



University  
of Basel

D | Departement  
U | W Umweltwissenschaften

# **Zeitliche und räumliche Variabilität der Lebensgemein- schaften ausgewählter Quellen auf der Macun-Seenplatte (SNP, GR)**

Gian von Moos



Bachelorarbeit  
BSc Geowissenschaften  
Universität Basel  
Juni 2024

Betreuung:  
PD Dr. Stefanie von Fumetti

## Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei allen jenen bedanken, welche mich bei der Durchführung und der Verfassung dieser Arbeit unterstützt haben.

Insbesondere bedanke ich mich bei Dr. Stefanie von Fumetti für die engagierte Betreuung, ihre Unterstützung bei jeglichen Fragen und der Begleitung bei der Probenahme in Macun.

Ich danke dem Schweizer Nationalpark und insbesondere Sonja Wipf für die Ermöglichung der Probenahme sowie die Verpflegung und Unterkunft in Macun.

Weiter danke ich Rolf Mürner für das Korrekturlesen meiner Arbeit und seine konstruktiven Rückmeldungen.

Zum Schluss bedanke ich mich bei meiner Familie für ihre tatkräftige Unterstützung, Dies hat mich immer wieder gepusht und motiviert.

## Abstract

Quellen, insbesondere alpine Quellen, sind einzigartige Ökosysteme mit oftmals vielen endemischen Arten. Ein Aspekt, welcher sie einzigartig macht, sind ihre stabilen abiotischen Bedingungen. Aufgrund ihrer Einzigartigkeit und ihrer hohen Biodiversität sind sie aus der Sicht von Umweltwissenschaftler\*innen stark schützenswert. In dieser Arbeit wurden neun alpine Quellen in Macun im Schweizer Nationalpark untersucht. Diese Quellen werden anthropogen nicht beeinflusst und befinden sich somit in einem natürlichen Zustand. Das Ziel war die weiterführende Untersuchung derselben Quellen, welche bereits im Jahr 2017 von Guillaume Arnet in seiner Bachelorarbeit untersucht wurden. Dabei wurden die Artenzusammensetzung, die Substratzusammensetzung sowie die abiotischen Parameter untersucht und miteinander verglichen. Dieser Vergleich zeigte starke Unterschiede in der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften zwischen den beiden Jahren. Zwar wurden mehrheitlich dieselben Arten gefunden, allerdings in stark unterschiedlichen Proportionen. Um den effektiven Grund für diese Abundanzunterschiede zu ermitteln, wäre ein jährliches Monitoring zum selben Jahreszeitpunkt unter Berücksichtigung des Schneeschmelzeitpunktes nötig.

# Inhalt

1	Allgemeine Einführung Quellen .....	6
2	Untersuchungsgebiet .....	7
3	Methodik .....	10
3.1	Allgemeine Methodik.....	10
3.2	Abiotische Parameter.....	10
3.3	Fauna .....	10
3.4	Laborarbeit.....	11
3.5	Statistische Auswertung.....	12
4	Resultate.....	13
4.1	Quellenbeschreibung .....	13
4.2	Abiotik und Struktur.....	22
4.3	Quellfauna .....	24
5	Statistische Analyse .....	26
5.1	PCA der abiotischen Parameter.....	26
5.2	nMDS der Fauna.....	27
5.3	PCA der Fauna .....	28
6	Methodendiskussion.....	30
7	Ergebnisdiskussion .....	31
8	Literaturverzeichnis .....	36

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des Schweizer Nationalparks (map.geo.admin.ch, 2024).....	7
Abbildung 2: Macun im Schweizer Nationalpark (map.geo.admin.ch, 2024).....	8
Abbildung 3: Nahaufnahme Macun (map.geo.admin.ch, 2024) .....	9
Abbildung 4: Standorte der Quellen in Macun .....	13
Abbildung 5: Foto Quelle Macun1 .....	14
Abbildung 6: Foto Quelle Macun1 .....	14
Abbildung 7: Foto Quelle Macun2 .....	15
Abbildung 8: Foto Quelle Macun2 .....	15
Abbildung 9: Foto Quelle Macun3 .....	16
Abbildung 10: Foto Quelle Macun3.....	16
Abbildung 11: Foto Quelle Macun4.....	17
Abbildung 12: Foto Quelle Macun4.....	17
Abbildung 13: Foto Quelle Macun6.....	18
Abbildung 14: Foto Quelle Macun6.....	18
Abbildung 15: Foto Quelle Macun7.....	19
Abbildung 16: Foto Quelle Macun7.....	19
Abbildung 17: Foto Quelle Macun8.....	20
Abbildung 18: Foto Quelle Macun8.....	20
Abbildung 19: Foto Quelle Macun9.....	21
Abbildung 20: Foto Quelle Macun9.....	21
Abbildung 21: PCA der abiotischen Parameter und den untersuchten Quellen.....	26
Abbildung 22: nMDS der acht untersuchten Quellen aus den Jahren 2017 und 2023 .....	27
Abbildung 23: PCA der Fauna 2023 .....	28
Abbildung 24: PCA der Fauna 2023 und 2017.....	29
Abbildung 25: Schneehöhen auf Macun im Jahr 2017 und 2023 .....	35

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abiotik & Struktur.....	22
Tabelle 2: Substratvorkommen .....	23
Tabelle 3: Physikalische Parameter .....	23
Tabelle 4: Artenliste Macun 2023.....	25

# 1 Allgemeine Einführung Quellen

Quellen werden aus hydrogeologischer und ökologischer Sicht unterschiedlich betrachtet. In der Hydrogeologie wird eine Quelle als der definierte und stark eingegrenzte Ort beschrieben, an dem Grundwasser an die Oberfläche kommt (Cantonati et al., 2006). Quellen sind also die Schnittstelle zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser (von Fumetti et al., 2017). In der Ökologie werden Quellen, zu welchen der Quellausfluss und der Quellbach zählt als komplexe Lebensräume mit einzigartigen Eigenschaften betrachtet. Quellen zeichnen sich als kleine, aber artenreiche Ökotope aus, welche eine mosaikartige Anordnung haben. Diese mosaikartige Struktur ist verantwortlich für die grosse Heterogenität von Quellen, welche zu einer grossen Zahl von Mikrohabitaten führt (Cantonati et al., 2006). Zusammen mit der konstanten Wassertemperatur, der grossen Substratvielfalt und dem damit einhergehenden breiten Nahrungsangebot, ist dies einer der Hauptgründe für die hohe Biodiversität von Quellen. Der ökotonale Charakter von Quellen sorgt dafür, dass diese hauptsächlich von Krenobionten (= Quellenspezialisten) besiedelt werden (Cantonati et al., 2006; fumetti et al., 2017). Quellen sind oft disjunkte Biotope und somit von umliegenden Habitaten und deren Einflüssen abgegrenzt (Cantonati et al., 2006). Ihre physikalischen und chemischen Parameter werden hauptsächlich von denen des Grundwasserleiters bestimmt. Jedoch auch die Saisonalität sowie direkte und indirekte Einflüsse können eine Auswirkung auf Veränderungen in der Physikochemie von Quellen haben. Da Quellen von Grundwasser gespeisen werden, sind diese ein guter Indikator für die Grundwasserqualität. Trotz ihrer Komplexität und Einzigartigkeit haben sie bisher wenig Aufmerksamkeit geschenkt bekommen, was sie durch direkte und indirekte Einflüsse zu gefährdeten Habitaten macht. In stark landwirtschaftlichen, waldwirtschaftlichen oder industriellen Regionen sind Quellen womöglich die letzten Süsswasserhabitate, welche nur wenig beeinträchtigt werden und somit als Refugien für jegliche Lebewesen dienen können.

Traditionell werden Quellen in drei Typen klassifiziert. Die Klassifizierung erfolgt nach der Austrittsform des Wassers aus der Quelle. Man unterscheidet zwischen der Tümpelquelle (= Limnokrene), der Sumpfquelle (= Helokrene) und der Sturzquelle (= Rheokrene). In der Realität sind jedoch die meisten Quellen eine Mischung zwischen verschiedenen Kategorien (Cantonati et al., 2006).

Das Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung von neun Quellen auf der Seenplatte in Macun, welche bereits im Jahr 2017 in der Bachelorarbeit von Guillaume Arnet untersucht wurden, sowie einen Vergleich dieser Quellen zum Jahr 2017 zu machen. Die Quellen wurden anhand ihres Bestandes von Makroinvertebraten und ihrer abiotischen Parameter charakterisiert. Ein weiteres grosses Ziel dieser Arbeit war der Vergleich mit den erhobenen Daten aus dem Jahr

2017. Diese Arbeit soll zeigen, wie sich der Quellbestand und die Queldynamik in den letzten sechs Jahren verändert haben und was die Ursache für allfällige Veränderungen ist.

## 2 Untersuchungsgebiet

Die untersuchten Quellen liegen auf der Macun-Seenplatte, welche seit dem 1. August 2000 zur erweiterten Kernzone des Schweizerischen Nationalparks gehört. Der Schweizerische Nationalpark liegt inmitten der Alpen in der Südostschweiz im Kanton Graubünden. Die Abbildung 1 zeigt die Lage des Schweizer Nationalparks in der Schweiz.

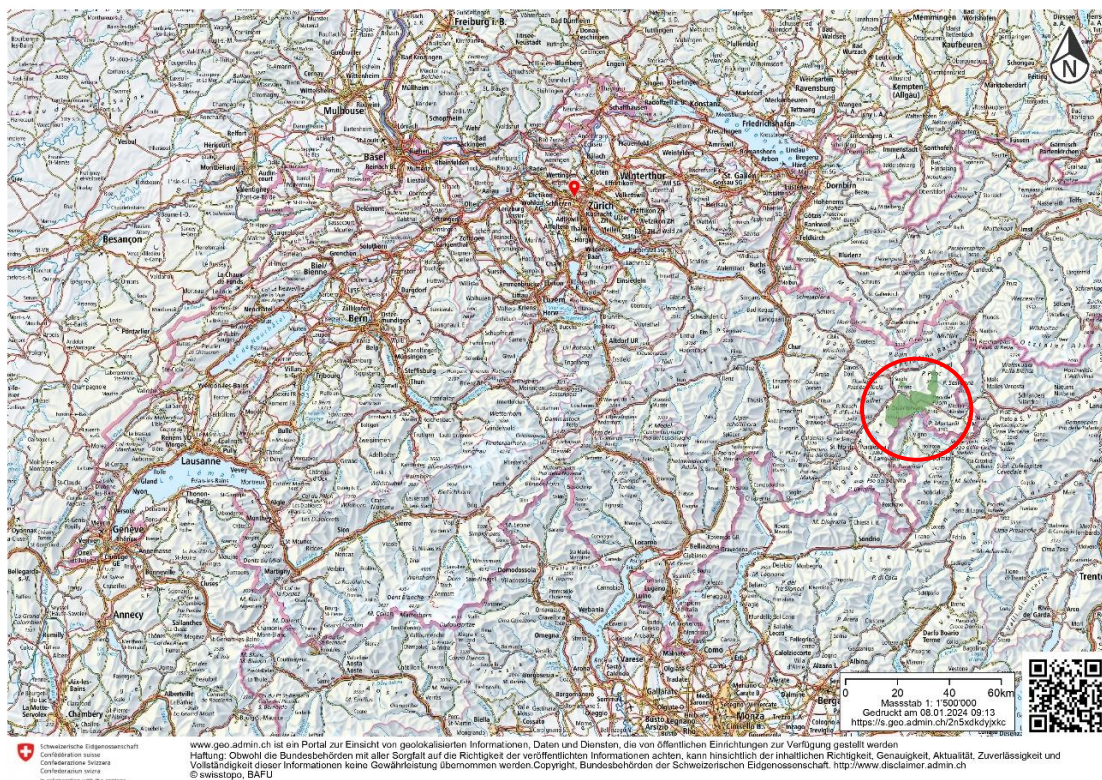


Abbildung 1: Lage des Schweizer Nationalparks (map.geo.admin.ch, 2024)

Macun ist 3.6 km<sup>2</sup> gross, erstreckt sich von 2500 bis auf 3100 Meter über Meer und liegt somit vollständig über der Baumgrenze (Inderbitzin & Pointer, 2000; Lods-Crozet et al., 2012). Die Seenplatte, auf welcher die Quellenbeprobung stattgefunden hat, befindet sich auf 2600 Meter über Meer. Die Abbildung 2 zeigt die Lage von Macun in welcher gut ersichtlich ist, dass Macun vom Rest des Schweizer Nationalparks abgetrennt ist. Die Region beherbergt 23 kleinere und grössere Bergseen (myswitzerland.ch, 2024). Der Einfluss des hochalpinen Klimas führt zu spärlicher Vegetation. Das Landschaftsbild, welches in Abbildung 3 gut ersichtlich ist, ist von Blockgletschern, Rundhöckern und Seen geprägt. Es ist durch periglaziale Prozesse entstanden und wird immer noch davon beeinflusst (Inderbitzin & Pointer, 2000). Macun liegt auf kristallinem Grundgestein (Orthogneis). Die Seenplatte kann in ein Nordbecken und in ein Südbecken unterteilt werden, wobei das Nordbecken hauptsächlich mit Wasser aus der Schneeschmelze und dem Grundwasser und das Südbecken hauptsächlich mit Wasser aus der Schmelze der Blockgletscher gespeisen wird (Lods-Crozet et al., 2012). Macun verzeichnet einen durchschnittlichen jährlichen Niederschlag von über 1600 mm, welcher vorwiegend im Sommer und Herbst fällt. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei -2 Grad Celsius (Inderbitzin & Pointer, 2000).

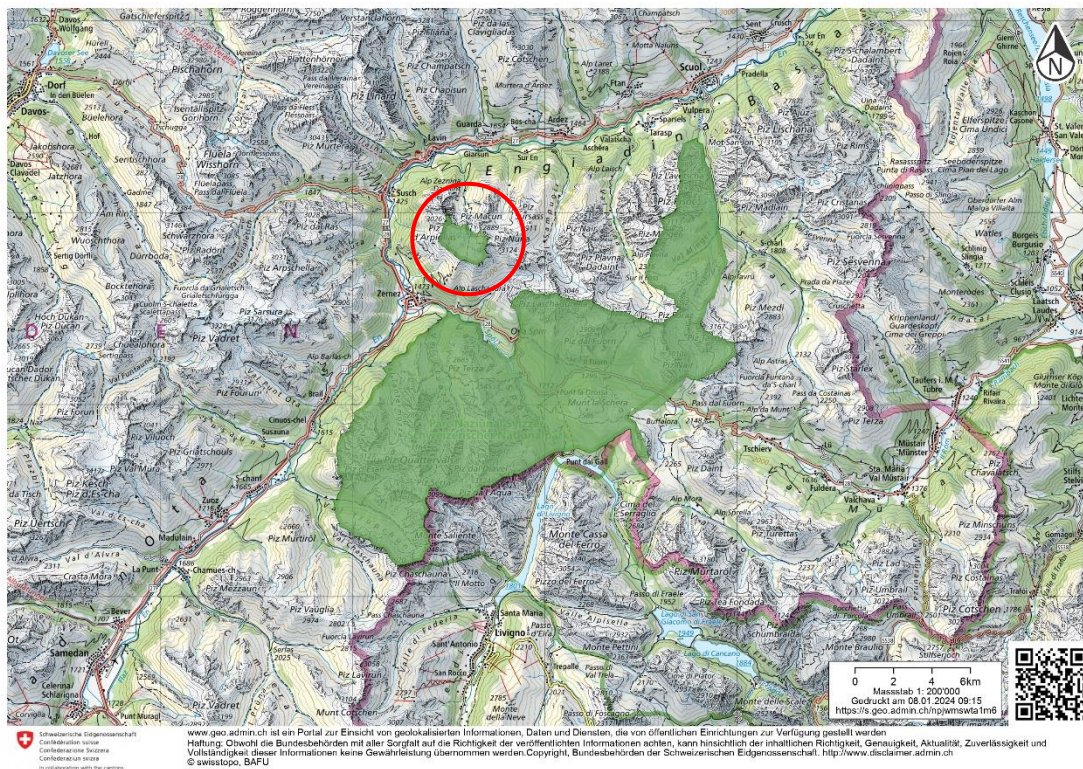


Abbildung 2: Macun im Schweizer Nationalpark (map.geo.admin.ch, 2024)



Als eine periglaziale Zone ist in Macun die Frostsprengung der dominante Verwitterungsprozess. Auch Permafrost ist ein wichtiger Bestandteil von Macun. Einen bedeutenden Einfluss auf den Permafrost hat die Vegetation. Vegetationsbedeckte Böden sind durch die Isolationswirkung der Vegetation kälter als vegetationslose Böden, was zu geringerem Auftauen von Permafrost führt. Die Schneedecken, welche bis in den August hinein liegen bleiben können, haben einen noch größeren isolierenden Effekt auf den Permafrost. Frostsprengung, das Auftauen von Permafrost und das teils starke Relief sorgen für große gravitative Massenbewegungen. Diese prägen das heutige Landschaftsbild (Inderbitzin & Pointer, 2000).

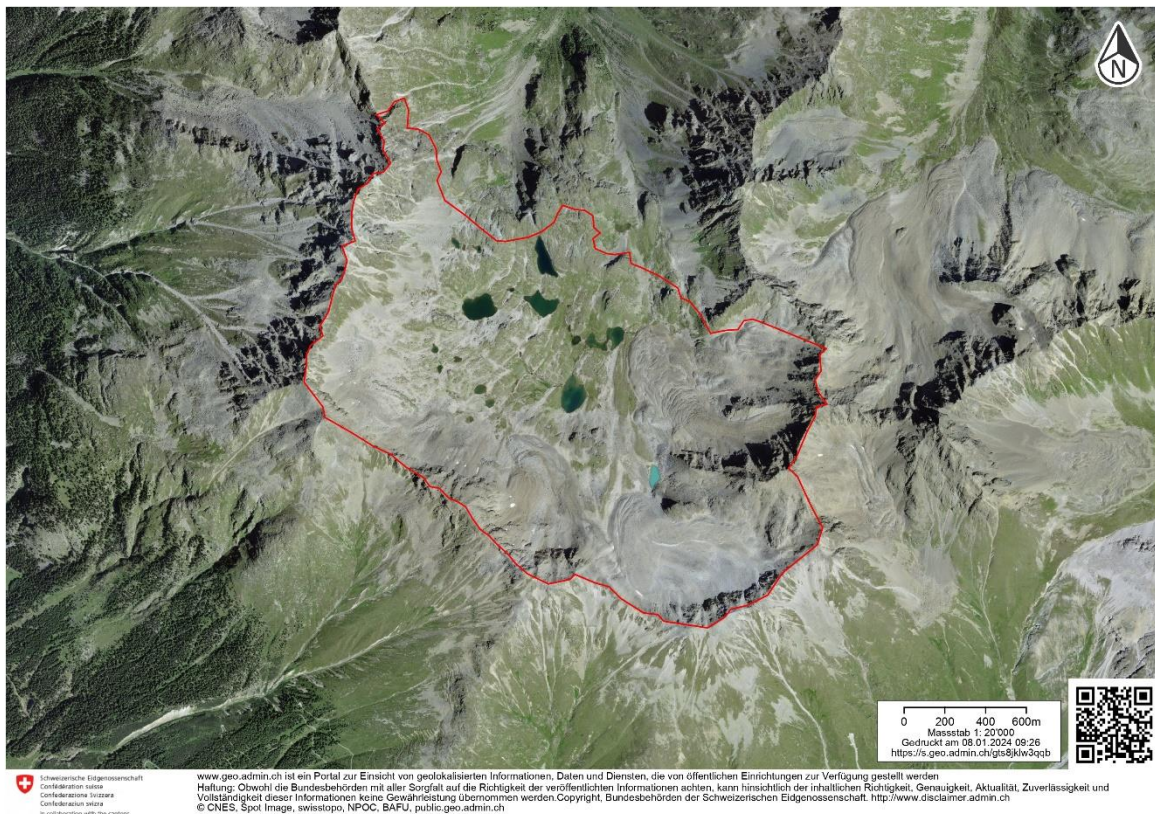


Abbildung 3: Nahaufnahme Macun (map.geo.admin.ch, 2024)

## 3 Methodik

### 3.1 Allgemeine Methodik

Die 9 Quellen, welche untersucht werden sollten, waren dieselben, welche bereits im Jahr 2016 von Guillaume Arnet im Rahmen seiner Bachelorarbeit untersucht worden sind. Somit standen die Standorte der Quellen bereits im Vorhinein fest. Die Nummerierung der Quellen wurde der Nummerierung von Guillaume Arnet gleichbehalten. Die Quelle 5 fehlt, da festgestellt wurde, dass diese nicht mehr vorhanden ist. Als Orientierungsmittel diente eine Karte von Macun, auf welcher die jeweiligen Quellstandorte bereits eingezeichnet waren (Anhang 1). Die Quellen wurden an den zwei Tagen 24.07.2023 und 25.07.2023 beprobt.

### 3.2 Abiotische Parameter

Von jeder Quelle wurde mit einem Multi 350i-Messgerät der pH, der Sauerstoffgehalt, die Wassertemperatur und die Leitfähigkeit gemessen. Diese chemisch-physikalischen Parameter wurden jeweils in dem Bereich der Quelle mit dem tiefsten Wasserstand gemessen. Zudem wurden von jeder Quelle die darin vorhandenen Substrattypen aufgenommen. Dabei wurde von Auge abgeschätzt, wie gross der prozentuale Flächenanteil der jeweiligen Substrate in der Quelle ist.

### 3.3 Fauna

Die Proben wurden unmittelbar im Bereich des Quellaustritts und je nach Quelle 10 – 20 Meter unterhalb des Quellaustritts im Quellbach genommen. Dabei wurde von unten nach oben gearbeitet, sodass durch das Aufwühlen des Substrats darunter liegende Quellabschnitte nicht beeinflusst wurden. Von jeder Quelle wurden vor der Probenahme Fotos gemacht, welche der späteren Analyse der Quellen dienen sollten. Pro Quelle wurde an ca. 8 verschiedenen Stellen, welche optimalerweise verschiedenes Substrat aufwiesen, das Substrat aufgewühlt und vorsichtig mit der Hand entlang der Fliessrichtung in einen Handkescher, mit einer Maschenweite von 500µm, gespült. Der Handkescher wurde einem Surbersampler vorgezogen, da die Benutzung eines Surbersamplers in dem oft sehr steinigen Substrat und wegen der geringen Wassertiefe ungünstig gewesen wäre. Das im Handkescher gesammelte Substrat wurde zuerst in eine Weisschale geleert, in welcher grosse Substratpartikel entfernt wurden und anschliessend mit einem Sieb gesiebt, um verschieden grosse Substratpartikel voneinander zu trennen. Dies sollte das Aussortieren der Organismen im Labor einfacher gestalten. Das gesammelte und aufgetrennte Substrat wurde dann, je nach Quelle und Unterschiedlichkeit der Partikelgrössen, in 2 – 3 Becher gekippt, welche anschliessend mit Ethanol aufgefüllt und mit einem Zettel beschriftet wurden. Das in den Bechern in Ethanol eingelegte Substrat wurde

anschliessend im Kühlschrank gelagert, sodass die Organismen über den Bestimmungszeitraum hinweg intakt blieben.

### 3.4 Laborarbeit

Die Arbeit im Labor bestand darin, die Organismen im ersten Schritt aus dem Substrat auszusortieren. Anschliessend wurden die Organismen bestimmt und eine Artenliste der 8 Quellen erstellt. Bei beiden dieser Schritte wurde jeweils mit der Quelle 1 begonnen und dann Nummer für Nummer durchgearbeitet. Das Entfernen der Organismen aus dem Substrat wurde unter einem Binokular mithilfe einer Pinzette gemacht. Dabei wurde immer jeweils ein Teelöffel Substrat in eine Petrischale gebracht, diese unter ein Binokular gelegt, und schliesslich wurden die Organismen mithilfe einer Pinzette aus dem Substrat entfernt. Die entfernten Organismen wurden der vermuteten Familie zugeteilt und sortiert. Die sortierten Organismen wurden in einem kleineren, beschrifteten Becher aufbewahrt. Die Bestimmung der Organismen erfolgte ebenfalls unter dem Binokular. Als Bestimmungsliteratur wurden die Werke von Freude et al. (1971), Sundermann & Lohse (2004), sowie Waringer & Graf (2011) verwendet. Einige Organismen konnten allerdings nur auf Gattungsniveau oder sogar nur auf Familienniveau bestimmt werden. Grund dafür war zum einen, dass nur mit einem nicht hochauflösenden Binokular bestimmt wurde, und zum anderen der oftmals schlechte Zustand der Organismen. Die Familie Coleoptera wurde zusätzlich unter einem höher auflösenden Binokular bestimmt, welches es möglich machte, die Coleopteren auf Artniveau zu bestimmen. Die daraus resultierende Artenliste wurde in Excel formatiert.

### 3.5 Statistische Auswertung

Um die Quellen bezüglich ihrer Fauna und ihrer abiotischen Faktoren auf ihre Ähnlichkeiten, respektive Gemeinsamkeiten zu testen, wurden in zwei verschiedenen statistischen Programmen jeweils statistische Analysen durchgeführt. Die Programme PRIMER 7.0 (Clarke & Gorley, 2006) und CANOCO 5 (Ter Braak & Smilauer, 2012) waren dafür am besten geeignet. Um eine Ähnlichkeit in der Fauna zwischen den verschiedenen Quellen sowohl aus dem Jahr 2023 als auch aus dem Jahr 2017 abzubilden, wurden zuerst die Anzahl Individuen pro Taxa summiert und anschliessend in einer species-site Matrix dargestellt. Diese summierten Werte wurden anschliessend mit der Formel ( $\log(x+1)$ ) transformiert und umgerechnet. Mit diesen transformierten Werten wurde mit der Bray-Curtis-Similarity eine Ähnlichkeitsmatrix erstellt (Leyer & Wesche, 2007). Mittels nMDS (nonmetric Multidimensional Scaling) wurde schliesslich eine Graphik erstellt, die zeigt, welche Quellen sich in ihrer Artenzusammensetzung ähnlich sind. Je näher sich die Quellen in dieser zweidimensionalen Abbildung sind, desto ähnlicher ist ihre Artenzusammensetzung. Die erhaltene zweidimensionale Graphik wird durch den Stresswert bezüglich ihrer Präzision bewertet, wobei ein Stresswert von  $<0.1$  die Graphik gut abbildet und ein Stresswert von  $<0.2$  die Graphik genügend abbildet (Clarke & Gorley, 2006).

Mithilfe einer Hauptkomponentenanalyse (PCA, Principal Components Analysis) wurde für die Daten von 2023 analysiert, welche abiotischen Parameter die jeweiligen Quellen stark prägen. Da in der PCA sowohl die wichtigsten Substrate als auch die wichtigsten Ionen als Parameter benutzt wurden, mussten ihre Werte zuerst normiert werden. In die PCA eingeflossen sind die abiotischen Parameter Detritusaufgabe, Steine, Blöcke, Leitfähigkeit, Mg, K, Ca, F, NO<sub>3</sub> und SO<sub>4</sub>. Die PCA mit den normierten Werten basiert auf der Annahme, dass die abiotischen Parameter untereinander korrelieren. Der von der PCA herausgegebene Wert für die Korrelation von den abiotischen Parametern wird als Ladung bezeichnet. Bei der Hauptkomponentenanalyse werden neue Achsen erstellt, welche die Hauptkomponenten darstellen. Der Eigenwert einer Hauptkomponente ergibt sich aus der Summe aller der darauf enthaltenen Ladungen (Leyer & Wesche, 2007).

Mit einer weiteren PCA wurde analysiert, welche Taxa welche Quellen am meisten beeinflussen. Es wurden insgesamt zwei weitere Hauptkomponentenanalysen gemacht, eine mit ausschliesslich der Artenzusammensetzung aus dem Jahr 2023 und eine mit der Artenzusammensetzung aus dem Jahr 2023 einschliesslich derer aus dem Jahr 2017.

## 4 Resultate

### 4.1 Quellenbeschreibung

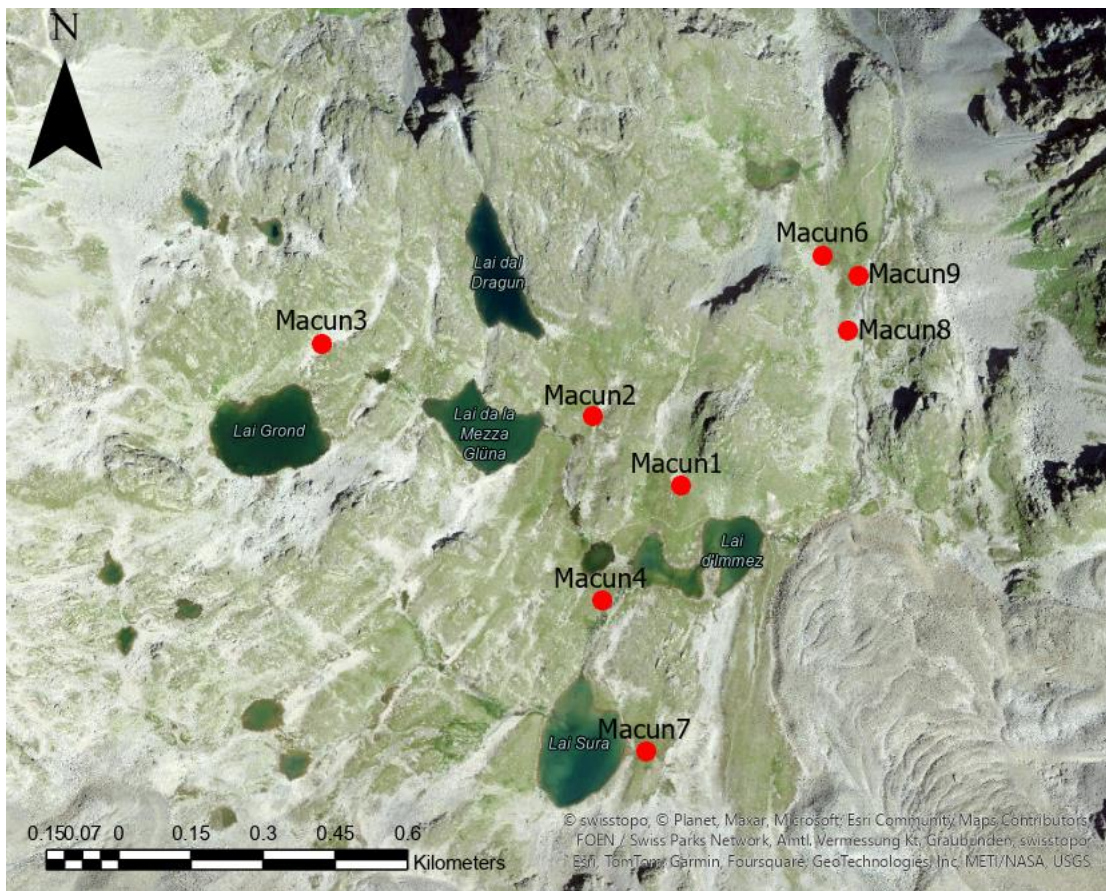


Abbildung 4: Standorte der Quellen in Macun

## Macun1

Die Quelle Macun1 hat einen kleinen Quellaustrittsbereich, dafür einen langen Quellbach von ca. 80 Metern. Die Quelle entspringt nördlich des «Lai d'immez» in einem eher flachen Gefälle und fließt in diesen. Es sind keine direkten Beeinträchtigungen erkennbar, ausser dass ein Wanderweg den unteren Quellbach durchquert. Die Quelle ist in einem natürlichen Zustand. Da keine umliegende höhere Vegetation oder Felsen vorhanden sind, ist Macun1 zu jeglichen Witterungen stark exponiert. Es handelt sich um eine Sturzquelle (Rheokrene), welche langsame bis mittlere Fliessgeschwindigkeiten aufweist. Als dominierendes Substrat, mit ca. 90 %, liegt eine Detritusauflage vor. Doch auch andere Substrate wie Moospolster, Kies, Steine, Blöcke und Vegetation sind in Macun1 aufzufinden.



Abbildung 5: Foto Quelle Macun1

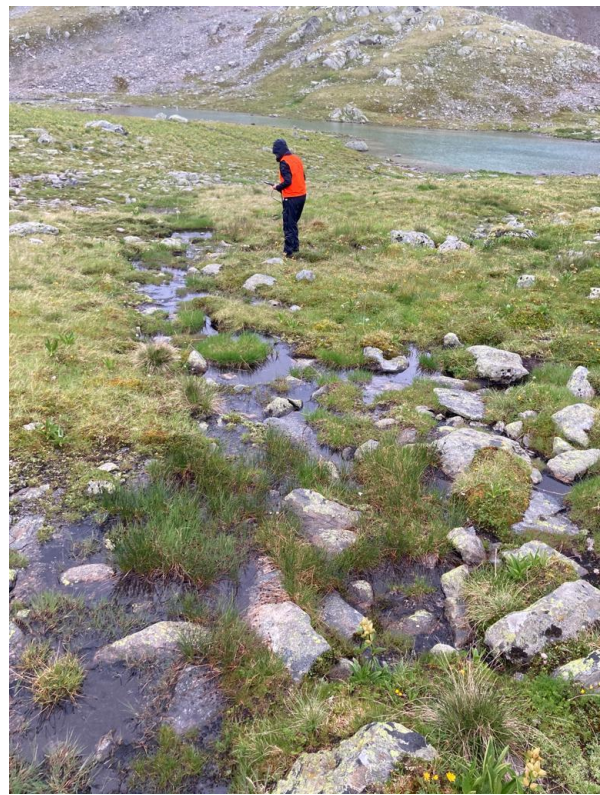


Abbildung 6: Foto Quelle Macun1

## Macun2

Die Quelle Macun2 entspringt östlich des «Lai de la Mezza Glüna» und fliesst in dessen Abflussbach und mit diesem schliesslich in den Lai d'immez. Der Quellbach hat eine Länge von ca. 30 Metern und hat ein mittleres Gefälle. Macun2 weist keine direkten Beeinträchtigungen auf und befindet sich somit in einem natürlichen Zustand. Wie auch bei Macun1 ist Macun2 jeglichen Witterungen vollkommen ausgesetzt. Die Sturzquelle (Rheokrene) weist langsame bis mittlere Fliessgeschwindigkeiten auf. Macun2 weist eine grosse Substratvielfalt auf, wobei Feinkies, Steine, Blöcke und die Detritusauflage dominieren. Es sind auch Moospolster, Vegetation und Mittel-Grobkies vorzufinden.



Abbildung 7: Foto Quelle Macun2



Abbildung 8: Foto Quelle Macun2

### Macun3

Die Quelle Macun3 entspringt nördlich des Lai Grond und ihr Quellbach mündet schliesslich in diesen. Die Quelle hat mit ihrem Quellbach zusammen eine Länge von ca. 50 Metern. Das Wasser tritt unter einem Geröllfeld an die Oberfläche, weshalb die Beprobungen nur im Quellbach getätigt wurden. Der Quellbach geht in seiner Fliessrichtung von einem flachen in ein steiles Gefälle über, wobei die Fliessgeschwindigkeit langsam bis mittel ist. Es sind keine anthropogenen Störungen erkennbar, weshalb sich die Quelle in einem natürlichen Zustand befindet. Da die Quelle unter einem Geröllfeld entspringt, ist sie der Witterung gegenüber gut geschützt. Die Sturzquelle (Rheokrene) Macun3 weist eine grosse Substratvielfalt auf. Dominierend sind Steine und Blöcke, aber auch Feinkies, Mittel-Grobkies und Vegetation sind reichlich vorhanden. Sand, Moospolster und Detritusauflage sind nur spärlich vorzufinden.



Abbildung 9: Foto Quelle Macun3

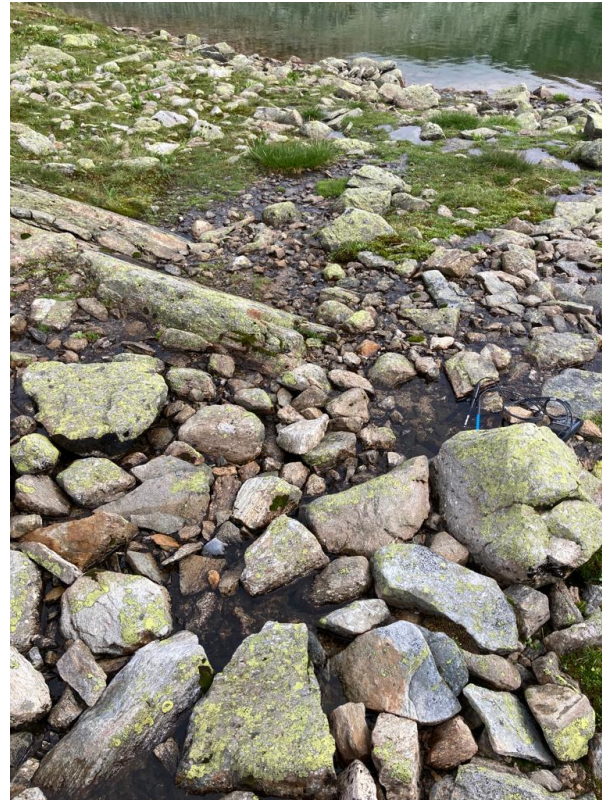


Abbildung 10: Foto Quelle Macun3



## Macun4

Die Quelle Macun4 befindet sich zwischen den beiden Seen Lai Sura und Lai d'immez und mündet in den Bach, welcher diese beiden Seen verbindet. Es ist eine eher kleine Quelle mit einem ca. 8 Meter kurzen Quellbach. Die Quelle weist nur langsame Fliessgeschwindigkeiten in einem mittleren Gefälle auf. Macun4 ist keinen äusseren Störungen ausgesetzt und befindet sich somit in einem natürlichen Zustand. Der Witterung gegenüber ist diese Quelle vollkommen ausgesetzt. Macun4 ist ebenfalls eine Sturzquelle (Rheokrene). Sie zeichnet sich durch ihre grosse Menge an Vegetation als Substrat aus. Neben der Vegetation ist die Detritusauf-lage und der Mittel-Grobkies das häufigste Substrat. Moospolster, Sand, Feinkies, Steine und Blöcke sind in kleineren Mengen ebenfalls vorzufinden.



Abbildung 11: Foto Quelle Macun4



Abbildung 12: Foto Quelle Macun4

## Macun6

Die Quelle Macun6 befindet sich am Rand des Nationalparks. Der Quellbach von Macun6 fließt gegen Norden und mündet schlussendlich in den Abfluss des nördlich gelegenen Sees. Die Quelle entspringt nur wenige Meter oberhalb eines Wanderweges und der Quellbach durchquert diesen Weg. Der Wanderweg hat zwar einen direkten Einfluss auf die Quelle, dennoch befindet diese sich in einem natürlichen Zustand. Macun6 ist flächenmässig eine grosse Quelle mit einem langen Quellbach, welcher ca. 90 Meter lang ist. Die Quelle hat eine geringe Schüttung in einem flachen Gefälle. Die Sturzquelle (Rheokrene) ist weder von Vegetation noch Felsen umgeben und somit der Witterung komplett ausgesetzt. In dieser Quelle wurden 8 verschiedene Substrattypen gefunden. Neben Steinen, welche das häufigste Substrat in Macun6 sind, sind auch viel Mittel-Grobkies und Blöcke vorzufinden. An einzelnen Stellen ändert sich das Substrat zu Moospolster, Detritusauflage, Vegetation, Sand oder Feinkies.



Abbildung 13: Foto Quelle Macun6

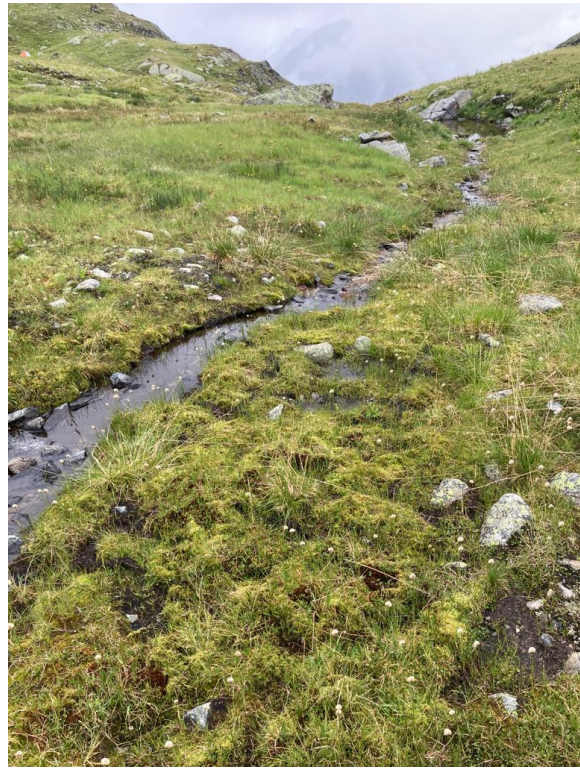


Abbildung 14: Foto Quelle Macun6

## Macun7

Die Quelle Macun7 unterscheidet sich in ihrer Form stark von den anderen untersuchten Quellen. Die Charakteristik der Quelle macht hauptsächlich ihre grosse Ausdehnung aus. Auch wenn sie Ähnlichkeiten zu einer helokrenen Weiherquelle hat, handelt es sich auch bei Macun7 um eine rheokrene Sturzquelle. Der Quellbach von Macun7 fliesst gegen Westen und mündet nach ca. 20 Metern in den rund 10 Meter tiefer gelegenen See Lai Sura. Die Quelle befindet sich weit weg von allen Wanderwegen und wird durch diese somit nicht beeinflusst. Die Quelle ist allerdings auch jeglichen Witterungen vollkommen ausgesetzt. Wie auf den Abbildungen 15 und 16 zu erkennen ist, ist Macun7 immer wieder durch Vegetation durchsetzt. Die dominierenden Substrattypen sind Detritusauflage und Vegetation. Auch oft anzutreffende Substrate sind Steine, Blöcke und Kies. Fast gar nicht wurden Moospolster, Feinkies und Sand vorgefunden.



Abbildung 15: Foto Quelle Macun7



Abbildung 16: Foto Quelle Macun7

## Macun8

Macun8 ist eine Sturzquelle (Rheokrene). Sie befindet sich im nördlichsten Teil des Nationalparks und ist sehr nahe an Macun6 und Macun9 gelegen. Wie Macun6 entspringt Macun8 sehr nahe des Wanderweges, wird von diesem jedoch wohl kaum beeinflusst. Der ca. 65 Meter lange Quellbach fließt gegen Norden und mündet schliesslich in den Hauptabfluss der ganzen Seenplatte. Die Quelle weist sehr langsame Fließgeschwindigkeiten in einem flachen Gefälle auf. Macun8 ist ebenfalls völlig ungeschützt und somit jeglichen Witterungen ausgesetzt. Das dominierende Substrat in dieser Quelle ist die Vegetation gefolgt von Steinen und Grobkies. Jegliche anderen Substrate sind in dieser Quelle nur vereinzelt oder gar nicht vorzufinden.



Abbildung 17: Foto Quelle Macun8



Abbildung 18: Foto Quelle Macun8

## Macun9

Die Quelle Macun9 befindet sich wie Macun6 und Macun8 im nördlichsten Bereich an der Grenze des Nationalparks. Auch Macun9 ist eine Sturzquelle (Rheokrene). Der Quellbach von Macun9 fließt gegen Norden und mündet schliesslich nach ca. 130 Metern mit dem Quellbach von Macun6 zusammen in den Abfluss des nördlich gelegenen Sees. Die Quelle entspringt zwischen zwei Wanderwegen kurz bevor diese sich zusammenfügen. Auch wenn die Wanderwege die Quelle direkt beeinflussen, befindet sich Macun9 in einem natürlichen Zustand. Auch diese Quelle ist aufgrund von mangelndem Schutz jeglichen Witterungen völlig ausgesetzt. Moospolster und Steine bilden die häufigsten Substrate in Macun9. Auch Vegetation, Sand, Feinkies und Blöcke sind häufig vorzufinden. Nur selten wurden Grobkies und Detritusauflage gefunden.



Abbildung 19: Foto Quelle Macun9



Abbildung 20: Foto Quelle Macun9

## 4.2 Abiotik und Struktur

Tabelle 1: Abiotik & Struktur

	Koordinaten CH	Höhe (M.ü.M)	Quellentyp	Temperatur (°C)	Leitfähigkeit (µS/cm)	Sauerstoff %	Sauerstoff (mg/L)	pH
Macun1	2° 805' 911 / 1° 178' 812	2625	Rheokren	9.8	6	96	8	7.3
Macun2	2° 805' 775 / 1° 178' 875	2625	Rheokren	11	12	113	9	6.2
Macun3	2° 805' 381 / 1° 178' 966	2650	Rheokren	9.1	6	103	8.7	6.3
Macun4	2° 805' 805 / 1° 178' 603	2624	Rheokren	7.2	27	114	10	6.9
Macun6	2° 806' 095 / 1° 179' 152	2562	Rheokren	9.8	71	95	7.9	7.6
Macun7	2° 805' 901 / 1° 178' 421	2637	Rheokren	10.3 (4.8)	13	58	4.7	6.1
Macun8	2° 806' 134 / 1° 179' 050	2570	Rheokren	10.1	209	70	6.7	7.6
Macun9	2° 806' 131 / 1° 179' 147	2560	Rheokren	9.3	92	94	7.9	7.2

Obwohl alle Quellen relativ gesehen nahe beieinander liegen, unterscheiden sie sich doch stark in ihrer Temperatur. Die Temperaturwerte reichen von 7.2°C (Macun4) bis 11°C (Macun2). In der Quelle Macun7 wurde bei der ersten Messung ein Wert von 4.8°C gemessen, was im Vergleich zu den anderen Quellen untypisch erschien. Deshalb wurde eine zweite Messung im unteren Bereich der Quelle gemacht. Bei zweiter Messung wurde schliesslich ein Wert von 10.3°C gemessen. Der Temperaturdurchschnittswert aller Quellen beträgt 9.575°C. Die Leitfähigkeit weist grosse Unterschiede zwischen den Quellen auf. Sie ist trotz der grossen Unterschiede (Bsp. Macun1 und Macun9) bei den meisten Quellen relativ niedrig. Bei den Quellen Macun6, Macun8 und Macun9, welche auch die nördlichsten und tiefsten Quellen sind, wurden die höchsten Werte gemessen. Bei der Quelle Macun8 wurde ein Wert von 209µS/cm gemessen, was mit Abstand der höchste Wert aller untersuchten Quellen ist. Abgesehen von den Quellen Macun7 und Macun8 ist der Sauerstoffgehalt bei allen Quellen relativ quelltypisch. Die Quellen Macun2 (113 %), Macun3 (103 %) und Macun4 (114 %) weisen sogar eine leichte Sauerstoffübersättigung auf. Die pH-Werte reichen von 6.1 bis 7.6. Die Wasser-Land-Verzahnung ist bei allen Quellen und deren Quellbächen sehr gross. Keine der 8 Quellen zeichnete sich durch hohe Schüttungsraten aus.

Tabelle 2: Substratvorkommen

	Moospolster	Detritusauf- lage	Vegetation	Sand	Feinkies	Mittel-Grob- kies	Steine	Blöcke
Macun1	1	4	1	0	2	1	1	1
Macun2	1	2	1	0	2	1	2	2
Macun3	1	1	2	1	2	2	3	3
Macun4	1	2	3	1	1	2	1	1
Macun6	1	1	1	1	1	2	3	2
Macun7	1	3	3	1	1	2	2	2
Macun8	1	1	3	1	1	2	2	1
Macun9	3	1	2	2	2	1	3	2

Häufigkeitsangaben Substrat: 0% (0), 0 – 20% (1), 20 – 40% (2), 40 – 60% (3), 60 – 90% (4), > 90% (5)

Insgesamt wurden 8 verschiedene Substrattypen in den Quellen vorgefunden. Macun1 und Macun2 sind die einzigen beiden Quellen, in welchen das Substrat Sand nicht vorhanden war. Sie sind auch die einzigen beiden Quellen, in welchen man nicht alle acht verschiedenen Substrattypen gefunden hat. Das am häufigsten gefundene Substrat waren Steine. Auch Detritus, Vegetation, Blöcke und verschiedene Kiese waren sehr häufig. Nur wenig vorgefunden wurde das Substrat Sand. Auch Moospolster waren abgesehen von Macun9 nicht oft vorzufinden.

Tabelle 3: Physikalische Parameter

	Na <sup>+</sup> (mg/L)	Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	F <sup>-</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)
Macun1	0.51	0.1	0.27	0.3	<0.05	0.36	0.25	0.21
Macun2	0.42	0.2	0.28	1.9	<0.05	0.2	0.28	0.63
Macun3	0.33	0.1	0.24	0.4	<0.05	0.19	1.06	0.65
Macun4	0.95	0.5	0.59	2.8	0.44	0.22	0.24	4.3
Macun6	0.54	0.3	0.69	13.5	<0.05	0.27	0.56	6.7
Macun7	0.29	0.1	0.27	1	0.18	0.26	0.25	0.88
Macun8	1.21	0.9	1.41	19.9	0.1	0.16	0.31	17.29
Macun9	0.56	0.7	0.61	14.7	0.06	0.13	0.33	13.75

In der Tabelle 3 ist gut zu erkennen, dass es gewisse Unterschiede in den Ionenkonzentrationen der verschiedenen Quellen gibt. Auffallend ist, dass die drei nördlichsten und tiefsten Quellen Macun6, Macun8 und Macun9 deutlich höhere Werte an K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> und SO<sub>4</sub><sup>2+</sup> im Vergleich zu den anderen Quellen aufweisen. Die Anionen F<sup>-</sup> und Cl<sup>-</sup> sind in keiner der acht Quellen mit einer hohen Konzentration vorhanden. Dies trifft, ausser in Macun3 (1.06 mg/L), auch auf NO<sub>3</sub><sup>-</sup> zu. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ist mit 4.3 mg/L auch in Macun4 viel vorhanden. Das Kation Calcium weist in den Quellen Macun6 (13.5mg/L), Macun8 (19.9mg/L) und Macun9 (14.7mg/L) sehr hohe Werte auf. Mg<sup>2+</sup> und K<sup>+</sup> sind in allen Quellen nur in niedrigen Konzentrationen vorhanden, wobei auch

hier die höchsten Werte in den drei oben genannten Quellen vorzufinden sind. Na<sup>+</sup> ist einzig in Macun8 (1.21mg/L) in einer etwas höheren Konzentration vorhanden.

### 4.3 Quellfauna

Es wurden insgesamt 1409 Individuen ausgelesen und bestimmt. Da die meisten Individuen zu klein waren, um auf Artniveau bestimmt zu werden, wurden diese nur auf Gattungs- oder Familienniveau bestimmt. Insgesamt konnten nur 26 von 1409 Individuen auf Artniveau bestimmt werden. Die Taxa Oligochaeta, Tardigrada, Acari und Collembola wurden nur auf Ordnungsniveau bestimmt. Die organismenreichste Quelle ist mit 309 Individuen Macun9, wobei 86% der Individuen Chironomidae sind. Ebenfalls sehr organismenreich ist Macun1 mit 282 Individuen, wobei hier 86% der Individuen Oligochaeta sind. Die organismenärmste Quelle ist Macun4 mit 108 Individuen. In Macun2 wurden mit 110 ebenfalls nur sehr wenige Organismen gefunden. Die anderen Quellen liegen dazwischen, wobei Macun3 120 Individuen, Macun6 154 Individuen, Macun7 156 Individuen und Macun8 171 Individuen hat. Die grösste taxonomische Vielfalt mit 10 verschiedenen Taxa weist die Quelle Macun1 auf. Die kleinste taxonomische Vielfalt mit 5 verschiedenen Taxa weist die Quelle Macun3 auf. Das Taxon, welches insgesamt die höchsten Abundanzen aufweist, sind die Oligochaeta mit 770 Individuen. Die Oligochaeta und die Chironomidae sind auch die einzigen Taxa, welche in allen Quellen vorhanden sind. Die meisten Oligochaeta mit 245 Individuen befinden sich in der Quelle Macun1. Ebenfalls bemerkenswert sind die hohe Abundanzen der Chironomidae (453 Individuen). Die meisten Chironomidae befinden sich mit 266 Individuen in der Quelle Macun9. Ebenfalls viele Chironomidae wurden in den Quellen Macun4 (36), Macun6 (39), Macun7(43) und Macun8 (53) gefunden. Insgesamt wurden 55 Acari gefunden, wobei allerdings 49 davon in den Proben der Quellen Macun1, Macun2, Macun3 und Macun4 festgestellt wurden. Aus den Proben wurden 27 Trichoptera ausgelesen. Aufgrund mangelnder Grösse konnte nur die Art *Limnephilus coenosus* (Curtis, 1834) bestimmt werden, allerdings gehören alle gefundenen Trichoptera zur Familie der Limnephilidae. In der Ordnung der Coleoptera wurden insgesamt 22 Individuen gefunden, welche allesamt auf Artniveau bestimmt werden konnten. Mit 19 Individuen ist der *Helophorus nivalis* die Individuen reichste Art der Coleoptera. Der Grossteil mit 12 Individuen befindet sich in den Proben der Quelle Macun1. Auch bemerkenswert ist, dass in dieser Forschung drei Tardigrada gefunden wurden.



Tabelle 4: Artenliste Macun 2023

Artenliste Macun 2023	Macun1	Macun2	Macun3	Macun4	Macun6	Macun7	Macun8	Macun9
<b>Oligochaeta</b>	245	63	98	35	105	102	104	18
<b>Tardigrada</b>	0	2	0	0	0	0	1	0
<b>Acari</b>	6	19	11	13	3	1	0	2
<b>Collembola</b>	6	11	1	2	0	2	2	4
<b>Trichoptera</b>								
Limnephilidae	2	0	0	0	0	0	0	0
Limnephilini	0	0	0	11	2	0	0	0
<i>Limnephilus coenosus</i> (Curtis, 1834)	0	0	0	0	0	2	2	8
Köcher	1	7	0	8	0	2	8	8
<b>Diptera</b>								
Chironomidae	3	5	8	36	39	43	53	266
Dolichopodidae	3	0	0	0	3	1	0	0
Limoniidae	1	2	0	0	0	0	0	0
<i>Dicranota</i>	0	0	0	0	1	0	0	3
Tipulidae	0	0	0	0	1	2	0	0
<b>Coleoptera</b>								
<i>Dytiscidae Hydaticus</i> (Clark, 1864)	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Agabus biguttatus</i> (Olivier, 1795)	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Helophorus nivalis</i> (Giraud, 1852)	12	1	2	2	0	1	1	0
<b>Anzahl Individuen Total</b>	282	110	120	108	154	156	171	309
<b>Anzahl Taxa Total</b>	10	8	5	8	7	9	7	7

## 5 Statistische Analyse

### 5.1 PCA der abiotischen Parameter

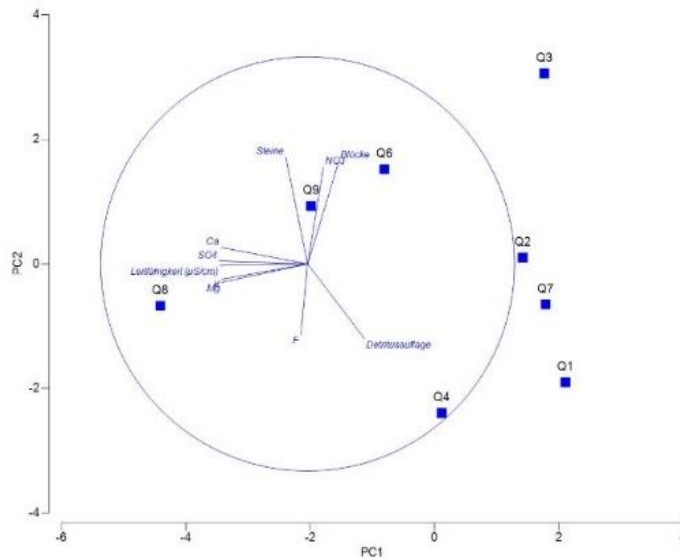


Abbildung 21: PCA der abiotischen Parameter und den untersuchten Quellen

In dieser PCA ist gut zu erkennen, dass die verschiedenen Substrate nur gering miteinander korrelieren. Bei gewissen Ionen und der damit einhergehenden Leitfähigkeit hingegen ist eine Korrelation ersichtlich. Die Quelle Macun8 wird am stärksten von diesen Ionen und der Leitfähigkeit beeinflusst. Die drei nördlichen Quellen Macun6, Macun8 und Macun9 trennen sich in dieser Graphik deutlich erkennbar von den restlichen Quellen ab. 98.5% der Varianz werden durch die ersten fünf Komponenten erklärt, wobei allein PC1 52.6% davon ausmacht. PC1 hat einen Eigenwert von 5.26. PC2 macht 32.6% der Variation aus, wobei PC2 einen Eigenwert von 3.26 hat. PCA1 und PCA2 sind mit Abstand die beiden aussagekräftigsten Komponenten. In der PC1 sind die Detritusaufgabe und Blöcke die einzigen beiden Parameter, welche eine nennenswerte Ladung in positive Richtung haben. Wie in der Graphik der PCA bereits gesehen, haben Mg (-0.415), K (-0.416), Ca (-0.419), SO<sub>4</sub> (-0.428) und die Leitfähigkeit (-0.423) eine sehr ähnliche Ladung in negative Richtung. Den höchsten Score in negative Richtung erreicht dabei die Quelle Macun8 mit -4.41. In der PCA2 erreichen Steine (0.516), Blöcke (0.498) und NO<sub>3</sub> (0.468) die höchste Ladung in positive Richtung und Detritusaufgabe (-0.362) sowie F (-0.339) die höchste Ladung in negative Richtung. In der PCA1 erreichen die Quellen Macun1 (2.11), Macun3 (1.77) und Macun7 (1.79) die höchsten Ladungen in positive Richtung und die Quellen Macun8 (-4.41) und Macun9 (-1.99) die höchsten Ladungen in negative Richtung. In der PCA2 haben Quellen Macun3 (3.06) und Macun6 (1.52) die höchsten Ladungen in positive Richtung und die Quellen Macun1 (-1.9) und Macun4 (-2.4) die höchsten Ladungen

in negative Richtung. Die hohen Ladungen von Macun8 und Macun3 sind in der Graphik der PCA sehr schön zu erkennen.

## 5.2 nMDS der Fauna

In dieser Analyse wurden die Aufnahmen aus dem Jahr 2017 mit denen aus dem Jahr 2023 verglichen. Es ist ein sehr klarer Trend ersichtlich, dass sich die Quellen in ihrer Artenzusammensetzung aus dem Jahr 2023 stark von jener aus dem Jahr 2017 unterscheiden.

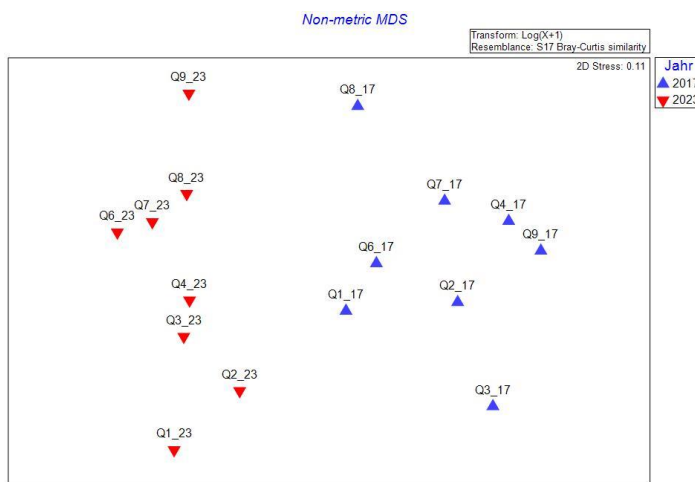


Abbildung 22: nMDS der acht untersuchten Quellen aus den Jahren 2017 und 2023

### 5.3 PCA der Fauna

Die statistische Analyse der Fauna mittels PCA zeigt, welche Organismengruppen in welchen Quellen 2023 dominieren (Abbildung 23). Die Richtung der Vektoren veranschaulicht, in welchen Quellen das jeweilige Taxon häufig ist. Die Taxa Linnephilini und *Agabus biguttatus* sind vorwiegend in der Quelle Macun4 vorzufinden. Die Taxa Chironomidae und Dicranota dominieren in Macun9. Die Oligochaeta dominieren in der Quelle Macun1.

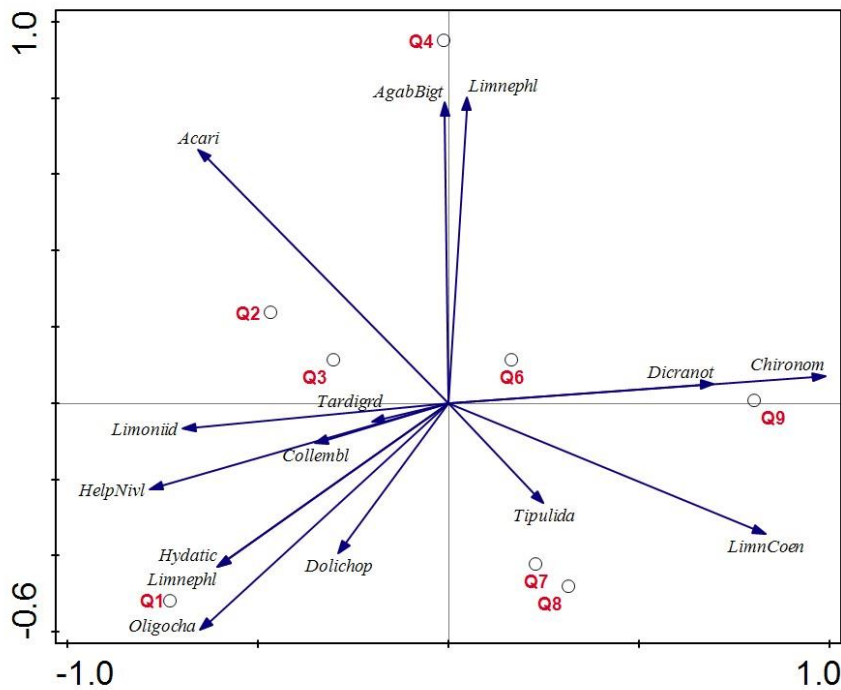


Abbildung 23: PCA der Fauna 2023

Auch in der PCA (Abbildung 24) ist eine klare Auftrennung der beiden Jahre 2023 und 2017 zu erkennen, wobei sich die Quellen aus dem Jahr 2017 mehrheitlich im rechten Bereich befinden und die Quellen aus dem Jahr 2023 im linken Bereich (Abbildung 24). Die grosse allgemeine Differenz der Anzahl der Tiere sorgt dafür, dass die Vektoren, welche in Richtung der Quellen von 2017 zeigen, um einiges länger sind als die Vektoren, welche in Richtung der Quellen von 2023 zeigen. Klar dominierend im Jahr 2023 sind Taxa wie Limnoidae, *Helophorus nivalis*, *Agabus biguttatus*, Dolichopodidae und Tipulidae. Die Taxa Limnephilini und *Limnephilus coenosus* sind in beiden Jahren von ähnlicher Wichtigkeit. Im Jahr 2017 wurden einige Taxa gefunden, wie zum Beispiel die Copepoda und die Ostracoda, welche im Jahr 2023 nicht mehr gefunden werden konnten, was deren Vektoren in Richtung 2017 erklärt. Die Richtung der Vektoren der Collembola, Acari, Oligochaeta, Tardigrada und Chironomidae können mit dem Unterschied der Anzahl der Individuen erklärt werden.

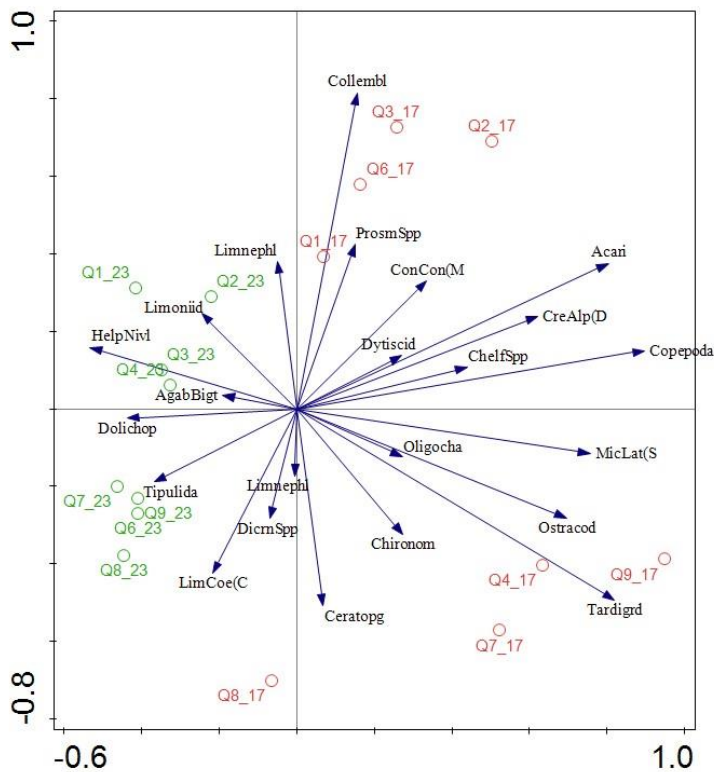


Abbildung 24: PCA der Fauna 2023 und 2017

## 6 Methodendiskussion

Da die in dieser Arbeit untersuchten Quellen bereits im Jahr 2017 von Guillaume Arnet in seiner Bachelorarbeit untersucht und deren Standorte auf einer Karte eingezeichnet wurden, war es einfach, die Quellen wieder zu finden. Es wurden 8 von 9 Quellen wieder gefunden, einzig die Quelle Macun5 fehlte. Nicht alle Quellaustritte sind permanent. Je nach Umweltbedingungen können Quellen mehr oder weniger schütten oder gar versiegen. In warmen Sommermonaten mit geringem Niederschlag können Quellen, welche ohnehin bereits wenig schütten, leicht versiegen (Anderegg et al., 2022; Germaud et al., 2009). Selbst wenn also die Quellstandorte im Vorfeld einer Arbeit aus früheren Beschreibungen bekannt sind, ist es absolut notwendig, sich vor Ort selbst darüber zu vergewissern. Der Zeitraum der Beprobung im Juli wurde durch die offiziellen Forschungstage in Macun festgelegt. Dies hat den Vorteil, dass die Beprobung zur gleichen Zeit stattfand wie die Beprobung derselben Quellen im Jahr 2017 durch Guillaume Arnet, was einen Vergleich der Quellen vereinfacht. Der Nachteil ist, dass viele Organismen noch zu klein waren, um auf Artniveau bestimmt werden zu können, weshalb ein erneutes Untersuchen der Quellen 1 – 2 Monate später praktisch wäre.

Die Beprobung mittels Handkescher hatte sowohl Vorteile als auch Nachteile. Die Verwendung eines Handkeschers sorgt bei der Beprobung für weniger mechanische Beschädigung der Organismen, als dass es der Surbersampler tut. Ebenfalls ist der Handkescher praktischer, um steinig und kiesig Substrat zu beproben, welches in unseren Quellen oft vorhanden war. Der Nachteil ist die Ungenauigkeit der Fläche, welche beprobt wird. Mit dem Surbersampler werden genau 10 cm<sup>2</sup> Substrat beprobt, mit dem Handkescher ist es eine unbestimmte Fläche. Das Entnehmen von acht quantitativen Proben pro Quelle erlaubte es, so gut wie alle vorhandenen Substrattypen in der Quelle zu beproben. Gesiebt waren die Proben einfacher zu bearbeiten, da viel grobes Substrat dadurch weggefallen ist. Allerdings beinhalteten einige Quellen viel an sehr feinem Substrat wie Detritusaufgabe und Vegetation, welche das Sieb verstopften.

## 7 Ergebnisdiskussion

Die physikochemischen Daten zeigen einen klaren Zusammenhang bezüglich der Herkunft des Grundwassers. Das kristalline Grundgestein sorgt für eine allgemein niedrige Leitfähigkeit (Robinson & Kawecka, 2005). Die höheren Ionenkonzentrationen in den Quellen Macun6, Macun8 und Macun9 im Vergleich zu den Ionenkonzentrationen der restlichen untersuchten Quellen lassen darauf schliessen, dass deren Grundwasser eine ähnliche Herkunft hat, respektive dass ähnliche Einflüsse auf deren Grundwasser wirken. Auch für die Leitfähigkeit wurden in diesen drei Quellen die höchsten Werte gemessen, was einen Zusammenhang nochmals bestätigt. Die ausschlaggebendsten Punkte, welche die Leitfähigkeit, respektive den Ionengehalt des Quellwassers bestimmen, sind die lithologischen Eigenschaften des Substrats, die Geologie des Grundgesteins und die Verweildauer des Wassers im Aquifer (Cantonati et al., 2006). Da sich jedoch alle untersuchten Quellen auf demselben kristallinen Grundgestein, der Silvrettadecke, befinden, fällt das Grundgestein für die Erklärung der Unterschiede weg (Inderbitzin & Pointer, 2000). Auf kristallinem Grundgestein würde eigentlich eine tiefere Leitfähigkeit erwartet werden als jene die gemessen wurde (Robinson & Kawecka et al., 2005). Eine Studie von Nickus et al., (2015) über Blockgletscherabflüsse zeigt, dass der Ionengehalt, also die Leitfähigkeit, im Abfluss des Blockgletschers von Beginn der Schneeschmelze an, bis zum Ende der Schneeschmelze im Herbst hin, zunimmt. Die Abflüsse des Blockgletschers können die Wasserchemie der Macuner Seen und des Grundwassers also jahreszeitlich unterschiedlich verändern. Es ist daher naheliegend, dass der höher gelegene Blockgletscher das Grundwasser aller beprobten Quellen unterschiedlich beeinflussen kann. Dabei haben die Quellen Macun6, Macun8 und Macun9 wohl eine grössere Zufuhr an ionenreichem Grundwasser des Blockgletschers als die restlichen Quellen. Vor allem der untypisch hohe Wert von 209  $\mu\text{s}/\text{cm}$  welcher in der Quelle Macun8 gemessen wurde, könnte dadurch erklärt werden (Robinson & Kawecka, 2005). Ein Vergleich der Ionenkonzentrationen und der Leitfähigkeit mit den Daten aus der Arbeit von Guillaume Arnet aus dem Jahr 2017 ist aufgrund mangelnder Daten aus jener Arbeit nicht möglich.

Die Wassertemperaturen der untersuchten Quellen liegen zwischen 7.2°C und 11°C mit einem Durchschnitt von 9.6°C. Für alpine Quellen in dieser Höhe sind dies höhere Werte als erwartet. Grund dafür könnte sein, dass die Aquifere des Grundwassers nahe an der Oberfläche liegen und diese sich somit im Sommer erwärmen können. Jahreszeiten könnten also einen Einfluss auf die untersuchten Quellen haben (Küry et al., 2016). Die physikochemischen Messungen wurden jeweils nicht direkt am Quellaustritt gemessen, sondern einige Meter darunter. Die niedrigen Schüttungsraten und die damit verbundenen langsamen Fliessgeschwindigkeiten in den Quellen könnten somit dazu führen, dass sich das Quellwasser noch in der Quelle erwärmen kann. Im Jahr 2017 lagen die Wassertemperaturen zwischen 5.7°C und 18.4°C mit einem

Durchschnitt von 12.86°C, was einer deutlich grösseren Spannweite und einer deutlich höheren Durchschnittstemperatur entspricht. Dieser doch sehr grosse Unterschied könnte an unterschiedlichen Probenahmestellen innerhalb der Quellen und an unterschiedlichen klimatischen Bedingungen im Jahr 2017 liegen. Bei der Beprobung im Jahr 2023 herrschten über mehrere Tage kalte und regnerische Bedingungen vor, welche das lokale Mikroklima und somit auch die Wassertemperaturen hätten beeinflussen können.

Die untersuchten Quellen unterscheiden sich in ihrer Substratzusammensetzung kaum. Zwar dominieren je nach Quelle verschiedene Substrattypen, doch wurden in allen Quellen fast die gleichen Substrate vorgefunden. Die vorgefundene Substratzusammensetzung ist allerdings eher untypisch für hochalpine Quellen, welche normalerweise hauptsächlich von anorganischen Substraten dominiert werden. Ein möglicher Grund für die relativ hohen Anteile an organischem Substrat ist die flache Topographie von Macun (von Fumetti & Blattner, 2016). Bei der Untersuchung der Quellen durch Guillaume Arnet im Jahr 2017 wurde fast dieselbe Substratzusammensetzung vorgefunden und beschrieben. Interessanterweise dominierten damals je nach Quelle andere Substrattypen. Dies liegt womöglich an einer unterschiedlichen Einschätzung der Substrathäufigkeiten bei der Datenerfassung.

In allen acht untersuchten Quellen wurden insgesamt nur 1409 Individuen gefunden, was verglichen mit faunistischen Untersuchungen von tiefer gelegenen Quellen sehr wenig ist (von Fumetti & Blattner, 2016; von Fumetti et al., 2006). Dies liegt an den lebensfeindlichen, hochalpinen Umweltbedingungen, an welche sich nur wenige Arten anpassen konnten. Der Vergleich mit der Untersuchung derselben Quellen von Guillaume Arnet aus dem Jahr 2017 zeigt ebenfalls einen grossen Unterschied auf. In denselben Quellen wurden im Jahr 2017 insgesamt 6703 Individuen gefunden, was ein enormer Unterschied ist. In beiden Jahren war das am häufigsten gefundene Taxon die Oligochaeta. Eigentlich würde man für solche alpinen Gewässer damit rechnen, dass das meistgefundene Taxon die Chironomidae sein würden, da gewisse Arten der Chironomidae typischerweise in solchen, nahe an Gletscher gelegenen Gewässern, dominierend sind (Robinson et al., 2009). Trotzdem ist es nicht erstaunlich, dass so viele Oligochaeta vorgefunden wurden. Oligochaeta kommen sehr gut mit extremen Umweltbedingungen klar. Ebenfalls bevorzugen sie es, sich in Gewässern mit viel organischem Substrat anzusiedeln, was in den in dieser Arbeit untersuchten Quellen der Fall ist (Robinson et al., 2009; Cantonati et al., 2006). Von den in dieser Arbeit untersuchten Quellen ist Macun1 die Quelle mit der grössten Detritusaufgabe, und auch den meisten Oligochaeta. Im Jahr 2017 war die Quelle Macun8 die Oligochaeta-reichste Quelle, was auf den hohen Moosgehalt, welcher vorgefunden wurde, zurückzuführen ist. Ein weiterer Grund, weshalb mehr Oligochaeta als Chironomidae gefunden wurden, ist die Wassertemperatur. Die in dieser Arbeit getätigten Messungen geben durchschnittlich einen Wassertemperaturwert von ca. 9.6°C an, was ein



relativ hoher Wert ist. Oligochaeta bevorzugen eine etwas höhere Wassertemperatur als die Chironomidae, so wie es in den Quellen Macun1 bis Macun9 der Fall ist (Robinson et al., 2009). In dieser Arbeit wurden 453 Chironomidae gezählt, was im Verhältnis zu den anderen vorgefundenen Taxa ein hoher Wert ist. Dies liegt daran, dass die Familie der Chironomidae im Vergleich zu den anderen Taxa eher alpine, von Gletschern beeinflusste Quellen und Flüsse besiedeln, während die EPT-Taxa Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera eher in tiefer gelegenen Gewässern dominierend sind (Robinson et al., 2009). Die Chironomidae sind die artenreichste Familie unter allen aquatischen Insektenfamilien (Cantonati et al., 2006). Mit 880 Individuen wurden bei der Beprobung derselben Quellen im Jahr 2017 fast doppelt so viele Chironomidae gefunden. Die Abundanz von Chironomidae variieren stark mit der Jahreszeit. Während im Frühjahr und im Sommer hohe Abundanz erreicht werden, sinken diese im Herbst und im Winter (Robinson et al., 2009). Da die Untersuchungen im Jahr 2017 und im Jahr 2023 jedoch beide zur gleichen Jahreszeit im Juli getätigt wurden, kann die jahreszeitliche Variation nicht der Grund für diesen grossen Unterschied der Abundanz sein. Den prozentual grössten Unterschied machen wohl die Acari aus. Während im Jahr 2017 insgesamt 23% der beschriebenen Organismen Acari waren, machten die Acari im Jahr 2023 noch gerade mal 4% der beschriebenen Organismen aus. Allerdings waren in beiden Jahren alle gefundenen Acari terrestrischen Ursprungs und somit keine krenobiontischen Wassermilben. Krenobiontische Wassermilben werden stark durch Austrocknung gefährdet, weshalb das Vorkommen von krenobiontischen Wassermilben ein guter Indikator für die hydrogeologische Stabilität einer Quelle ist. Sie haben parasitäre Larven, welche adulte Insekten befallen, weshalb das Vorhandensein von anderen krenobiontischen Organismen notwendig für ihr Überleben ist (Cantonati et al., 2006). Dass die Quellen in Macun inkonstant schütten können, wurde bei der Quelle Macun5, welche im Jahr 2023 bereits versiegt war, festgestellt. Inkonstante Schüttungen und die geringen Abundanz der anderen krenobiontischen Organismen ist wohl der Grund dafür, dass nur terrestrische Acari gefunden wurden. Wie bereits im Jahr 2017 war das einzig vorgefundene EPT-Taxon die Trichoptera. Dies ist nicht erstaunlich, da das Vorkommen von EPT-Taxa mit der Höhe und der damit einhergehenden sinkenden Temperatur stark abnimmt. Lange jährliche Schneebedeckung sowie der Permafrost korrelieren stark mit der Abwesenheit der EPT-Taxa (Küry & Lubini et al., 2018). Im Vergleich zu den Daten von 2017 fällt auf, dass sich die Ordnung der Coleoptera in den Quellen auf Macun neu eingefunden hat. *Helophorus nivalis* war dabei die häufigste Art, was nicht erstaunlich ist. *Helophorus nivalis* ist an alte Schmelztümpel- und Quellbedingungen angepasst und kommt im ganzen Alpengebiet vor (Blattner, 2015). Bemerkenswert ist, dass in einer Forschung in den Tümpeln und Seen von Macun in den Jahren 2002 bis 2004 viele Coleoptera gefunden wurden. Die Familie der Dytiscidae war beispielsweise damals bereits in den Tümpeln und Seen von Macun vorhanden (Oertli et al., 2007).

Quellen, welche keinen genügend hohen Schutzstatus aufweisen, werden oft stark durch den Menschen genutzt oder beeinflusst, was sich negativ auf die Biodiversität und die Abundanz der Fauna auswirkt (Lubini et al., 2014). Allerdings ist der Schweizer Nationalpark und somit auch Macun ein Reservat der IUCN-Schutzkategorie 1a, was der höchsten Schutzklasse entspricht. Die untersuchten Quellen sind somit von jeglichen menschlichen Eingriffen geschützt, welche somit auch nicht der Grund für die starken Abundanz Unterschiede sein können (Nationalpark.ch, 2024). Auch die Idee, dass bei der Probenahme und beim Auslesen der Organismen im Labor ungenau gearbeitet wurde, wird als Grund für die Abnahme verworfen. Ein möglicher Grund, welcher den Unterschied erklären könnte, ist der Zeitpunkt der Schneeschmelze. Die Schneeschmelze beeinflusst die jahreszeitliche Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften in den Macuner Bächen und Seen, sowie das Abflussverhalten des Grundwassers (Burki et al., 2024). Somit wäre es naheliegend, dass das Schmelzwasser auch einen grossen Einfluss auf die Lebensgemeinschaften der untersuchten Quellen hat. Die Schneeschmelze könnte im Jahr 2023 viel später eingesetzt haben als im Jahr 2017, wodurch die Organismen noch nicht genügend Zeit hatten, sich zu entwickeln. Die Abbildung 25 zeigt die Schneehöhen in Macun in den hydrologischen Jahren 2017 und 2023. Ein hydrologisches Jahr in Macun startet am 1. September des Vorjahres und dauert bis am 31. August des aktuellen Jahres. Diese Schneedaten zeigen, dass Macun in der ersten Junihälfte im Jahr 2017 für eine längere Periode schneefrei war, während Macun im Jahr 2023 zu dieser Zeit noch mit Schnee bedeckt war. Im Jahr 2023 war Macun erst gut einen Monat später, also anfangs Juli, komplett schneefrei. Dies könnte also implizieren, dass der Beginn der schneefreien Periode durchaus einen Einfluss auf die Lebenszyklen der Organismen hat. Wenn sich die Organismen im Jahr 2017 also rund einen Monat früher entwickelt haben können, könnte dies durchaus der Grund dafür sein, warum bei der Untersuchung der Quellen Ende Juli im Jahr 2017 so viel mehr Organismen gefunden wurden als im Jahr 2023.

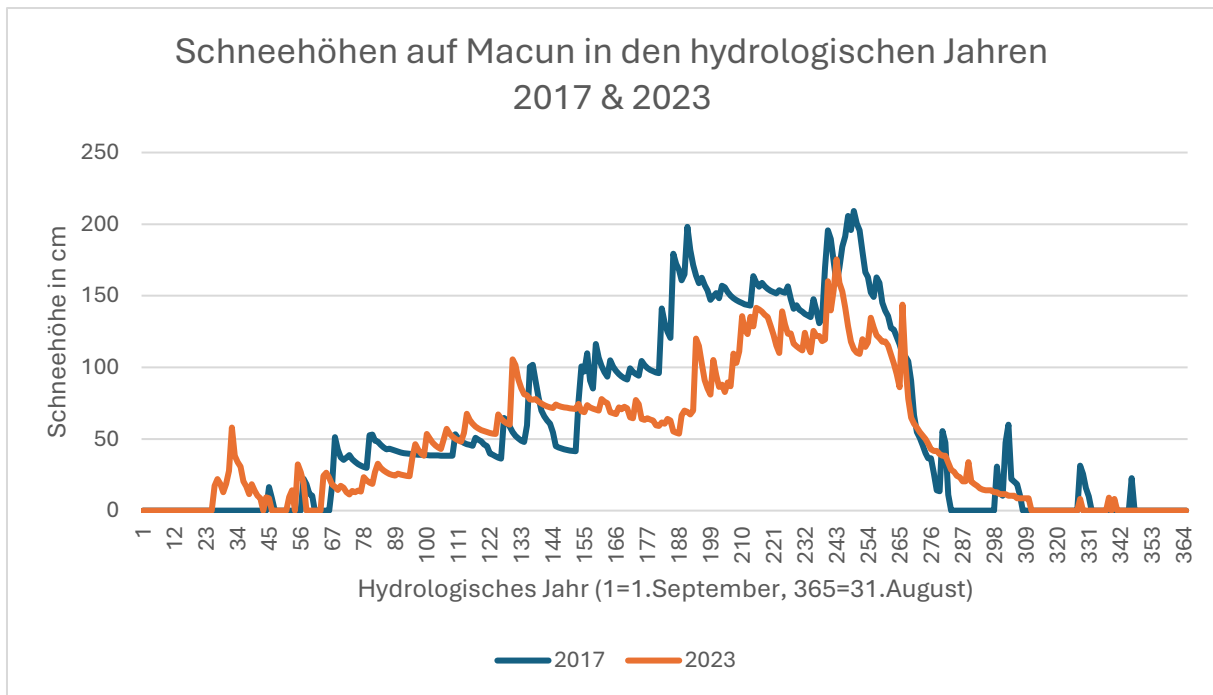


Abbildung 25: Schneehöhen auf Macun im Jahr 2017 und 2023

## 8 Literaturverzeichnis

- Anderegg, N., Greber, P. (2022). Vulnerabilität von Quelllebensgemeinschaften unter Berücksichtigung des Klimawandels: eine Untersuchung im UNESCO-Welterbe Schweizer Alpen Jungfrau-Aletsch (SAJA).
- Blattner, L. (2015). Die Verbreitung von Quellorganismen in Tälern des Schweizer Nationalparks: Bachelorarbeit BSc Geowissenschaften Universität Basel.
- Burki, V., Schlüchter, C., Spaak P. (2004). Gewässerforschung auf Macun. Cratschla, 2004, 18-23.
- 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, 59-96.
- Clarke, K.R., Gorley, R.N. (2006). PRIMER v6: User manual/Tutorial. Primer-E. Plymouth-UK.
- Gremaud, V., Goldschneider, N., Savoy, L., Favre, G., Masson, H. (2009). Geological structure, recharge processes and underground drainage of a glacierised aquifer system, Tsanfleuron-Sanetsch, Swiss Alps.
- Inderbitzin, L., Pointner, E. (2000). Diplomarbeit über die Geologie in Macun.
- Küry, D., Lubini, V., Stucki, P. (2016). Temperature patterns and factors governing thermal response in high elevation springs of the Swiss Central Alps. «*Hydrobiologia* 793 (1):185-97».
- Küry, D., Lubini, V., Stucki, P. (2018). Verletzlichkeit von Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen alpiner Quellen gegenüber Klimaveränderungen.
- Leyer, I., Wesche, K. (2007). *Multivariate Statistik in der Ökologie: Eine Einführung*. Springer-Verlag, Berlin.
- Lods-Crozet, B., Oertli, B., Robinson, T.C. (2012). Long-term patterns of chironomid assemblages in a high elevation stream/lake network (Switzerland) – Implications to global change.
- Lubini, V., Stucki, P., Vincentini, H., Küry, D. (2014). Bewertung von Quell-Lebensräumen in der Schweiz. Entwurf für ein strukturelles und faunistisches Verfahren. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- Nickus, U., Krainer, K., Thies, H., Tolotti, M. (2015). Blockgletscherabflüsse im Äusseren Hochebenkar: Hydrologie, Wasserchemie und Kieselalgen. In: *Forschung am Blockgletscher*:

Methoden und Ergebnisse (editor(s) Schallhart, N.; Erschbamer B.). Innsbruck: Innsbruck university press: 117-134. ISBN: 9783902936585.

Oertli, B., Indermuehle, N., Angelibert, S., Hinden, H., Stoll A. (2007). Macroinvertebrate assemblages in 25 high alpine ponds of the Swiss National Park (Cirque of Macun) and relation to environmental variables. In: Oertli B., Cereginho R., Biggs J., Declerck S., Hull A., Miracle M.R. (2009) Pond Conservation in Europe. Developments in Hydrobiology 210, vol210. Springer, Dordrecht.

Robinson, C.T., Kawecka, B. (2005). Benthic diatoms of an Alpine stream/lake network in Switzerland. *Aquat.Sci.*67,492-506.

Robinson, C.T., Kawecka, B., Füreder, L., Peter, A. (2009). Biodiversity of Flora and Fauna in Alpine Waters. In: Bundi, U. (eds) Alpine Waters. The Handbook of Environmental Chemistry(), vol 6. Springer, Berlin, Heidelberg.

Ter Braak, C.J.F., Šmilauer, P. (2012). Canoco reference manual and user's guide: software for ordination (version 5.0). Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA.

Von Fumetti, S., Bieri-Wigger, F., Nagel, P. (2017). Temperature Variability and Its Influence on Macroinvertebrate Assemblages of Alpine Springs. *Ecohydrology* 10 (7).

Von Fumetti, S., Blattner, L. (2016). Faunistic Assemblages of Natural Springs in Different Areas in the Swiss National Park: A Small-Scale Comparison. *Hydrobiologia* 793 (1) :175-84.

Von Fumetti, S., Nagel, P., Scheifhacken, N., Baltes, B. (2006). Factors governing macrozoobenthic assemblages in perennial springs in north-western Switzerland. *Hydrobiologia* 568: 467-475.

## Internetquellen

Swisstopo. Das Geoportal des Bundes. BAFU.

URL: [www.map.geo.admin.ch](http://www.map.geo.admin.ch)

Schweiz Tourismus 2024

URL: <https://myswitzerland.com>

Schweizer Nationalpark.

URL: <https://www.nationalpark.ch>

## Bestimmungsliteratur

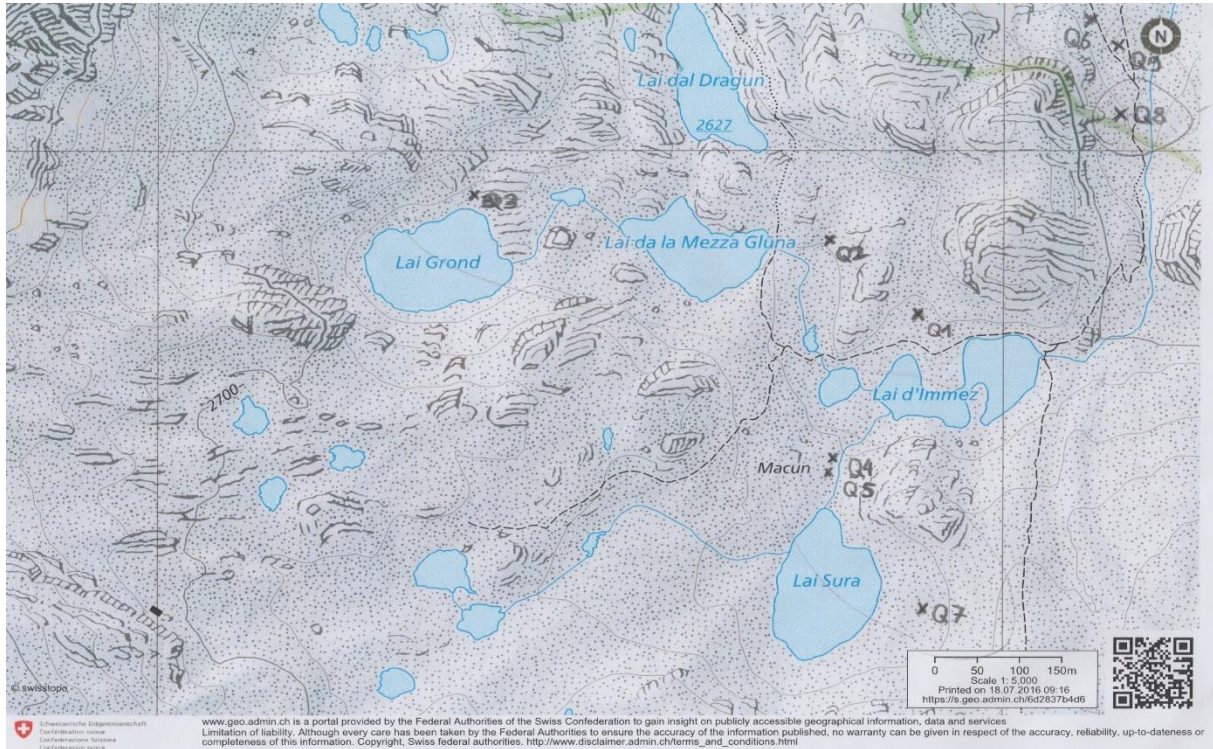
Freude H., Harde K.H., Lohse G.A. (1971) Die Käfer Mitteleuropas. Band 3. Goecke & Evers Verlag, Krefeld

Sundermann A. & Lohse S. (2004) Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Zweiflügler (Diptera) in Anlehnung an die Operationelle Taxaliste für Fliessgewässer in Deutschland. Forschungsinstitut Senckenberg

Waringer J. & Graf W. (2011) Atlas der mitteleuropäischen Köcherfliegenlarven – Atlas of Central European Trichoptera Larvae. Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben

# Anhang

## Anhang 1: Karte mit den eingezeichneten Quellen von Macun



## Anhang2: Artenliste Macun 2017

<i>Artenliste Macun 2017</i>								
	<i>Macun1</i>	<i>Macun2</i>	<i>Macun3</i>	<i>Macun4</i>	<i>Macun6</i>	<i>Macun7</i>	<i>Macun8</i>	<i>Macun9</i>
<b><i>Crenobia alpina</i></b>	0	1	3	0	0	0	0	4
<b>Oligochaeta</b>	523	326	22	217	337	206	1114	113
<b>Tardigrada</b>	1	5	0	51	0	214	6	447
<b>Acari</b>	254	229	16	80	385	34	5	536
<b>Copepoda</b>	1	76	225	99	4	30	1	78
<b>Ostracoda</b>	1	0	0	6	0	0	0	13
<b>Collembola</b>	4	77	20	0	10	3	0	1
<b>Trichoptera</b>								
<i>Consorophylax consors</i>	0	0	6	0	0	0	0	1
<i>Limnephilidae</i>	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Limnephilini</i>	0	0	0	6	0	0	0	0
<i>Limnephilus coenosus</i>	0	0	0	0	0	4	0	0
<i>Micropterna lateralis</i>	0	0	3	5	2	1	1	3
<i>Dytiscidae</i>	2	0	1	2	0	1	0	0
<b>Coleoptera</b>								
<i>Agabus biguttatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Helophorus Nivalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Diptera</b>								
<i>Ceratopogonidae</i>	0	0	0	0	0	1	6	0
<i>Chironomidae</i>	15	155	39	42	129	74	368	58
<i>Chelifera spp.</i>	0	1	0	0	1	2	0	0
<i>Dicranota spp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Prosimulium spp.</i>	0	0	2	0	0	0	0	0
<i>Dolichopodidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Limoniidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tipulidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Anzahl Individuen Total</b>	801	871	337	508	868	570	1609	1255
<b>Anzahl Taxa Total</b>	8	9	10	9	7	11	7	11



### Anhang 3: Eigenwerte und Varianz der fünf Hauptkomponenten

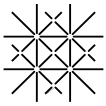
PC	EIGENVALUES	%VARIATION	CUM.%VARIATION
1	5.26	52.6	52.6
2	3.26	32.6	85.2
3	0.855	8.6	93.7
4	0.372	3.7	97.4
5	0.104	1.0	98.5

### Anhang 4: Komponentenmatrix der PCA

VARIABLE	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
LEITFÄHIGKEIT ( $\mu\text{S}/\text{CM}$ )	-0.423	-0.007	0.147	-0.203	-0.237
DETRITUSAUFLAGE	0.276	-0.362	0.382	-0.028	-0.221
STEINE	-0.106	0.516	0.024	0.399	-0.303
BLÖCKE	0.152	0.498	-0.145	0.270	-0.094
MG	-0.415	-0.089	-0.151	0.120	0.618
K	-0.416	-0.074	0.002	-0.369	-0.398
CA	-0.419	0.080	0.173	0.135	-0.277
F	-0.033	-0.339	-0.836	0.135	-0.328
NO3	0.077	0.468	-0.240	-0.719	0.116
SO4	-0.428	0.014	0.039	0.151	0.238

### Anhang 5: Scores der Hauptkomponenten der PCA

SAMPLE	SCORE1	SCORE2	SCORE3	SCORE4	SCORE5
Q1	2.11	-1.9	1.36	-0.495	0.183
Q2	1.42	0.101	0.483	0.389	0.222
Q3	1.77	3.06	-0.691	-0.719	0.156
Q4	0.118	-2.4	-1.79	-0.0993	0.0998
Q6	-0.806	1.52	0.303	0.000926	-0.43
Q7	1.79	-0.647	-0.103	0.556	-0.526
Q8	-4.41	-0.674	0.346	-0.623	-0.0791
Q9	-1.99	0.932	0.0856	0.99	0.374



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

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

Name Beurteiler\*in: \_\_\_\_\_

Name Student\*in: \_\_\_\_\_

Matrikelnummer: \_\_\_\_\_

Ich bezeuge mit meiner Unterschrift, dass ich meine Arbeit selbständig ohne fremde Hilfe verfasst habe und meine Angaben über die bei der Abfassung meiner Arbeit benützten Quellen in jeder Hinsicht der Wahrheit entsprechen und vollständig sind. Alle Quellen, die wörtlich oder sinngemäss übernommen wurden, habe ich als solche gekennzeichnet.

Des Weiteren versichere ich, sämtliche Textpassagen, die unter Zuhilfenahme KI-gestützter Programme verfasst wurden, entsprechend gekennzeichnet sowie mit einem Hinweis auf das verwendete KI-gestützte Programm versehen zu haben.

Eine Überprüfung der Arbeit auf Plagiate und KI-gestützte Programme – unter Einsatz entsprechender Software – darf vorgenommen werden. Ich habe zur Kenntnis genommen, dass unlauteres Verhalten zu einer Bewertung der betroffenen Arbeit mit einer Note 1 oder mit «nicht bestanden» bzw. «fail» oder zum Ausschluss vom Studium führen kann.

Ort, Datum: \_\_\_\_\_ Student\*in: gmm

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: gmm

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

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