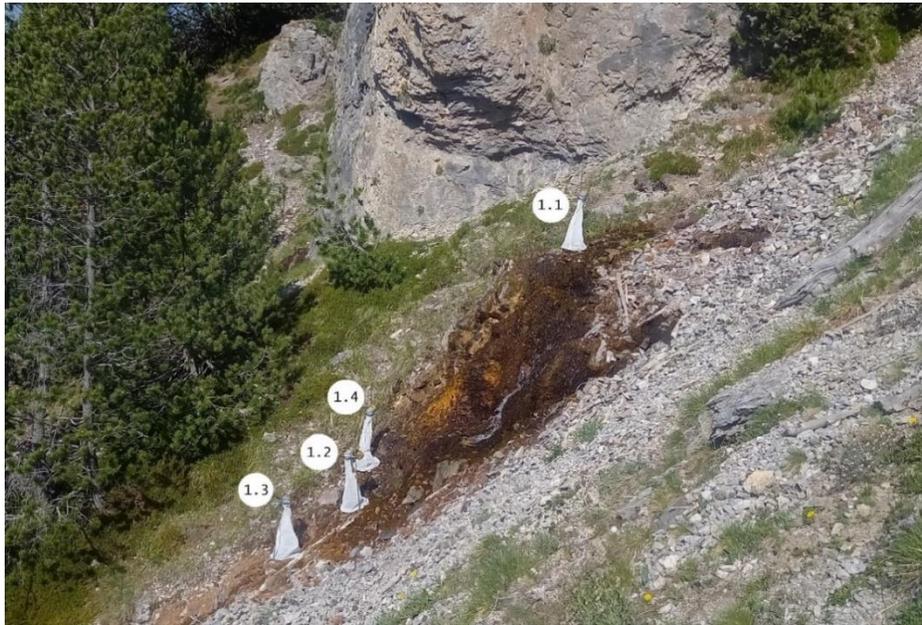


Abbildung 4: Übersicht LP1 mit den Emergenzfallen 1.1 bis 1.4

Bei der Sturzquelle LP1 zeichnet sich das Substrat der obersten Emergenzfalle 1.1 (Abb. 5) durch grössere Steine bis Kies aus, welche partiell mit Moospolstern bedeckt sind. Die Falle 1.1 steht gleich nach dem Wasseraustritt am Ufer und die Fliessgeschwindigkeit ist als mässig einzustufen. Die zweite Falle (Abb. 6) ist nach einem kleinen Wasserfall situiert und befindet sich hauptsächlich über Moospolstern und einzelnen Steinen. Die Fliessgeschwindigkeit ist sehr langsam. Gegenüberliegend von 1.2 steht die Falle 1.4 (Abb. 8). Das Substrat ist grob kieselig mit feinen Moospolstern dazwischen. Sie ist direkt über langsam fliessendem Wasser positioniert. Weiter unten im Quellverlauf steht die Falle 1.3 (Abb. 7) über einem kleinen Becken, wo das Wasser mit mässiger Geschwindigkeit fliesst. Das Substrat zeichnet sich durch Moospolster und grössere Steine aus. Es ist kein Viehtritt zu erkennen. Oberhalb von LP1 befindet sich eine Felswand, wovon sich einzelne Steine lösen.



Abbildung 5: Substrat Emergenzfalle 1.1



Abbildung 6: Substrat Emergenzfalle 1.2



Abbildung 7: Substrat Emergenzfalle 1.3



Abbildung 8: Substrat Emergenzfalle 1.4

Bei LP2 (Abb. 9 und Abb. 10) wurden ebenfalls am 17. Juni eine zusätzliche Falle (2.4) aufgestellt und die Netze 2 cm heruntergesetzt. Ausserdem wurde die Falle 2.3 leicht verschoben, da sie instabil war.



Abbildung 9: LP2 Fallen 2.1, 2.2 und 2.4



Abbildung 10: LP2 Falle 2.3

LP2 ist durchgehend von Viehtritt geprägt. Die oberste Falle 2.1 (Abb. 11) steht über langsam fließendem Wasser, worunter eher grobes Substrat liegt. Dieses von grösseren Steinen bis Kieselsteine geprägtes Substrat ist durchzogen von Moos- und Wasserpflanzen. 2.1 ist gleich beim Quellaustritt und angrenzend ans Ufer positioniert. Die Emergenzfalle 2.2 (Abb. 12) steht ebenfalls nahe dem Quellaustritt über langsam fließendem Wasser. Im Substrat befindet sich aber deutlich mehr organische Substanz und die harten Komponenten sind etwas kleiner als bei der Falle 2.1. Gegenüber ist die nachträglich aufgebaute Falle 2.4 mit grobem Substrat und dazwischen feinere Komponenten sowie Moos (Abb. 14). Sie befindet sich über langsam fließendem Wasser, direkt am Ufer. Etwa 15 m weiter unten im Quellverlauf steht die Emergenzfalle 2.3 (Abb. 13). Der Standort ist etwas moorig und, wie die obigen Standorte, ebenfalls stark von Vieh besucht. Das Substrat ist hauptsächlich Kies, darunter etwas grössere Steine. Auch da fließt das Wasser langsam, da das Gelände nicht steil ist.



Abbildung 11: Substrat Emergenzfalle 2.1



Abbildung 12: Substrat Emergenzfalle 2.2



Abbildung 13: Substrat Emergenzfalle 2.3



Abbildung 14: Substrat Emergenzfalle 2.4

## *Wetter*

Vor der ersten Beprobung im Juni, sowie an dessen ersten Tag kam es immer wieder zu Regenschauer und Gewitter. Danach war das Wetter trocken und heiss. Die maximale Tagestemperatur lag zwischen 20°C und 26°C und die minimale zwischen 12°C und 13°C. Während der zweiten Probennahme im August war das Wetter deutlich durchzogen. Es kam immer wieder zu kurzen, meist schwachen Regenschauern. Die Höchsttemperaturen lagen zwischen 17°C bis 24°C und die Mindesttemperaturen bei 12°C bis 14°C. Während der dritten Probennahme, der Sammelprobe herrschte ähnliches Wetter, jedoch tagsüber etwas wärmer und trockener als während der zweiten Beprobung. Die Höchsttemperaturen lagen bei 20°C bis 24°C, die Tiefsttemperaturen bei 8.5°C bis 14°C.

## *Makrozoobenthos bestimmen*

Aufgrund geringer Datenverfügbarkeit zur Parasitierung des Makrozoobenthos mit Milben, respektive wie lange Milben an einem Organismus haften, erfolgte das Absuchen jeweils möglichst zeitnah. Nach dem Leeren der Fallen wurden alle Organismen mittels Binokulars auf Milben untersucht (Abb. 15). Dies geschah jeweils zwischen 11.00 und 12.00 Uhr im Hotel in Lü. Im nächsten Schritt erfolgte ebenfalls unter dem Binokular die Bestimmung der Insekten auf Familienniveau. Für die Diptera wurde der Bestimmungsschlüssel «Müller/Bährmann Bestimmung wirbelloser Tiere» von Köhler (2015) und für die Plecoptera «Stresemann – Exkursionsfauna von Deutschland, Band 2» von Klausnitzer (2011) verwendet. Täglich wurden die Abundanzen und Milben pro Emergenzfalle separat notiert.



Abbildung 15: Arbeitsbereich im Hotel Hirschen in Lü (links) und beschriftete Fläschchen mit Ethanol und Makrozoobenthos (rechts).

## 2.3 Aufnahmen 2017 und 2020/21

### 2.3.1 Abiotik

Die Aufnahmen im Jahr 2017 wurden von Julien Sentieiro im Rahmen seiner Bachelorarbeit durchgeführt. Er hat die Temperatur, die elektrische Leitfähigkeit, den pH-Wert sowie den Sauerstoffgehalt der Quellen La Posa 1 (LP1), La Posa 2 (LP2), Era da la Bescha oben (EBo) und Era da la Bescha unten (EBu) aufgenommen und ausgewertet. Die Quellen EBU und EBO liegen auf der anderen Talseite auf etwa gleicher Höhe über Meer und sind nordostwärts ausgerichtet (Abb. 16). In den Jahren 2020 und 2021 wurden die abiotischen Daten von Dr. Stefanie von Fumetti erfasst und ausgewertet.



Abbildung 16: Die Standorte der Posa-Quellen im Norden und der Era da la Bescha-Quellen im Süden (map.geo.admin.ch).

### 2.3.2 Faunistische Zusammensetzung

Die Fauna wurde nach der Methode nach Lubini et al. und Schindler (2004) quantitativ mit einem Surber-Sampler und qualitativ mit einem Handkescher erhoben. Anschliessend wurde die Fauna aussortiert und im Labor unter einem Binokular mithilfe von Bestimmungsliteratur identifiziert (Sentieiro, 2018). Die Daten vom Jahr 2017 stammen von Sentieiro und jene von 2020 und 2021 wurden durch Von Fumetti erhoben.

### 2.3.3 Statistische Auswertung

Für die Auswertung der faunistischen Aufnahmen der Quellen LP1, LP2, EBo und EBU wurde das Statistikprogramm PRIMER (Clarke und Gorley, 2006) verwendet. Als erstes wurden die Daten mit «square root» transformiert, damit extreme Abundanzen nicht zu stark gewichtet werden. Um die Unterschiede zwischen den Quellen darzustellen, wurde zuerst die «Bray-Curtis similarity» aller

Quellen berechnet. Daraus konnte eine nMDS (non-metric Multidimensional Scaling) erstellt werden, welche die Zusammenhänge und Korrelationen, respektive die Unterschiede der Fauna der einzelnen Standorte in der Zusammensetzung darstellt (Leyer und Wesche, 2007). Als zweites wurde eine sogenannte ANOSIM (Analysis of Similarities), eine Ähnlichkeitsanalyse durchgeführt. Dieses Modell zeigt die Signifikanz der faunistischen Verschiebung einer Quelle in den drei Jahren relativ zu den Unterschieden zwischen den vier beprobten Quellen auf. Beide Modelle wurden für die Quellen sowie für die Jahre als Hintergrund gemacht. Beide Modelle, nMDS und ANOSIM setzen keine Normalverteilung der Daten voraus und sind daher gut geeignet für statistische Auswertungen, welche sich auf die Biologie oder Umwelt beziehen.

Damit die abiotischen Daten mit den Faunistischen übereinstimmen, wurden nur jene der Probennahmen vom Juli genommen. Dazu wurde im Programm CANOCO das lineare Modell RDA (Redundanzanalyse) verwendet, weil die Unterschiede in den Umweltparametern nicht sehr gross sind. Diese Analyse dient zur Erklärung der Artenzusammensetzung der Quellen anhand der gemessenen Umweltparametern und zeigt deren Signifikanz. Irrelevante Umweltparameter werden nicht berücksichtigt.

### 3. ERGEBNISSE

#### 3.1 Aufnahmen 2022

Über einen Zeitraum von zwölf Tagen wurden mit acht Emergenzfallen insgesamt 288 adulte Insekten gesammelt. Davon stammen zwei Drittel aller Individuen (199) aus der Quelle LP1 und ein Drittel (89) aus LP2. Der Grossteil der untersuchten Taxa wurde auf Familienniveau und nur Vertreter der Plecoptera und Trichoptera auf Gattungs-, selten auf Artniveau bestimmt. Die Gesamtzahl an Taxa beträgt 26, wovon 17 in LP1 und 15 in LP2 vorkamen. Am meisten Insekten (149 Individuen) konnten mit der Sammelprobe im August gefangen werden, als die Fallen während 172 Stunden (7 Tage) stehen blieben und nicht geleert wurden (Tab. 1).

Tabelle 1: Artenliste 2022 von LP1 und LP2 mit roter Markierung jener Taxa, wovon mindestens ein Individuum parasitiert war.

Ordnung	Unterordnung	Familie	Gattung, Art	16.-19. Jun 2022		06.-08 Aug 2022		09.-15. Aug 2022		Total		
				LP 1	LP2	LP1	LP2	LP1	LP2			
Diptera	Brachycera	Dolichopodidae		1	10	2	1	2	6	22		
		Empididae		1	3	1	3	2	4	14		
		Pallopodidae			1					1		
		Phoridae				1		1		2		
		Pipunculidae			4					4		
		Stratiomyidae			9	7	6	4	7	12	45	
		Syrphidae			2	2					4	
		Tachnidae			2						2	
		Nematocera		Ceratopogonidae		35	1	10	4	68	5	123
				Chironomidae		5	6	1	1	4	6	23
Dixidae									1	1		
Limoniidae								2		2		
Mycetophilidae							1		2	3		
Ptychopteridae						1				1		
Simuliidae					1						1	
Hemiptera					3	1	6	2	12			
Heteroptera								1	1			
Hymenoptera	Apocrita	Formicinae				1				1		
Lepidoptera				2		1				3		
Orthoptera	Ensifera								1	1		
Plecoptera		Leuctridae	<i>Leuctra sp.</i>			2		10	1	15		
			<i>Leuctra braueri</i> KEMPNY						1	1		
		Nemouroidae	<i>Protonemura sp.</i>						3		3	
			<i>Protonemura meyeri</i>		1						1	
	Perlodidae	<i>Dictyogenus alpinus</i>						1	1			
Trichoptera		Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila sp.</i>					1		1		
<b>Anzahl Individuen pro Beprobung und Quelle</b>				65	31	28	15	106	43	288		
<b>Anzahl Individuen LP1</b>										199		
<b>Anzahl Individuen LP2</b>										89		

In der Quelle LP1 waren die Ceratopogonidae (Gnitzen) mit 35 gefangenen Individuen weitaus am stärksten vertreten, gefolgt von den Waffenfliegen (Stratiomyidae). In den Fallen der LP2 waren vor allem Dolichopodidae (Langbeinfliegen) und Stratiomyidae (Waffenfliegen), sowie auch Chironomidae (Zuckmücken). Vertreter der Indikatorarten Steinfliegen (Plecoptera) und Köcherfliegen (Trichoptera) wiesen in LP1 mit 18 Individuen eine deutlich höhere Abundanz auf als in LP2 (3 Individuen, keine Trichoptera).

Von Milben befallen sind Vertreter der Familien der Empididae, Ceratopogonidae und Chironomidae, welche allesamt zu den Zweiflüglern (Diptera) gehören. Ebenfalls parasitiert war ein Individuum der Familie Formicinae (Hymenoptera) einige Steinfliegen der Familien Leuctridae und Nemouridae (Tab. 1).

Unter den Plecoptera sticht die Gattung *Leuctra* mit einer Parasitierung von 21 Milben verteilt auf sieben Individuen besonders hervor (Tab. 2). Bei der Gattung *Protonemura* waren zwar die Abundanzen geringer, die Parasitierungsrate jedoch nicht. Zwei von drei Individuen waren parasitiert. Bei beiden, den *Leuctra sp.* und den *Protonemura sp.*, waren stark und schwach befallene Individuen darunter. Die Parasitierungsrate der gefangenen Steinfliegen ist relativ zu deren Abundanz in den Fallen hoch. Im Gegensatz dazu dienen Gnitzen, welche zwar am häufigsten in den Emergenzfallen vorkamen, eher selten als Wirt. Dies gilt auch für die Zuckmücken, welche zwar nicht so abundant waren wie die Gnitzen, die gefangenen Individuen aber auch selten parasitiert waren. Tanzfliegen und Langbeinfliegen waren innerhalb dieser Untersuchungen als einzige Taxa der Brachycera von Milben befallen.

Tabelle 2: Ausschnitt aus der Artenliste von LP1 und LP2 (2022) mit nur den parasitierten Taxa und der Anzahl Parasiten pro Taxon. M = Milben.

Ordnung	Unterordnung	Familie	Gattung, Art	16.-19. Jun 2022		06.-08. Aug 2022		09.-15. Aug 2022		Parasiten pro Taxon						
				LP1	M	LP2	M	LP1	M		LP2	M				
Diptera	Brachycera	Dolichopodidae					1	1			1					
		Empididae	1		3		1	3	1	2	1	4	3	5		
	Nematocera	Ceratopogonidae	35		1		10	2	4		68	5	5		7	
		Chironomidae	5	2	6		1		1		4		6		2	
Hymenoptera	Apocrita	Formicinae						1	1					1		
Plecoptera		Leuctridae	<i>Leuctra sp.</i>	2				2	2			10	17	1	2	21
		Nemouridae	<i>Protonemura sp.</i>									3	9		9	

Die Orte, an welchen sich Milben an den Wirt gehaftet haben, sind sehr divers. Die Abbildungen 17 und 18 zeigen parasitierte Gnitzen (Nematocera). Das Individuum links ist vor allem am Abdomen befallen, während jenes rechts zwei Milben zwischen Kopf und Thorax hat. Auf der Abbildung 19 ist eine Schuppenameise (Formicinae) zu sehen, welche eine Milbe gleich beim Hinterflügel auf sich trägt.



Abbildung 17: Gnitze mit fünf Milben am Abdomen (LP1, 3. Probenahme)



Abbildung 18: Gnitze mit zwei Milben am Pronotum (LP1, 2. Probenahme)



Abbildung 19: Schuppenameise mit Milbe und rechts die Vergrößerung der Heftungsstelle (LP2, 2. Probenahme)

Eine Langbeinfliege (Abb. 20), sowie eine Zuckmücke wurden je an einem Bein befallen. Bei den Tanzfliegen hefteten sich die Milben ebenfalls meist an ein Bein. Steinfliegen wurden besonders stark zwischen dem Kopf und dem Thorax, sowie zwischen den einzelnen Thorax-Segmenten und zwischen Thorax und dem Abdomen parasitiert (Abb. 21). In diesen weicheren Körperstellen wählten die Milben

meist die Körperseiten, manchmal leicht ventral oder dorsal. In einem Fall wählte eine Milbe den dorsalen Teil des Abdomens (Tergite) einer *Leuctra* sp. aus.



Abbildung 20: Langbeinfliege mit einer Milbe am Bein, rechts die Vergrößerung der Stelle (LP2, 2. Probennahme)



Abbildung 21: *Leuctra* sp. mit elf Milben zwischen den Thoraxsegmenten, zwei an den Coxa und einer am Abdomen (LP1, 3. Probennahme)

## Freie Milben in der Emergenzflüssigkeit

Die Emergenzflüssigkeit wurde nach der ersten und der dritten Probennahme geleert und für jede Falle in separate Becher gegeben. Dies diente zur Untersuchung, ob eine Mehrheit der Milben an ihren Wirten haften bleiben oder ob sie loslassen, sobald der Tod beider eintritt. In den Emergenzflüssigkeiten der ersten Probennahme befand sich keine Milbe und in jenen der zweiten und dritten Probennahme zwei aus LP1 (Falle 1.1) und eine aus LP2 (Falle 2.3).

## 3.2 Aufnahmen 2017 und 2020/21

### 3.2.1 Abiotik

Der Wert der elektrischen Leitfähigkeit gibt ein Mass für die Menge gelöster Stoffe im Wasser. Solche Stoffe können beispielsweise Magnesium-, Kalzium- oder Sulfationen sein und deren Anteile können durch Schmelzwassereintrag verändert werden (Nickus et al., 2015). Die Leitfähigkeit ist bei den Era da la Bescha-Quellen mit Werten von 30  $\mu\text{S}/\text{cm}$  bis 77  $\mu\text{S}/\text{cm}$  um ein Vielfaches tiefer als bei den La Posa Quellen, wo sie zwischen 326  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und 510  $\mu\text{S}/\text{cm}$  variiert (Abb. 22).

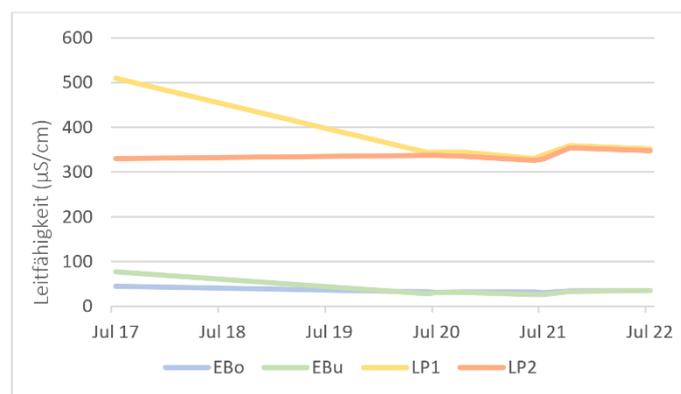


Abbildung 22: Entwicklung der Leitfähigkeit der Quellen zwischen 2017, 2020, 2021 und 2022

Bei der Temperatur (Abb. 23) sind die Unterschiede nicht ganz so markant, wie bei der Leitfähigkeit. Die tiefsten Temperaturen wurden in der EBo gemessen, deren Wasser von 2017 bis 2022 konstant zwischen 2 – 2.5 °C aufwies. Der Mittelwert ist 2.3°C und die Standardabweichung beträgt 0.14. Sie gehört somit auch unter den kaltstenothermen Lebensräumen zu den Kühleren. Etwas wärmer ist das Wasser von EBu mit einem Mittelwert von 3.8°C (Standardabweichung = 1.01). Im Juli 2017 wurden noch 2.6°C gemessen, im Juli 2020 rund 4°C und Juli 2021 3.2°C. Im Juli 2022 erreichte die Wassertemperatur sogar 6.1°C, was ein deutlicher Ausreisser zu den anderen Messwerten darstellt. Dahingegen wies das Quellwasser von LP1 im Juli 2017 mit 7.1°C eine im Vergleich zu den anderen Jahren unüblich hohe Temperatur auf. In den Jahren 2020, 2021 und 2022 variierte sie zwischen 4.6°C und 5.3 °C. Die Herbst- und Sommertemperaturen unterscheiden sich nur schwach. Der Mittelwert liegt hier bei 5°C und die Standardabweichung beläuft sich auf 0.25. LP2 unterliegt grösseren

jahreszeitlichen Schwankungen, was in dieser Messreihe bedeutet, dass sie grössere Temperaturunterschiede zwischen Juni, Juli und Oktober aufweist. Im Juli 2017 wurden 6.8°C gemessen, Anfang Juni 2020 rund 7.5°C was sich schnell wieder abkühlte zu 6.7°C Mitte Juli 2020 und 5.6°C im Oktober. Im Frühsommer 2021 betrug die Wassertemperatur 8.1°C, die sich wiederum über den Sommer bis im Oktober auf 4.2°C abkühlte. Ein erneuter Peak erreichte sie mit 9.7°C in der letzten Messung im Juli 2022. LP2 weist den höchsten Mittelwert von 6.9°C sowie auch die höchste Standardabweichung (1.65) auf.

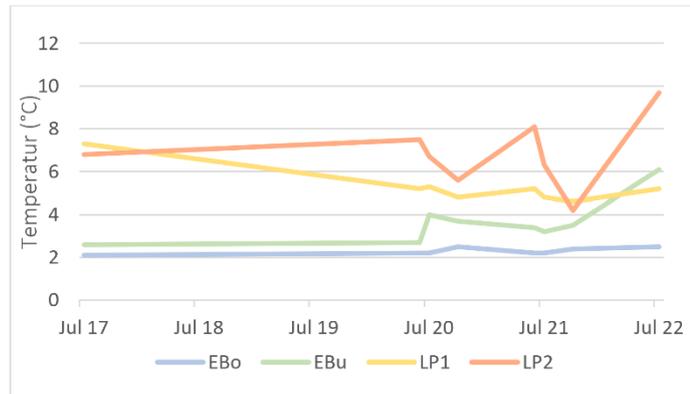


Abbildung 23: Entwicklung der Temperatur zwischen 2017, 2020, 2021 und 2022

Die pH-Werte liegen bei allen vier Quellen weitgehend im basischen Bereich. EBo hat grösstenteils einen pH zwischen 7 und 8. Einzig im Juli 2021 wurde ein leicht saurer pH gemessen (6.4). Die pH-Werte von EBU schwanken leicht zwischen 6.4 und 7.3. Der tiefste Wert von 6.4 wurde im Juni 2020 und im Oktober 2021 gemessen, der höchste (7.3) im Juni 2021). Die pH-Messungen von LP1 ergeben einen konstante Werte 8.2 und 8.3. Abweichungen wurden nur im Juli 2017 (pH 7.7) und im Juli 2021 (pH 8.5) aufgezeichnet. Auch bei LP2 sehen die Resultate ähnlich aus und liegen mit einer Ausnahme zwischen 8 und 8.2. Im Juli 2017 wurde ein pH von 9.6 gemessen, was die vermeintliche Abnahme auf dem Diagramm erklärt (Abb. 24).

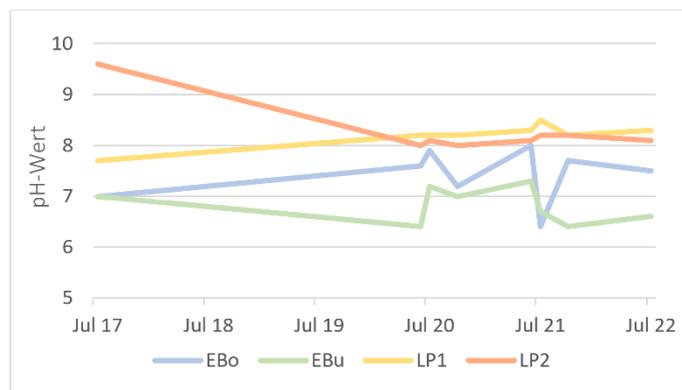


Abbildung 24: Entwicklung des pH-Wertes zwischen 2017, 2020, 2021 und 2022

### 3.2.2 Faunistische Zusammensetzung

Bei den Süsswassermilben dominiert *Partnunia steinmanni* und kommt in besonders hoher Anzahl in LP1 vor (Anhang, Tab. 5). Allein im Jahr 2017 wurden 218 Individuen in den Proben von LP1 gefunden, im Sommer 2020 und 2021 waren es noch 71 und 68. Die Abundanz in LP2 hingegen nahm über die Jahre von 18 in 2017 zu 45 in 2020 und 86 im Sommer 2021 zu. In den EBo und EBU befanden sich nur im Sommer 2017 vereinzelt Individuen in den Proben, danach weder im 2020 noch im 2021 konnte *Partnunia steinmanni* in einer der Era da la Bescha-Quellen nachgewiesen werden.

Von den Eintagsfliegenlarven wurden vier Arten gefunden, wobei alle in geringer Abundanz auftauchen mit Ausnahme der *Baetis spp.* Von ihr wurden im Sommer 2020 rund 160 Larven gesammelt. Ansonsten beschränken sich die Abundanzen auf maximal sechs (LP2, Sommer 2021). In den Era da la Bescha-Quellen wurden mit zwei Ausnahmen keine Vertreter der Ephemeroptera gefunden.

Von den elf gefundenen Steinfliegenarten sticht vor allem die *Leuctra sp.* mit 126 Individuen in der LP2 im Jahr 2020 hervor. *Leuctra gr. braueri-muranyii* zeigte in den Proben der LP2 im Sommer 2020 und 2021 ebenfalls hohe Abundanzen (56 und 51 Individuen). *Protonemura sp.* kam eher in der LP1 vor und war mit 45 Individuen im Sommer 2020 und 15 in 2017 ebenfalls gut vertreten. In der LP2 hingegen konnte sie selten nachgewiesen werden. In den Quellen EBo und EBU waren auch die Steinfliegen seltener vertreten als in den La Posa-Quellen. Einzig die Art *Nemurella pictetii* wies eine auffällig hohe Individuendichte (174) in der Probe von 2021 auf. Bereits im Jahr 2017 wurden 14 Stück gefunden, dann aber im Sommer 2020 lediglich eine.

Von den Köcherfliegenlarven wurden insgesamt 17 Arten dokumentiert. Sie sind damit am artenreichsten, wenige davon erreichen jedoch hohe Dichten. Vertreter der Subfamilie der Drusinae machten 117 Individuen in der Probe der EBo (2020) und 22 in der EBU (2020) aus. Im Gegensatz zu den Ephemeroptera und Plecoptera kommen die Trichoptera häufiger in den Bescha- als den Posa-Quellen vor. Arten der Gattung *Drusus* (Subfamilie Drusinae) sind gemäss Küry et al. (2016a) besonders häufig kaltstenotherm und krenobiont. Zu diesen gehört beispielsweise *Drusus melanchaetes*, welche in der konstant kühlen Quelle EBo 2017 mit 10 Individuen und 14 in 2020 nachgewiesen wurde. 2021 wurden keine Larven der *D. melanchaetes* mehr gefunden. Sie besiedelt im Speziellen Quellen höherer Lagen (Küry et al., 2016a). *Drusus monticola* gehört ebenfalls zu den kaltstenothermen Arten und kam daher vor allem in den Bescha-Quellen vor. 2017 wurden 10 Individuen in der EBo und 25 in EBU gefunden. 2020 waren es minim weniger mit 9 Individuen in EBo und 22 in EBU. Wiederum konnte *D. monticola* im Sommer 2021 nicht mehr nachgewiesen werden.

### 3.2.3 Statistische Auswertung

Faunistische Unterschiede der einzelnen Quellen und deren Entwicklung in Bezug zueinander zeigt das nMDS auf (Abb. 25). Generell können grobe geographische und zeitliche Cluster erkannt werden. Die Artenzusammensetzung der Bescha-Quellen überschneidet sich etwas mehr als jene der Posa-Quellen. Zwischen den Bescha- und Posa-Quellen sind aber deutliche Unterschiede sichtbar (die einzelnen Symbole liegen weit auseinander). Die faunistischen Daten vom Jahr 2017 liegen bei allen vier Quellen am meisten rechts und in den Folgejahren ist relativ dazu eine Verschiebung nach links abzulesen. Bei den Posa-Quellen ist sogar eine Zentrierung der Punkte zu sehen.

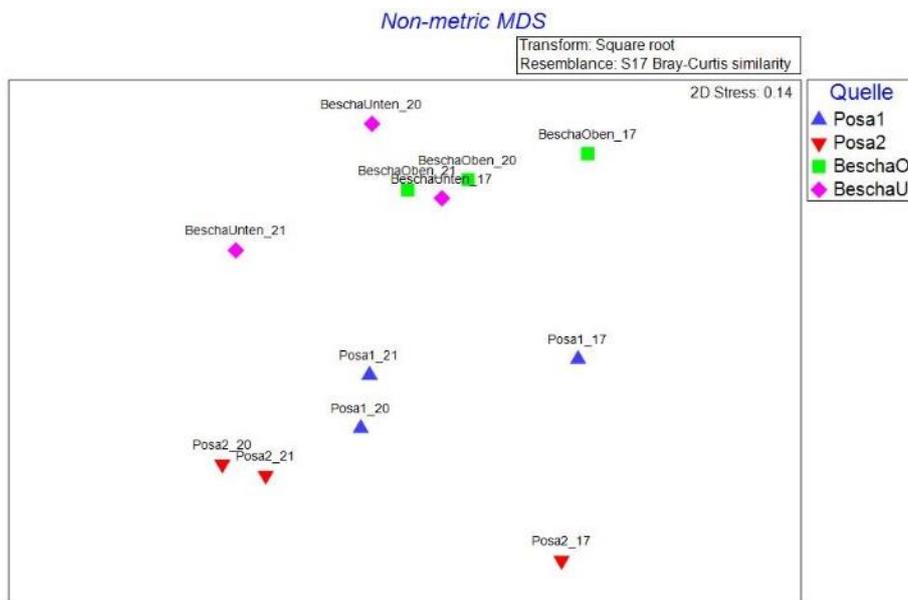


Abbildung 25: nMDS (non-metric Multidimensional Scaling) zu den relativen Unterschieden in der Fauna

Bei der Ähnlichkeitsanalyse ANOSIM beträgt der R-Wert 0.65 und das Signifikanzlevel  $p = 0.001$ . Dies bestätigt die klaren faunistischen Differenzen der Quellen. Jede Quelle ist sich in den drei Jahren (2017, 2020 und 2021) ähnlicher als anderen. Der Pairwise Test hingegen ist mit den Quellen als Bezug nicht signifikant, da die Datengrundlage dafür zu klein ist. Wenn sich der Pairwise Test auf die Jahre bezieht, kann herausgelesen werden, dass sich 2017 etwas stärker von 2021 unterscheidet. Schlussfolgernd kann also ein Trend hin zu einer Verschiebung in der Artenzusammensetzung erkannt werden.

Die Auswirkungen der abiotischen Faktoren auf die Fauna kann an der Redundanzanalyse (RDA) abgelesen werden (Abb. 26). LP1 unterscheidet sich in den Jahren 2017, 2020 und 2021 kaum in der faunistischen Zusammensetzung. Den grössten Einfluss auf die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften an diesem Standort haben die Leitfähigkeit sowie das Vorkommen von Moos. Relativ häufig vertreten sind hier unter den Steinfliegen *Dictyogenus fontium* und *Protonemura lateralis*. Bei den Ephemeroptera zeigt *Baetis alpinus* eine Präferenz für diese Umweltparameter.

*Drusus discolor* und *Philopotamus montanus*, sowie die Milbe *Sperchon violaceus* kommen ebenfalls am häufigsten in LP1 vor.

Bei LP2 liegen die Probenahmen von 2020 und 2021 nahe beieinander, unterscheiden sich aber deutlich von der Fauna im Jahr 2017. Der Standort wird stark vom Detritus- und Holzanteil beeinflusst. Relativ hohe Abundanzen weisen die Taxa *Pseudopsilopteryx zimmeri* (Trichoptera), *Baetis spp.* (Ephemeroptera), die Steinfliegen *Nemoura sp.*, *Nemoura mortoni*, *Leuctra sp.* und *Leuctra gr. braueri-muranyii*, sowie die Milben *Halacaridae* und *Hydrovolzia placophora* auf. *Partnunia steinmanni* ist vor allem in LP1, aber auch in LP2 vertreten.

Die Bescha-Quellen kommen sich faunistisch etwas näher als die Posa-Quellen und werden vor allem durch die Vegetation beeinflusst (Abb. 26). Sie beherbergen Köcherfliegen der Familie Drusinae, darunter *Drusus melanchaetes* (EBo) und *D. monticola/nigr.* (EBo und EBU). In EBU wurden die *Nemurella pictetii* und *Nemoura sinuata*, *Lithax niger* und *Sperchon mutilus* nachgewiesen. *N. pictetii* zeigt gemäss RDA eine Präferenz für einen hohen Anteil an Vegetation.

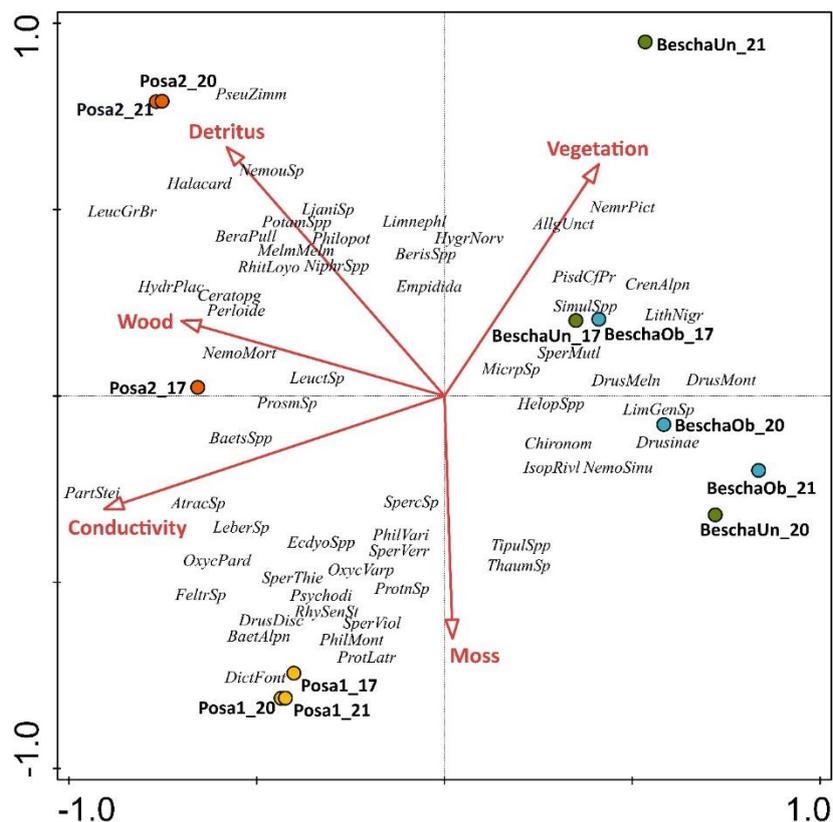


Abbildung 26: RDA (Redundanzanalyse) zur Erklärung des Zusammenhangs zwischen der Fauna und den Umweltparametern Vegetation, Moos, Leitfähigkeit, Holz und Detritus. Irrelevante Taxa und Umweltparameter wurden rausgelöscht.

## 4. DISKUSSION

### 4.1 Aufnahmen 2022

#### 4.1.1 Methodendiskussion

Wie in den obigen Darlegungen gezeigt wurde, fielen die Abundanzen beim täglichen Leeren sehr gering aus. Daher wäre es bei einer Wiederholung förderlich, die Emergenzfallen eine Woche stehen zu lassen und erst dann zu leeren. Für aufschlussreichere Resultate würde es Sinn machen, über einen längeren Zeitraum Proben zu nehmen. Ausserdem fielen einige Netze immer wieder in sich zusammen, was den Insekten den Weg zur Emergenzflüssigkeit erschwerte. Dass die Fallen besser aufgespannt sind und sich direkt über der Oberfläche befinden, sollte von Beginn besser geprüft werden. Ein weiterer Faktor für die spärliche Ausbeute, könnte am wechselhaften Wetter gelegen haben. Kurz vor der Probennahme im Juni gab es heftige Regenschauer und Gewitter, danach war es sonnig und warm. Trotzdem war die Luft feucht von der Verdunstung. Während der Probennahme im August waren alle Tage von leichten Regenschauern durchzogen. Möglicherweise war es den Insekten dadurch zu nass zum Emergieren. Werden die Quellen nur bestimmte Wochen beprobt, könnte beim nächsten Mal ein besseres Augenmerk auf das Wetter, vor allem die Niederschlagsverhältnisse gelegt werden.

#### 4.1.2 Vergleich der Fauna zwischen Quellen und Probennahmen

Eine beträchtliche Abnahme der Wassermenge zwischen Juni und August konnte an beiden Standorten (LP1 und LP2) festgestellt werden. Während der ersten Probennahme im Juni war der Quellbach von LP1 nach dem Quellaustritt durchgehend oberirdisch. Im August stand die dritte Falle bereits im Trockenen und das Wasser floss unterirdisch, also unter dem Kalkschutt und den Steinen durch. Am Standort LP2 nahm die Wassermenge ebenfalls drastisch ab zwischen Mitte Juni und Anfang August. Zusätzlich war LP2 im August dem gesamten Quellbach entlang deutlich stärker von Viehtritt geprägt, da der Alpsommer bereits fortgeschritten war. Die Abnahme der Wasserführung würde mit der kleineren Ausbeute an gefangenen Organismen der zweiten Probennahme relativ zur ersten korrelieren. Die Anzahl gesammelter Insekten erreichte Anfang August (2. Probennahme) nicht mal die Hälfte von jener im Juni (1. Probennahme) (Anhang Tab. 4). Die allgemein geringere Ausbeute in der LP2 könnte mit der Belastung durch Viehtritt und den erhöhten Stickstoffeintrag mit dem Urin der Kühe einhergehen. Eine mögliche Korrelation zwischen Niederschlag und Anzahl Insekten in den Fallen könnte auch bei der dritten Probennahme, der Sammelprobe vom 09.-15.08.2022 interpretiert werden. Über diese Zeitspanne wurde das Wetter zunehmend trockener und die Abundanzen stiegen dementsprechend an beiden Standorten (LP1 und LP2). Jedoch muss beachtet werden, dass der Zeitraum der Sammelprobe beträchtlich länger war. Dieser betrug mit 172 Stunden 2.5-mal so lange

wie jener der ersten und zweiten Probennahme (69 Stunden). Für einen absoluten Vergleich zwischen der ersten und zweiten Probennahme mit der dritten müssen die Abundanzen letzterer also durch 2.493 dividiert werden ( $172h/69h = 2.493$ ). In der LP1 liegt die Abundanz der Sammelprobe bei 42.5 Individuen ( $106/2.493$ ), für LP2 bei 17.3 ( $43/2.493$ ). Nun kann zwischen der ersten und dritten Probennahme eine leichte Abnahme und zwischen der zweiten und dritten eine leichte Zunahme in den Abundanzen beobachtet werden. Bei LP1 steigt die Anzahl beträchtlich von 28 (2. Probennahme) auf 42.5 Organismen (3. Probennahme/Sammelprobe) und bei LP2 von 15 auf 43. Mögliche Erklärungen für die höheren Abundanzen während der Sammelprobe könnten die Trockenheit, also weniger Störung durch Niederschlag, oder auch weniger Störung durch tägliches Besuchen der Quellen und Leeren der Emergenzfallen sein. Eine Korrelation zwischen der Anzahl gefangener Insekten und den Tagestemperaturen hingegen konnte nicht festgestellt werden, da diese bei allen Probennahmen in etwa der gleichen Grössenordnung vorlagen. Nur die Tiefsttemperaturen sanken etwas mehr während der dritten Probennahme. Dies ist jedoch nur eine Beobachtung und genügt nicht, um einen Trend festzustellen. Gemäss Küry et al. (2016a) sind zwar wenige Steinfliegen eng an Quellen gebunden, ein Grossteil aber gilt als kaltstenotherm und kommt aufgrund dessen häufig in Quellen und kühlen Bächen vor. Ausserdem sind sechs Taxa endemisch, das heisst, sie sind besonders vom Klimawandel betroffen. Gemäss Gamboa et al. (2023) wird die genetische Vielfalt, Evolution und räumliche Gliederung von alpinen Steinfliegen vom Typ des Lebensraums beeinflusst. Ausserdem konnten Gamboa et al. (2023) weiter eine Korrelation zwischen turbulenter Strömung und der Diversität von Lebensgemeinschaften nachweisen. Wie aufgezeigt, konnte in LP1 eine turbulenter Wasserströmung beobachtet werden. Somit sollte sie also eine hohe Artenvielfalt aufweisen, was jedoch anhand der adulten Insekten der Probennahmen 2022 nicht bestätigt werden kann. Dies könnte aber auch an der allgemein geringen Ausbeute dieser Beprobungen liegen. Die Datengrundlage ist folglich zu gering, um klare Schlussfolgerungen zu ziehen oder Hypothesen zu bestätigen.

Zwischen den Zeiträumen der Probennahmen 2022 ist in der Artenzusammensetzung kein klarer Trend zu erkennen. In LP1 ist innerhalb der *Leuctra sp.* eine leichte Zunahme zu beobachten (Anhang Tab. 3). Bei der LP2 hingegen wurde lediglich bei der dritten Probennahme eine *Leuctra sp.* und eine *Leuctra braueri* KEMPNY, 1898 nachgewiesen. Die Abundanzen der Gnitzen war ebenfalls zunehmend zwischen Juni und August, was wiederum darauf beruhen könnte, dass die Fallen nicht täglich geleert wurden. Die Plecoptera waren in LP1 stärker vertreten mit 14 *Leuctra sp.* und drei *Protonemura sp.*, darunter auch eine *Protonemura meyeri* (am 18.06.22 in LP1), welche in der Schweiz als «verletzlich» (VU) eingestuft wird (Lubini et al., 2012). In Belgien wurde *P. meyeri* hauptsächlich in mehr oder weniger neutralen oder leicht sauren Gewässern mit geringer Leitfähigkeit gefunden (Lock et al., 2008). Die Leitfähigkeit der LP1 war aber im Juli 2022 relativ hoch und der pH-Wert im schwach basischen Bereich. Beide Parameter sprechen leicht gegen die Präferenzen von *P. meyeri* und es konnte auch lediglich ein

Individuum nachgewiesen werden. Gemäss Lubini et al. (2012) kommt *P. meyeri* in der Schweiz hauptsächlich in Bächen tiefer gelegener Regionen vor und ist aufgrund des Klimawandels auf die Möglichkeit angewiesen, in höhere Lagen migrieren zu können. Die Steinfliegengattung *Nemoura*, welche zur gleichen Familie gehört wie die Gattung *Protonemura*, bevorzugt ihrerseits organisches Substrat wie etwa Moos (Von Fumetti und Blattner, 2016). Das Substrat unter den Emergenzfallen bei LP1 weist mehr Moospolster auf, was mit dem höheren Vorkommen von Steinfliegen korreliert. *Nemoura sp.* konnten hingegen keine nachgewiesen werden.

Innerhalb der Gattung *Leuctra* gehören viele zu den Rote-Liste-Arten der Schweiz (Lubini et al., 2012). Vitecek et al. (2017) gehen von einer hohen Endemismusrate innerhalb der *Leuctra inermis*-Gruppe aus, welcher durch immer wiederkehrende Störereignisse und Trennung von Populationen erklärt werden könnte. *Leuctra braueri* KEMPNY, 1898 zählt zu den rheo- und krenophilen Arten und kommt hauptsächlich in der montanen Zone, aber auch in Höhen bis 2500 m ü. M. vor (Ravizza und Vinçon, 1998). Daher ist der Fund einer *L. braueri* in LP2 nicht aussergewöhnlich. *L. braueri* wird wie *Dictyogenus alpinus* (LP2) nicht als gefährdet eingestuft (Küry et al., 2016a). Dass unter den Plecoptera häufig *Leuctra sp.* gefangen werden, passt zur Beschreibung von Graf et al. (2023). Nachweislich sind die Leuctridae nach der Familie der Nemouridae die am häufigsten Vorkommenden. Unter den Leuctridae gibt es drei Gattungen, wovon *Leuctra* mit Abstand die Grösste ist (Graf et al., 2023).

Adulte Köcherfliegen waren mit einer Ausnahme von *Rhyacophila sp.* im Sammelfang der LP1 gar nicht vertreten, da die Temperaturen höchstwahrscheinlich zu warm sind und zu starken Schwankungen unterliegen.

#### 4.1.3 Parasitierung

Wie dargelegt wurde, dienen Wirte Parasiten also einerseits als Nahrungsressource, andererseits aber auch als Mittel zur Fortbewegung (Martin und Tempelman, 2014). Letzteres kommt vor allem aufgrund des Klimawandels gelegen, da sie mit dem Wirt an passendere Habitate gelangen können (Gerecke und Martin, 2006).

Gemäss Gerecke et al. (2017) sind die Abundanzen von krenobionten Süsswassermilben in Rheokrenen am häufigsten. Sie bevorzugen organisches Substrat wie Moos (Von Fumetti und Blattner, 2016). Besonders in hochalpinen Tälern, beispielsweise im Gebiet des



Abbildung 27: *Partnunia steinmanni* Walter, 1906, eine der am häufigsten vorkommenden Milben im Schweizer Nationalpark (Von Fumetti und Blattner, 2016). Illustration: T. Moser, Originalbild aus Blattner et al. (2021)

Schweizer Nationalparks, herrscht eine starke Isolation der einzelnen Habitate durch die Alpen als geographische Barriere (von Fumetti und Blattner, 2016). Die dadurch induzierte beschränkte Ausbreitung und somit auch reduzierter Genfluss zwischen Populationen wurde von Blattner et al. (2021) anhand von genetischen Untersuchungen der Wassermilbe *Partnunia steinmanni* Walter, 1906 (Abb. 27) bestätigt. *P. steinmanni* dominiert die Milbenfauna in den Posa-Quellen, was mit ihrer Präferenz für Rheokrenen (Cîmpean et al., 2022) und hohe Leitfähigkeit gemäss RDA (Abb. 26) übereinstimmt.

Artspezifische Präferenzen in der Anheftungsstelle wären vorteilhaft, da dadurch die interspezifische Konkurrenz reduziert, jedoch die Intraspezifische erhöht würde. Ausserdem könnte ein Wirt als solcher effizienter genutzt werden. Jedoch ist es wahrscheinlicher, dass das Verhalten und die Morphologie der Wirte einen grösseren Einfluss auf die Anheftungsstelle der Milbenlarven haben, als deren Spezifität (Martin und Stur, 2005). In Untersuchungen von Martin et al. (2009) wurden Plecoptera (Leuctridae und Nemouridae) ausschliesslich durch *P. steinmanni* parasitiert. Einhergehend mit der hohen Besiedlungsdichte von LP1 durch *P. steinmanni* (Anhang Tab. 5) zeigten die **Plecoptera** im Rahmen dieser Arbeit die höchste Parasitierungsrate, wobei sich die Parasitierungsdichte und -häufigkeit zwischen den Gattungen nicht unterscheiden. Am häufigsten befanden sich die Milben an den weichen Stellen zwischen den Thorax-Segmenten und eher weniger an den Coxa oder am Hinterleib. Unter den *Protonemura sp.* diente das Abdomen nie als Anheftungsstelle, bei den *Leuctra sp.* hingegen zweimal. Dies könnte darauf beruhen, dass *Leuctra sp.* am Hinterleib oftmals nicht sklerotisiert ist. Diese Funde bestätigen, dass die Süsswassermilben den Thorax, das Abdomen und die Coxa bevorzugen (Martin und Stur, 2005), jedoch nicht, dass Parasiten am Thorax in geringerer Anzahl vorkommen als solche am Abdomen (Chen und Lu, 2022; Martin und Stur, 2006; Smith und Oliver, 1986). Bei keiner der gesammelten Arten wurde das Abdomen dem Thorax vorgezogen. Ebenfalls gegensätzlich ist die Parasitierung der **Chironomidae**. Zuckmücken wurden in LP1 und LP2 sehr selten parasitiert (1 von 23 Individuen), was den Untersuchungen von Martin und Stur (2006) in luxemburgischen Quellen, sowie von Martin et al. (2009) im Nationalpark Berchtesgaden widerspricht. Dort gehörten die Zuckmücken mit bis zu 90 Prozent zu den wichtigsten Wirten. Auch Bei den **Tanzfliegen** beträgt die Parasitierungsrate innerhalb dieser Untersuchung von LP1 und LP2 50%, wobei fünf von sechs Milben an den Beinen hafteten. Gemäss Literatur (Martin et al., 2009) stellen Tanzfliegen gängige Wirte von *P. steinmanni* dar. **Simuliidae** kamen bei Untersuchungen von Martin und Stur (2005) auch als Wirte vor, was den Daten von LP1 und LP2 2022 widerspricht. Die **Trichoptera** machen gemäss Smith und Oliver (1986) ebenfalls eine wichtige Wirtsgruppe aus, aber nur in seltenen Fällen sind deren Larven betroffen (Martin und Tempelman, 2014). **Ephemeroptera** werden laut Martin (2008) nicht parasitiert, da diese ein Subimaginalstadium durchlaufen.

Neben der Nahrungsquelle stellen Wirte auch eine Ausbreitungsmöglichkeit für Parasiten dar (Gerecke und Martin, 2006). Eine Präferenz seitens der Milben für weibliche Wirte würde daher gemäss Martin und Stur (2006) Sinn ergeben, da nur diese für die Eiablage zum Wasser zurückkehren und dadurch den Milbenlarven den Schritt ins nächste Entwicklungsstadium sichern. Es besteht also eine Abhängigkeit der Milbenlarven vom Flugvermögen und der Gesundheit ihres Wirtes (Gerecke und Martin, 2006). Auf eine mögliche Geschlechterpräferenz wurde in dieser Arbeit jedoch nicht eingegangen. Weiter könnte sich eine asymmetrische Verteilung der Milben entlang der dorso-ventralen oder apikal-proximalen Achse negativ auf das Flugverhalten des Wirtsorganismus auswirken. Bei den Chironomidae wurde eine symmetrische Verteilung öfter nachgewiesen als eine Asymmetrische (Martin und Stur, 2005), was innerhalb dieser Untersuchung nicht bestätigt werden kann – auch nicht bei den Plecoptera. Eine Asymmetrie in der Anordnung ist beispielsweise bei der *Protonemura sp.* sichtbar (Abb. 28), welche vier von acht Milben rechts ventral zwischen den Kiemen hat. Auch bei der zweifach parasitierten Gnitze haften beide Milben auf derselben Seite des Pronotums (Abb. 18). Dass sich zwei Milben an fast der gleichen Körperstelle am Wirt bedienen, kam nicht selten vor, so auch bei der *Leuctra sp.* in der Abbildung 28. Auch hier sind sie asymmetrisch angeordnet. Anhand der geringen Datengrundlage können jedoch keine klaren Schlussfolgerungen auf die Auswirkungen der Parasitierungsdichte und -verteilung auf das Flugvermögen, der artspezifischen Präferenz oder der Wirtsteilung gezogen werden.



Abbildung 28: *Protonemura sp.* (links) und *Leuctra sp.* (rechts) mit asymmetrischer Milbenverteilung

### *Freie Milben in der Emergenzflüssigkeit*

Die meisten Milben blieben an ihren Wirten auch nach beidseitigem Tod noch haften. Es ist unklar, ob die losen Milben mit einem Wirt oder selbstständig in die Fallen gekommen sind. Falls sie mit einem Wirt in die Flüssigkeit gelangt sind, könnte es sein, dass sie noch zu wenig oder gar nicht in der Kutikula festhingen mit ihren Mundwerkzeugen. Bestimmte Milbentaxa können am verpuppten Wirt anhaftend mit diesem ins adulte Stadium schlüpfen. Dass sie loslassen, ist aber eher unwahrscheinlich (Martin, 2008). Das Ablösen vom Wirt erfolgt aktiv durch die Larve (Gerecke und Martin, 2017), daher wäre auch vorstellbar, dass die Milben auch nach beidseitigem Tod (nachdem sie in Ethanol gelegt wurden) immer noch am Wirtsorganismus haften blieben.

## 4.2 Aufnahmen 2017 und 2020/21

### 4.2.1 Abiotik

Im Vergleich zu LP1 und LP2 sind EBU und EBO bedeutend kühler. Ein Grund dafür könnte die Hangexposition sein. EBU und EBO sind nordexponiert und erfahren dadurch weniger Strahlungsintensität als die südexponierten Posa-Quellen. Des Weiteren sind die Einzugsgebiete der EBU und EBO stärker vom Permafrost beeinflusst (Abb. 29), was zu kühleren Wassertemperaturen und tieferer Leitfähigkeit führt. Laut Nickus et al. (2015) ist die Leitfähigkeit von Schmelzwasser-beeinflussten Gewässer generell geringer. Die Posa-Quellen haben eine deutlich höhere Leitfähigkeit, sie führen also mehr Suspensionsfracht im Gegensatz zu den Bescha-Quellen. Die Unterschiede zwischen den beiden Standorten sind gross, aber zwischen den einzelnen Quellen eines Standortes sind sie gering und überschneiden sich sogar grösstenteils.

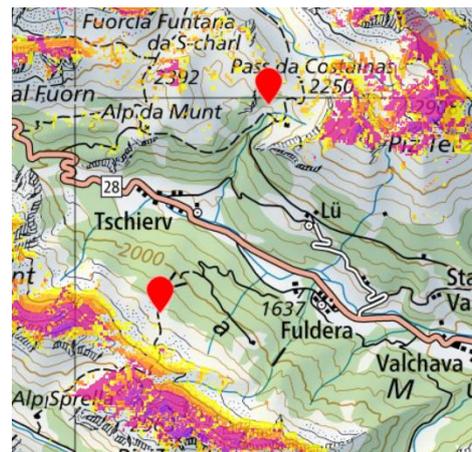


Abbildung 29: Permafrostvorkommen in der Nähe der Posa-Quellen (obere Markierung) und Bescha-Quellen (untere Markierung) (Permafrosthinweiskarte map.geo.admin.ch)

Bei den Bescha-Quellen EBU und EBO haben sich die abiotischen Rahmenbedingungen zwischen 2017, 2020 und 2021 nicht nennenswert verändert. Die Temperatur blieb in der Sturzquelle EBO bei permanent kühlen 2.2 bis 2.4°C, was mit der Nähe zu hohem Permafrostvorkommen (Abb. 29) in Verbindung gebracht werden kann. In der EBU kann eine leichte Temperaturzunahme von etwa 0.5°C sowie grössere Schwankungen zwischen den einzelnen Messungen beobachtet werden. Die Unterschiede in den Temperaturen zwischen EBO und EBU könnten auf die Nähe zum Permafrost, die

Schüttungsmenge und die unterschiedlichen Grundwasserkörper zurückgeführt werden. EBU ist eine Sickerquelle, die durch Vietritt beeinflusst wird. Ausserdem führt sie nur halb so viel Wasser wie EBO (Sentieiro, 2018) und liegt etwa 200 m tiefer, gleich unterhalb der Baumgrenze. Diese Faktoren begünstigen die Temperaturzunahme des Wassers.

LP1 weist konstante Temperaturen zwischen 4.6 und 5.3 °C auf, mit einem Ausreisser von 7.3°C im Juli 2017, was jedoch auch ein Messfehler darstellen könnte. LP2 unterliegt gemäss den Messungen höheren jahreszeitlichen Schwankungen in der Temperatur als die restlichen Quellen (EBU, EBO und LP1). Dies könnte mit der geringeren Fliessgeschwindigkeit und der längeren Sonneneinstrahlung zusammenhängen. Der Quellaustritt von LP2 war zur Zeit der Probennahmen im Juni 2022 bis nach 16.00 Uhr an der Sonne, LP1 hingegen lag ab etwa 15.30 Uhr bereits im Schatten. Dies könnte vor allem in den Sommermonaten mit hohen Strahlungsintensitäten die Wassertemperatur beeinflussen. Weiter ist das Einzugsgebiet der LP2 kesselförmig und oberirdisch vor allem durch Weiden geprägt. LP1 hingegen tritt gleich nach einer kleinen Felswand aus, das heisst das Wasser tritt direkter und aus tieferen Schichten an die Oberfläche.

Die Leitfähigkeit wird einerseits von der Geologie, andererseits durch das Permafrostvorkommen beeinflusst. Die Geologie bei LP1 und LP2 ist hauptsächlich von Kalk (*Entstehung der Gesteine 500* map.geo.admin.ch) und Dolomit der S-Charl Decke (*Tektonik 500* map.geo.admin.ch, strati.ch) geprägt. Kalk verwittert leicht und es können dadurch noch viele Ionen gelöst werden, was die Suspensionsfracht und somit die Leitfähigkeit erhöht. EBU und EBO hingegen sind umgeben von Moränenmaterial (Sentieiro, 2018), welches schon stark verwittert ist. Bei allen vier Quellen blieb die Leitfähigkeit über die Jahre konstant. Bei EBU, EBO und LP1 wurden im Juli 2017 jeweils stark höhere Werte gemessen, was daran liegen könnte, dass eine andere Person die Messungen durchführte. Der pH-Wert schwankte etwas mehr zwischen den Messungen bei EBU und EBO als bei LP1 und LP2, jedoch nicht beträchtlich. Wie sich die abiotischen Faktoren in der Fauna widerspiegeln, wird anhand der statistischen Auswertung folgend diskutiert.

#### 4.2.2 Faunistische Zusammensetzung

Das nMDS zeigt eine leichte Zentrierung der Punkte von LP1 und LP2, was auf eine geringfügige Vereinheitlichung der Fauna hindeutet. Jedoch sind die faunistischen Unterschiede zwischen den Quellen stets grösser als jene innerhalb einer Quelle. LP1 hat die einheitlichste faunistische Zusammensetzung über die Jahre 2017, 2020 und 2021. Dies zeigen die nMDS (Abb. 25) und RDA (Abb. 26). Die Artenzusammensetzung blieb zwischen 2020 und 2021 beinahe unverändert, jene von 2017 weicht leicht ab. Da sich die abiotischen Parameter nicht signifikant voneinander unterscheiden

innerhalb dieser Zeitspanne, könnte die Abweichung damit zusammenhängen, dass diese Beprobung von einer anderen Person durchgeführt wurde.

*Dictyogenus fontium* (Plecoptera) kommt entgegen den Auswertungen von Lubini et al. (2012) im Val Müstair vor. Sie ist kaltstenotherm und gehört in der Schweiz zu den «potenziell gefährdeten» Arten, da ihr Lebensraum durch den Klimawandel und die Nutzung bedroht ist (Lubini et al. 2012). *Dictyogenus fontium* wurde ausschliesslich in LP1 gefunden, mit abnehmender Abundanz. Aufgrund der Kaltstenothermie wäre es denkbar, dass *D. fontium* auch in den Bescha-Quellen vorkommt, doch könnten die geringe Leitfähigkeit und der tiefere Moosanteil die Gründe für die Absenz sein. *Drusus discolor* (Trichoptera) ist in der Ausbreitung auf Bergregionen beschränkt (Pauls et al., 2006). Sie kommt in der montanen Zone bis über 2000 m ü. M. vor (Lubini et al., 2012) und ist ein Paradebeispiel für die Bildung endemischer Kladen während des Pleistozäns (Pauls et al., 2006). Infolgedessen ist ihr Vorkommen in LP1 nicht überraschend, genauso wie jenes von *Philopotamus montanus* (Trichoptera). *Philopotamus montanus* gehört gemäss der Rote-Liste-Arten der EPT-Taxa von Lubini et al. (2012) zu den verletzlischen Arten. Sie besiedelt vor allem kleine saubere Bäche «bis in mittlere Höhenlagen» (Lubini et al., 2012) und wurde in LP1 mit je einem Individuum 2020 und 2021 nachgewiesen. Ebenfalls entsprechend der Literatur ist das Auftreten der Milbe *Sperchon violaceus* (Di Sabatino et al., 2003). Sie ist krenophil und bevorzugt Rheokrenen mit hohem Moosanteil (Gerecke und Martin, 2006).

LP2 zeigt in der nMDS (Abb. 25) eine etwas grössere Lücke zwischen 2017 und 2020, was bedeutet, dass eine stärkere Verschiebung in der Artenzusammensetzung stattfand als bei LP1. Anhand der RDA kann diese Verschiebung von Taxa nachgewiesen werden, die Holz und hohe Leitfähigkeit mögen, hin zu solchen, die vor allem auf Detritus angewiesen sind. Die Leitfähigkeit sowie auch der Holzanteil haben sich jedoch innerhalb der Jahre nicht signifikant verändert. Die Süsswassermilbe *Partnunia steinmanni* ist strikt ans Eukrenal gebunden und wählt, wie *Hydrovolzia placophora* auch, vor allem kies- und moosreiche Rheokrenen als Lebensraum. Das Wirtsspektrum von *P. steinmanni* ist breit und reicht von Zuck- und Stelzmücken bis Stein- und Köcherfliegen (Gerecke und Martin, 2006). Sowohl das Substrat, als auch das Wirtsspektrum treffen auf LP2 zu. Unter den *Leuctra* sp. gibt es einige verletzlische Arten, besonders jene, die Quellen und kleinere Bäche besiedeln. *Leuctra* gr. *braueri-muranyii*, welche besonders in LP2 auftritt, gehört nicht zu den Rote-Liste-Arten der EPT (Lubini et al., 2012).

Die Bescha-Quellen weisen verglichen mit den Posa-Quellen weniger Plecoptera, dafür mehr Trichoptera auf, was mit quellfaunistischen Untersuchungen durch Von Fumetti und Blattner (2016) im Schweizer Nationalpark einhergeht. Vertreter der Trichoptera zeigten sich zwar in geringen Abundanzen, jedoch umfangreicher Vielfalt. Dies könnte auf dem dominierenden anorganischen Substrat sowie den kalten Wassertemperaturen beruhen (Küry et al., 2016a). Die Unterfamilie der Drusinae war im Jahr 2020 in den Bescha-Quellen stark vertreten, 2021 befand sich keine mehr in den

Proben (Anhang Tab. 5). Dies ist beispielsweise bei der kaltstenothermen und krenobionten Art (Küry et al., 2016a) *Drusus melanchaetes* in EBo zu beobachten, obwohl es keine auffälligen Temperaturschwankungen zwischen den Jahren gab. Daher könnte es auf die Abnahme an Moos und Vegetation zurückzuführen sein. Mit etwas höheren Abundanzen in EBu und EBo 2017 und 2020 wurde die kaltstenotherme und krenophile (Küry et al., 2016a) *Drusus monticola* gefunden. Auch von dieser Art wurde 2021 lediglich noch ein Individuum in EBu nachgewiesen. Besorgniserregend sind diese Resultate besonders, da sich beide Arten auf der Roten Liste der EPT befinden. *Drusus melanchaetes* ist ein Alpenendemit und wurde 2012 bereits als verletzlich eingestuft. *Drusus monticola* ist potenziell gefährdet (Lubini et al., 2012). Ebenfalls potenziell gefährdet ist die kaltstenotherme (Lubini et al., 2012) und krenobionte (Küry et al., 2016a) Steinfliegenart *Nemoura sinuata*. Sie wurde im Jahr 2020 in EBu nachgewiesen. Innerhalb aller Probennahmen wurde jedoch nur ein einzelnes Individuum dokumentiert, was zu wenig repräsentativ ist, um einen Trend zu erkennen. Jedoch bestätigt dies die Seltenheit und beschreibt möglicherweise eine schrumpfende Population. *Nemurella pictetii* konnte in EBu massenweise nachgewiesen werden (174 Individuen 2021), was mit ihrer Präferenz für Vegetation gemäss RDA (Abb. 28) übereinstimmt. *Nemurella pictetii* bevorzugt zwar oligotrophe Gewässer, ist aber auch ein Ubiquist (Lubini et al., 2012) und daher wahrscheinlich wenig beeinträchtigt durch die Aktivität von Vieh in Quellnähe.

Die faunistische Zusammensetzung verdeutlicht, dass EBo vom Permafrost und Schmelzwasser gespiesen ist und EBu, LP1 sowie LP2 wärmere Grundwasserkörper haben. Grundwasser unterscheidet sich in der Temperatur (Nickus et al., 2015) und in der elektrischen Leitfähigkeit (Von Fumetti et al., 2017) vom Schmelzwasser von Gletschern, Schneefeldern oder Permafrost (Nickus et al., 2015). Miller et al. (2021) gehen davon aus, dass Quellen alpiner Regionen von Gletscherwasser abhängig sind. Aufgrund dieser Änderungen in der Temperatur und Zusammensetzung des Wassers ist gemäss Khamis et al. (2014) mit einer Verschiebung in den dominierenden Arten des Makrozoobenthos von Spezialisten hin zu Generalisten zu rechnen. Nur die Alpen bieten grossflächig potenzielle Habitats für migrierende Quellbewohner aus der montanen Zone (Von Fumetti und Blattner, 2016). Gemäss Wigger et al. (2015) beeinflussen Umweltparameter die Artenzusammensetzung stärker als die geographische Isolation, was durch Von Fumetti und Blattner (2016) bestätigt wurde.

Nicht nur Quellorganismen sind an kalte Wassertemperaturen angepasst, sondern auch Taxa der Bachoberläufe. Bereits bemerkbar wurde die zunehmende Trockenheit zwischen Juni und August, die sich durch eine deutliche Abnahme in der Wasserführung von LP1 und LP2 im Sommer 2022 zeigte. Zwar bestand noch kein Anzeichen auf temporäres Trockenfallen dieser Quellen, was nicht ausschliessen lässt, dass dies in den kommenden Jahren zum Thema wird. Auf die Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel wirkt sich neben der Höhenlage auch die Emergenzzeit, Quellbindung, Kaltstenothermie sowie der Grad endemischer und mikroendemischer Verbreitung aus (Küry et al.,

2016a; Niedrist und Füreder, 2023). Naheliegend ist es deshalb, dass Arten der Alpen besonders verletzlich sind. Unter den EPT-Taxa sind die Eintagsfliegen am wenigsten betroffen, Endemiten der Plecoptera und Trichoptera hingegen sehr stark (Niedrist und Füreder, 2023). Gemäss Küry et al. (2016a) sind in der Schweiz bereits 126 EPT-Taxa auf dem Verletzlichkeitsspektrum des Climate Change Verletzlichkeits-Wertes (ein auf die Schweiz angepasste Bewertung), wobei 13.5% der Taxa als hochverletzlich und 29.4% als verletzlich eingestuft wurden. In den gesamten Alpen werden 15 Steinfliegen-Taxa als bedroht verletzlich eingestuft, darunter zwei seltene Arten (*Leuctra ameliae* Vinçon & Ravizza, 1996 and *Leuctra sesvenna* Aubert, 1953) und dreizehn Mikroendemiten. Es kann somit von einer Verarmung der Stein- und Köcherfliegenfauna in den Alpen aufgrund des Klimawandels ausgegangen werden (Figuerola et al. 2009; Niedrist und Füreder, 2023). Die Relevanz der Ausweitung von Schutzgebieten sowie strenger Schutzmassnahmen für Gebirgsbäche, welche nicht nur als Refugien montaner Arten dienen, sondern auch für die gesamte Biota der Fliessgewässersysteme in Zentraleuropa von Wichtigkeit sind, ist unverkennbar (Blattner et al. 2021; Sauer et al., 2011; Reiss et al., 2016; Von Fumetti und Blattner, 2016).

## LITERATUR

- BAFU (Hrsg.) (2021): Quell-Lebensräume erfassen – erhalten – aufwerten. Eine Arbeitsgrundlage für die Praxis. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 2122, 39 S.
- BAFU (Hrsg.) (2021): Quell-Lebensräume erfassen – erhalten – aufwerten. Eine Arbeitsgrundlage für die Praxis. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 2122, 39 S.
- Blattner, L., Lucek, K., Beck, N., Berner, D. und Von Fumetti, S. (2021): Intra-Alpine Islands: Population genomic inference reveals high degree of isolation between freshwater spring habitats. In: *Diversity & distributions*, 2022, Vol.28(2), p.291-305. DOI: 10.1111/ddi.13461
- Cantonati, M., Gerecke, R. und Bertuzzi, E. (2006): Springs of the Alps – Sensitive Ecosystems to Environmental Change: From Biodiversity Assessments to Long-term Studies. In: *Hydrobiologia*, 2006, Vol.562(1), p. 59-96 DOI: 10.1007/s10750-005-1806-9
- Chen, Z. T. und Lu, H. L. (2022): A new needle stonefly with parasitic mites from the Eocene Baltic amber. In: *Acta Palaeontologica Polonica*, 2022, Vol.67(3), p.649-654. DOI: 10.4202/app.00984.2022
- Cîmpean, M., Sutez, A. M., Berindean, A. und Battes, K. P. (2022): Diversity of Spring Invertebrates and Their Habitats: A Story of Preferences. In: *Diversity* Vol.14(5), p. 367. DOI: 10.3390/d14050367
- Clarke, K.R. and Gorley, R.N. (2006): PRIMER v6: User Manual/Tutorial (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research). PRIMER-E, Plymouth.
- Cox, F. E. G. (2009): George Henry Falkiner Nuttall and the origins of parasitology and Parasitology. In: *Parasitology*, 2009, Vol. 136(12), p.1389-1394. DOI: 10.1017/S0031182009005915
- Davaze, L., Rabatel, A., Dufour, A., Hugonnet, R. und Arnaud, Y. (2020): Region-Wide Annual Glacier Surface Mass Balance for the European Alps From 2000 to 2016. *Frontiers in Earth Science* 8:149. DOI: 10.3389/feart.2020.00149
- Deutsche UNESCO-Kommission (Hrsg.) (2021): 70 Jahre Deutsche UNESCO-Kommission- Jahrbuch 2020-2021. S.98
- Di Sabatino, A., Cicolani, B. und Gerecke, R. (2003): Biodiversity and distribution of water mites (Acari, Hydrachnidia) in spring habitats. In: *Freshwater biology*, 2003, Vol.48(12), p.2163-2173. DOI: 10.1046/j.1365-2427.2003.01151.x
- Gamboa, M., Serrana, J., Takemon, Y., Monaghan, M. T. und Watanabe, K. (2023): Spatial and phylogenetic structure of Alpine stonefly assemblages across seven habitats using DNA-species. In: *Oecologia*, 2023, Vol. 201(10), p. 513-524. DOI: 10.1007/s00442-023-05321-0
- Gerecke, R. und Martin, P. (2006): Spinnentiere: Milben (Chelicerata: Acari). In Gerecke, R. und Franz, H. (eds), *Quellen im Nationalpark Berchtesgaden. Lebensgemeinschaften als Indikatoren des Klimawandels. Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsberichte 51*, S. 122–149.
- Gerecke, R., Martina, P. und Gledhill, T. (2017): Water mites (Acari: Parasitengona: Hydrachnidia) as inhabitants of groundwater-influenced habitats – considerations following an update of Limnofauna Europaea. In: *Limnologia*, 2018, Vol. 69, p. 81-93. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2017.11.008>
- Graf, W., Lorenz, A.W., Tierno de Figueroa, J.M., Lücke, S., Lopez-Rodriguez, M.J., Murphy, J. & Schmidt-Kloiber, A. (2023): Dataset "Plecoptera". [www.freshwaterecology.info](http://www.freshwaterecology.info)- the taxa and autecology database for freshwater organisms, version 8.0 (accessed on 21.06.2023)
- Hering, D., Schmidt-Kloiber, A., Murphy, J., Lücke, S., Zamora-Munoz, C., López-Rodríguez, M. J., Graf, W. (2009): Potential impact of climate change on aquatic insects: a sensitivity analysis for European caddisflies (Trichoptera) based on distribution patterns and ecological preferences. In: *Aquatic Sciences*, 2009, Vol. 71, p. 3–14. DOI: 10.1007/s00027-009-9159-5
- Hock, R., Rasul, G., Adler, C., Cáceres, B., Gruber, S., Hirabayashi, Y., Jackson, M., Käb, A., Kang, S., Kutuzov, S., Milner, A., Molau, U., Morin, S., Orlove, B und Steltzer, H. (2019): High Mountain Areas. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai,

- M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)). In press.
- Khamis, K., D. M. Hannah, L.E. Brown, R. Tiberti, R. und Milner, A. M. (2014): The use of invertebrates as indicators of environmental change in alpine rivers and lakes. In: *Science of the Total Environment*, 2014, Vol. 493, p. 1242-1254. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.126>
- Klausnitzer, B. (Hrsg.) (2011): *Stresemann - Exkursionsfauna von Deutschland, Band 2, Wirbellose: Insekten*. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 2011, 11. Auflage. S. 99-110. <https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2452-5>
- Klima Val Müstair: Cumün da Val Müstair (Forum cumünal), Geografie Cumün da Val Müstair
- Köhler, G. (Hrsg.) (2015): *Müller/Bährmann Bestimmung wirbelloser Tiere. Bildtafeln für zoologische Bestimmungsübungen und Exkursionen*. Springer Spektrum Berlin, Heidelberg, 2015, 7. Auflage, 396 S. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-55395-0>
- Küry D., Lubini, V. und Stucki, P. (2019). Quell-Lebensräume- Anleitung zur systematischen Erfassung und Ermittlung ihrer Bedeutung im Naturschutz. Expertenbericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Bern, 49 S.
- Küry, D., Lubini, V. und Stucki, P. (2016a): Empfindlichkeit von Quell-Lebensgemeinschaften gegenüber Klimaveränderungen in den Alpen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Projekt Schlussbericht 2016, 64 S.
- Küry, D., Lubini, V. und Stucki, P. (2016b): Temperature patterns and factors governing thermal response in high elevation springs of the Swiss Central Alps. In: *Hydrobiologia*, 2017, Vol.793(1). p.185-197. DOI: 10.1007/s10750-016-2918-0
- Leyer, I. und Wesche, K. (2007): *Statistik in der Ökologie: Eine Einführung*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Lock, K. und Goethals, P. L. M. (2008): Distribution and ecology of the stoneflies (Plecoptera) of Flanders (Belgium). In: *international Journal of Limnology*, 2008, Vol.44(3), p.203-213. DOI: 10.1051/limn:2008005
- Lubini V., Knispel S., Sartori M., Vicentini H. und Wagner A. (2012): *Rote Listen Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010*. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug Nr. 1212, 111 S.
- Lubini V., Stucki P., Vicentini H., Küry D (2014): *Ökologische Bewertung von Quell-Lebensräumen in der Schweiz. Entwurf für ein strukturelles und faunistisches Verfahren*. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU, 46 S.
- map.geo.admin.ch: Bodennutzung rund um die Alp Champatsch (abgerufen am 01.06.23)
- map.geo.admin.ch: Höhenangaben Alp Champatsch (abgerufen am 15.03.23)
- Martin, P. (2003): Larval morphology of spring-living water mites (Hydrachnidia, Acari) from the Alps. In: *International Journal of Limnology*, 2003, Vol.39(4), p.363-393. DOI: 10.1051/limn/2003029
- Martin, P. (2008): Wassermilben (Hydrachnidia, Acari) und Insekten: Ein Überblick über eine selten betrachtete Beziehung. In: *Entomologie heute*, 2008, Vol. 29, p. 45-75
- Martin, P. und Stur, E. (2005): Are the attachment sites of larval water mites (Acari, Hydrachnidia) on their dipteran hosts suited for host partitioning? *Archiv für Hydrobiologie*, 2005, Vol. 164(1), p. 89–107. DOI: 10.1127/0003-9136/2005/0164-0089
- Martin, P. und Stur, E. (2006): Parasite-host associations and life cycles of spring-living water mites (Hydrachnidia, Acari) from Luxembourg. In: *Hydrobiologia*, 2006, Vol.573, p.17-37. DOI: 10.1007/s10750-006-0246-5
- Martin, P. und Tempelman, D. (2014): an unusual association between water mite larvae (Hydrachnidia, Acari) and a larval caddis fly host (Trichoptera). In: *Lauterbornia*, 2014, Vol. 77, p. 15-21
- Martin, P., Stur, E. und Wiedenbrug, S. (2009): Larval parasitism of spring-dwelling alpine water mites (Hydrachnidia, Acari): a study with particular reference to chironomid hosts. In: *Aquat. Ecol.*, 2010, Vol.44, p.431-448. DOI: 10.1007/s10452-009-9301-4

- Miller, J. B., Frisbee, M. D., Hamilton, T. L. und Murugapiran, S. K. (2021): Recharge from glacial meltwater is critical for alpine springs and their microbiomes. In: *Environmental Research Letters*, 2021, Vol.16(6), p. 064012. DOI: 10.1088/1748-9326/abf06b
- NCCS (Hrsg.) (2018): CH2018- Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services, Zürich. ISBN-Nummer 978-3-9525031-0-2 (S. 1-18)
- Nickus, U., Krainer, K., Thies, H. und Tolotti, M. (2015): Blockgletscherabflüsse im Äusseren Hochebenkar – Hydrologie, Wasserchemie und Kieselalgen. In: Schallhart, N. & B. Erschbamer (eds), *Forschung am Blockgletscher: Methoden und Ergebnisse*. Innsbruck Univ. Press, Innsbruck Alpine Forschungsstelle (Oberurgl): Series 4: Kapitel 6, S. 117–134.
- Niedrist, G. H. und Füreder, L. (2023): Disproportional vulnerability of mountain aquatic invertebrates to climate change effects. In: *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 2023, Vol.55(1), 12p. DOI: 10.1080/15230430.2023.2181298
- Pauls, S. U., Lumbsch, T. und Haase, P. (2006): Phylogeography of the montane caddisfly *Drusus discolor*: evidence for multiple refugia and periglacial survival. In: *Molecular Ecology*, 2006, Vol.15, p.2153-2169. DOI: 10.1111/j.1365-294X.2006.02916.x
- Poulin, R. und Morand, S. (2000): The Diversity of Parasites. In: *The Quarterly Review of Biology*, Vol 75(3), p. 277-93. DOI: 10.1086/393500
- Ravizza, C. und Vinçon, G. (1998): Les Leuctridés (Plecoptera, Leuctridae) des Alpes. In: *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, 1998, Vol.71(3-4), p.285-342. DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-402719>
- Reiss, M., Martin, P., Gerecke, R. und Von Fumetti, S. (2016): Limno-ecological characteristics and distribution patterns of spring habitats and invertebrates from the Lowlands to the Alps. In: *Environmental Earth Sciences*, 2016, Vol. 75, Artikel Nr. 1033. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5818-8>
- Remschak, C. (2020): Emergenzfallen an Quellen 2018-2020. Gseng- und Etzbachquelle, Quellen im Haindlkar. Bericht: Gewässerprojekt Nationalpark Gesäuse, 2020, 58 S.
- Sauer, J., Domisch, S., Nowak, C. und Haase, P. (2011): Low mountain ranges: summit traps for montane freshwater species under climate change. Springer Science+Business Media B.V. 2011. DOI: 10.1007/s10531-011-0140-y
- Smith, I. M. und Oliver, D. R. (1986): Review of parasitic associations of larval water mites (Acari: Parasitengona: Hydrachnidia) with insect hosts. In: *The Canadian Entomologist*, 1986, Vol.118(5), p.407–472. DOI: 10.4039/Ent118407-5
- Stevens, L. E., Schenk, E. R. und Springer, A. E. (2021): Springs ecosystem classification. In: *Ecological applications*, 2021, Vol.31(1). DOI: 10.1002/eap.2218
- TESSVM und Biosfera Val Müstair (Hrsg.): *Bewirtschaftete Alpen*. Alp Champatsch. [val-muestair.ch](http://val-muestair.ch) (abgerufen am 02.06.23)
- Tierno de Figueroa, J. M., Lopez-Rodriguez, M. J., Lorenz, A., Graf, W., Schmidt-Kloiber, A. und Hering, D. (2009): Vulnerable taxa of European Plecoptera (Insecta) in the context of climate change. In: *Biodiversity and conservation*, 2010, Vol.19(5), p.1269-1277. DOI: 10.1007/s10531-009-9753-9
- Vitecek, S., Vinçon, G., Graf, W. und Pauls, S.U. (2017): High cryptic diversity in aquatic insects: an integrative approach to study the enigmatic *Leuctra inermis* species group (Plecoptera). In: *Arthropod Systematics and Phylogeny*, 2017, Vol.75(3). p.497-521
- Von Fumetti, S. und Blattner, L. (2016): Faunistic assemblages of natural springs in different areas in the Swiss National Park: a small-scale comparison. In: *Hydrobiologia*, 2017, Vol. 793, p. 175-184. DOI: 10.1007/s10750-016-2788-5
- Von Fumetti, S. und Sentieiro (2018): *Lebensgemeinschaften ausgewählter Quellen in der UNESCO-Biosfera Engiadina Val Müstair*. Bachelorarbeit, betreut von Dr. Stefanie von Fumetti

Von Fumetti, S., Bieri-Wigger, F., Nagel, P. (2017): Temperature variability and its influence on macroinvertebrate assemblages of alpine springs. In: *Ecohydrology* 10(7), p. 10.e1878. DOI: 10.1002/eco.1878

Wigger, F. W., Schmidlin, L., Nagel, P. und von Fumetti, S. (2015): Macroinvertebrate assemblages of natural springs along an altitudinal gradient in the Bernese Alps, Switzerland. In: *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, 2015, Vol. 51(3), p. 237-247. DOI: 10.1051/limn/2015018

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Titelbild: Illustration einer Milbe am Flügelansatz einer Schuppenameise (LP2, 2. Probennahme)

Abbildung 1: Kartenausschnitte mit Markierung des Untersuchungsgebiets, die Alp Champatsch mit den Quellen La Posa 1 und La Posa 2 im Val Müstair ([map.geo.admin.ch](http://map.geo.admin.ch), abgerufen am 28.03.23)

Abbildung 2: Auf dem Weg zur Alp Champatsch mit Sicht auf die Kuhweide rechts von LP2 (Foto: T. Moser)

Abbildung 3: Emergenzfalle LP 2.3 (Foto: T. Moser)

Abbildung 4: Übersicht LP1 mit den Emergenzfallen 1.1 bis 1.4 (Foto: T. Moser)

Abbildung 5: Substrat Emergenzfalle 1.1 (Foto: T. Moser)

Abbildung 6: Substrat Emergenzfalle 1.2 (Foto: T. Moser)

Abbildung 7: Substrat Emergenzfalle 1.3 (Foto: T. Moser)

Abbildung 8: Substrat Emergenzfalle 1.4 (Foto: T. Moser)

Abbildung 9: LP2 Fallen 2.1, 2.2 und 2.4 (Foto: T. Moser)

Abbildung 10: LP2 Falle 2.3 (Foto: T. Moser)

Abbildung 11: Substrat Emergenzfalle 2.1 (Foto: T. Moser)

Abbildung 12: Substrat Emergenzfalle 2.2 (Foto: T. Moser)

Abbildung 13: Substrat Emergenzfalle 2.3 (Foto: T. Moser)

Abbildung 14: Substrat Emergenzfalle 2.4 (Foto: T. Moser)

Abbildung 15: Arbeitsbereich im Hotel Hirschen in Lü (links) und beschriftete Fläschchen mit Ethanol und Makrozoobenthos (rechts) (Foto: T. Moser)

Abbildung 16: Die Standorte der Posa-Quellen im Norden und der Era da la Bescha-Quellen im Süden ([map.geo.admin.ch](http://map.geo.admin.ch), abgerufen am 23.05.23)

Abbildung 17: Gnitze mit fünf Milben am Abdomen (LP1, 3. Probennahme) (Foto: T. Moser)

Abbildung 18: Gnitze mit zwei Milben am Pronotum (LP1, 2. Probennahme) (Foto: T. Moser)

Abbildung 19: Schuppenameise mit Milbe und rechts die Vergrößerung der Heftungsstelle (LP2, 2. Probennahme) (Foto: T. Moser)

Abbildung 20: Langbeinfliege mit einer Milbe am Bein, rechts die Vergrößerung der Stelle (LP2, 2. Probennahme) (Foto: T. Moser)

Abbildung 21: *Leuctra* sp. mit elf Milben zwischen den Thoraxsegmenten, zwei an den Coxa und einer am Abdomen (LP1, 3. Probennahme) (Foto: T. Moser)

Abbildung 22: Entwicklung der Leitfähigkeit der Quellen zwischen 2017, 2020, 2021 und 2022

Abbildung 23: Entwicklung der Temperatur zwischen 2017, 2020, 2021 und 2022

Abbildung 24: Entwicklung des pH-Wertes zwischen 2017, 2020, 2021 und 2022

Abbildung 25: nMDS (non-metric Multidimensional Scaling) zu den relativen Unterschieden in der Fauna

Abbildung 26: RDA (Redundanzanalyse) zur Erklärung des Zusammenhangs zwischen der Fauna und den Umweltparametern: Vegetation, Moos, Leitfähigkeit, Holz und Detritus. Irrelevante Taxa und Umweltparameter wurden rausgelöscht.

Abbildung 27: *Partnunia steinmanni* Walter, 1906, eine der am häufigsten vorkommenden Milben im Schweizer Nationalpark (Von Fumetti und Blattner, 2016). Illustration: T. Moser, Originalbild aus Blattner et al. (2021)

Abbildung 28: *Protonemura* sp. (links) und *Leuctra* sp. (rechts) mit asymmetrischer Milbenverteilung (Foto: T. Moser)

Abbildung 29: Permafrostvorkommen in der Nähe der Posa-Quellen (obere Markierung) und Bescha-Quellen (untere Markierung) (Permafrosthinweiskarte [map.geo.admin.ch](http://map.geo.admin.ch), abgerufen am 09.06.2023)

**ANHANG:**

Abbildung 30: *Leuctra* sp. mit einer Milbe zwischen Meso- und Metathorax und einer Milbe auf der dorsalen Seite des Abdomens (LP1, 2. Probennahme). Die roten Pfeile zeigen je auf eine Milbe. (Foto: T. Moser)

Abbildung 31: *Protonemura* sp. mit acht Milben zwischen den Thoraxsegmenten verteilt (LP1, 3. Probennahme) (Foto: T. Moser)

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Artenliste 2022 von LP1 und LP2 mit roter Markierung jener Taxa, wovon mindestens ein Individuum parasitiert war.

Tabelle 2: Ausschnitt aus der Artenliste von LP1 und LP2 (2022) mit nur den parasitierten Taxa und der Anzahl Parasiten pro Taxon. M = Milben

**ANHANG:**

Tabelle 3: Detaillierte Artenliste der Beprobungen von La Posa 1 (LP1) im Sommer 2022. M = Milben

Tabelle 4: Detaillierte Artenliste der Beprobungen von La Posa 2 (LP2) im Sommer 2022. M = Milben

Tabelle 5: Artenliste der faunistischen Erhebungen der Quellen Era da la Bescha unten (EBu), Era da la Bescha oben (EBo), La Posa 1 (LP1) und La Posa 2 (LP2) der Jahre 2017, 2020 und 2021

# ANHANG

Tabelle 3: Detaillierte Artenliste der Beprobungen von La Posa 1 (LP1) im Sommer 2022. M = Milben

Ordnung	Unterordnung	Familie	Gattung, Art	LP 1	17.06.2022	M	18.06.2022	M	19.06.2022	M	06.08.2022	M	07.08.2022	M	08.08.2022	M	09.-15.08.22	M			
Diptera	Brachycera	Dolichopodidae					1				1				1		2				
		Empididae						1					1				2	1			
		Palloptheridae												1				1			
		Phoridae												1							
		Pipunculidae							4												
		Stratiomyidae							9			2		3		1		7			
		Syrphidae							1	1											
		Tachnidae							2												
		Nematocera		Ceratopogonidae					9	12	14		3		3		4	2	68	5	
				Chironomidae					1	2	3	1	1						4		
				Dixidae																	
				Limoniidae																2	
Mycetophilidae																1					
Ptychopteridae																					
		Simuliidae						1													
Hemiptera										1				2		6					
Heteroptera																					
Hymenoptera	Apocrita	Formicinae																			
Lepidoptera								2							1						
Orthoptera	Ensifera																				
Plecoptera		Leuctridae	<i>Leuctra sp.</i>				1	1		1			1	2			10	17			
			<i>Leuctra braueri</i> KEMPNY																		
		Nemouroidae	<i>Protonemura sp.</i>															3	9		
			<i>Protonemura meyeri</i>					1													
		Perlodidae	<i>Dictyogenus alpinus</i>																		
Trichoptera		Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila sp.</i>															1			

Tabelle 4: Detaillierte Artenliste der Beprobungen von La Posa 2 (LP2) im Sommer 2022. M = Milben

Ordnung	Unterordnung	Familie	Gattung, Art	LP 2	17.06.2022	M	18.06.2022	M	19.06.2022	M	06.08.2022	M	07.08.2022	M	08.08.2022	M	09.-15.08.22	M			
Diptera	Brachycera	Dolichopodidae			4		2		4				1	1			6				
		Empididae					2		1					3	1			4	3		
		Palloptheridae						1													
		Phoridae																			
		Pipunculidae																			
		Stratiomyidae					1	1		5				2		2		12			
		Syrphidae							2												
		Tachnidae																			
		Nematocera		Ceratopogonidae						1					2		2		5		
				Chironomidae					2		4						1		6		
				Dixidae																1	
				Limoniidae																	
Mycetophilidae																		2			
Ptychopteridae										1											
		Simuliidae																			
Hemiptera															1		2				
Heteroptera																	1				
Hymenoptera	Apocrita	Formicinae									1	1									
Lepidoptera																					
Orthoptera	Ensifera																1				
Plecoptera		Leuctridae	<i>Leuctra sp.</i>															1	2		
			<i>Leuctra braueri</i> KEMPNY																1		
		Nemouroidae	<i>Protonemura sp.</i>																		
			<i>Protonemura meyeri</i>																		
		Perlodidae	<i>Dictyogenus alpinus</i>															1			
Trichoptera		Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila sp.</i>																		



Abbildung 30: *Leuctra* sp. mit einer Milbe zwischen Meso- und Metathorax und einer Milbe auf der dorsalen Seite des Abdomens (LP1, 2. Probennahme). Die roten Pfeile zeigen je auf eine Milbe.

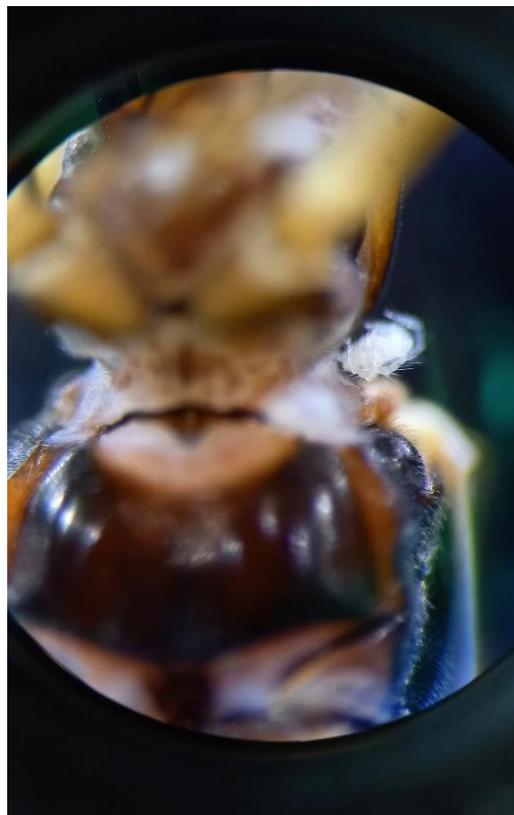


Abbildung 31: *Protonemura* sp. mit acht Milben zwischen den Thoraxsegmenten verteilt (LP1, 3. Probennahme)

Tabelle 5: Artenliste der faunistischen Erhebungen der Quellen Era da la Bescha unten (EBu), Era da la Bescha oben (EBo), La Posa 1 (LP1) und La Posa 2 (LP2) der Jahre 2017, 2020 und 2021

Ordnung	Taxon	Posa1_17	Posa2_17	BeschaOben_17	BeschaUnten_17	Posa1_20	Posa2_20	BeschaOben_20	BeschaUnten_20	Posa1_21	Posa2_21	BeschaOben_21	BeschaUnten_21
Turbellaria	Crenobia alpina	0	9	0	147	3	10	101	20	10	9	56	34
Chelicerata	Hydrovolzia placophora	7	0	0	0	0	10	0	0	0	7	0	0
	Sperchon sp.	6	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sperchon thienemanni	0	0	0	0	5	1	0	3	6	1	0	0
	Sperchon mutilus	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	5
	Sperchon violaceus	0	0	0	0	2	0	0	0	10	0	0	0
	Hygrobates norvegicus	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	10
	Lebertia sp.	60	2	5	5	12	5	1	0	20	1	0	7
	Atractides sp.	0	0	0	0	19	3	0	0	38	5	0	0
	Feltria sp.	2	0	0	0	19	2	0	1	15	3	0	0
	Partnunia steinmanni	218	18	1	3	71	45	0	0	68	86	0	0
	Sperchonopsis verrucosa	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Halacaridae	0	0	0	0	0	27	0	0	0	6	0	0
	Ljania sp.	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Bivalvia	Pisidium cf. personatum	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3
Crustacea	Copepoda	0	0	0	0	50	402	0	1	14	65	0	55
	Ostracoda	0	0	0	3	0	53	0	11	1	53	0	166
	Niphargus spp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	Baetis spp.	0	0	0	0	160	3	0	0	0	6	0	0
	Baetis alpinus	4	1	0	1	10	0	3	0	9	3	0	0
	Rhithrogena loyolea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
	Ecdyonurus spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Plecoptera	Leuctra sp.	0	1	3	1	11	126	4	4	4	0	1	0
	Leuctra gr. braueri-muranyii	0	14	0	0	2	56	0	0	0	51	0	0
	Nemoura sp.	0	0	0	0	0	5	0	0	0	17	0	0
	Nemoura mortoni	0	3	1	0	2	10	0	11	9	11	1	1
	Nemoura sinuata	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Nemurella pictetii	0	0	0	14	0	0	0	1	0	0	0	174
	Protonemura sp.	15	2	1	1	45	0	14	0	0	0	0	1
	Protonemura lateralis	4	0	0	0	21	1	8	0	14	0	0	0
	Perloidea	0	0	0	0	42	8	0	0	0	13	0	5
	Dictyogenus fontium	6	0	0	0	8	0	0	0	2	0	0	0
	Isoperla rivulorum	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
Coleoptera	Deronectes spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	Helophorus spp.	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Elodes spp.	0	5	0	0	0	3	0	0	1	9	0	0
	Elmis spp.	0	0	0	0	0	6	0	0	1	10	0	0
Trichoptera	Beraea pullata	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Lithax niger	0	0	0	1	0	0	0	11	0	0	0	7
	Limnephilidae	0	2	0	0	4	5	0	0	0	8	21	9
	Allogamus uncatius	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	2
	Drusinae	1	0	25	0	0	0	117	22	1	0	0	0
	Drusus discolor	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0

	Drusus melanchaetes	0	0	10	0	0	0	14	0	0	0	0	0
	Drusus monticola/nigr	1	0	10	25	0	0	9	22	0	0	0	1
	Leptotaulius gracilis (Schmid, 1955)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Melampophylax melampus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Micropterna sp.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Potamophylax spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Pseudopsilopteryx zimmeri	0	1	0	1	0	3	0	0	0	4	0	1
	Philopotamidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
	Philopotamus montanus	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
	Philopotamus variegatus	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Rhyacophila sensu stricto	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Diptera	Ceratopogonidae	0	0	0	0	4	13	0	1	4	31	0	0
	Chironomidae	176	8	82	325	713	136	500	192	515	133	414	1058
	Thaumalea sp.	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	Empididae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0
	Dicranota sp.	17	0	9	53	5	0	1	9	0	0	4	0
	Pedicia sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Limoniidae gen spec.	0	0	2	0	0	0	12	1	0	0	0	0
	Tipula spp.	5	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0
	Oxycera pardalina/pseudoamoena	0	0	0	0	36	1	0	0	47	5	0	0
	Oxycera varipes	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Beris spp.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Psychodidae	41	2	1	0	22	0	0	0	0	0	0	1
	Simulium spp.	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	4
	Prosimulium sp.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



**Universität  
Basel**

Philosophisch-Naturwissenschaftliche  
Fakultät



**Erklärung zur wissenschaftlichen Redlichkeit und Veröffentlichung der Arbeit** (beinhaltet Erklärung zu Plagiat und Betrug)

Titel der Arbeit: \_\_\_\_\_

Name Beurteiler\*in: Dr. Stefanie von Fumetti

Name Student\*in Tina Moser

Matrikelnummer: 19-471-358

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.

Ort, Datum: Basel, 14. Juli 2023 Student\*in: Moser

Wird diese Arbeit oder Teile davon veröffentlicht?

Nein

Ja. Mit meiner Unterschrift bestätige ich, dass ich mit einer Veröffentlichung der Arbeit (print/digital) in der Bibliothek, auf der Forschungsdatenbank der Universität Basel und/oder auf dem Dokumentenserver des Departements / des Fachbereichs einverstanden bin. Ebenso bin ich mit dem bibliographischen Nachweis im Katalog SLSP (Swiss Library Service Platform) einverstanden. (nicht Zutreffendes streichen)

Veröffentlichung ab: \_\_\_\_\_

Ort, Datum: Basel, 14.07.2023 Student\*in: Moser

Ort, Datum: \_\_\_\_\_ Beurteiler\*in: \_\_\_\_\_



*Milben parasitieren eine Protonemura sp. (Illustration von T. Moser)*