

Universität Basel
Departement Umweltwissenschaften
Geoökologie

Leben im Extremen

Quellen, Quell- und Gletscherbäche im hinteren Lauterbrunnental
in der UNESCO-Welterbe Region Jungfrau-Aletsch



Masterarbeit

Andri Bandli

MSc Geowissenschaften

Betreuung:

PD Dr. Stefanie von Fumetti

Basel, Mai 2022



Für die Unterstützung meiner Masterarbeit möchte ich mich herzlich bedanken bei:

PD Dr. Stefanie von Fumetti für die Betreuung meiner Arbeit und grossen Hilfe in allen Belangen.

Alessandra Lochmatter für das ermöglichen einer Arbeit im Gebiet des UNSECO Welterbe Jungrau-Aletsch.

Marcel Pfister als Vertreter von Pro Natura für die unkomplizierte Kommunikation und Zusammenarbeit im Untersuchungsgebiet.

Teo Neuenschwander für die Unterstützung beim Ausbringen der Temperaturlogger.

Mia Bandli für das Korrekturlesen der Arbeit.

Abstrakt

Hochalpine Gewässer sind einzigartige Ökosysteme, geprägt von extremen Bedingungen. Der Abfluss setzt sich dabei aus einer Mischung von Quell- (krenal), Niederschlags- (rhithral) und Schmelzwasser (kryal) zusammen. Durch den unaufhaltsam fortschreitenden Klimawandel gelangen diese, von kalten Temperaturen geprägten Lebensräume immer mehr in Bedrängnis. In dieser Arbeit wurden 10 hochalpine Gewässer im hinteren Lauterbrunnental in der UNESCO-Welterbe Region Jungfrau-Aletsch im Berner Oberland untersucht. Die Standorte liegen auf einer Höhenlage zwischen 1800 und 2100 m ü. M., wobei zwei Quellen, drei Quellbachstandorte und fünf Gletscherbachstandorte untersucht wurden. Die Standorte wurden strukturell kartiert, es wurden physikochemische Parameter gemessen, Wasserproben entnommen und Makroinvertebraten beprobt. Das Ziel der Untersuchung war es herauszufinden, ob sich klare Unterschiede zwischen den krenal und glazial beeinflussten Standorten zeigen, welche Faktoren die Diversität der Makroinvertebraten beeinflussen und ob sich Aussagen über die zukünftige Entwicklung dieser Standorte treffen lassen. Die Resultate zeigen einen klaren Unterschied in der Substratzusammensetzung zwischen krenal und glazial, in der Fauna ist dieser Unterschied jedoch geringer. Es zeigten sich wie erwartet die Höhenlage und die Wassertemperatur als wichtige Einflussfaktoren, zusätzlich durch den glazialen Einfluss bedingt auch das Vorkommen von Moos und die Wassertrübung. Die Auswirkungen des fortlaufenden Klimawandels und die sich dadurch verändernden Umweltfaktoren, werden sich auch im hinteren Lauterbrunnental bemerkbar machen. Es wird in erster Linie Arealhomogenisierung und eine tendenzielle Abnahme der Biodiversität erwartet.

Inhalt

1. Einleitung	1
2. Untersuchungsgebiet.....	3
<i>2.1 Lage der Untersuchungsstandorte.....</i>	<i>6</i>
3. Methoden	7
<i>3.1 Abiotik.....</i>	<i>7</i>
<i>3.2 Fauna</i>	<i>9</i>
<i>3.3 Statistische Auswertung</i>	<i>10</i>
4. Resultate	11
<i>4.1 Beschreibung der Untersuchungsstandorte.....</i>	<i>11</i>
<i>4.2 Abiotik.....</i>	<i>13</i>
<i>4.3 Fauna</i>	<i>15</i>
<i>4.4 Statistische Auswertung</i>	<i>17</i>
5. Diskussion	20
<i>5.1 Methodendiskussion</i>	<i>20</i>
<i>5.2 Ergebnisdiskussion.....</i>	<i>21</i>
6. Fazit	24
Literaturverzeichnis.....	25
Internetquellen	28
Bestimmungsliteratur.....	29
Anhang.....	30
<i>Rohdaten</i>	<i>30</i>
<i>Bildergalerie der Untersuchungsstandorte.....</i>	<i>33</i>
<i>Erklärung zur wissenschaftlichen Redlichkeit</i>	<i>38</i>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtskarte des hinteren Lauterbrunnental (map.geo.admin.ch)	3
Abbildung 2: Klimadiagramm Schmadribachfall (meteoblue.com).....	4
Abbildung 3: Klimadiagramm Breithorngletscher (meteoblue.com)	4
Abbildung 4: Geologie des hinteren Lauterbrunnental (map.geo.admin.ch).....	4
Abbildung 5: Bild der Hochebene um den Oberhornsee.....	5
Abbildung 6: Übersichtskarte der Untersuchungsstandorte (map.geo.admin.ch).....	6
Abbildung 7: Temperaturlogger mit Hering und Schnur im Standort QB2	7
Abbildung 8: Multisondenmessgerät.....	7
Abbildung 9: Nahaufnahme eines Moospolsters.....	8
Abbildung 10: Standort Q1	11
Abbildung 11: Standort Q2	11
Abbildung 12: Standort QB1	11
Abbildung 13: Standort QB2	11
Abbildung 14: Standort QB3	11
Abbildung 15: Standort G1	12
Abbildung 16: Standort G2.....	12
Abbildung 17: Standort G3.....	12
Abbildung 18: Standort G4.....	12
Abbildung 19: Standort G5.....	12
Abbildung 20: Boxplot der Temperaturlogger	13
Abbildung 21: Clusteranalyse der Umweltvariablen und Fauna	17
Abbildung 22: Diagram der RDA-Analyse.....	18
Abbildung 23: Korrelation der Anzahl Taxa.....	19
Abbildung 24: Korrelation des Shannon-Index.....	19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ortsangaben der Untersuchungsstandorte	6
Tabelle 2: Tabelle zur Substrataufnahme	8
Tabelle 3: Physikochemische Parameter.....	13
Tabelle 4: Ionenkonzentrationen.....	14
Tabelle 5: Substratzusammensetzung.....	14
Tabelle 6: Artenzahlen und Shannon-Index.....	15
Tabelle 7: komplette Artenliste.....	16

1. Einleitung

Quellen sind ein Übergangsökosystem zwischen Grundwasser und Fliessgewässer und gelten somit als Ökotone. Der Quellaustritt ist das Krenal, wobei die in Quellen vorkommenden Organismen als Krenon bezeichnet werden (Schönborn & Risse-Buhl, 2013). Quellen treten in vielen verschiedenen Formen auf, jedoch wurden Anfang des 20. Jahrhunderts von Thiennemann (1924) und Steinmann (1915) drei Haupt-Erscheinungsbilder typisiert. Als Rheokrene oder Sturzquelle wird eine Quelle bezeichnet, bei der das Wasser direkt fliessend austritt. Helokrenen oder Sickerquellen besitzen keinen klar definierbaren Quellaustritt, das Wasser tritt sickernd aus dem Boden und fliesst nicht direkt ab. Ein Austritt, bei dem sich das Wasser in einer Quelltopf oder Tümpel sammelt und erst dann abfließt, wird als Limnokrene oder Tümpelquelle bezeichnet (Schönborn & Risse-Buhl, 2013). Fliessgewässer entstehen entweder durch das Zusammenkommen von Niederschlag an der Oberfläche oder durch den Austritt von Wasser aus einer Quelle. Fliessgewässer werden als lotische Ökosysteme gezeichnet, was bedeutet das, anders als bei stehenden Gewässern, das Wasser ständig in Bewegung ist (Schönborn & Risse-Buhl, 2013). Am Ende der Zunge eines Gletschers fließen im Sommer grosse Mengen an Schmelzwasser ab, die meist sehr schnell grosse Abflüsse bilden. Alpine Fliessgewässer können nach der Herkunft des Hauptabfluss grob in drei Kategorien eingeteilt werden: Rhithral (Schmelzwasser), Krenal (Grundwasser) und Kryal (glazial) (Brown et al., 2003). Gletscherbäche sind charakteristisch durch ihre hohe Trübung, weswegen ein direkter Abfluss auch als Gletschermilch bezeichnet wird. Weiter sind glazial beeinflusste Fliessgewässer von tiefen Temperaturen geprägt.

Die Alpen sind eines der meist erforschten Gebirge weltweit. Die mit Abstand meisten Studien beziehen sich dabei auf Gletscher, gefolgt von Klimawandel und Permafrost (Brighenti et al., 2019). Hydrologie und alpine Gewässer gehören zu den weniger untersuchten Themen. In der Schweiz stammen die meisten Studien, bei denen Makroinvertebraten in alpinen Gewässern untersucht wurden aus dem Val Roseg im Kanton Graubünden (Brighenti et al., 2019). Alpine Ökosysteme sind geprägt von extremen Bedingungen. Hochgebirgsorganismen haben mit tiefen Temperaturen, meist sehr geringen Nährstoffkonzentrationen und sehr hoher Sonnenstrahlung zu kämpfen. Weiter sind die räumlichen Bedingungen harsch und Habitate sind meist stark isoliert. In der Schweiz sind rund 1000km² des Gebirges von Gletschern bedeckt, wobei seit 1985 ca. 390 km² verschwunden sind. Mit dem aktuellen Verlauf des Klimawandels wird erwartet, dass bis zum Ende des 21. Jahrhunderts 80-100% der gesamten Gletscherfläche endgültig verschwunden sein werden (meteoschweiz.admin.ch). Seit 1864 sind die Temperaturen in der Schweiz um ca. 2 °C angestiegen. Bis Mitte des 21. Jahrhunderts wird ein weiterer Anstieg um 1.5 °C erwartet (meteoschweiz.admin.ch). Errechnete Klimaszenarien für die Schweiz aus dem Jahr 2018 zeigen die folgenden vier Hauptveränderungen: Die Sommer

werden trockener, wobei häufiger heftige Niederschlagsereignisse auftreten werden. Die Zahl an Hitzetagen wird zunehmen und die Winter werden grundsätzlich schneeärmer werden (ncss.admin.ch). Durch den Klimawandel werden zwei grosse Veränderungen in alpinen Ökosystemen erwartet. Einerseits die Homogenisierung der Umwelt, was bedeutet, dass die aktuelle, grosse Habitat Vielfalt verschwinden würde und grossräumigere homogenere Habitate entstehen würden (Cauvy-Fraunié et al., 2015). Gleichermassen mit der Homogenisierung der Umwelt wird eine taxonomische Homogenisierung erwartet (Cauvy-Fraunié et al., 2015). Die Temperatur in Quellen nimmt grundsätzlich mit zunehmender Höhe ab. Eine Studie zeigte, dass mit zunehmender Höhe auch die Variabilität in der Temperatur kleiner wird (von Fumetti et al., 2017). Die Artenzusammensetzung verändert sich mit zunehmender Höhe, wobei die Wassertemperatur einer der treibenden Faktoren ist (Cantonati et al., 2006; von Fumetti et al., 2017). Aquatische Makroinvertebraten oder auch Makrozoobenthos sind meist Larvenstadien von Insekten, die auf dem Sediment in Gewässern leben. Makroinvertebraten, besonders die Larven von Eintags-, Stein- und Köcherfliegen, die sogenannten EPT-Taxa (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) dienen als Zeigerarten für den ökologischen Zustand von aquatischen Ökosystemen. Durch den Klimawandel und die allgemeine Temperaturzunahme im Berggebiet könnten die Temperaturschwankungen in alpinen Quellen zunehmen. Aus dieser Begebenheit schliessen von Fumetti et al. (2017), dass die durch den Klimawandel bedingten Veränderungen einen grösseren Einfluss auf höher gelegenen Quellen haben, da die dort vorkommenden Organismen schlechter an Temperaturschwankungen angepasst sind.

Die alpinen und subalpinen Quellen werden zunehmend bedroht und benötigen ein effizientes Schutzkonzept (Cantonati et al., 2021; Küry et al., 2018). Durch den Klimawandel verschieben sich Faktoren wie die Wassertemperatur in Quellen dem Höhengradienten entlang nach oben. Bei einer durch den Klimawandel bedingten Erwärmung der Quellen sind aber die Möglichkeiten für diese Arten weiter in die Höhe auszuweichen begrenzt, da die Zahl an Quelllebensräumen immer weiter abnimmt (Küry et al., 2018; Weber, 2006).

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden alpine Quellen und krenal sowie glazial beeinflusste Fliessgewässer untersucht. Die Arbeit fokussiert sich dabei auf die Biodiversität der Makroinvertebraten und die Faktoren, die diese beeinflussen. Mit den erlangten Resultaten wird versucht die folgenden Leitfragen zu erklären:

Welche Faktoren beeinflussen an den untersuchten Standorten die Zusammensetzung der Makroinvertebraten? Gibt es Unterschiede zwischen den Untersuchungsstandorten, sowohl in der Fauna als auch in der Substratzusammensetzung, die durch einen glazialen Einfluss erklärt werden können?

Ist es möglich anhand der erlangten Resultaten Voraussagen zu treffen, wie sich die Gewässer im Untersuchungsgebiet und ihre Biodiversität mit fortlaufendem Klimawandel verändern wird?

2. Untersuchungsgebiet

Das hintere Lauterbrunnental (Abb.1) liegt zuoberst im Lauterbrunnental im Kanton Bern an der Grenze zum Wallis. Das Gebiet ist ein kantonales Naturschutzgebiet, welches von Pro Natura betreut wird. 1947 wurde die Alp Untersteinberg im unteren Teil des Tals von Pro Natura aus dem Erlös einer «Schoggitaleraktion» gekauft und unter Schutz gestellt. Im Jahr 1954 kaufte Pro Natura zusätzlich die Alp Breitlauenen und erweiterte somit das Schutzgebiet auf ca. 5km². Seit 1960 ist das gesamte hintere Lauterbrunnental ein kantonales Naturschutzgebiet und umfasst eine Fläche von ca. 25km² (pronatura-be.ch). Das Tal wurde einerseits bekannt durch die spektakulären Wasserfälle, die über schroffe Geländestufen ins Tal stürzen, aber auch durch die grosse, vielfältige Flora und Fauna. Durch den Schutz von Pro Natura blieb das Gebiet von grossen touristischen Erschliessungen verschont und eine einzigartige und urtümliche Landschaft blieb erhalten (pronatura-be.ch).

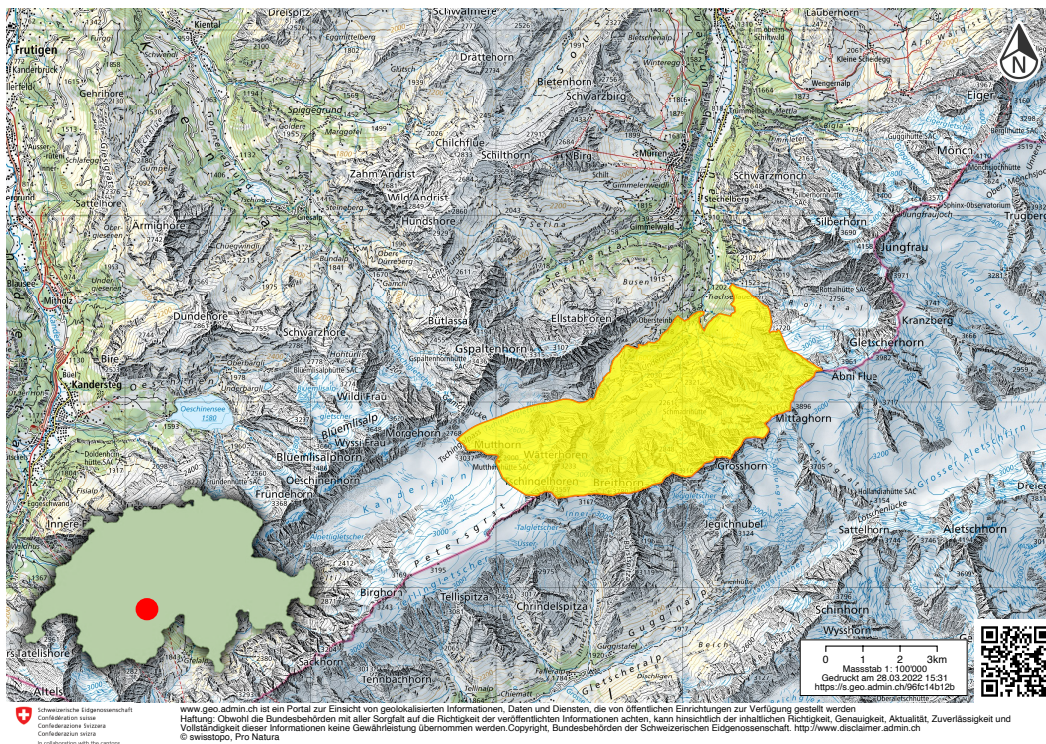


Abbildung 1: Übersichtskarte des hinteren Lauterbrunnental (map.geo.admin.ch)

Das hintere Lauterbrunnental liegt auf der Berner Seite im Gebiet des UNESCO-Welterbe Jungfrau-Aletsch. Das Gebiet erstreckt sich im Kanton Wallis und Kanton Bern auf einer Fläche von 824km² und wurde 2001 durch die Erfüllung von drei der vier Aufnahmekriterien in das UNESCO-Welterbe aufgenommen (jungfrau-aletsch.ch). Die Kernregion zählt zu den am geringsten anthropogen beeinflussten Gebieten im gesamten Alpenbogen. Durch den rapiden Gletscherrückzug ist einer der eindrucklichsten Schauplätze des globalen Klimawandels und der Entwicklung hochalpiner Ökosysteme entstanden (jungfrau-aletsch.ch).

Im Untersuchungsgebiet liegen die Standorte für modellierte Klimadaten von Meteoblue am Schmadribachfall (Abb.2) und am Breithornrgletscher (Abb.3). Die Monatlichen Niederschlagsmengen liegen zwischen 75 und 140 mm wobei die durchschnittlichen Temperaturen am Schmadribachfall zwischen -8 und 18°C und am Breithornrgletscher zwischen -11 und 14°C liegen (meteoblue.com).

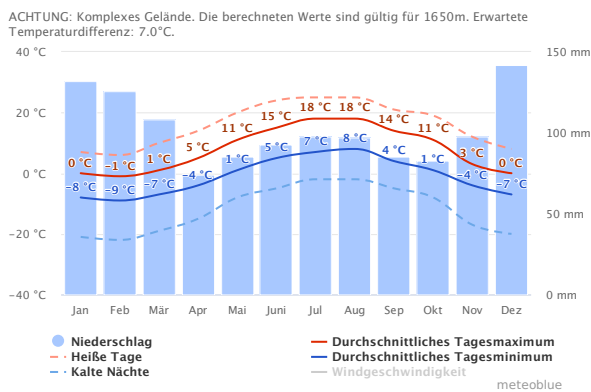


Abbildung 2: Klimadiagramm Schmadribachfall (meteoblue.com)

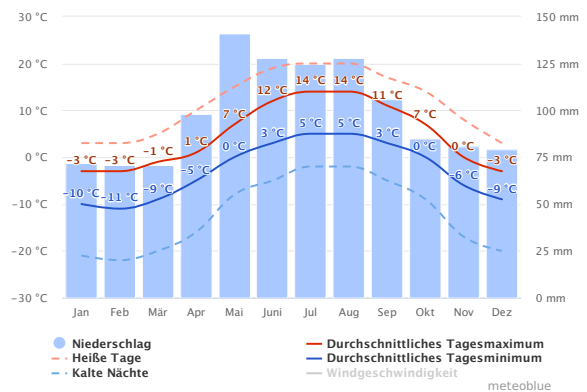


Abbildung 3: Klimadiagramm Breithornrgletscher (meteoblue.com)

Der Hauptteil des Naturschutzgebiets hinteres Lauterbrunnental liegt in kristallinem Gestein (Abb.4 in Rot dargestellt) oder verdeckt unter Gletscherfirn (Abb.4 in Weiss dargestellt). Einzelne Teile innerhalb des Gebiets sind Sedimentgesteine und in Richtung Norden geht das Gestein komplett in Sedimentgestein über. Der Übergang zwischen Kristallinem und Sedimentgestein zählt als einer der Hauptgründe für die hohe Diversität der Flora (pronatura-be.ch).

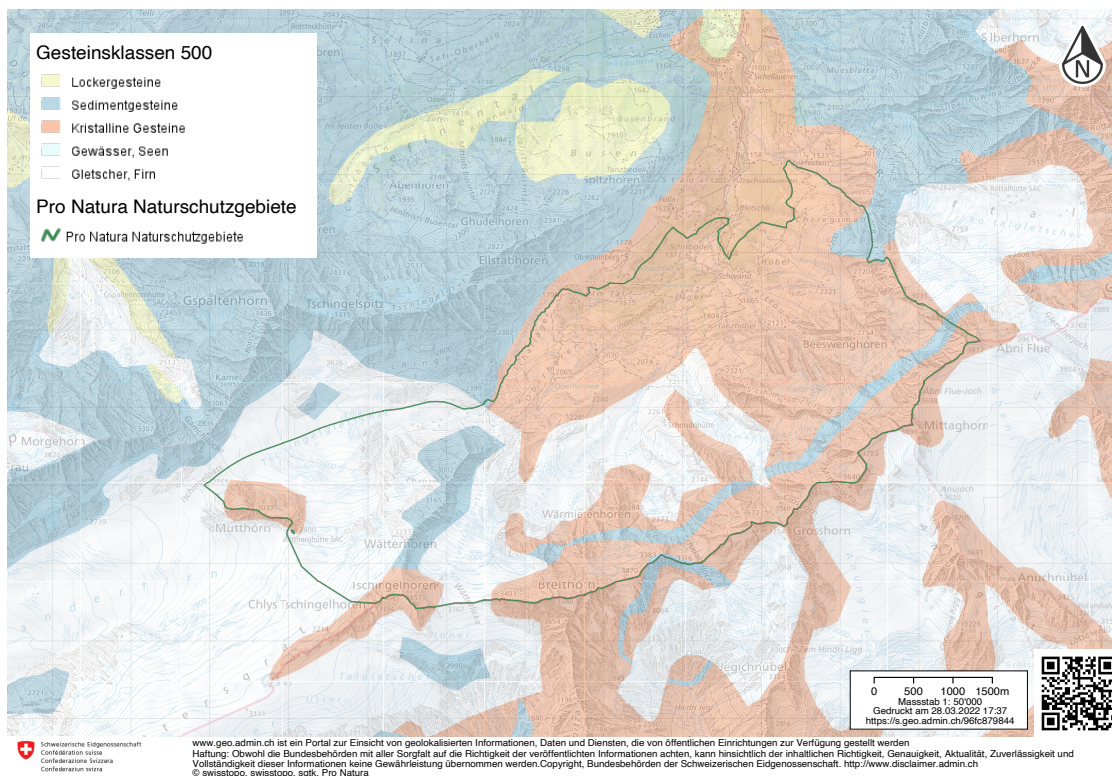


Abbildung 4: Geologie des hinteren Lauterbrunnental (map.geo.admin.ch)

Im unteren Bereich des Tals befinden sich ausgedehnte Nadelwälder mit hauptsächlich Fichten und weiter oben Föhren. Oberhalb der Waldgrenze geht die Vegetation in offenes alpines Grasland mit Zwergstrauchheiden und vereinzelt, kleinen Bäumen über.

Das Gebiet des hinteren Lauterbrunnental ist touristisch nur durch Wanderwege erschlossen, jedoch sind diese viel begangen. Über das Tal verteilt gibt es drei Touristenunterkünfte, die im Talboden und auf der nördlichen Talseite liegen. Es gibt keine ganzjährig bewohnten Orte im Naturschutzgebiet.

Im Sommer werden grosse Teile alpwirtschaftlich genutzt. Die südliche Talseite bis unter den Breithorn-gletscher wird mit Ziegen beweidet. Der Talboden, die nördliche Talseite und die Hochebene um den Oberhornsee (Abb.5) werden mit Kühen beweidet.



Abbildung 5: Bild der Hochebene um den Oberhornsee

2.1 Lage der Untersuchungsstandorte

Die Untersuchungsstandorte wurden nach den folgenden Kriterien ausgesucht: Die Standorttypen sollten auf kleinem Raum möglichst divers sein und zwischen den Standorten sollte ein kleiner Höhengradient liegen. Insgesamt ergaben sich so 10 Standorte, wobei es sich dabei um zwei Quellen (grün), drei Quellbäche (orange) und fünf Gletscherbäche (blau) (Tab. 1, Abb.6) handelt. Die Standorte befinden sich auf drei Höhenstufen, um 1800 m ü. M. auf der Ebene der Tschingel-Litschina, um 2000 m ü. M. in Bereich des Oberhornsees und um 2100 m ü. M. im Gletschervorfeld des Schmadribachs. Die Standorte wurden jeweils mit einem Kürzel für den Standorttyp und einer Nummerierung benannt (Q für Quellen, QB für Quellbäche und G für Gletscherbäche).

Tabelle 1: Ortsangaben der Untersuchungsstandorte

Standort	Koordinaten	Höhe (m ü.M.)	Standort	Koordinaten	Höhe (m ü.M.)
Q1	633366/150431	2060	G1	634457/150067	2115
Q2	633664/150442	2051	G2	634431/150074	2114
QB1	633693/150466	2050	G3	634477/150114	2112
QB2	633169/151138	1839	G4	633161/151137	1839
QB3	633198/151169	1838	G5	633239/151233	1833

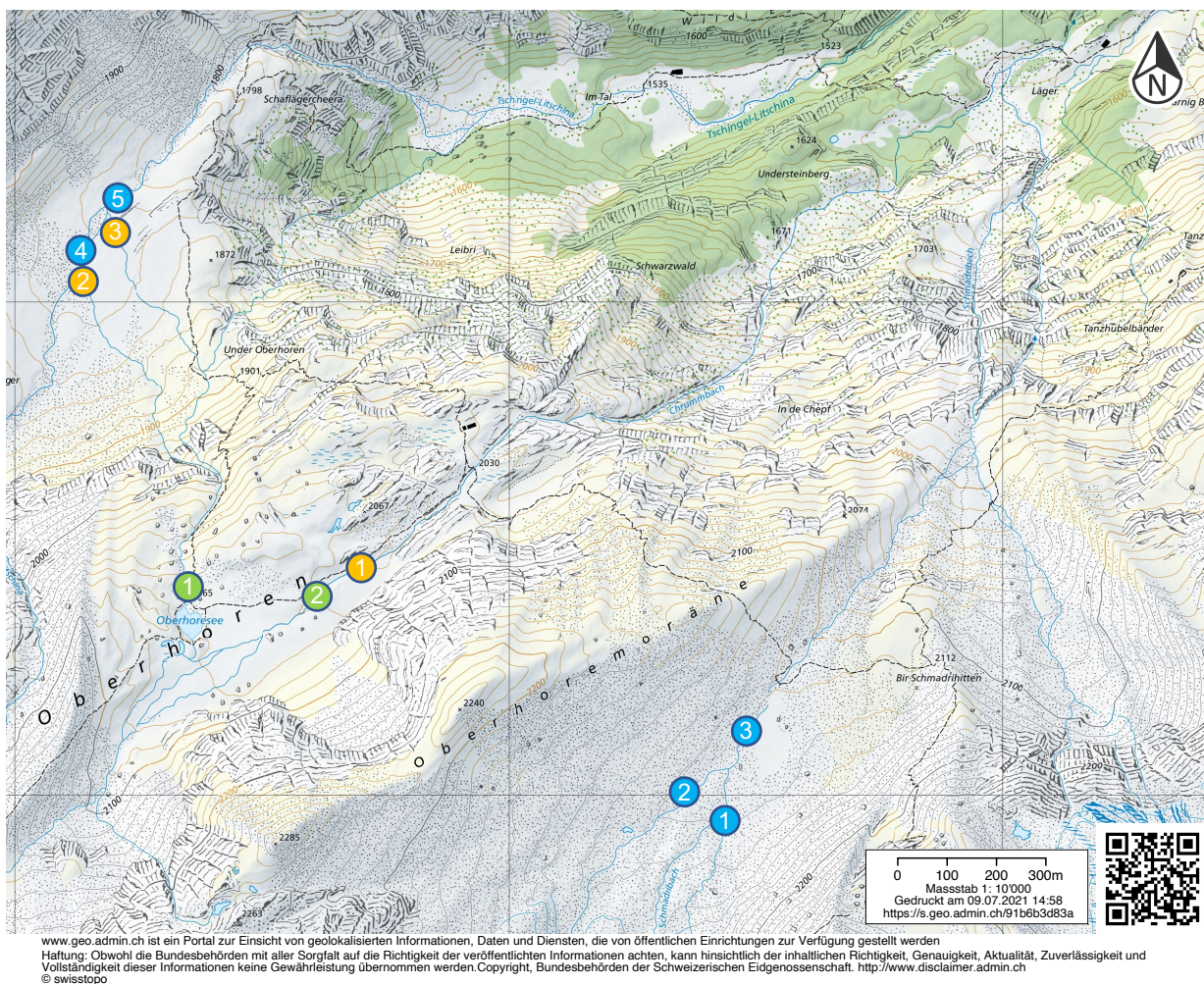


Abbildung 6: Übersichtskarte der Untersuchungsstandorte (map.geo.admin.ch)

3. Methoden

3.1 Abiotik

In allen untersuchten Standorten wurde der pH-Wert, die Wassertemperatur, die elektrische Leitfähigkeit, die Wassertrübung und die Sauerstoffkonzentration gemessen. Die Parameter wurden mit IDS-Sensoren an einem Multisondenmessgerät Multi 3630 IDS der Firma WTW gemessen (Abb.7). Die Messsonde für den pH-Wert und die Messsonde für die elektrische Leitfähigkeit zeigen zusätzlich auch die Wassertemperatur an. Die Wassertrübung wird in der Einheit NTU (nephelometric turbidity units) angegeben und mit einem Trübungsmessgerät TURB 350 IR der Firma WTW gemessen. Die Sauerstoffkonzentration wurde in mg/l und in % aufgenommen. Diese Messungen wurden an allen Standorten zwischen Juli und Oktober 2021 einmal monatlich aufgenommen.

Zusätzlich wurde die Wassertemperatur mit HOBO Pendant® MX Temp/Light Data Logger MX2202 der Onset Computing Corporation mit stündlichen Messungen aufgezeichnet. Die Logger wurden jeweils mit einer Schnur an einen Stein gebunden und im Gewässer platziert. Die Schnur wurde dann ausserhalb des Gewässers mit einem Hering fixiert (Abb.6). Die Logger wurden anfangs August 2021 ausgebracht und Ende September wieder eingeholt.



Abbildung 7: Temperaturlogger mit Hering und Schnur im Standort QB2



Abbildung 8: Multisondenmessgerät

Zur Ermittlung von Ionenkonzentrationen wurde an allen Standorten zweimal (in Juli und im September) eine Wasserprobe entnommen. Die Proben wurden möglichst kühl gelagert und so schnell wie möglich eingefroren, um die Ionenzusammensetzung nicht zu verfälschen. Es wurden die Konzentrationen der Anionen Fluorid, Chlorid, Nitrat, Phosphat und Sulfat, sowie der Kationen Natrium, Ammonium, Magnesium, Kalium und Calcium in mg/l gemessen. Die Messungen wurden im Labor durch Judith Kobler Waldis der Forschungsgruppe Umweltgeowissenschaften der Universität Basel durchgeführt. Die Messungen erfolgten mit einer geschätzten Messunsicherheit von 5 -10% und an der Nachweisgrenze mit einer Unsicherheit von 20 – 50%.

Die Substratzusammensetzung an allen Standorten wurde mit einer Tabelle kartiert (Tab.2). In der Tabelle werden 13 Substrattypen aufgenommen, Moospolster (Abb.9), durchspülte Wurzelräume, Totholz, Detritusauflage organisch, Vegetation, Ton und Schluff, Sand, Feinkies, Kies und Grus, Mittel-Grobkies, Steine, Blöcke, Felsen und Kalksinter. Eingeteilt werden die Substrate in sechs unterschiedliche Prozentanteile, 0%, <20%, 20 - 40%, 40 – 60%, 60 - 90% und >90%. Die Daten aus dieser Tabelle bildeten die Grundlage für die statistische Auswertung der Substratzusammensetzung.

Tabelle 2: Tabelle zur Substrataufnahme

	0%	< 20%	20-40%	40-60%	60-90%	> 90%
Moospolster (M)						
durchspülte Wurzelräume (W)						
Totholz (T)						
Detritusauflage organisch (D)						
Vegetation (V)						
Ton und Schluff (Ts)						
Sand (S)						
Feinkies- Kies und Grus (fK)						
Mittel-Grobkies (gK)						
Steine (St)						
Blöcke (B)						
Felsen (F)						
Kalksinter (K)						



Abbildung 9: Nahaufnahme eines Moospolsters

3.2 Fauna

Die faunistische Beprobung wurde zur besseren Abdeckung der Artenzusammensetzung im Sommer 2021 zweimal durchgeführt, am 20.7. und am 28.9.. An jedem Standort wurde eine Probe entnommen, bei der mit einem Netz mit einer Maschenweite von 200µm möglichst repräsentativ alle Substrattypen beprobt wurden. Der Inhalt des Netzes wurde in eine Weisschale überführt und mit Wasser ausgespült. Nach kurzem Warten, damit sich das Feinmaterial absetzen kann, wurden grosse, gut sichtbare Individuen mit einer Pinzette eingesammelt und in einem Behälter mit 100%igem unvergälltem Ethanol gesammelt. Durch diesen Schritt bleiben die grossen Individuen unversehrt und können leichter bestimmt werden. Danach wurde der Rest der Probe mit einem Sieb in Fein- und Grobfraktion getrennt. Die Feinfraktion wurde direkt in einem Becher gesammelt und mit Ethanol konserviert. Die Grobfraktion wurde weiter durch dekantieren und sieben gereinigt, gleichermassen in Bechern gesammelt und in Ethanol konserviert.

Die Proben wurden im Labor unter dem Binokular aussortiert, um die Organismen vom Substrat zu trennen. Nach dem Aussortieren wurden die Organismen mit Hilfe von Bestimmungsliteratur morphologisch, möglichst bis auf Artniveau bestimmt (Bestimmungsliteratur im Literaturverzeichnis).

3.3 Statistische Auswertung

Mit den erarbeiteten Daten wurde der Shannon-Index berechnet, sowie eine Clusteranalyse und eine RDA erstellt. Mit den Daten der Temperaturlogger wurden Boxplots erstellt. Da die Daten sehr grosse Schwankungen aufwiesen, die auch durch weitere Faktoren als allein die Wassertemperatur entstanden sein könnten, mussten diese erst bereinigt werden. Zur Bereinigung der Daten wurde die mittlere absolute Abweichung vom Median (MAD) berechnet. Schlussendlich wurden nur noch die Datenpunkte im Abstand der MAD oberhalb und unterhalb des Medians berücksichtigt (Leys et al., 2013). Dadurch wurden die Boxplot-Darstellungen deutlich übersichtlicher und widerspiegeln die Temperaturfluktuationen realistischer.

Es wurde jeweils eine Clusteranalyse für die Umweltvariablen und die Fauna separat erstellt. Eine Clusteranalyse teilt die Standorte anhand einer (Un)Ähnlichkeits-Matrix in Gruppen ein und stellt die Resultate als hierarchisches Dendrogramm dar (Beierkuhnlein, 2006).

Eine RDA (redundancy analysis) zeigt die Beziehungen zwischen zwei Variablen auf. Eine RDA geht von einer linearen Beziehung zwischen Umweltvariablen und Fauna aus (Leyer & Wesche, 2007). Es wird analysiert wie die «response» Daten, im Fall dieser Studie die Artenzusammensetzung, von «explanatory» Daten, die abiotischen Faktoren erklärt werden. Eine RDA wird ebenfalls als zweidimensionale Grafik generiert. Dabei sind die «response» Daten als Punkte und die «explanatory» Daten als Pfeile dargestellt. Entlang der Pfeile wird die Korrelation zwischen den Daten aufgezeigt (MB3IS.MEGX.NET/GUSTAME).

Nach der RDA Analyse wurde eine Auswahl der drei wichtigsten Faktoren mit der Anzahl Taxa und dem Shannonindex der Standorte linear korreliert. Der Shannon-Diversitätsindex (Shannon & Weaver, 1949) ist ein Mittel zur quantitativen Kennzeichnung von Biodiversität. Ein Vorteil des Shannonindex ist, dass neben der Artenzahl auch die Abundanzen berücksichtigt werden (Beierkuhnlein, 2006), weswegen neben der Anzahl Taxa auch der Shannonindex für diese Analyse gewählt wurde. Durch sehr hohe Dominanz einer einzelnen Art könnte die Shannon-Diversität bei gleichbleibender Artenzahl geringer ausfallen. Durch den Vergleich der Korrelationen der Einflussfaktoren mit Anzahl Taxa und Shannonindex kann solch ein Fall aufgezeigt werden.

Die statistische Auswertung wurde in R durchgeführt. R ist eine frei verfügbare open-source Software zur statistischen Auswertung von Daten und der Erstellung von Grafiken (R-PROJECT.ORG).

4. Resultate

4.1 Beschreibung der Untersuchungsstandorte

Die erste Quelle (Q1) (Abb.10) liegt etwas unterhalb des Oberhornsees und wird sehr wahrscheinlich der Ausfluss des Oberhornsees sein, da die Abflussmenge gleichermassen wie der Pegelstand des Sees über den Sommer abnahm und im Oktober komplett ausfiel. Das Substrat der Quelle setzt sich hauptsächlich aus Steinen und Kies mit wenig Moos und Pflanzen zusammen. Die zweite Quelle (Q2) (Abb.2) liegt mitten auf der Ebene um den Oberhornsee. Die Quelle wurde für die Wasserversorgung der Alphütte in der Nähe gefasst, was jedoch keinen grossen Einfluss auf die Abflussmenge hat, zudem wird die Schüttung im Gegensatz zu Q1 ganzjährig sein. Das Substrat von Q2 setzt sich hauptsächlich organisch aus Moos und Pflanzen zusammen mit weniger Steinen und Kies. Zudem stellte sich die Wassertemperatur dieser Quelle als sehr konstant heraus.



Abbildung 10: Standort Q1

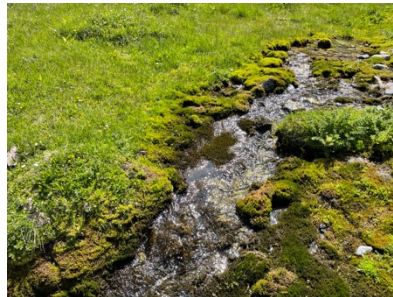


Abbildung 11: Standort Q2

Der erste Quellbach (QB1) (Abb.12) liegt nur wenig unterhalb von Q2 und ist der direkte Abfluss dieser Quelle. Das Substrat von QB1 sieht sehr ähnlich aus wie bei Q2 und besteht hauptsächlich aus Moos und Pflanzen mit wenigen Steinen und Kies. Dieser Bach wird Chrummbach genannt und fliesst über die gesamte Ebene und mündet dann unten im Tal in den Schmadribach. Gleichermassen wie die Quelle Q2, ist der Bach im Laufe des Sommers nicht trockengefallen. Die weiteren beiden Quellbachstandorte (Abb.13, Abb.14) liegen weiter unter auf der Ebene bei der Tschingel-Litschina. Das Substrat beider Standorte ist sehr ähnlich und setzt sich hauptsächlich aus Steinen, Kies und Sand mit wenig Moss und Pflanzen zusammen. Das Wasser in beiden Standorten kommt aus der Moräne unterhalb des Oberhornsees aus vielen unterschiedlichen Austritten, sowie aus der ebenfalls untersuchten Quelle Q1. Im Laufe des Sommers sind beide Standorte trockengefallen. QB2 ist bereits im August ausgetrocknet und bei QB3 war dies erst im Oktober der Fall.



Abbildung 12: Standort QB1



Abbildung 13: Standort QB2



Abbildung 14: Standort QB3

Die ersten drei Gletscherbachstandorte (Abb.15, Abb.16, Abb.17) liegen im Gletschervorfeld des Breithorn- und Grosshorngletschers. Der Abfluss aus diesem Gebiet bildet den Schmadribach, der weiter unten sehr spektakulär über einen Wasserfall ins Tal stürzt. Die Standorte waren zum Zeitpunkt der Untersuchung ca. 600 m vom Stand der Gletscherzunge des Breithorngletschers entfernt. Das Substrat aller Standorte besteht hauptsächlich aus Steinen, Kies und Sand mit wenigen grossen Blöcken. Organisches Substrat ist in allen Gletscherstandorten nicht vorhanden. Die Standorte zeichnen sich durch tiefe Temperaturen und hohe Trübung aus. Die Trübung in G2 und G3 war sehr hoch im Vergleich zu G1, wo das Wasser eher seitlich aus der Moräne stammt und die Trübung geringer war. Im Laufe des Sommers nahm die Abflussmenge und die Trübung an allen drei Standorten ab.



Abbildung 15: Standort G1



Abbildung 16: Standort G2



Abbildung 17: Standort G3

Die beiden weiteren Gletscherbachstandorte liegen an der Tschingel-Litschina. G4 (Abb.18) liegt oberhalb und G5 (Abb.19) unterhalb der Einmündungen der Bäche mit den Standorten QB2 und QB3. Das Substrat unterscheidet sich kaum von den anderen Gletscherstandorten, jedoch ist die Temperatur etwas höher und die Trübung geringer. Das Wasser in der Tschingel-Litschina stammt hauptsächlich vom Tschingel- und Wätterlickengletscher, wobei die Untersuchungsstandorte ca. 2.2 km vom aktuellen Stand der Gletscherzungen entfernt sind.



Abbildung 18: Standort G4



Abbildung 19: Standort G5

4.2 Abiotik

Die Messungen der Physikochemischen Parameter sind zwischen den Standorten sehr ähnlich ausgefallen. In der Tabelle (Tab.3) sind jeweils die Mittelwerte und die Standardabweichung der über den Sommer verteilten Messungen dargestellt. Die Messungen der elektrischen Leitfähigkeit, des Sauerstoffs und des pH-Wert weisen keine grossen Unterschiede auf. Die elektrische Leitfähigkeit war an allen Messpunkten tief und lag im Bereich von 120 bis knapp unter 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Sauerstoffsättigung lag an allen Messungen über 90% wobei die absoluten Mengen zwischen 8 und 12 mg/l lagen. Die pH-Werte lagen an allen Standorten zwischen 8.3 und 9. Bei diesen drei Messwerten konnte kein klares Muster zwischen den Standorten festgestellt werden. Die Trübungsmessungen weisen markante Unterschiede auf, wobei die Werte an den Quell- und Quellbachstandorten sehr gering ausfielen und an den Gletscherbachstandorten deutlich höher. In den Wassertemperaturmessungen zeigten sich die tiefsten Temperaturen an den Gletscherbachstandorten und die höchsten Temperaturen wiesen die Quellbachstandorte auf.

Tabelle 3: Physikochemische Parameter

Standort	Q1	Q2	QB1	QB2	QB3	G1	G2	G3	G4	G5
Temp (°C)	5.7 (± 1.5)	3.7 (± 0.25)	5.53 (± 1.5)	10.4 (± 0)	8 (± 1.8)	3.26 (± 2)	1.74 (± 0.9)	3.25 (± 2.5)	4.12 (± 3.3)	4.16 (± 2.7)
Cond ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	125 (± 4)	150 (± 9)	153 (± 12)	197 (± 0)	134 (± 9)	145 (± 38)	130 (± 40)	155 (± 42)	122 (± 37)	120 (± 38)
pH	8.3 (± 0.4)	8.6 (± 0.7)	8.5 (± 0.2)	9 (± 0)	8.9 (± 0.8)	8.3 (± 0.2)	8.6 (± 0.1)	8.5 (± 0.1)	8.7 (± 0.5)	8.9 (± 0.8)
O2 (%)	107 (± 1)	96 (± 0)	107 (± 2)	93 (± 0)	103 (± 1)	104 (± 1)	103 (± 2)	102 (± 0)	102 (± 3)	103 (± 3)
O2(mg/l)	10.9 (± 0.1)	10.1 (± 0.1)	10.5 (± 0.3)	8.3 (± 0)	8.8 (± 0.4)	10.5 (± 0.5)	11.2 (± 0.1)	10.9 (± 0.7)	10.6 (± 1)	10.6 (± 0.7)
Turb (NTU)	0.4 (± 0.6)	0.7 (± 0.6)	0.7 (± 1.2)	1.4 (± 0)	1.6 (± 2.2)	8.9 (± 10.8)	650.3 (± 509)	183.4 (± 167)	124 (± 118)	133.5 (± 136)

Die Temperaturlogger zeigten zusätzlich die Variabilität der Temperatur auf (Abb.20). Die Quellstandorte wiesen die geringste Variabilität auf und die Quellbachstandorte die grösste. Die Quelle Q2 weist die geringste Variabilität auf mit einer Schwankung von ca. 0.8°C . Die höchste Temperaturvariabilität wurde im Quellbachstandort QB3 gemessen, mit einer Schwankung von ca. 5.2°C .

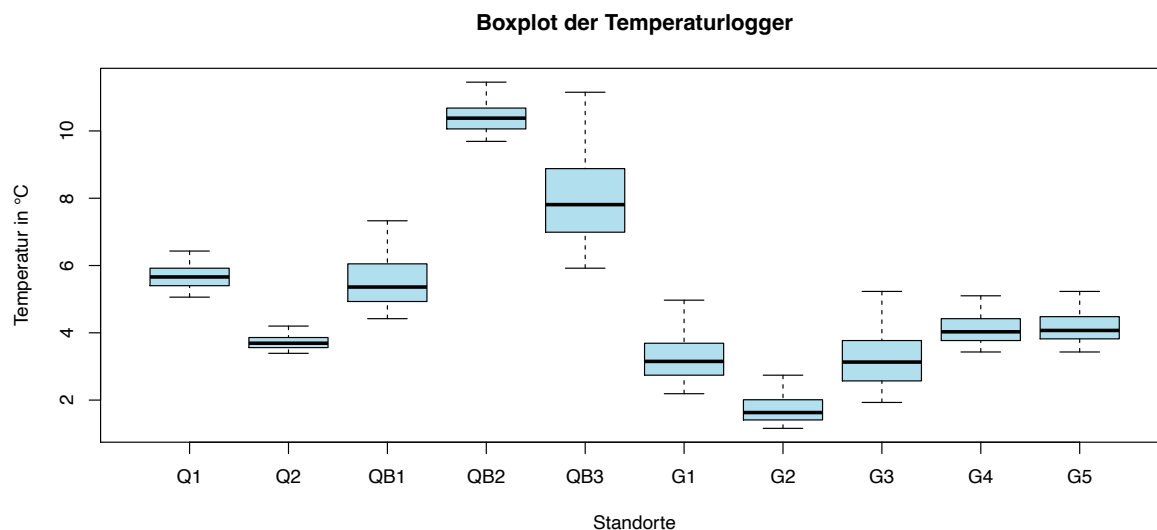


Abbildung 20: Boxplot der Temperaturlogger

Bei den Ionenmessungen wurden nur geringe Konzentrationen nachgewiesen, einzig die Werte von Kalzium und Sulfat sind etwas erhöht (Tab.4). Die Kalziumkonzentrationen weisen keine markanten Unterschiede zwischen den Standorten auf. Die Sulfatkonzentrationen sind in den Gletscherbachstandorten deutlich höher als in den Quell- und Quellbachstandorten, wobei die Konzentrationen in G1, G2 und G3 höher sind als in G4 und G5.

Tabelle 4: Ionenkonzentrationen

Standort	Q1	Q2	QB1	QB2	QB3	G1	G2	G3	G4	G5
Na (mg/l)	0.3	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.1	0.3
	0.3	0.3	0.3		0.2	0.7	0.8	0.5	0.2	0.2
Mg (mg/l)	3.8	2.5	2.4	4.8	3.6	1.7	1.4	1.4	1.5	1.6
	1.8	1.4	2.8		3.3	3.0	2.6	2.1	2.2	1.8
K (mg/l)	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.6	0.4	0.1	0.1
	0.2	0.2	0.3		0.2	0.6	0.7	0.5	0.2	0.1
Ca (mg/l)	21.9	28.6	26.9	37.5	26.7	20.7	19.3	18.0	16.7	17.2
	10.2	14.8	22.9		17.7	26.9	22.4	24.2	18.2	15.9
Cl (mg/l)	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	0.5	0.4	0.4		0.4	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4
NO ₃ (mg/l)	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.2		0.0	0.7	0.6	0.4	0.2	0.1
SO ₄ (mg/l)	3.2	3.7	2.6	3.7	3.0	11.2	11.1	9.6	9.6	9.5
	1.6	2.1	3.5		2.8	35.9	30.6	27.4	14.2	10.7

In der Tabelle wurde die Häufigkeit der Substrate, wie in Tabelle 5 gezeigt, in 6 Kategorien eingeteilt. Von den 13 untersuchten Substrattypen konnte an keinem Standort alle festgestellt werden. Kalksinter wurde in keinem der Standorte gefunden. Maximal wurden 11 Substrattypen festgestellt in den beiden Quellbächen QB2 und QB3. Das Minimum an Substrattypen liegt bei sechs. An den Quell- und Quellbachstandorten ist die Substratdiversität höher als an den Gletscherstandorten. Der Hauptunterschied zwischen den Standorten liegt in der Verteilung von organischem und anorganischem Substrat. In den Quell- und Quellbachstandorten sind organische und anorganische Substrate zu finden, wobei teilweise der grösste Teil des Substrats sich organisch zusammensetzt. In den Gletscherstandorten sind hingegen nur noch anorganische Substrate zu finden und die einzelnen Standorte unterscheiden sich in der Substratzusammensetzung nur wenig. Die Quell- und Quellbachstandorte hingegen unterscheiden sich untereinander mehr in der Substratzusammensetzung.

Tabelle 5: Substratzusammensetzung

Standort	Q1	Q2	QB1	QB2	QB3	G1	G2	G3	G4	G5
Moospolster (M)	10	50	50	10	10	0	0	0	0	0
durchspülte Wurzelräume (W)	0	10	10	0	10	0	0	0	0	0
Totholz (T)	10		0	10	10	0	0	0	0	0
Detritusaufgabe organisch (D)	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0
Vegetation (V)	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0
Ton und Schluff (Ts)	0	0	0	30	10	10	10	10	10	10
Sand (S)	10	0	10	30	10	30	10	10	10	10
Feinkies- Kies und Grus (fK)	10	0	10	30	10	30	30	30	10	10
Mittel-Grobkies (gK)	10	10	10	10	30	30	30	30	30	10
Steine (St)	50	10	10	10	30	30	30	30	30	30
Blöcke (B)	30	0	10	10	10	10	30	10	10	30
Felsen (F)	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
Anzahl Substrate	9	6	9	11	11	6	6	6	6	6

4.3 Fauna

Insgesamt wurden über alle Standorte verteilt 40 Arten und höhere Taxa gefunden. Das Maximum an bestimmten Arten liegt bei 23 im ersten Quellbachstandort (QB1). Am wenigsten Arten wurden, mit 9 Arten, im sehr stark glazial beeinflussten Standort G2 bestimmt. Die Standorte G1-G3 mit dem stärksten glazialen Einfluss wiesen die geringsten Artenzahlen auf. Die Quell- und Quellbachstandorte (Q1, Q2, QB1, QB2 und QB3), sowie die weniger stark glazial beeinflussten Standorte (G4 und G5) zeigen deutlich höhere Artenzahlen.

Die untenstehende Tabelle zeigt Artenzahlen und die Shannonindex-Werte der Standorte. Es ist kein klares Muster zu erkennen, dass sich die Biodiversität an einem der Standorttypen (Gletscherbach, Quellbach und Quelle) von den anderen deutlich unterscheidet.

Tabelle 6: Artenzahlen und Shannon-Index

Standort	Q1	Q2	QB1	QB2	QB3	G1	G2	G3	G4	G5
Anzahl Arten	16	19	23	11	20	9	5	9	13	19
Shannon-Index	1.6	0.96	1.68	1.55	2.22	1.26	0.78	1.11	1.89	1.84

Vier der gefundenen EPT-Taxa werden als vulnerabel, gefährdet oder sogar vom Aussterben bedroht eingestuft. Alle in der Schweiz vorkommenden Arten der Plecopterenart *Brachyptera* sp. sind stark gefährdet oder sogar vom Aussterben bedroht. Ebenso ist die Art *Isoperla lugens* in der Schweiz von Aussterben bedroht. Weiter werde die gefundene Trichopterenart *Acrophylax zerberus* und die Ephemeropterenart *Ecdyonurus parahelveticus* als vulnerabel eingestuft.

Tabelle 7 zeigt die komplette Artenliste, wobei vor den Namen in der ersten Spalte jeweils ein Kürzel steht. Mit diesem Kürzel werden die Arten in der statistischen Auswertung für eine bessere Übersicht dargestellt.

Tabelle 7: komplette Artenliste

		Q1	Q2	QB1	QB2	QB3	G1	G2	G3	G4	G5
CRAL	<i>Crenobia alpina</i> (Dana, 1766)	10	24	22	15	10	1	0	0	0	1
GATR	<i>Galba truncatula</i> (O. F. Müller, 1774)	0	0	0	44	2	0	0	0	0	0
OSTR	Ostracoda	1	4	9	0	0	0	0	0	0	0
NIPH	<i>Niphargus thienemanni</i> (Schellenberg, 1934)	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
LEBE	<i>Lebertia</i> (Neuman, 1880)	8	52	556	0	0	0	0	0	0	0
BAAL	<i>Baetis alpinus</i> (Pictet, 1843)	5	0	7	0	4	0	0	0	16	18
BASP	<i>Baetis sp.</i> (Leach, 1815)	2	0	1	2	83	9	4	2	173	220
ECPA	<i>Ecdyonurus parahelveticus</i> (Hefti, Tomka & Zurwerra, 1986)	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
ECSP	<i>Ecdyonurus sp.</i> (Eaton, 1868)	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
RHAL	<i>Rhithrogena alpestris</i> (Eaton, 1885)	0	0	0	1	0	0	0	2	31	41
RHSP	<i>Rhithrogena sp.</i> (Eaton, 1881)	0	0	0	1	5	0	0	1	49	99
BRSP	<i>Brachyptera sp.</i> (Newport, 1848)	0	0	0	0	0	51	29	96	31	27
DIAL	<i>Dictyogenus alpinum</i> (Pictet, 1841)	0	0	0	2	6	0	0	0	0	1
ISLU	<i>Isoperla lugens</i> (Klapálek, 1923)	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
ISRI	<i>Isoperla rivulorum</i> (Pictet, F.J., 1841)	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0
LEAR	<i>Leuctra armata</i> (Kempny, 1899)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
LERO	<i>Leuctra rosinae</i> (Kempny, 1900)	1	0	2	0	1	0	0	2	5	4
LESP	<i>Leuctra sp.</i> (Stephens, 1836)	0	1	2	0	31	3	0	3	3	4
NEMI	<i>Nemoura minima</i> (Aubert 1946)	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
NEMO	<i>Nemoura mortoni</i> (Ris, 1902)	0	13	53	0	0	0	0	0	0	0
NESP	<i>Nemoura sp.</i> (Latreille, 1796)	86	24	82	0	14	97	0	0	0	0
PESP	<i>Perloidea sp.</i> (Latreille, 1802)	13	1	4	1	1	0	12	49	6	6
PRBR	<i>Protonemura brevistyla</i> (Ris, 1902)	0	6	11	0	12	0	0	0	28	5
PRNI	<i>Protonemura nimborum</i> (Ris, 1902)	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0
PRSP	<i>Protonemura sp.</i> (Kempny, 1898)	1	0	0	0	16	0	0	0	7	9
HELO	<i>Helophorus</i> (Arnold , 1935)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACZE	<i>Acrophylax zerberus</i> (Brauer, 1867)	0	4	0	2	8	0	0	0	0	0
DRBI	<i>Drusus biguttatus</i> (Pictet, 1834)	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
DRMO	<i>Drusus monticola</i> (McLachlan, 1876)	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
DRMU	<i>Drusus muelleri</i> (McLachlan, 1868)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMN	Limnephilidae	42	108	4	0	0	0	0	0	0	1
ATIB	<i>Atherix ibis</i> (Fabricius, 1798)	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0
ATRI	<i>Atrichopogon</i> (Kieffer, 1906)	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
BLEP	Blephariceridae	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1
CHIR	Chironomidae	126	878	454	27	83	168	151	215	49	54
DISP	<i>Dicranota sp.</i> (Zetterstedt, 1838)	1	5	4	4	10	4	0	0	1	4
EMPI	Empididae	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
LIMO	Limoniidae	0	0	0	0	0	2	2	0	0	1
PSYC	Psychodidae	0	1	74	0	0	0	0	0	0	0
SIMU	Simuliidae	0	0	66	1	56	2	0	0	9	13

4.4 Statistische Auswertung

Die beiden Diagramme zeigen die Resultate der Clusteranalyse (Abb.21). Die Standorte teilen sich in der Clusteranalyse grösstenteils so auf wie erwartet. In den Umweltvariablen grenzen die Gletscherstandorte klar von den Quell- und Quellbachstandorten ab. Zusätzlich teilen sie die Standorte auch nach ihrer Lage auf, nahe beieinanderliegende Standorte liegen gleichermassen in der Clusteranalyse zusammen. In der Fauna ist die Abtrennung zwischen Gletscher- und Quell-/Quellbachstandorten nicht so klar. Der Quellbachstandort QB2 teilt sich allein ab. Die Gruppierung ist hier noch mehr nach der Lage, so liegen Q1, Q2 und QB1 beieinander. Ebenso liegen G1, G2 und G3 beieinander. G4 und G5 liegen nahe beieinander und auch QB3 liegt sehr nahe.

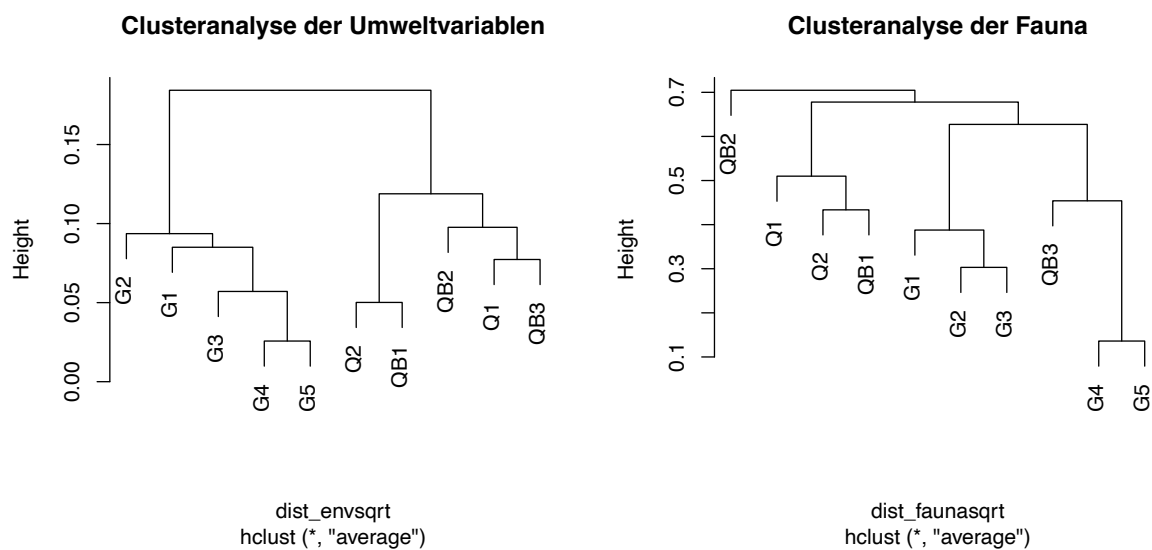


Abbildung 21: Clusteranalyse der Umweltvariablen und Fauna

Das Diagramm zeigt das Resultat der RDA Analyse (Abb.22). Die Pfeile stellen dar, welche Faktoren die Varianz in den Faunadaten erklären. Die erste dargestellte Achse erklärt ca. 52% und die zweite ca. 20% der totalen Varianz. Die ersten beiden Achsen erklären somit ca. 72% der Varianz. Es zeigen sich zwei Haupttendenzen. Erstens ist die Höhelänge ein wichtiger Faktor, die stark negativ mit der Wassertemperatur korreliert. Ebenso liegen die elektrische Leitfähigkeit und der pH-Wert auf der gleichen Achse. Die zweite Haupttendenz ist in Richtung Moos und negativ korreliert dazu in Richtung hohe Trübung und viel Sand-, Ton- und Schluff-Vorkommen. Die Standorte QB1 und Q1 zeigen sich als sehr stark durch das Vorkommen von Moos beeinflusst, was sich auch durch die sehr hohe Abundanzen der Milbengattung *Lebertia* (LEBE) ausdrückt. Die glazial beeinflussten Standorte liegen alle eher in Richtung von hoher Trübung, Sand, Ton und Schluff.

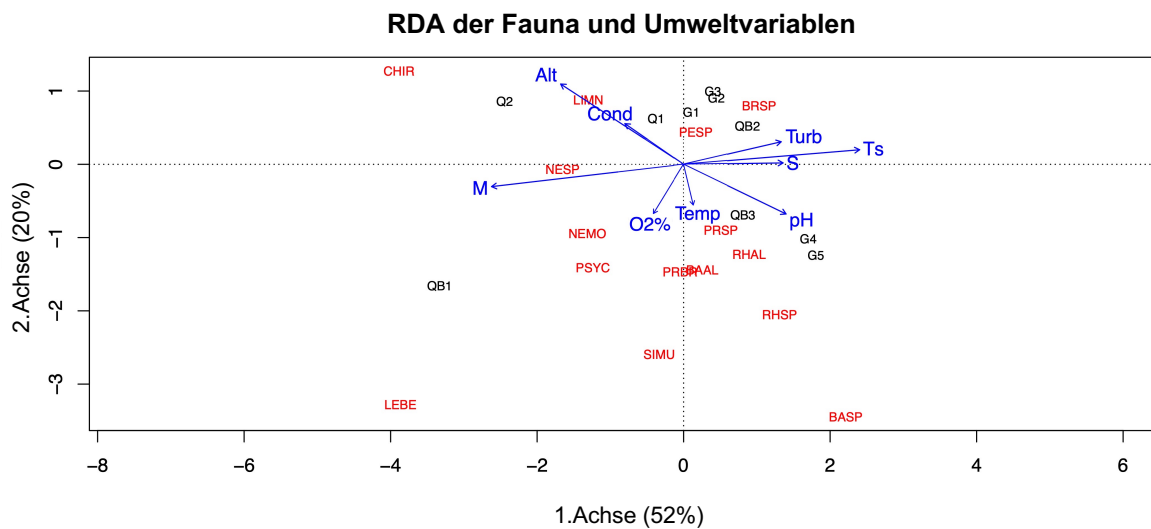


Abbildung 22: Diagramm der RDA-Analyse

Die drei wichtigsten Faktoren aus der RDA Analyse, die Wassertemperatur, die Trübung und das Moosvorkommen wurden linear mit der Anzahl Arten (Abb.23) und dem Shannon-Index (Abb.24) der Standorte korreliert. Beide Analysen zeigen keine signifikante Korrelation. Da der Shannon-Index die Abundanzen der Arten miteinbezieht können sich Unterschiede aufzeigen. Die Korrelationen der Wassertemperatur und der Trübung unterschieden sich kaum zwischen Artenzahl und Shannon-Index. Bei geringen Moosvorkommen sind die beiden Darstellungen gleichermassen sehr ähnlich. Bei sehr hohen Moosvorkommen ist die Artenzahl am höchsten, jedoch der Shannon-Index deutlich tiefer, was hauptsächlich an sehr hohen Abundanzen einzelner Arten liegen wird.

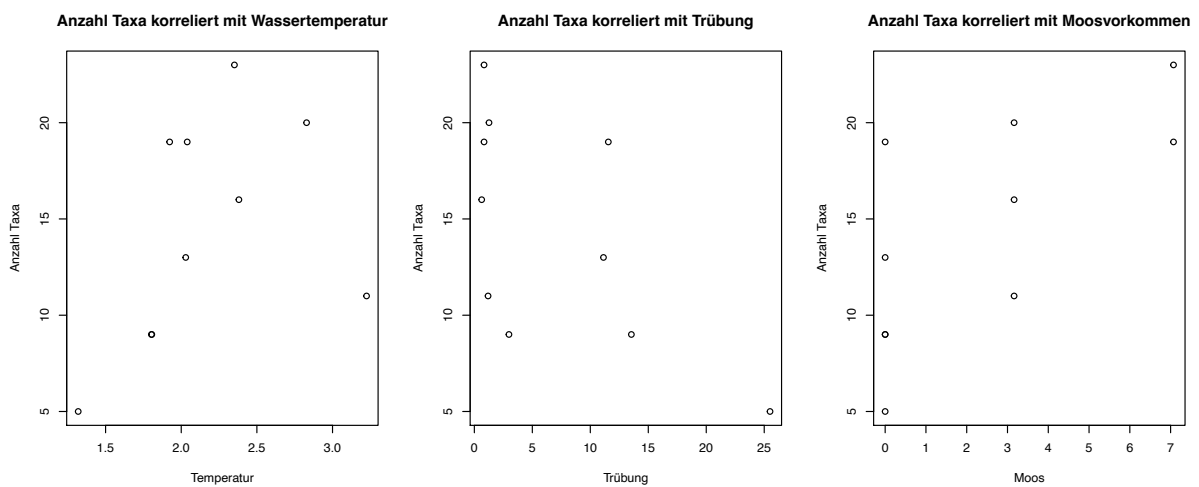


Abbildung 23: Korrelation der Anzahl Taxa

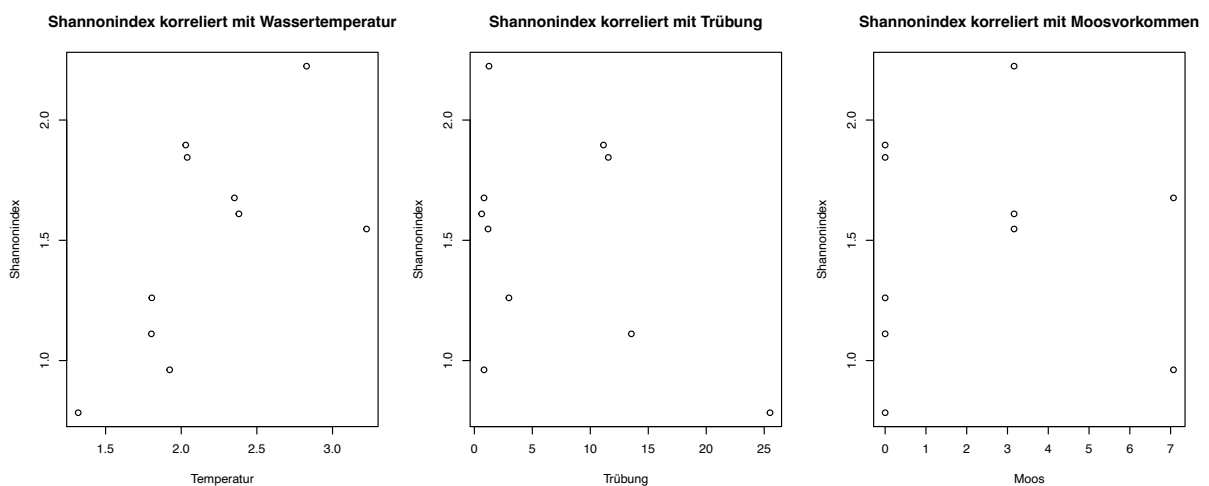


Abbildung 24: Korrelation des Shannon-Index

5. Diskussion

5.1 Methodendiskussion

Die Daten der Temperaturlogger wiesen vor der Bereinigung sehr grosse, unrealistische Schwankungen auf. Es stellt sich die Frage, ob die Messwerte der Logger allein durch die Wassertemperatur beeinflusst werden und ob allfällige andere Einflussfaktoren verhindert werden können. Weil die Logger auch die Lichtintensität messen, sollten sie nicht verdeckt liegen, da ansonsten diese Messwerte verfälscht werden würden. Dadurch, dass die Logger offen in der Sonne liegen, ist es sehr wahrscheinlich, dass sich das Plastikgehäuse des Loggers erwärmen könnte und somit die Temperaturmessungen verfälscht. Die Wassertemperatur ist klar ein wichtiger Faktor, wobei die Lichtintensität je nach Fragestellung nicht wirklich direkt einen wichtigen Einfluss hat. Durch die Messungen der Lichtintensität kann zu Beispiel auch bestimmt werden, wie lange ein Standort von Schnee bedeckt bleibt, was bei Messungen über mehrere Jahre durchaus interessant sein könnte. Dafür müssten die Logger aber nicht offen in der Sonne liegen. Es könnte somit sinnvoll sein, für Studien mit ähnlichen Forschungszielen, wobei die Lichtintensität nicht direkt ausgewertet wird, die Logger nicht frei in der Sonne zu platzieren, sondern etwas verdeckt und somit genauere Temperaturmessungen zu erhalten. Ebenso ein weiterer Kritikpunkt ist die Dauer der Temperaturlogger-Aufnahmen. Es könnte auch weiter interessant sein in folgenden Untersuchungen die Temperaturlogger deutlich länger in den Standorten zu lassen, falls möglich auch über Winter. In den Quell- und Quellbachstandorten wäre dies auf jeden Fall problemlos umsetzbar. In den Gletscherstandorten könnte dies jedoch durch die hohen Abflussschwankungen problematisch sein. Einerseits könnten die Logger bei sehr starken Abflussereignissen anfangs Sommer weggeschwemmt werden oder später im Sommer sehr schnell trockenfallen.

Die bereits bestehenden Faunadaten könnten noch weiter analysiert werden. Individuen, die auf Grund ihrer Grösse nur bis auf Gattungsniveau bestimmt werden konnten, könnten weiter durch DNA-Sequenzierung bestimmt werden. Für potenziell gefährdeten Arten wie zum Beispiel *Brachyptera* könnte dies aufschlussreich sein. Ein weiterer Punkt ist die tiefere Bestimmung der Chironomidae. Besonders die Bestimmung der Unterfamilie der Diamesinae könnte interessant sein, da sie im Verlauf eines glazial beeinflussten Gewässers mit zunehmender Distanz zum Gletscher oder mit längerer Zeit seit des Gletscherrückzugs, zu den ersten vorkommenden Makroinvertebraten gehören (Milner & Petts, 1994). Diamesinae können noch bei Wassertemperaturen unter 4°C vorkommen, Arten der Gattung *Diamesa* sogar bis unter 2°C (Milner & Petts, 1994). Die Zusammensetzung der Makroinvertebraten verändert sich gleichermassen mit den saisonalen Änderungen des Gletschereinflusses (Milner et al., 2001). Aus diesem Grund wäre es sinnvoll mehrere Beprobungen der Makroinvertebraten getrennt auszuwerten. Dadurch können allfällige saisonale Unterschiede erkannt werden, welche bei einer zusammengelegten Auswertung unentdeckt bleiben.

5.2 Ergebnisdiskussion

In der Clusteranalyse der Umweltvariablen teilen sich die Standorte im ersten Schritt klar zwischen glazial und krenal auf. Dies ist jedoch bei der Clusteranalyse der Faunadaten nicht so, hier teilt sich im ersten Schritt der Standort QB2 ab und ebenso wird QB3 in einer Gruppe mit G4 und G5 dargestellt. Warum QB3, G4 und G5 in der Analyse nahe beieinander liegen und somit eine ähnliche Artenzusammensetzung aufweisen lässt sich dadurch erklären, dass die Standorte räumlich sehr nahe beieinander liegen (ca. 100m). In glazial beeinflussten Gewässern kann die Limitierung der Verbreitung ein wichtiger Einflussfaktor auf die Vorkommen von Makroinvertebraten sein (A. M. Milner et al., 2001). Der Standort QB2 liegt im selben Umkreis und somit wäre zu erwarten, dass sich auch QB2 in mit QB3, G4 und G5 gruppiert, was aber nicht so ist. Von Artenzusammensetzung allein sind die Unterschiede zwischen QB2 und QB3 nicht so bedeutend, dass sie allein der Grund für diese Abspaltung sein könnten. Der plausibelste Grund dafür, dass sich QB2 in der Clusteranalyse so früh abspaltet, ist die geringe Individuenzahl. In der Analyse spielt das Vorkommen, sowie die Abundanz eine Rolle und mit nur 100 Individuen schneidet dort QB2 deutlich tiefer ab als die weiteren Standorte. QB2 ist im Laufe des Sommers als erstes trockengefallen, was ein Grund für die geringe Individuenzahl sein könnte.

Die Resultate der RDA-Analyse zeigen wie erwartet und bereits weitreichend belegt die Höhenlage und gleichermassen die Wassertemperatur als wichtige Einflussfaktoren (Cantonati et al., 2006; von Fumetti et al., 2017). Sind jedoch auch Faktoren ersichtlich die auf glazialen Einfluss zurückzuführen sind? In glazial geprägten Fließgewässern sind die Bettstabilität und Wassertemperatur die wichtigsten Einflussfaktoren (A. Milner & Petts, 1994). Die Wassertemperatur der glazialen Gewässer unterscheidet sich in den Resultaten nicht so weit, dass klar abgegrenzt werden könnte und allein anhand der Wassertemperatur auf den glazialen Einfluss geschlossen werden kann. Dies liegt daran, dass die Temperaturen der Quellen gleichermassen sehr tief sind. Der Hauptunterschied zwischen den glazialen und krenalen Standorten ist das Vorkommen von organischen Substraten, wobei sich vor allem das Vorkommen von Moos in der RDA-Analyse als bedeutender Faktor zeigt. Das Vorkommen von Moos könnte auch als Analogie zur Bettstabilität gesehen werden und somit würden die Resultate sich mit dem Konzept von Milner und Petts (1994) decken.

Das Vorkommen von Moos ist gut ersichtlich und relativ einfach quantifizierbar. Es stellt sich die Frage, ob Moosvorkommen definitiv als Indikator für die Bettstabilität angesehen werden kann. Ein Problem dies anhand der Daten dieser Studie zu sagen ist die Verteilung der Moosvorkommen. In den Gletscherstandorten wurde kein Moos gefunden und in den Quell- und Quellbachstandorten hingegen schon. Daraus kann nur geschlossen werden, dass ohne Moosvorkommen die Bettstabilität geringer sein wird, aber es ist dadurch nicht möglich die Bettstabilität graduell zu quantifizieren.

Der Gletscher hat weiter auch einen Einfluss auf die Wassertemperatur. Durch die grossen Mengen an Schmelzwasser aus dem Gletscher bleiben die Wassertemperaturen auch im Sommer tief und die Temperaturfluktuationen fallen geringer aus (Sertić Perić et al., 2021), was sich auch in den Daten dieser Untersuchung zeigt.

Chironomidae machen einen grossen Anteil der Biodiversität aus, jedoch zeigen Studien auch, dass *Rhithrogena sp.* und *Baetis Alpinus* nahe am Gletscherausfluss vorkommen können (Robinson et al., 2001). Diese Beobachtung deckt sich mit den Daten dieser Untersuchung. Besonders in den glazialen Standorten G4 und G5 konnten viele *Baetis Alpinus* und *Baetis sp.* sowie *Rhithrogena sp.* bestimmt werden. Dadurch, dass teilweise auch viele Makroinvertebraten nahe am Gletscherausfluss gefunden werden können, wird die Distanz zum Gletscheraustritt nicht mehr als relevanter Faktor für den Einfluss des Gletschers gezählt, da andere Faktoren wie die Wassertemperatur wichtiger sind (A. M. Milner et al., 2001).

Die gemessenen Ionenkonzentrationen sind sehr tief. Allein die Konzentrationen von Kalzium und Sulfat sind in den Gletscherbachstandorten auffällig höher. Sulfat kann aus biologischen Quellen stammen, was aber in diesem Fall sehr unwahrscheinlich ist. Die einfachste und plausibelste Erklärung ist, dass die höheren Sulfat- und Kalzium- Konzentrationen geologisch bedingt sind. Das Untersuchungsgebiet liegt an der Grenze zwischen Kristallinen- und Sedimentgesteinen. Kalziumsulfat kommt geologisch als das Mineral Gips ($\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) vor. Es ist plausibel, dass diese erhöhten Konzentrationen durch die Aktivität des Gletschers aus dem Gestein in den Abfluss gelangen. Erhöhte Sulfatkonzentration in Gletscherbächen ist ein bekanntes Phänomen und wurde ebenso in Untersuchungen in Blockgletscher-beeinflussten Gewässern festgestellt (Nickus et al., 2015; Tolotti et al., 2015). Blockgletscher-beeinflusste Gewässer weisen sehr ähnliche Bedingungen auf wie Gletscher-beeinflusste Gewässer (Nickus et al., 2015).

Ionenkonzentrationen in glazial beeinflussten Gewässern können mit abnehmendem glazialen Einfluss im Herbst zunehmen (Füreder et al., 2001). Dieses Phänomen ist auch in den Messungen von G4 und G5 sichtbar, wo die SO_4 Konzentrationen im Juli um 10 mg/l und im September um 30 mg/l lagen. Diese saisonal schwankenden Konzentrationen können einen Einfluss auf die jeweilige Nährstoffverfügbarkeit haben (Füreder et al., 2001). Die Konzentration von SO_4 war im Vergleich zu den restlichen Ionenkonzentrationen auffällig hoch, taucht jedoch in den statistischen Analysen nicht mehr weiter auf. Dies bedeutet, dass die Konzentration von SO_4 sehr wahrscheinlich kein relevanter Einflussfaktor auf die Artenzusammensetzung der Makroinvertebraten ist.

Glazial beeinflusste Gewässer wurden im Laufe der Geschichte weniger untersucht als Gewässer in tieferen Lagen (Brittain & Milner, 2001). Mit heutigen Methoden ist die Untersuchung jedoch besser möglich und glazial beeinflusste Ökosysteme könnten für weitere Forschung mit fortlaufendem Klimawandel und Gletscherrückzug wichtig werden (Brittain & Milner, 2001). Mit fortschreitendem Klimawandel wird sich auch das Gebiet des hinteren Lauterbrunnentals stark verändern. Die Gletscher werden immer weniger und schlussendlich komplett verschwinden und somit auch der Einfluss der Gletscher auf die Gewässer immer geringer werden.

Die durchschnittlichen Wassertemperaturen werden ansteigen und die Temperaturamplitude wird zunehmen. Stark an glaziale Bedingungen angepasste Makroinvertebraten können bereits bei dem Rückzug des Gletschers auf weniger als 30% und Wassertemperaturen von über 6°C verschwinden (Lencioni, 2018). Weiter wird die Abflussmenge durch das Wegfallen des Schmelzwassers aus dem Gletscher immer mehr abhängig vom Niederschlag, was auch bedeuten könnte, dass Gewässer im Sommer häufiger periodisch oder sogar schneller komplett trockenfallen. Bis Ende Sommer sind die zwei von drei der untersuchten Quellbachstandorte ausgetrocknet (QB2 und QB3), obwohl der Abfluss deutlich weniger wurde, während nur einer von fünf der Gletscherstandorte trockenfiel (G1). Das frühe Trockenfallen zeigt, dass der Abfluss grösstenteils von Schnee- und Eisschmelze beeinflusst ist und nur zu geringem Teil von Grundwasser (Brown et al., 2003). Das sich verändernde Mischverhältnis zwischen Grund- und Schmelzwasser hat einen grossen Einfluss auf die Biodiversität (Brown et al., 2007). Besonders auf Arten, die sehr stark an Schmelzwasser dominierte Habitate angepasst sind, wird sich der Klimawandel stark auswirken (Brown, Milner, et al., 2007).

Die Analyse des Shannonindex zeigt eine eher tiefe Alpha-Diversität in den untersuchten Standorten, dies heisst jedoch nicht direkt, dass die Biodiversität im Untersuchungsgebiet generell tief ist. In Gebieten mit tiefer Alpha-Diversität kann es sein, dass grosse Unterschiede in der Biodiversität zwischen einzelnen Standorten vorliegen und somit die Beta-Diversität trotz tiefer alpha-Diversität hoch ist (Cantonati et al., 2020). Die Shannonindex Werte sind ähnlich hoch wie in der Studie von Cantonati et al. (2020), jedoch wurde der Shannonindex innerhalb der einzelnen Taxa berechnet und nicht über den gesamten Datensatz. Die Beta-Diversität bezeichnet die Diversität zwischen den Standorten, jedoch wird diese nicht viel höher sein als die Alpha-Diversität innerhalb der Standorte. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Standorten, die in der Cluster Analyse aufgezeigt werden, sind gering und so ist anzunehmen, dass die Beta-Diversität nicht deutlich höher ausfallen wird als die Alpha-Diversität.

Durch die sich Verändernden Umweltbedingungen können einzelne Arten von stromabwärts liegenden Standorten einwandern, was lokal zu einer erhöhten Biodiversität führen kann (Lencioni, 2018). Die gesamten Faktoren, die eine Auswirkung auf die Beta-Diversität haben, sind sehr komplex (Hawkins et al., 2015) und es wären genauere Untersuchungen nötig, um signifikante Aussagen darüber zu treffen.

6. Fazit

Durch das Verschwinden des Gletschers wird eine starke Arealhomogenisierung eintreten. Die glazial und krenal beeinflussten Standorte unterscheiden sich stark in der Substratzusammensetzung und durch den immer geringer werdenden glazialen Einfluss, werden sich diese Standorte immer mehr den krenal beeinflussten angleichen. Eine taxonomische Homogenisierung wird ebenfalls eintreten. Dadurch, dass die Unterschiede in der Fauna zwischen den Standorten geringer sind als in der Substratzusammensetzung, kann angenommen werden, dass diese geringer ausfallen wird als die Arealhomogenisierung.

Durch Störungen kann die Beta-Diversität in einem Gebiet steigen (Hawkins et al., 2015). Dies wird hier jedoch eher nicht der Fall sein, da durch eine Störung in Form von Klimawandel und Gletscherrückzug ökologische Nischen und Habitat verloren gehen und nicht wie durch andere Störungsformen neue geschaffen werden. Trotz eines Anstieges der Alpha-Diversität und der totalen Abundanz an Makroinvertebraten an einzelnen Standorten wird durch die geringeren Mengen an Schmelzwasser die Beta-Diversität sinken (Brown et al., 2007).

Glazialer Einfluss in Fliessgewässern kann massiv zu der Komplexität von Habitaten beitragen und wichtig für viele Pflanzen und Tiere sein (Milner et al., 2009). Dadurch kann der Verlust des Gletschers nicht nur lokal einen Einfluss auf die Biodiversität haben, sondern könnte sich deutlich grossräumiger auswirken. Im Fall des hinteren Lauterbrunnentals wird der Rückzug der Gletscher somit auch einen Einfluss auf die Biodiversität viel weiter unten im Tal haben.

Diese Arbeit hat nur sehr gering an der Oberfläche des Potentials der Untersuchungsgebiets gekratzt. Wie bereits erwähnt gibt es einige Verbesserungsmöglichkeiten für diese Untersuchung, sowie noch viel Potential für weitere Untersuchungen. In tieferen Lagen, im Wald des Naturschutzgebiets nimmt die Häufigkeit von Quellen zu und es gibt auch bereits vom Kanton kartierte, aber nicht bewertete Standorte. Dort, wie auch im Untersuchungsgebiet dieser Arbeit besteht definitiv noch Potential für viele fortführende und neue Untersuchungen.

Literaturverzeichnis

Beierkuhnlein, C. (2006). *Biogeographie, Die räumliche Organisation des Lebens in einer sich verändernden Welt*. Verlag Eugen Ulmers.

Brighenti, S., Tolotti, M., Bruno, M. C., Wharton, G., Pusch, M. T., & Bertoldi, W. (2019). Ecosystem shifts in Alpine streams under glacier retreat and rock glacier thaw: A review. *Science of The Total Environment*, 675, 542–559.

Brittain, J. E., & Milner, A. M. (2001). Ecology of glacier-fed rivers: Current status and concepts: Introduction to the ecology of glacier-fed rivers. *Freshwater Biology*, 46(12), 1571–1578.

Brown, L. E., Hannah, D. M., & Milner, A. M. (2003). Alpine Stream Habitat Classification: An Alternative Approach Incorporating the Role of Dynamic Water Source Contributions. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 35(3), 313–322.

Brown, L. E., Hannah, D. M., & Milner, A. M. (2007). Vulnerability of alpine stream biodiversity to shrinking glaciers and snowpacks. *Global Change Biology*, 13(5), 958–966.

Brown, L. E., Milner, A. M., & Hannah, D. M. (2007). Groundwater influence on alpine stream ecosystems. *Freshwater Biology*, 52(5), 878–890.

Cantonati, M., Fensham, R. J., Stevens, L. E., Gerecke, R., Glazier, D. S., Goldscheider, N., Knight, R. L., Richardson, J. S., Springer, A. E., & Tockner, K. (2021). Urgent plea for global protection of springs. *Conservation Biology*, 35(1), 378–382.

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., Segadelli, S., Spitale, D., Gabrieli, J., Gerecke, R., Angeli, N., De Nardo, M. T., Ogata, K., & Wehr, J. D. (2020). Geological and hydrochemical prerequisites of unexpectedly high biodiversity in spring ecosystems at the landscape level. *Science of The Total Environment*, 740, 140157.

Cauvy-Fraunié, S., Espinosa, R., Andino, P., Jacobsen, D., & Dangles, O. (2015). Invertebrate Metacommunity Structure and Dynamics in an Andean Glacial Stream Network Facing Climate Change. *PLOS ONE*, 10(8), e0136793.

Füreder, L., Schütz, C., Wallinger, M., & Burger, R. (2001). Physico-chemistry and aquatic insects of a glacier-fed and a spring-fed alpine stream.

Freshwater Biology, 46(12), 1673–1690.

Hawkins, C. P., Mykrä, H., Oksanen, J., & Vander Laan, J. J. (2015). Environmental disturbance can increase beta diversity of stream macroinvertebrate assemblages.

Global Ecology and Biogeography, 24(4), 483–494.

Küry, D., Lubini, V., & Stucki, P. (2018). Verletzlichkeit von Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen alpiner Quellen gegenüber Klimaveränderungen. Vulnerability of mayflies, stoneflies and caddisflies in alpine springs towards climate change.

Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt (München), 83, 199–2017.

Lencioni, V. (2018). Glacial influence and stream macroinvertebrate biodiversity under climate change: Lessons from the Southern Alps.

Science of The Total Environment, 622–623, 563–575.

Leyer, I., & Wesche, K. (2007). *Multivariate Statistik in der Ökologie*.

Springer-Verlag.

Leys, C., Ley, C., Klein, O., Bernard, P., & Licata, L. (2013). Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median.

Journal of Experimental Social Psychology, 49(4), 764–766.

Milner, A. M., Brittain, J. E., Castella, E., & Petts, G. E. (2001). Trends of macroinvertebrate community structure in glacier-fed rivers in relation to environmental conditions: A synthesis.

Freshwater Biology, 46(12), 1833–1847.

Milner, A. M., Brown, L. E., & Hannah, D. M. (2009). Hydroecological response of river systems to shrinking glaciers.

Hydrological Processes, 23(1), 62–77.

Milner, A., & Petts, G. (1994). Milner AM, Petts. GE.. Glacial rivers: Physical habitat and ecology. *Freshwater Biology*, 32, 295–307.

Nickus, U., Thies, H., & Krainer, K. (2015). *Hydrologie und Wasserchemie von Blockgletscherbächen*. 12.

Robinson, C. T., Uehlinger, U., & Hieber, M. (2001). Spatio-temporal variation in macroinvertebrate assemblages of glacial streams in the Swiss Alps. *Freshwater Biology*, 46(12), 1663–1672.

Schönborn, W., & Risse-Buhl, U. (2013). *Lehrbuch der Limnologie—Wilfried Schönborn, Ute Risse-Buhl* (2. Auflage). Schweizerbart.

Sertić Perić, M., Nielsen, J. M., Schubert, C. J., & Robinson, C. T. (2021). Does rapid glacial recession affect feeding habits of alpine stream insects? *Freshwater Biology*, 66(1), 114–129.

Tolotti, M., Lösch, B., & Alber, R. (2015). 6 *Permafrost und Gewässerökologie*.

von Fumetti, S., Bieri-Wigger, F., & Nagel, P. (2017). Temperature variability and its influence on macroinvertebrate assemblages of alpine springs. *Ecohydrology*, 10(7), e1878.

Weber, M. (2006). *Erfassung, Bewertung und strukturelle Typisierung naturnaher Quellen im Schweizer Alpenraum*. 149.

Internetquellen

Guide to Statistical Analysis in Microbial Ecology (GUSTA ME)

URL: mb3is.megx.net/gustame [Stand: Mai 2022]

Meteoblue

URL: www.meteoblue.com [Stand: Mai 2022]

Meteo Schweiz

URL: www.meteoschweiz.admin.ch [Stand: Mai 2022]

National Centre for Climate Services NCCS

URL: www.nccs.admin.ch [Stand: Mai 2022]

Pro Natura Bern

URL: www.pronatura-be.ch [Stand: Mai 2022]

The R Project for Statistical Computing

URL: www.r-project.org [Stand: Mai 2022]

UNESCO Welterbe Jungfrau-Aletsch

URL: www.jungfrau-aletsch.ch [Stand: Mai 2022]

Bestimmungsliteratur

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

Glöer, P., Meier-Brook, C. (1998). Süßwassermollusken, Hamburg, Deutscher Jugendbund für Naturbeobachtung

Lubini V., Knispel, S., Vincon, G. (2012) Die Steinfliegen der Schweiz. CSCF (Hrsg.). Fauna Helvetica.

Rozkosny, R., Kniepert, F.-W. (2000). Insecta: Diptera: Stratiomyidae, Tabanidae, Süßwasserfauna von Mitteleuropa 21/18, 19, Heidelberg; Berlin, Spektrum Akademischer Verlag GmbH

Schmedtje, U., Kohmann, F. (1988). Bestimmungsschlüssel für die Saprobier-DIN-Arten (Makroorganismen), München, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft

Waringer, J., Graf, W. (2011) Atlas der mitteleuropäischen Köcherfliegenlarven. Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben.

Anhang

Rohdaten

	20/21.07.2021	31.08.21	28.09.21	28.10.21
Temperatur (°C)				
Q1	4.8	4.6	4.5	
Q2	3	3.5	3.5	3.5
QB1	8	5.3	5.7	4.4
QB2	11.2			
QB3	14	10.7	13.5	
G1	6.5	4.6	2.4	
G2	3	2	1.2	
G3	6	3.4	1.9	0
G4	7.8	5.5	6.9	0.4
G5	7.7	5.5	6.2	1.3

	20/21.07.2021	31.08.21	28.09.21	28.10.21
O2 (%)				
Q1	107.9	106.6	106.4	
Q2	96.2	96	96.5	95.7
QB1	109.4	105.6	106.2	105.5
QB2	92.7			
QB3	102.3	103.8	103.7	
G1	104.7	103.5	102.5	
G2	105.1	103.4	101.7	
G3	102.8	102.5	102.1	101.7
G4	104.1	103	97.2	101.8
G5	103.8	102.4	103.2	102.1

	20/21.07.2021	31.08.21	28.09.21	28.10.21
Cond (µS/cm)				
Q1	126.6	119.7	127.8	
Q2	140.9	143.1	155.1	158.2
QB1	140	145.9	162.9	164.9
QB2	196.9			
QB3	141.7	125	136.7	
G1	113.9	132.6	187.2	
G2	91.9	126	171.5	
G3	110.7	130.2	176	202
G4	87.5	109.3	118.1	174.6
G5	89	110.6	106.5	175.7

	20/21.07.2021	31.08.21	28.09.21	28.10.21
O2 (mg/l)				
Q1	10.98	10.82	10.85	
Q2	10.28	10.05	10.13	10.01
QB1	10.16	10.58	10.52	10.79
QB2	8.26			
QB3	8.53	9.29	8.72	
G1	10.03	10.46	11	
G2	11.1	11.2	11.27	
G3	10.02	10.67	11.1	11.63
G4	10.17	10.52	9.6	11.93
G5	10.06	10.48	10.32	11.56

	20/21.07.2021	31.08.21	28.09.21	28.10.21
pH				
Q1	8	Messwerte unbrauchbar durch defekte Messsonde	8.5	
Q2	9.4		8.2	8.25
QB1	8.7		8.35	8.4
QB2	9			
QB3	9.4		8.3	
G1	8.1		8.4	
G2	8.5		8.6	
G3	8.5		8.5	8.4
G4	9.2		8.3	8.5
G5	9.85		8.3	8.6

	20/21.07.2021	31.08.21	28.09.21	28.10.21
Trübe (NTU)				
Q1	0.83	Keine Messwerte durch fehlendes Messgerät	0.01	
Q2	0.93		1.24	0.01
QB1	2.05		0.01	0.01
QB2	1.36			
QB3	3.11		0.01	
G1	16.53		1.26	
G2	1010		290.5	
G3	338.9		204.1	7.09
G4	116.5		245.2	10.37
G5	89.11		286.4	24.92

Die Quellstandorte wurden zusätzlich mit der Strukturbewertung des BAFU (Lubini et al., 2014) kartiert, was aber schlussendlich in der Arbeit nicht verwendet wurde. Ich möchte die bereits erarbeiteten Daten trotzdem hier aufführen und somit für allfällige Folgestudien zugänglich machen.

Quellen Protokoll - Struktur				Kanton :		ID :	
Quelle: Q1		Datum : 21.07.21		Koordinaten (X/Y) :		633366 150431	
Flurname :		Höhe ü.M. : 2060		BearbeiterIn (leg) :		Andri Bandli	
KOPFDATEN (nicht bewertet, nur Infos) ! Skizze / Bemerkungen / Gefährdung / Massnahmen => auf der Rückseite (wird gescannt) ! Ausfüllen oder zutreffendes ankreuzen ☒							
Austrittsform (Liste)	Sturzquelle	Quelle (Grösse [m ²])	20	Vernetzung	Einzelquelle ☐	Q-system ☒	Q-komplex ☐
Hanglage	Oberhang	Quellbereich [m ²]	50	Dist. zur Nachbarquelle (m)	Anz. Austritte 3		
Abflussrichtung	NO	Quellbachlänge [m]		Bemerkungen			
Geländeneigung	schwach	Wassertemperatur [°C]	4.8	Fotos und andere Dokumente	ID		
Quellschüttung	periodisch	Quellschüttung [l/s]		Trinkwassernutzung	☐	Schutzstatus	☐
mittl. Fliessgesch.	langsam	Leitfähigkeit [µS20/cm]	127	Kulturhistorische Bedeutung	☐		
Bewertung Teil A : Beeinträchtigung Zutreffendes mit "1" markieren ☒				Bewertung Teil B : Vegetation-Nutzung-Struktur Zutreffendes mit "1" markieren ☒			
Einträge/Verbau Fassung neu alt verfallen Brunnenstube mit Überlauf ☐ ☐ ☐ Rohr und Becken ☐ ☐ ☐ nur Rohr/Rinne ☐ ☐ ☐ keine ☒				Vegetation/Nutzung Einzugsgebiet Umfeld Quellbereich Quellufer Quellbach standorttyp. Vegetation ☒ ☐ ☒ ☒ ☒ standortfrem. Vegetation ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Moosgesellschaften ☐ ☐ ☒ ☒ ☒ Zwergstrauchheiden ☒ ☐ ☒ ☐ ☐ Hochstaudenfluren ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Laubwald ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Mischwald ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Gebüsch ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ standorttyp. Nadelwald ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ standortfremd. Nadelwald ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ extensivgenutz. Offenland ☒ ☐ ☐ ☐ ☐ intensivgenutz. Offenland ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Acker/ Sonderkultur ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ unbefestigter Weg ☒ ☐ ☐ ☐ ☐ befestigter Weg/Strasse ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ künstl. veg.-frei/Siedlung ☐ ☐ ☐ ☐ ☐			
Wasserentnahme >60% 30-59% <30% / unbekannt keine ☐ ☐ ☐ ☒ Bemerkung / Zweck :				Sommerbeschattung unbeschattet schwach mittel stark ☐ ☒ ☐ ☐ stark & Überdachung oder Nadelforst ☐			
Verlegung 10-100m <10m unbekannt alt ☐ ☐ ☐ neu ☐ ☐ ☐ keine ☒				Struktur Substrat stark (>50%) mittel (>20%) gering (>1%) ->natürlich Fels/Blöcke (>20 cm) ☐ ☒ ☐ (Kiesel) Steine (6-20 cm) ☒ ☐ ☐ Kies/Schotter (0.2-6 cm) ☐ ☒ ☐ Sand (0.1 - 2 mm) ☐ ☒ ☐ Feinmaterial (<0.1 mm) ☐ ☐ ☒ Moospolster ☐ ☐ ☒ Wurzeln ☐ ☐ ☒ Totholz ☐ ☐ ☒ Pflanzen ☐ ☐ ☐ Falllaub ☐ ☐ ☐ Detritus/Org.Schlamm ☐ ☐ ☒ Kalksinter...* ☐ ☐ ☐ Anzahl Substrate 9 stark (>50%) mittel (>20%) gering (>1%) künstlich ☐ ☐ ☐ ->verändert (nur Infos) Fadenalgen ☐ ☐ ☐			
Aufstau nach <10m nach >=10-49m unbekannt Hauptschluss, 1-5 m2 ☐ ☐ ☐ Hauptschluss, >5 m2 ☐ ☐ ☐ Nebenschluss ☐ ☐ ☐ kein ☒				Strömungsdiversität Spritzwasser ☒ glatt ☒ fließend ☒ überfließend ☒ gerippt ☒ plätschernd ☒ überstürzend ☐ fallend ☐ Anzahl Strömungen 6			
künstlicher Absturz Gesamtabfluss Teilabfluss nein ☐ ☐ ☒				Wasser-Land-Verzahnung gross mittel gering ☐ ☒ ☐			
Verbau* (Ufer, Sohle) stark mittel gering Holz ☐ ☐ ☐ Steinschüttung ☐ ☐ ☐ wilder Verbau ☐ ☐ ☐ Naturstein ☐ ☐ ☐ Beton ☐ ☐ ☐ Verrohrung ☐ ☐ ☐ kein ☒				Besondere Strukturen Laufverzweigung ☒ Inselstruktur ☐ Quellflur ☐ Sandwirbel ☐ gr. Tiefenvarianz ☐ natürl. Pools ☒ Kaskaden ☐ Wasserfall ☐ Fliesshindernisse ☒ Wassermoo ☐ Lückensyst. ☐ Rieselfurt ☐ Anzahl Strukturen 3			
Unterhalt/Trittschäden gering mässig stark keine ☐ ☐ ☐ ☒ Ursache :				Wert A : Beeinträchtigung (höchster Wert) 1 Revitalisierungsobjekt (Einschätzung) JA/NEIN			
Infrastruktur Bänke / Parkplatz ☐ Zuwegung ☐ Trittsteine ☐ Überdachung ☐ Wildfütterstelle ☐ Viehtränke ☐ Feuerstelle ☐ Sonstiges ☐ Anzahl Infr. 0 Sonstiges :				Bewertung / Evaluation 0.6 - 1.8 1.81 - 2.6 2.61 - 3.4 3.41 - 4.2 4.21 - 5.0			
Ablagerung* Deckungsgrad : vollständig teilweise vereinzelt Haus-/ Gewerbemüll ☐ ☐ ☐ Holzabfall ☐ ☐ ☐ Pflanzenabfall ☐ ☐ ☐ Erdaushub/ Bauschutt ☐ ☐ ☐ org. Reste/ Faulschlamm ☐ ☐ ☐ keine ☒				Gesamtergebnis [(A+B)/2]-b 1.23 Quelle nicht bewertbar : ☐ Q. zerstört Zutreffendes ankreuzen [x] ☐ kein Abfluss			
Einleitungen unverdünnt Oberfläche / Strasse ☐ Rohr trocken Drainage / Graben ☐ keine ☒ Distanz zum Quellaustritt (m)				Wert B : Vegetation-Nutzung-Struktur 1.46 Bonus b -0.4 Punkte bei guter Struktur -> Aufwertung - 0			
Klassierung / Classement : naturnah bedingt naturnah mässig beeinträchtigt geschädigt stark geschädigt				Gesamteindruck als Bewertungsvergleich blau grün gelb orange rot			

Quellen Protokoll - Struktur				Kanton :		ID :	
Quelle: Q2		Datum : 21.07.21		Koordinaten (X/Y) :		633664	150442
Flurname :		Höhe ü.M. : 2051		BearbeiterIn (leg) :		Andri Bandli	
KOPFDATEN (nicht bewertet, nur Infos) ! Skizze / Bemerkungen / Gefährdung / Massnahmen => auf der Rückseite (wird gescannt) ! Ausfüllen oder zutreffendes ankreuzen							
Austrittsform (Liste)	Sturzquelle	Quelle (Grösse [m ²])	10	Vernetzung	Einzelquelle ☒	Q-system ☐	Q-komplex ☐
Hanglage	Talage	Quellbereich [m ²]	40	Dist. zur Nachbarquelle (m)			
Abflussrichtung	NO	Quellbachlänge [m]		Bemerkungen			
Geländeneigung	schwach	Wassertemperatur [°C]	3.0	Fotos und andere Dokumente	☐	ID	
Quellschüttung	ganzjährig	Quellschüttung [l/s]		Trinkwassernutzung	☐	Schutzstatus	☐
mittl. Fliessgesch.	mässig	Leitfähigkeit [µS20/cm]	141	Kulturhistorische Bedeutung	☐		
Bewertung Teil A : Beeinträchtigung				Bewertung Teil B : Vegetation-Nutzung-Struktur			
Zutreffendes mit "1" markieren 1				Zutreffendes mit "1" markieren 1			
Einträge/Verbau				Vegetation/Nutzung			
Fassung neu alt verfallen Brunnenstube mit Überlauf ☐ 1 ☐ ☐ Rohr und Becken ☐ ☐ ☐ nur Rohr/Rinne ☐ ☐ ☐ keine ☐				Einzugsgebiet Umfeld Quellbereich Quellufer Quellbach standorttyp. Vegetation ☐ 1 ☐ ☐ ☐ ☐ standortfrem. Vegetation ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Moosgesellschaften ☐ 1 ☐ 1 ☐ 1 ☐ 1 ☐ Zwergstrauchheiden ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Hochstaudenfluren ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Laubwald ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Mischwald ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Gebüsch ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ standorttyp. Nadelwald ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ standortfremd. Nadelwald ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ extensivgenutz. Offenland ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ intensivgenutz. Offenland ☐ 1 ☐ 1 ☐ ☐ ☐ Acker/ Sonderkultur ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ unbefestigter Weg ☐ 1 ☐ ☐ ☐ ☐ befestigter Weg/Strasse ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ künstl. veg.-frei/Siedlung ☐ ☐ ☐ ☐ ☐			
Wasserentnahme >60% ☐ 30-59% ☐ <30% / unbekannt ☐ keine ☐ 1 ☐				Sommerbeschattung unbeschattet ☐ schwach ☐ mittel ☐ stark ☐ 1 ☐			
Verlegung 10-100m ☐ <10m ☐ unbekannt ☐ alt ☐ ☐ ☐ neu ☐ ☐ ☐ keine ☐ 1 ☐				Struktur Substrat stark (>50%) mittel (>20%) gering (>1%) ->natürlich Fels/Blöcke (>20 cm) ☐ ☐ 1 ☐ (Kiesel) Steine (6-20 cm) ☐ ☐ 1 ☐ ☐ Kies/Schotter (0.2-6 cm) ☐ ☐ 1 ☐ ☐ Sand (0.1 - 2 mm) ☐ ☐ 1 ☐ ☐ Feinmaterial (<0.1 mm) ☐ ☐ 1 ☐ ☐ Moospolster ☐ 1 ☐ ☐ ☐ Wurzeln ☐ ☐ 1 ☐ ☐ Totholz ☐ ☐ ☐ ☐ Pflanzen ☐ ☐ 1 ☐ ☐ Fallaub ☐ ☐ ☐ ☐ Detritus/Org.Schlamm ☐ ☐ 1 ☐ ☐ Kalksinter...* ☐ ☐ ☐ ☐			
Aufstau nach <10m nach >=10-49m unbekannt Hauptschluss, 1-5 m2 ☐ ☐ ☐ Hauptschluss, >5 m2 ☐ ☐ ☐ Nebenschluss ☐ ☐ ☐ kein ☐ 1 ☐				Anzahl Substrate stark (>50%) mittel (>20%) gering (>1%) 9 ☐ ☐ ☐			
künstlicher Absturz Gesamtabfluss ☐ Teilabfluss ☐ kein ☐ ☐ 1 ☐				Strömungsdiversität Spritzwasser ☐ glatt ☐ fliegend ☐ überfliegend ☐ gerippt ☐ plätschernd ☐ überstürzend ☐ fallend ☐			
Verbau* (Ufer, Sohle) stark mittel gering Holz ☐ ☐ ☐ Steinschüttung ☐ ☐ ☐ wilder Verbau ☐ ☐ ☐ Naturstein ☐ ☐ ☐ Beton ☐ ☐ ☐ Verrohrung ☐ ☐ ☐ kein ☐ 1 ☐				Wasser-Land-Verzahnung gross ☐ mittel ☐ 1 ☐ gering ☐			
Unterhalt/Trittschäden gering ☐ mässig ☐ stark ☐ keine ☐ ☐ ☐ 1 ☐				Besondere Strukturen Laufverzweigung ☐ Inselstruktur ☐ Quellflur ☐ Sandwirbel ☐ gr. Tiefenvarianz ☐ natürl. Pools ☐ Kaskaden ☐ Wasserfall ☐ Fliesshindernisse ☐ Wassermaos ☐ Lückensyst. ☐ Rieselflur ☐			
Infrastruktur Bänke / Parkplatz ☐ Zuwegung ☐ Trittsteine ☐ Überdachung ☐ Wildfutterstelle ☐ Viehtränke ☐ Feuerstelle ☐ Sonstiges ☐				Anzahl Strömungen 6 ☐ ☐ ☐			
Ablagerung* Deckungsgrad : vollständig teilweise vereinzelt Haus-/ Gewerbemüll ☐ ☐ ☐ Holzabfall ☐ ☐ ☐ Pflanzenabfall ☐ ☐ ☐ Erdaushub/ Bauschutt ☐ ☐ ☐ org. Reste/ Faulschlamm ☐ ☐ ☐ keine ☐ 1 ☐				Einleitungen unverdünn ☐ Oberfläche / Strasse ☐ Rohr trocken ☐ Drainage / Graben ☐ keine ☐ 1 ☐			
Wert A : Beeinträchtigung (höchster Wert) 4 ☐ JA / NEIN ☐				Wert B : Vegetation-Nutzung-Struktur 1.83 ☐ Aufwertung - 0 ☐			
Klassierung / Classement : naturnah bedingt naturnah mässig beeinträchtigt geschädigt stark geschädigt				Gesamtergebnis [(A+B)/2]-b 2.92 ☐ Quelle nicht bewertbar : ☐ Q. zerstört ☐			
Bewertung / Evaluation 0.6 - 1.8 1.81 - 2.6 2.61 - 3.4 3.41 - 4.2 4.21 - 5.0				Zutreffendes ankreuzen [x] ☐ ☐ ☐			

Bildergalerie der Untersuchungsstandorte



Standort Q1



Standort Q2



Standort QB1



Standort QB2



Standort QB3



Standort G1



Standort G2



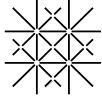
Standort G3



Standort G4



Standort G5



Universität
Basel

Philosophisch-Naturwissenschaftliche
Fakultät



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

Titel der Arbeit: Leben im Extremen

Name Beurteiler*in: PD Dr. Stefanie von Fumetti

Name Student*in: Andri Bandli

Matrikelnummer: 17-050-030

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: Safier 30.5.22 Student*in: A. Bandli

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: _____ Student*in: _____

Ort, Datum: _____ Beurteiler*in: _____

Diese Erklärung ist in die Bachelor-, resp. Masterarbeit einzufügen.