

Ökologische Charakterisierung ausgewählter Quellen auf Macun

Guillaume Arnet



Bachelorarbeit
BSc Geowissenschaften
Universität Basel
Juli 2017

Betreuung:
Dr. Stefanie von Fumetti
Prof. Dr. Peter Nagel



Für die Unterstützung meiner Bachelorarbeit möchte ich mich bei folgenden Personen bedanken:

Dr. Stefanie von Fumetti für die Betreuung der Bachelorarbeit, die Mithilfe bei der Feldarbeit und Ihre grosse Hilfe bei der Organisation.

Dr. Ruedi Haller für das Ermöglichen der Probenahme im Schweizer Nationalpark.

Lucas Blattner für die Hilfe bei der Statistik und die hilfreichen Gespräche.

Enrica Steiner und Mile Tokic für die Hilfe beim Bestimmen der Makroinvertebraten und die Unterhaltung im Labor.

Meiner Familie und meinen Freunden, die mich bei dieser Arbeit immer unterstützt haben.

Abstract

Quellen sind einzigartige Lebensräume deren spezialisierte Fauna eine hohe Diversität aufweist. Viele Quellen in der Schweiz stehen aber bereits unter dem Einfluss des Menschen und können nichtmehr als natürlich angesehen werden. Anders ist dies im geschützten Schweizer Nationalpark. Die Quellen dort sind noch unberührt und kommen in sehr grosser Anzahl vor. Aus diesem Grund stehen diese natürlichen Lebensräume im Fokus der Forscher. Seit 2012 werden im Nationalpark die Quellen wieder intensiver auf ihre Fauna und Physikochemie untersucht. Das Monitoring ausgewählter Quellen in Macun soll dazu dienen, langfristige Veränderungen innerhalb der Quellfauna zu registrieren und allfällige Gründe dazu zu bestimmen. Mittels quantitativen und qualitativen Proben sowie die Aufnahme abiotischer Parameter wurden die Artenzusammensetzungen der Quellen in Macun untersucht. Dabei wurden drei Regionen innerhalb des Untersuchungsgebiets definiert, in denen sich jeweils drei naheliegende Quellen befanden. So konnten in insgesamt neun Quellen 27 Taxa bestimmt werden. Die Artenzusammensetzungen in den drei Regionen unterschieden sich aber nicht signifikant. Es konnte somit gezeigt werden, dass naheliegende Quellen trotz ihrer unterschiedlichen Umgebungen nicht voneinander isoliert sind.

Weitere Forschungsarbeiten sind nötig, um den Einfluss des Ausgangsgesteins auf die Lebensgemeinschaften zu beschreiben. Zudem sollte das Quellen-Monitoring jährlich weitergeführt werden um kontinuierliche Datengrundlagen zu erhalten.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Das Untersuchungsgebiet	3
2.1 Geologie und Topographie	4
2.2 Klima	5
3. Material & Methoden	7
3.1 Strukturelle Erfassung	7
3.2 Abiotische Parameter	8
3.3 Faunistische Erfassung	8
3.4 Statistische Auswertung	10
4. Standortcharakterisierung	11
5. Resultate	15
5.1 Abiotik und Struktur	15
5.2 Quellfauna	17
5.3 Statistische Auswertung	19
6. Diskussion	21
6.1 Methodendiskussion	21
6.2 Ergebnisdiskussion	24
7. Fazit	29
Literaturverzeichnis	31
Anhang	36

Abbildungsverzeichnis

Titelblatt: Foto Quelle 2.1 (G. Arnet)

Abb. 1: Der Schweizer Nationalpark (map.geo.admin)

Abb. 2: Gesteinsklassen des Schweizer Nationalparks (map.geo.admin)

Abb. 3: Klimadiagramme Zernez, Buffalora und Scuol (climate-data; MeteoSchweiz)

Abb. 4: Foto und Karte mit Region 1 (G. Arnet)

Abb. 5: Foto und Karte mit Region 2 (G. Arnet)

Abb. 6: Foto und Karte mit Region 3 (G. Arnet)

Abb. 7: nMDS Plot mit allen Daten und ohne Qualitätsproben

Abb. 8: nMDS Plot mit allen summierten Daten der Quellen

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Physikochemische Daten

Tab. 2: Substrattypen

Tab. 3: Individuen pro Taxon und Quelle

1. Einleitung

Die hydrogeologische Definition einer Quelle ist der Ort wo die wasserführende Gesteinsschicht (Aquifer) auf die Erdoberfläche trifft und dort der erste Abschnitt der Fließgewässer darstellt (Bahlburg & Breitkreuz, 2012).

Aus der Sicht eines Ökologen sind Quellen weitaus mehr als nur Wasseraustrittstellen. Sie sind der Schnittpunkt zwischen Land- und Wassersysteme und stellen mit ihren charakteristischen Eigenschaften die Heimat einzigartiger Ökosysteme dar. Die chemischen Zusammensetzungen des Wassers sowie die physikalischen Bedingungen des Quellbereichs werden dabei von der Geologie des Ausgangsgesteins geprägt (Cantonati et al., 2006 & 2012). Die physikalischen Eigenschaften einer Quelle werden von ihrer jeweiligen Topographie beeinflusst. Bei steileren Hangneigungen wird eine stärkere Schüttung und weniger organisches Substrat beobachtet, und bei niedriger Neigung weisen die Quellen eine kleine Schüttung mit viel organischem Substrat auf (Yasinskii & Gusev, 2003). Konstante und saisonale Umweltbedingungen wie Lufttemperatur oder Schnee- und Regenfälle beeinflussen das gesamte System zusätzlich von aussen (Cantonati et al., 2006 & 2012). Die Lebensgemeinschaften der verschiedenen Quellregionen haben sich an die jeweils dort herrschenden Bedingungen angepasst, sodass sich Quellen und deren Ökosysteme von Standort zu Standort unterscheiden (Cantonati et al., 2006). Alpine Quellbewohner kommen demnach mit härteren Bedingungen wie längere Schneebedeckung im Jahr und kälteren Temperaturen zurecht, als Quellbewohner in tieferen Höhenlagen (Wigger et al., 2015). Quellen sind demzufolge Ökosysteme welche aufgrund ihrer Isolation und Fragmentierung empfindlich auf lokale sowie globale Veränderungen reagieren (Woodward et al., 2010).

Aufgrund dieser Bedingungen werden Quellen mit ihren hochspezialisierten Organismen auch als Insel Lebensräume beschrieben, da sich die Umweltbedingungen weiter flussabwärts verändern und dort bereits neue Lebensräume anfangen. (Erman & Erman 1995). Die Verbreitung eines Organismus aus diesem Lebensraum heraus ist angesichts der terrestrischen und natürlichen Barrieren nur schwer zu vollbringen. Deshalb ist es erst für adulte und flugfähige oder parasitär lebende Organismen möglich, neue Quelllebensräume zu besiedeln (Robinson, 2009).

Mit dem Anstieg des Höhengradienten verändern sich die Artenzusammensetzungen der Quellen, wobei sie für jede Höhezone eine charakteristische Lebensgemeinschaft aufweisen (Wigger et al., 2015). Im Vergleich zu den tiefer gelegenen Quellsystemen sind die alpinen Quellen jedoch weniger gut beschrieben. Der Hauptgrund dafür ist die Schneebedeckung, welche für lange Zeit im Jahr keine Forschung zulässt. Dies ist auch der Grund weshalb die höher gelegenen Ökosysteme vom Menschen weniger beeinflusst werden. Alpine Quellen

stehen demnach wegen ihren extremen Umweltbedingungen und dem relativ kleinen Einfluss vom Menschen im Fokus der Quellforscher (Von Fumetti & Felder, 2014).

Um faunistische Unterschiede zwischen verschiedenen Standorten von Quellen besser zu erforschen, bietet sich der Schweizer Nationalpark (SNP) mit seiner Grösse und seiner Diversität an geologischen und geographischen Untergründen geradezu an. Unter strengem Schutz können sich dort die Quellen und Ökosysteme ohne anthropogene Störungen entfalten. Daher wurden bereits in den 1950er-Jahren einige Quellen im SNP untersucht, da sie ein zentraler Teil der lebendigen Landschaft darstellen (Haller et al., 2013). Damals wurde vorwiegend das Einflussgebiet des Flusses Ova del Fuorn untersucht, währenddessen die alpinen Quellen in diesem Gebiet noch unbeschrieben blieben. Um die ökologische Beschaffenheit der alpinen Quellen im SNP besser zu verstehen wurden diese Lebensräume erst seit 2012 wieder intensiv untersucht.

Generell sind Acari, Diptera, Oligochaeta, Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera die abundantesten Organismen in alpinen Quellen (Crema et al., 1996; Gerecke & Franz, 2006). Nebst diesen Hauptvertretern findet man sporadisch weitere Arten wie Mollusca, Amphipoda, Copepoda. Die Gruppen der EPT (Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera) sind auf sehr spezifische Bedingungen in den Quellen angewiesen. Sie stellen dadurch einen guten Indikator für sich verändernde Verhältnisse dar und werden bei der faunistischen Bewertung einer alpinen Quelle genauer untersucht. Mit der Veränderung der EPT-Fauna kann eine chemische oder physikalische Veränderung der Quelle und somit auch die des Untersuchungsgebiets beschrieben werden (Cantonati et al., 2006). Anthropogene Einflüsse und Langzeitveränderungen können mithilfe der sich verändernden Artenzusammensetzungen ebenfalls aufgedeckt werden.

Ziel dieser Bachelorarbeit war die Weiterführung des seit 2012 wiedereingeführten Monitoring von alpinen Quellen im Schweizer Nationalpark. Hierfür wurde im Gebiet Macun ein Bestand von Quellen aufgenommen und anhand deren Makroinvertebrata charakterisiert. Dabei wurden folgende Hypothesen aufgestellt, welche mit dem Gewinnen von empirischen Daten überprüft werden sollen:

a) die Quellen unterscheiden sich aufgrund verschiedener Substrattypen faunistisch voneinander, und b) die Quellen unterscheiden sich physikochemisch nicht voneinander.

Als weiteres Ziel galt ein Vergleich mit bereits untersuchten Quellen aus verschiedenen Höhenlagen im Nationalpark. Ein zusätzliches Hauptaugenmerk wurde auf die geologischen Ausgangsgesteine gelegt, da sich diese in Macun vom Rest des Nationalparks unterscheiden. So sollen wertvolle Erkenntnisse darüber gewonnen werden, wie geologische Unterschiede vollkommen unberührte Quellen und deren Fauna beeinflussen.

2. Das Untersuchungsgebiet

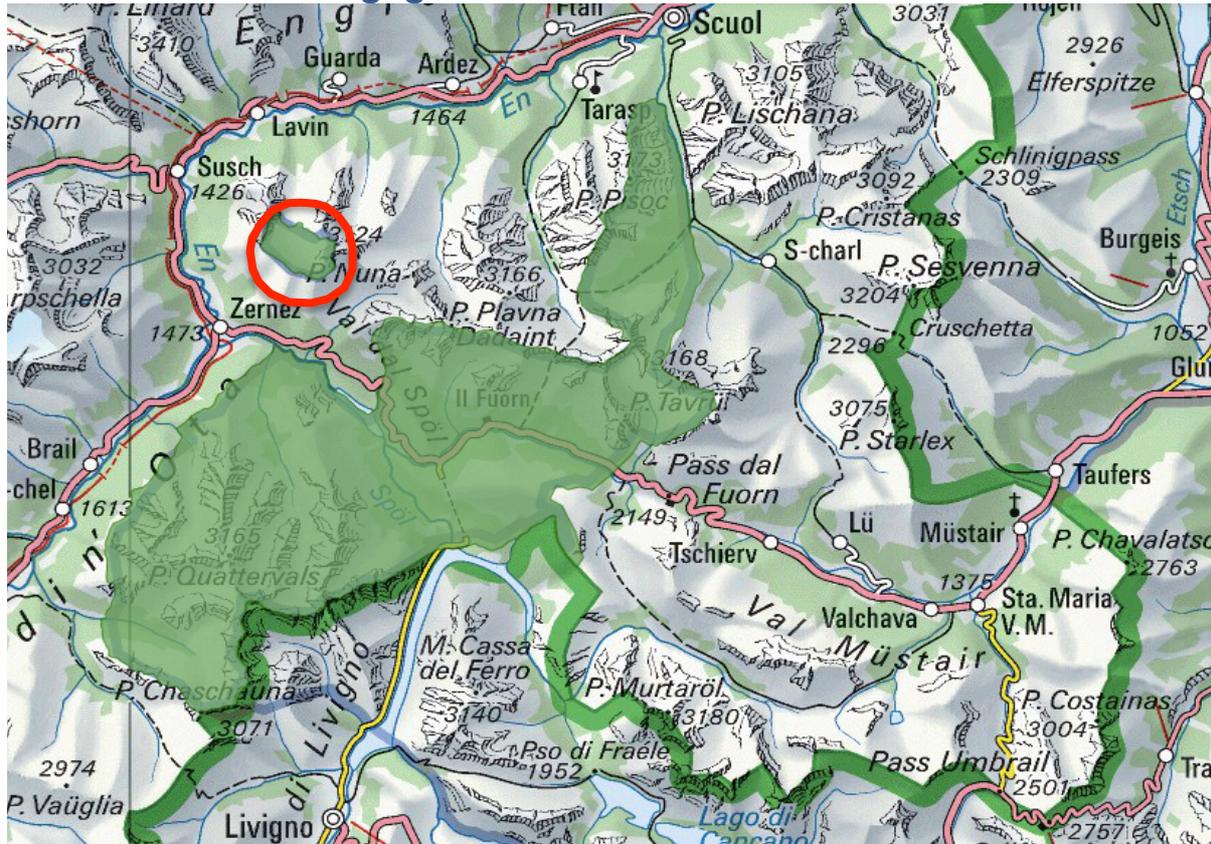


Abb. 1: Der Schweizer Nationalpark, das Untersuchungsgebiet Macun ist rot markiert. (map.geo.admin.ch, 2017)

Der 1914 gegründete Schweizer Nationalpark liegt im Osten des Kantons Graubünden und umfasst eine Fläche von 170,3 km². Er liegt im Zentrum der Alpen und erstreckt sich von der Gemeinde Zernez bis an die Grenze von Italien wo er seit 1977 an den Nationalpark Stilfserjoch angrenzt (Haller et al., 2014). Als grösstes Naturschutzgebiet des Landes ist das Gebiet von Bedeutung für die Erhaltung der Artenvielfalt und Forschung. Mithilfe von Gesetzen und Auflagen wird versucht, die Natur so unbeeinflusst wie möglich zu halten, womit das SNP zu den bestgeschützten Gebieten überhaupt gehört.

Unser Untersuchungsgebiet Macun liegt abgekoppelt vom Nationalpark als kleine Naturschutzinsel weiter nördlich von Zernez (Abb. 1). Das hochalpine Seenplateau befindet sich auf 2'600 M.ü.M. und gehört erst seit dem Jahr 2000 als Exklave zum SNP dazu. Mit 23 Karseen und Teiche, welche durch Bäche miteinander verbunden sind, sowie zwei Einzugsgebiete, die von Niederschlag und Schmelzwasser beeinflusst werden, besitzt die Region Macun innerhalb einer kleinen Fläche von 3,3 km² eine grosse Gewässerdiversität (Haller et al., 2014). Zwei markierte Wanderwege passieren das Naturschutzgebiet, welche während kurzer Zeit im Jahr begehbar sind. Menschliche Einflüsse sind deswegen in Macun minimal.

2.1 Geologie und Topographie

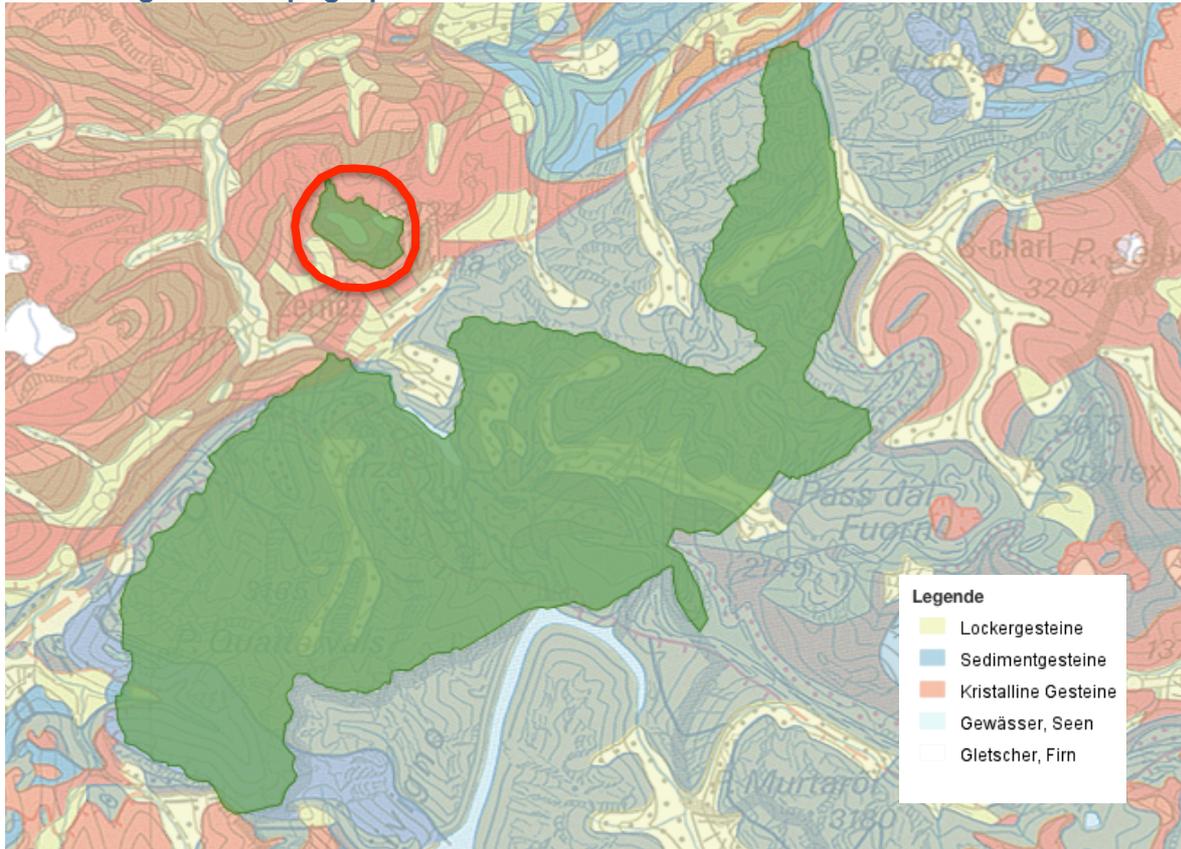


Abb. 2: Gesteinsklassen des Schweizer Nationalparks, das Untersuchungsgebiet Macun ist rot markiert (map.geo.admin.ch, 2017)

Nebst seiner kleinen Fläche ist die Geologie von Macun ein weiterer Hauptunterschied zum restlichen SNP. Macun liegt vorwiegend auf kristallinem Untergrund, während das Kerngebiet des Nationalparks vorüberwiegend aus dem Sedimentgestein Dolomit besteht. Das Silvrettakristallin erstreckt sich über eine grosse Fläche der Schweiz und hat seine Grenzen genau zwischen dem Kerngebiet und der Exklave Macun (Abb. 2).

Das Landschaftsbild der Seenplatte wird im Winter vor allem durch die zahlreichen aktiven Blockgletscher geprägt, die zum Teil bis zum Zentrum der Platte vorstossen. Aufgrund der Höhe und der günstigen Geomorphologie kann in Macun von periglazialen Prozessen gesprochen werden. Zu schneefreien Zeiten dominieren die Prozesse der Verwitterung und Erosion die Gesteine. So sind grosse Schutt- und Geröllflächen in diesem Gebiet anzutreffen. In diesen Sedimenten kann Wasser gut versickern, worauf es anschliessend an geeigneten Stellen wieder als Quellwasser an die Erdoberfläche gelangt (Inderbitzin & Pointner, 2000). Wiesenflächen sind ebenfalls vorhanden, wobei die Strukturverteilung vorwiegend von der Topographie abhängig ist. Geröllhänge sind bei grosser Neigung anzutreffen, während in flacheren Gebieten vor allem die Wiesen vorkommen. Bäume und Sträucher sind in diesen Höhen nicht überlebensfähig und daher abwesend.

2.2 Klima

Da sich auf Macun keine Messstationen für die Aufzeichnung des Klimas befinden, müssen naheliegende Stationen Hinweise für die dort herrschenden Verhältnisse liefern. Die Aufzeichnungen der Gemeinde Zernez sowie die Messstationen der Meteo Schweiz in Buffalora und Scuol sind dafür am besten geeignet (Abb. 3).

Die mittleren Jahresniederschläge in Zernez (1'474 m ü.M.) liegen bei 847 mm und die Durchschnittstemperatur beträgt 4,7°C. Die Anzahl an schneebedeckten Tagen ist wegen fehlender Daten unbekannt. Die Station Zernez befindet sich am nächsten von Macun, liegt allerdings weiter unten im Tal. Die Station Scuol (1'304 m ü.M.) befindet sich nordöstlich von unserem Untersuchungsgebiet und liegt ebenfalls in einem Tal. Hier sind die mittleren Jahresniederschläge mit 706 mm am geringsten und die Durchschnittstemperatur mit 5,5°C die höchsten Werte. Die Schneebedeckung im Jahr dauert 120,5 Tage. Die Station Buffalora (1'968 m ü.M.) ist von Macun am weitesten entfernt kommt aber mit ihrer Höhenlage unserer alpinen Umgebung am nächsten. Sie liegt an der östlichen Grenze des Nationalparks. Die mittleren Jahresniederschläge liegen bei 793 mm und die Durchschnittstemperatur bei 0,7°C. Diese Station misst mit 180,1 schneebedeckten Tagen die längste Kälteperiode.

Da die meisten Stationen deutlich tiefer liegen als unser Untersuchungsgebiet (2'600 m ü.M.) weisen sie wahrscheinlich höhere Temperaturen als in Macun auf. Tiefere Temperaturen im Zusammenspiel mit den durchschnittlichen Niederschlägen lassen vermuten, dass in Macun viel Wasser in Form von Schnee fällt. Da das Klima in den Alpen von der Höhenlage und lokaler Topographie beeinflusst wird (Beniston, 2006), weichen diese Grundtendenzen von den effektiven klimatischen Verhältnissen von Macun mit grösster Wahrscheinlichkeit ab.

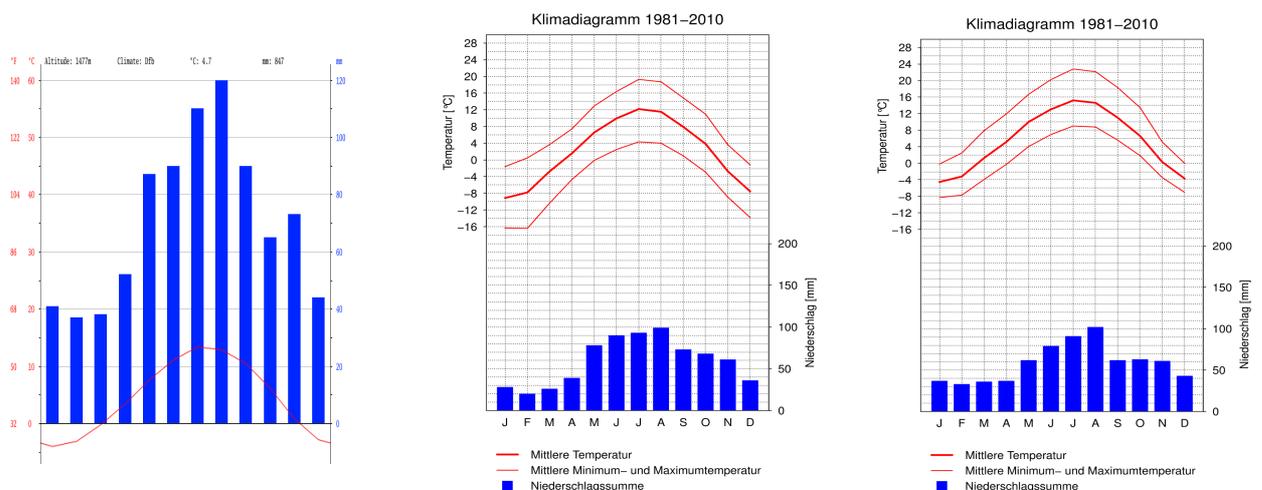


Abb. 3: Klimadiagramme mit mittlerer Temperatur in °C (rot) und Niederschlagssumme in mm (blau) pro Monat in Zernez (links 1'474 m.ü.M.), Buffalora (mitte, 1'968 m.ü.M.) und Scuol (rechts 1'304 m.ü.M.) (www.climate-data.org, 2017; www.meteoschweiz.admin.ch, 2017)

3. Material & Methoden

3.1 Strukturelle Erfassung

Dank Informationen aus letztjährigen Untersuchungen (persönliche Kommunikation von von Fumetti, Anhang 4) konnten bereits im Vorfeld einige potentielle Quellstandorte auf einer Karte markiert werden. Insgesamt wurden 7 potentielle Standorte im Nord- und im Südbecken des Untersuchungsgebietes definiert wo das Auftreten einer Quelle wahrscheinlich ist (Siehe Anhang 4). Die endgültige Entscheidung der Quellstandorte wurde dennoch vor Ort bestimmt, da die Lage der Quellaustritte nie sicher vorausgesagt werden kann. Mit der Hilfe von Stefanie von Fumetti konnten untersuchbare Quellen innerhalb und ausserhalb der markierten Standorte festgelegt werden. Nebst der Suchhilfe diente die eingezeichnete Karte auch als Orientierungsmittel im Untersuchungsgebiet.

Insgesamt wurden 9 Quellen im Untersuchungsgebiet kartiert. Die Quellstandorte ermöglichten es das Untersuchungsgebiet in drei voneinander getrennte Regionen aufzuteilen. Dabei befanden sich in jeder Region jeweils drei naheliegende Quellen, welche vom Rest weiter entfernt waren. Dies sollte die Grundlage für unsere Hypothese sein, dass die Quellfauna innerhalb des Naturschutzgebiets Macun voneinander isoliert ist.

Die Nummerierung der Quellen entsprach der Chronologie der Probeentnahmen an 2 Tagen. Die Quellen 6 (Region 3) und 7 (Region 2) erscheinen vertauscht, weil die Quelle 6 noch am Abend des ersten Tages (25.7.2016) kartiert wurde (sie lag nahe bei unserer Unterkunft). Die Quelle Nummer 7 wurde am darauf folgenden als erste beschrieben.

Für jede Quelle wurde ein Quellenprotokoll (Blattner & Von Fumetti, 2016) geführt, welcher die Grundlagedaten sowie die Strukturen der jeweiligen Standorte beschrieb (Siehe Anhang). Die Schüttung der Quellen wurde aufgrund der kleinen austretenden Wassermengen von Auge geschätzt und mit „wenig“ oder „sehr wenig“ bezeichnet. Weiter wurden die genauen Positionen sowie die Höhen in m ü.M mittels Navigationsgerätes Garmin eTrex 10 im UTM-Koordinatensystem erfasst. Nebst einer Skizze wurden sämtliche Quellstandorte noch photographisch festgehalten (iPhone 5).

3.2 Abiotische Parameter

Die chemisch-physikalischen Daten jeder Quelle (Temperatur [°C], Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$], Sauerstoffgehalt [mg/l, %] und pH) wurden mit dem Multi 350i WTW (Wissenschaftlich-Technische Werkstätte GmbH) aufgenommen und protokolliert. Innerhalb jeder Quelle wurde dabei ein optimaler gesucht wo die Sensoren des Messgeräts darin gelegt werden können. Optimale Standorte zeichnen sich durch genügend tiefe Wasserbecken nahe am Quellaustritt aus. Pro Quelle wurde eine einmalige Messung gemacht. Hauptanionen,-kationen und Hydrogenkarbonatgehalt wurden nicht gemessen, da die Wassertypen der Quellen für diese Arbeit nicht relevant waren.

3.3 Faunistische Erfassung

Die Beprobung im Feld verlief immer nach dem gleichen Schema ab. In jeder Quelle wurden jeweils zuerst 4 quantitative und anschliessend eine qualitative Probe entnommen. Dabei wurde jeweils zum Quellaustritt hin gearbeitet damit tiefer gelegene Standorte nicht vom aufgewirbeltem Substrat und losgelösten Steinen beeinflusst werden.

Die quantitativen Proben wurden, unter Berücksichtigung der dominierenden Substrattypen, mit einem Surbersampler genommen. Dieser besteht aus einem quadratischen Rahmen aus Metall an dem ein Netz befestigt ist. Das Netz besitzt eine Maschenweite von $200\mu\text{m}$ damit auch die kleinsten Organismen wie z.B. Acari darin hängen bleiben. Der Metallrahmen mit der Fläche von 0.01m^2 dient dazu die Untersuchungsfläche vom umliegenden Substrat zu trennen. Da die Fläche des Rahmens und somit auch die Grösse unserer Untersuchungsfläche bekannt ist, kann die Individuendichte der Quellen gemessen werden. Das Substrat und die darin lebenden Organismen innerhalb der Metallfläche werden von Hand aufgewirbelt und mit der Fließströmung in das Netz geschwemmt. Das im Surbersampler eingesammelte Material wurde anschliessend in eine Weisschale geleert wo die groben Substratpartikel entfernt werden. Von dort aus wurde der Rest der Probe mittels einem eigenen entwickelten Netzbecher (Von Fumetti & Felder, 2014) in ein mit 80% Ethanol gefüllten Becher überführt und mit Namen, Datum und Ort beschriftet. Erst nach der vierten Quantitätsprobe wurde die Qualitätsprobe gemacht.

Für die qualitativen Proben benötigte man nur eine Pinzette und ein mit 80% Ethanol gefüllten Becher. Bei dieser Methode lief man erneut zum Quellaustritt hin und sammelte innerhalb der Quelle die von Auge aus sichtbaren Organismen ein, welche von der quantitativen Beprobung übrig geblieben waren. Die qualitativen Proben sollten von möglichst verschiedenen Substraten genommen werden, um unterschiedliche viele Habitate und deren Organismen ein weiteres Mal abzudecken. Vorgefundene Organismen wurden umgehend im beschrifteten Becher konserviert.

Die gesammelten Organismen wurden nach der Feldarbeit im NLU (Natur-, Landschafts- und Umweltschutz Institut, Universität Basel) mit einem Binokular (Leica) vom Substrat getrennt. Die relevanten Organismen wurden anschliessend mithilfe von Bestimmungsliteratur so weit wie möglich bestimmt.

3.4 Statistische Auswertung

Die statistischen Auswertungen wurden mit der Software PRIMER (Clarke & Gorley, 2006) durchgeführt. Dazu wurden die Anzahl Individuen pro Art und pro Quellstandorte in einer species-site Matrix dargestellt. Die grosse Anzahl der Individuen wurde mittels vierter Wurzel transformiert. Mit der nichtmetrischen multidimensionalen Skalierung (nMDS) konnten die Distanzmassen zwischen den einzelnen Proben in einem zweidimensionalen Raum ermittelt und dargestellt werden. Datenpunkte die nahe beieinander liegen weisen dabei eine hohe Ähnlichkeit auf. Als sinnvolles Distanzmass wurde das Bray-Curtis Similarity verwendet (Leyer & Wesche, 2007). Das Stress-Mass zeigt die Güte der zweidimensionalen Abbildung. Diese sind bei Werte unter 0.1 gut und bei Werte unter 0.2 genügend (Clarke & Gorley, 2006).

Für die Bestimmung der Signifikanz zwischen der verschiedenen Artenzusammensetzungen der Quellstandorten wurde die Analysis of similarities (ANOSIM) verwendet. Der R-Wert oder Korrelationskoeffizient gibt an wie stark die Unterschiede zwischen bzw. innerhalb der untersuchten Proben und Standorte sind. Dabei wird ein Wert zwischen +1.0 und -1.0 angegeben. Ein R-Wert nahe bei 1.0 zeigt, dass es signifikante Unterschiede zwischen den Proben gibt, während ein Wert nahe von -1.0 auf signifikante Unterschiede innerhalb der Proben deutet. Die Werte nahe bei 0 deuten auf eine Gleichheit der untersuchten Gruppen hin (Clarke & Gorley, 2006).

Der p-Wert (p steht für probability) wird zwischen 1.0 und 0 angegeben. Dabei zeigt er an, wie wahrscheinlich es ist ein extremes Ereignis zu erhalten, sodass die Nullhypothese verworfen werden muss. Die Nullhypothese in dieser Arbeit besagt, dass es zwischen den Proben keine signifikanten Unterschiede gibt. Die Grenze in dieser Arbeit liegt beim Wert von 0.05 bzw. 5%. Sind die Werte der verglichenen Proben und Standorten also unter dem Grenzwert, so werden sie als signifikant unterschiedlich angesehen, während die darüber liegenden Werte eher auf eine Ähnlichkeit zwischen den Proben und Standorten hinweisen (Clarke & Gorley, 2006).

Die Ähnlichkeit der Proben innerhalb deren Quellen wurde mittels Similarity Percentage (SIMPER) ermittelt. In Prozent wird angegeben wie stark sich die Proben zueinander ähneln wobei 100% die grösste Ähnlichkeit darstellt.

4. Standortcharakterisierung

Region 1

Die erste Region wurde im Nordbecken des Untersuchungsgebietes gefunden. Dort dominierten trotz mässigeren Hangneigungen die Wiesenflächen das Landschaftsbild. Bei den Quellen gingen die Wiesenflächen allerdings zu Blöcken und Steinen über, was auf eine länger andauernde Erosion des Quellwassers zurückzuführen ist. Da der Einfluss der umliegenden Vegetation auf die Substrate gross war, wurden in diesen Quellen viel Moos und Detritusaufgaben als Substrattypen beschrieben. Aufgrund der geringen Schüttungen dieser Quellen wurden die Substrate nicht weit transportiert und sammelten sich in natürlichen Becken an.

Die Standorte der Quellen lagen dort in einem Mittelhang etwa auf 2'620 m ü.M. und befanden sich in der Nähe von verschiedenen Karseen, in welche ihre Quellbäche jeweils mündeten.

In dieser Region befinden sich die Quellen 1, 2 und 3.

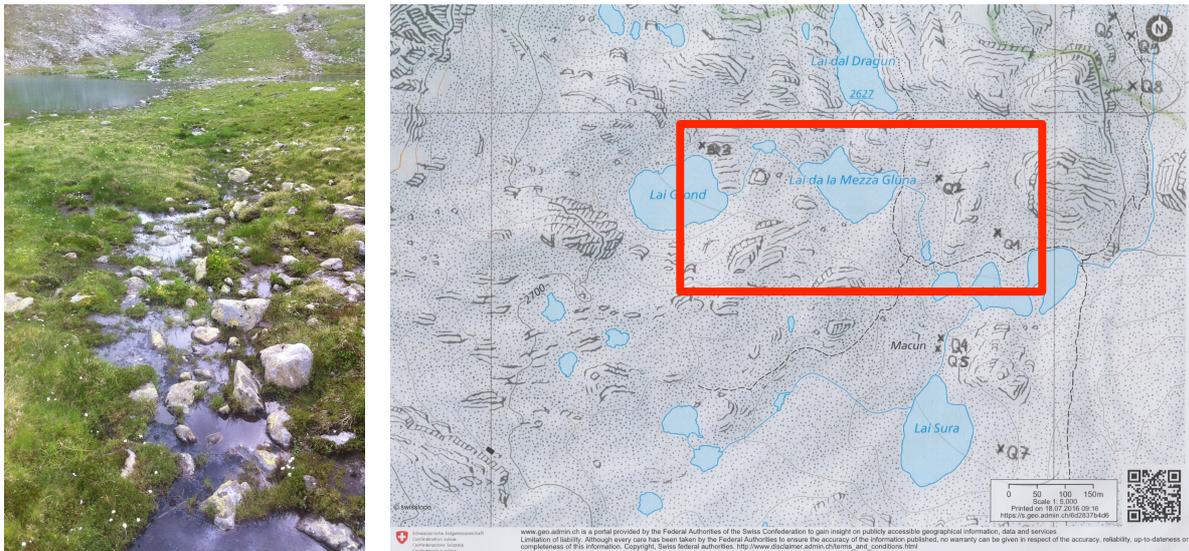


Abb. 4: Foto (G. Arnet) und Lage der Region 1 mit Quellen 1, 2 und 3 im Untersuchungsgebiet (Rote Markierung).

Region 2

Diese Region befindet sich im Südbecken des Untersuchungsgebiets und wurde zwischen den Seen „Lai Sura“ und „Lai d'Immez“ kartiert. Da diese Karseen mit einem Bach miteinander verbunden sind, befinden sich die untersuchten Quellen nicht weit davon entfernt. Wie stark die Seen und der Bach die Quellen beeinflussen kann in dieser Arbeit nicht bestimmt werden.

Die Quellen der Region 2 befinden sich an verschiedenen Hangfüssen und weisen keine grosse Hangneigung auf. Daher dominieren die Wiesenflächen. Die Wasser-Land-Verzahnung der Quellen ist darum sehr gross, da das Wasser aus der Quelle nicht abfliesst und sich in natürlichen Becken sammelt. Trotz naheliegendem Bach und den Seen sind die Quellschüttungen auch bei diesen Quellen nicht gross.

In dieser Region befinden sich die Quellen 4, 5 und 7.

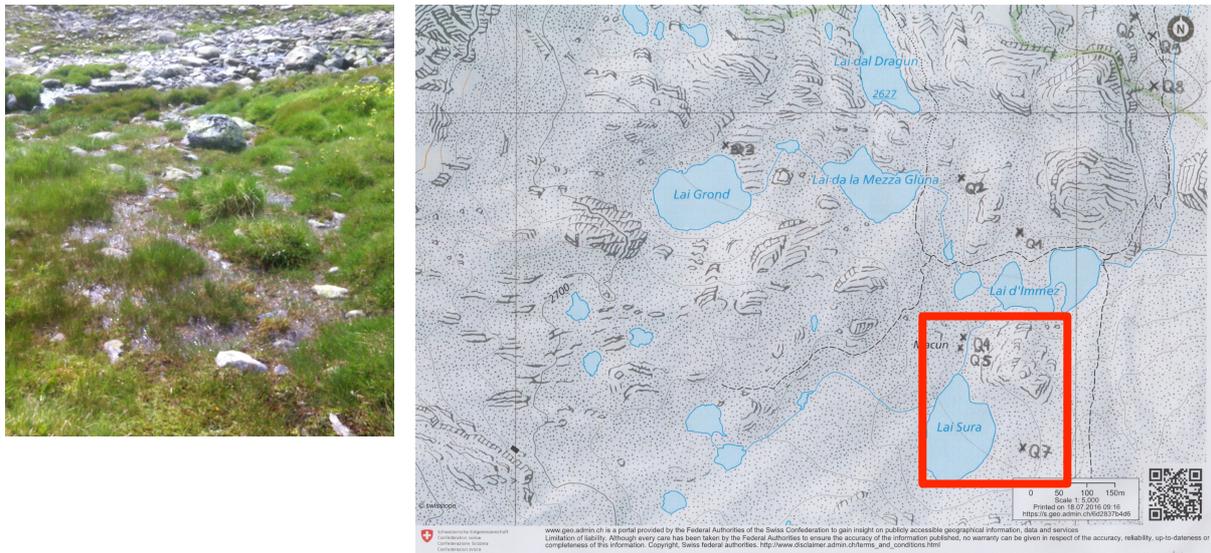


Abb. 5: Foto (G. Arnet) und Lage der Region 2 mit Quellen 4, 5, und 7 im Untersuchungsgebiet (Rote Markierung).

Region 3

Die dritte Region wurde im Nordosten nahe der Nationalparkgrenze gefunden. Sie liegt an der topographischen Grenze des Seenplateaus und mit 2'590 m ü.M. tiefer als die anderen Regionen. Nennenswert ist der Wanderweg welcher die Region durchquert. Er ist der Zugang zu den anderen Regionen und dem Kerngebiet des Plateaus. Der Hauptausfluss der Seen von Macun fliesst als Bach nahe von den Quellen und dieser Region vorbei.

Die Quellen befinden sich entweder an einem Hangfuss oder einer Tallage. Die Hangneigungen sowie die Quellschüttungen sind daher nicht gross. Natürliche Wasserbecken, die das Substrat aufsammeln, sind hier in grossen Mengen vorzufinden. Im Vergleich zu den anderen Regionen kamen hier Felsen und Steine genauso oft wie Moos- und Wiesenflächen vor.

In dieser Region befinden sich die Quellen 6, 8 und 9.

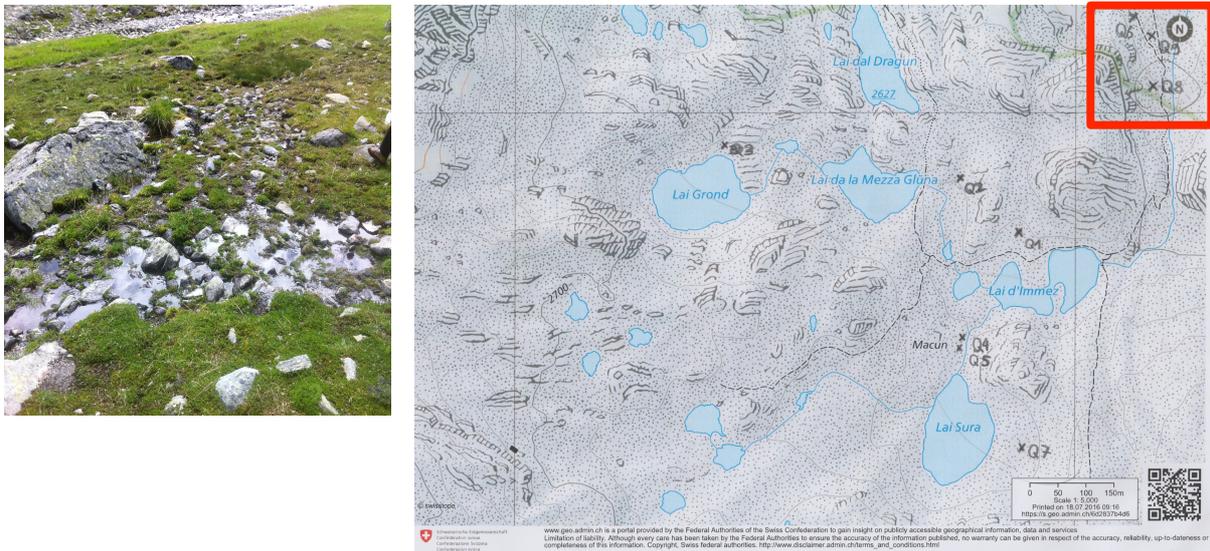


Abb. 6: Foto (G. Arnet) und Lage der Region 3 mit Quellen 6, 8 und 9 im Untersuchungsgebiet (Rote Markierung).

5. Resultate

5.1 Abiotik und Struktur

Die physikochemischen Messungen wurden pro Quelle nur einmalig aufgenommen (Tab. 1). In der Quelle 1 wurden keine Daten zum Sauerstoff erhoben, da das Messgerät diese nicht angab. Am zweiten Arbeitstag (26.7.16) kam zudem noch ein technisches Problem bei der Messsonde für die Leitfähigkeit des Wassers dazu, weshalb dort die meisten Daten fehlen.

Tabelle 1: Die physikochemischen Daten aller beprobten Quellen aus Macun. NA steht für „non applicable“

	Quelle 1	Quelle 2	Quelle 3	Quelle 4	Quelle 5	Quelle 6	Quelle 7	Quelle 8	Quelle 9
Temperatur (°C)	18.4	13.9	9.7	15.3	8.8	5.7	12	12.7	15.2
Leitfähigkeit (µS/cm)	11.2	8.8	4.6	20.4	NA	NA	NA	NA	NA
Sauerstoff (%)	NA	93.8	102	77.3	46	83.4	91	89	115
Sauerstoff (mg/L)	NA	8.96	10.5	9.21	4.79	9.28	8.47	8.32	10.4
pH	7.1	8	7.7	7.6	7.8	9.8	9.6	9	8.3

Die Temperaturen in den Quellen variieren zwischen 18.4 und 5.7 °C, wobei höhere Quelltemperaturen über 10°C öfter erscheinen als tiefere. Die Durchschnittstemperatur aller Quellen liegt bei 12,4 °C.

Der Sauerstoffgehalt ist ausser bei Quelle 5 relativ quelltypisch und variiert zwischen 90-100% bzw. 8-10mg/L. Bei der Quelle 3 (102%) und 9 (115%) konnten leichte Übersättigungen des Sauerstoffs festgestellt werden.

Den pH-Werten zufolge kann man die untersuchten Quellen zwischen neutral (pH 7.1) und basisch (pH 9.8) einstufen. Die Vegetation beeinflusst die pH-Werte einer Quelle dabei massgeblich. Die Präsenz von Gräsern mit ihrem Anionen und Kationen Austausch sowie deren Nährstoffaufnahme haben einen erhöhenden Effekt auf den pH-Wert (Navratilova & Navratil, 2005). Saure Quellen mit pH unter 7 wurden keine vorgefunden.

Die Schüttungen der Quellen ähnelten sich bei allen („wenig“ bis „sehr wenig“), allerdings sind die Verteilungen übers Jahr verschieden. So schüttet die Quelle 1 nur zeitweise, d.h. wenn es geregnet hat oder gerade viel Schmelzwasser das Einzugsgebiet speist. Die Quelle 4 schüttet als einzige das ganze Jahr durch. Die restlichen Quellen schütten unterbrochen,

was darauf hindeutet, dass die saisonalen Bedingungen im Winter keine Schüttung zulassen und diese Quellen versiegen. Die Wasser-Land-Verzahnung ist bei allen Quellen „gross“.

Da sämtliche Quellen relativ klein waren und eine geringe Schüttung sowie Fliessgeschwindigkeit aufwiesen, wurde die Strömungsdiversität bei allen als „glatt“ bezeichnet.

Statistische Aussagen sind aufgrund der einmaligen Datenerhebungen pro Standort und den technischen Problemen nicht möglich. Die Vertrauenswürdigkeiten dieser Daten sind schwach und können für weitere Tests nicht verwendet werden.

Tabelle 2: Substrattypen mit Häufigkeitsangaben: 0% (0), 0 – 20% (1), 20 – 40% (2), 40 – 60% (3), 60 – 90% (4), > 90% (5). NA steht für „non applicable“

	Quelle 1	Quelle 2	Quelle 3	Quelle 4	Quelle 5	Quelle 6	Quelle 7	Quelle 8	Quelle 9
Moospolster	3	2	2	2	2	4	4	4	2
Wurzelräume	NA	0	0	0	1	0	0	1	1
Totholz	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Detritusauflage	4	4	1	1	2	3	3	2	2
Vegetation	3	3	1	1	2	4	4	3	2
Ton & Schluff	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Sand	1	1	1	1	1	0	0	1	1
Feinkies- Kies & Grus	2	2	1	1	1	0	0	2	1
Mittel-Grobkies	1	1	1	1	2	0	1	1	2
Steine	1	2	3	3	1	0	2	2	2
Blöcke	3	3	3	3	1	2	2	1	2
Felsen	0	0	0	1	0	2	1	1	1

Im Durchschnitt wurden 8.3 verschiedene Substrattypen pro untersuchte Quelle gefunden (Tab. 2). Mit 10 verschiedenen Substrattypen weisen die Quellen 8 und 9 die grösste Diversität auf, Quelle 6 dagegen beinhaltet mit 5 verschiedenen Substrattypen die kleinste Diversität. Moospolster und Detritusauflage wurden in allen untersuchten Quellen vorgefunden, Totholz war dafür überall abwesend. Der Grund dafür liegt an der Höhe des Untersuchungsgebietes, welche über der Baumgrenze lag. Demensprechend sind bei den Quellen auch die Wurzelräume selten vorgefunden worden.

5.2 Quellfauna

Insgesamt wurden 45 Proben entnommen und 44 analysiert (quantitative Proben Nr. 1.1 bis 9.4 mit der Kodierung: Quellnummer.Probennummer; qualitative Proben mit der Kodierung: 1.Q bis 9.Q). Die Probe 4.1 konnte nicht untersucht werden, da der Becher mit Inhalt (Substrat und Tiere) verloren ging. Es konnten 7`146 Individuen aussortiert und bestimmt werden (Tab. 3). Mit 650 Individuen besitzt die Probe 8.4 die meisten Individuen, während in der Probe 4.Q überhaupt keine Tiere waren. Der Durchschnitt liegt bei 158.8 Individuen pro Probe.

Wenn alle Individuen pro Quelle zusammengezählt werden, ist der reichste Standort bei Quelle Nr. 8 (1497 Individuen) und der ärmste Standort bei Quelle 3 (mit 337 Organismen) anzutreffen. Quelle 4 wies trotz einer verloren gegangener Probe und einer leeren Qualitätsprobe 508 Individuen auf.

Innerhalb der drei untersuchten Gebiete wurden unterschiedlich viele Tiere vorgefunden. Die Quellen an der Grenze des Macun-Plateaus (Region 3 mit den Quellen 6, 8 & 9) beinhalteten mit 3`344 Individuen die meisten Tiere und machten somit fast die Hälfte aller gesammelten Individuen der ganzen Arbeit aus. Das im vorhinein gekennzeichnete Gebiet im Nordbecken (Region 1 mit den Quellen 1, 2 & 3) mit 2`029 Individuen und das Gebiet nahe des Sees „Lai Sura“ (Region 2 mit den Quellen 4, 5 & 7) mit 1`775 Individuen waren vergleichbar.

Die Oligochaeta sind mit 2`935 Individuen die meistgefundene Tiergruppe. Die Acari (1`677 Individuen) und Diptera (976 Individuen) sind nach den Oligochaeta ebenfalls überdurchschnittlich individuenreich. Von den Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera (EPTs) wurden nur Trichoptera in relativ kleiner Anzahl (61 Individuen) gefunden. Trotz der geringen Individuenanzahl, gehören die Trichoptera zusammen mit den Diptera zu den artenreichsten Ordnungen (7 verschiedenen Arten). Die am häufigsten gefundene Art der Trichoptera ist die *Micropterna lateralis* (Stephens, 1842). Insgesamt wurden 27 Taxa und 5 Arten bestimmt. Tiergruppen wie die Copepoda, Tardigrada, Ostracoda, Oligochaeta & Acari wurden nicht weiter bestimmt.

In den Qualitätsproben wurden 41 Individuen identifiziert, die in 11 verschiedenen Arten zugeordnet wurden.

Tabelle 3: Summe der Individuen pro Taxon und Quelle, die in den quantitativen und qualitativen Proben bestimmt wurden.

	Quelle 1	Quelle 2	Quelle 3	Quelle 4	Quelle 5	Quelle 6	Quelle 7	Quelle 8	Quelle 9
Turbellaria									
<i>Crenobia alpina</i> (Dana, 1766)	0	1	3	0	37	0	0	0	4
Oligochaeta									
	523	326	22	217	57	337	206	1114	113
Tardigrada									
	1	5	0	51	1	0	214	6	447
Acari									
	254	229	16	80	138	385	34	5	536
Copepoda									
	1	76	225	99	68	4	30	1	78
Ostracoda									
	1	0	0	6	6	0	0	0	13
Collembola									
<i>Anurophorus</i> sp.	0	4	17	0	0	0	1	0	0
<i>Arrhopalites</i> sp.	2	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Isotoma</i> sp.	0	70	2	0	5	8	1	0	1
<i>Sminthurus</i> sp.	2	2	1	0	0	2	0	0	0
<i>Tetracanthella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Trichoptera									
<i>Conсорophylax consors</i> (McLachlan, 1880)	0	0	6	0	4	0	0	0	1
Limnephilidae	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Limnephilini	0	0	0	6	0	0	0	0	0
<i>Limnephilus coenosus</i> (Curtis, 1834)	0	0	0	0	0	0	4	0	0
Melampus	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Melampophylax melampus</i> (McLachlan, 1865)	0	0	0	0	8	0	0	0	0
<i>Micropterna lateralis</i> (Stephens, 1834)	0	0	3	5	14	2	1	1	3
Diptera									
Ceratopogoninae	0	0	0	0	0	0	1	6	0
Chironomidae	15	155	39	42	54	129	74	368	58
Verpuppte Chironomidae	11	8	0	0	0	0	2	2	1
<i>Chelifera</i> sp.	0	1	0	0	0	1	2	0	0
Dasyheleinae	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Dicranota</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Muscidae	0	1	0	0	0	2	0	0	0
<i>Prosimulium</i> sp.	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Coleoptera									
Dytiscidae	2	0	1	2	1	0	1	0	0

5.3 Statistische Auswertung

Die Analyse der Daten mittels nMDS zeigte, dass es zwischen den Quellen der untersuchten Regionen keine signifikanten Unterschiede der Artenzusammensetzungen gibt. Nur selten liegen die vier quantitativen Proben einer Quelle nahe beieinander, wie dies zum Beispiel bei der Quelle 9 zu beobachten ist (Abb. 7 rechts).

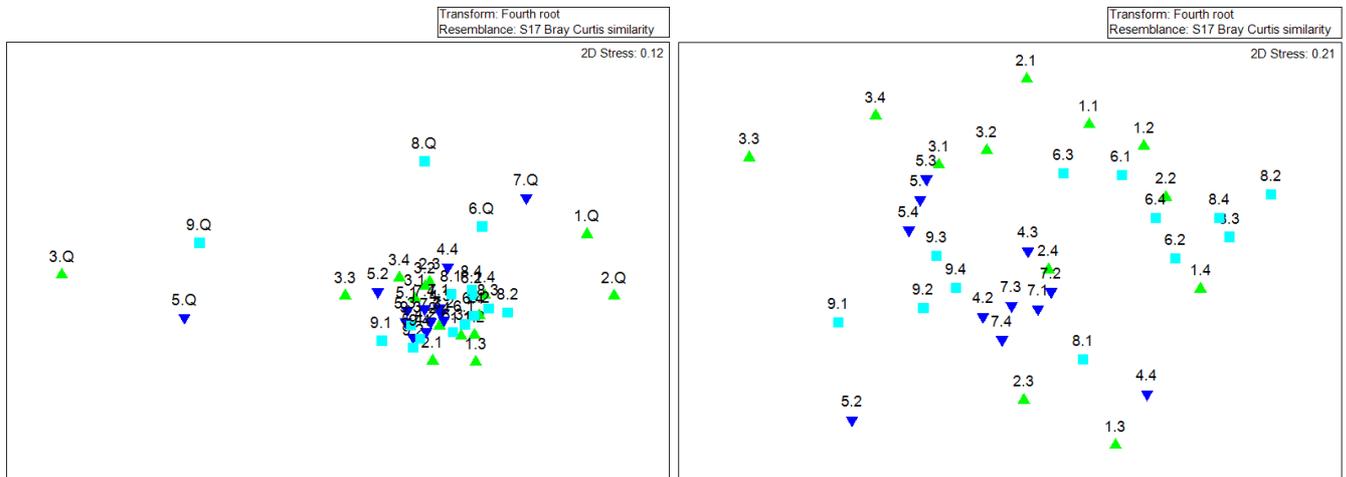


Abb. 7: Zweidimensionale Darstellung (nMDS) der Ähnlichkeit zwischen den einzelnen Proben (quantitative Proben: 1.1 bis 9.4; qualitative Proben: 1.Q bis 9.Q) aus der Region 1 (grüne Vierecke nach oben), Region 2 (marine Vierecke nach unten) und Region 3 (türkise Vierecke). Datenpunkte die nahe beieinander liegen weisen eine hohe Ähnlichkeit auf. Links: Darstellung mit alle Proben; rechts: Darstellung ohne qualitativen Proben.

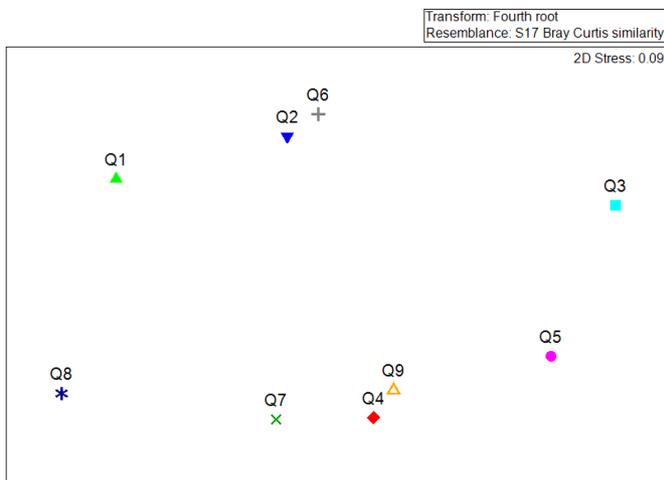


Abb. 8: Zweidimensionale Darstellung (nMDS) der Ähnlichkeit zwischen den einzelnen Quellen. Die Datenpunkte Q1 bis Q9 stellen die Summe aller Proben innerhalb einer Quelle dar.

Die Ähnlichkeitsanalyse mittels ANOSIM ergab ein Global R Wert von 0,014 mit einem p-Wert von 0.244 (keine signifikanten Unterschiede zwischen den Artenzusammensetzungen; Siehe Anhang).

6. Diskussion

6.1 Methodendiskussion

Die Karte mit den potentiellen Quellstandorten vom Untersuchungsgebiet war für die Suche nach Quellen und die Orientierung im Feld sehr nützlich. In 4 von diesen 7 markierten Standorten wurden auch untersuchbare Quellen vorgefunden, die man für diese Arbeit berücksichtigte. Die Erscheinungsbilder und Lage der alpinen Quellen können aufgrund der Umweltbedingungen stark variieren, weshalb eine Vorhersage der Quellaustritte nie vollkommen sicher ist (Germaud et al., 2009). Die endgültigen Quellenstandorte mussten daher vor Ort bestimmt werden. Für weitere Forschungsarbeiten über Quellen ist die Berücksichtigung der vorgefundenen Standorte und gesammelten Informationen von diesem Gebiet zu empfehlen, doch die Bestätigung vor Ort ist unabdingbar.

Die Bestimmung vom Quellaustritt war manchmal unklar. Bei einigen Quellen wurde das Grundwasser von unten an die Oberfläche gedrückt während andere Quellen mehrere Ursprünge besaßen. Vor allem bei Quellen die nahe an einem Fließgewässer lagen (Quellen 4, 5, 8 und 9) war diese Bestimmung unmöglich. In solchen Fällen wurde keine Hauptaustrittsstelle definiert.

Das Untersuchungsverfahren der Quellen verlief immer identisch mit vier aufeinanderfolgenden quantitativen und einer qualitativen Probenahme. Der für die quantitativen Proben benutzte Subersampler eignete sich für die Sammlung der Substrate sehr gut, da er für Feldarbeiten einfach zu bedienen ist und eine bereits integrierte Referenzfläche besitzt. So konnten die Individuen pro Fläche bestimmt werden, was bei der qualitativen Beprobung nicht möglich ist. Mittels 4 quantitativen Probenahmen pro Quelle konnten mit dem Subersampler auch alle verschiedenen Substrattypen beprobt werden, da sämtliche Quellen relativ klein und vom Substrat her ähnlich waren. Allerdings gestaltete sich die Beprobung von steinigen Quellen als problematisch, da die Bezugsfläche nicht fest in den Boden gedrückt werden konnte. So wurden einige Organismen nach dem Entfernen der groben Steine aufgescheucht und konnten nicht eingesammelt werden. Zudem wurden einige Individuen nach dem Aufwirbeln des Substrats durch die mechanischen Einwirkungen zerstört, sodass sie im Labor nur schlecht bestimmt werden konnten. Die Maschenweite von 200µm hat zudem dazu geführt, dass noch mehr Feinsubstrat im Netz hängen geblieben ist, was die Organismen noch mehr schädigen konnte. Das Aussortieren im Labor wurde mit dem zusätzlichen Material somit noch erschwert. Allerdings wurden bei dieser Maschenweite auch mehr kleinere Organismen wie Acari, Copepoda oder Tardigrada gefangen, die nun in dieser Arbeit aufgeführt sind. Die Ergänzung der qualitativen Proben hat dennoch viele Vorteile. So wurden aus insgesamt 41 gesammelten Individuen 11 Arten bestimmt, was für

eine hohe Diversität spricht. Die Gattung *Prosimulium* und die Art *Limnophilus coenosus* (Curtis 1834) wurden nur in einer Qualitativprobe gefunden, was ihre Wichtigkeit nochmals unterstreicht.

Andere Methoden wie die Verwendung eines Handkeschers würden für die qualitativen Probenahme bei Quellen dieser Grösse keinen Sinn ergeben. Dieser würde nicht in das Quellwasser reinpassen wodurch ein Abklopfen des Substrats nicht möglich wäre.

Der Kartierungsbogen (Blattner & Von Fumetti, 2016) eignete sich gut um sämtliche Daten der Umgebung und die Eigenschaften der Quellen selbst festzuhalten, da dieser für solche Studien konzipiert ist. Um die gesammelten Daten anschliessend vergleichen zu können, sollten sämtliche Kartierungsbögen standardisiert werden oder aufeinander angepasst sein. Die Verwendung vom Multi 350i-Messgerät ermöglichte es Daten im Feld schnell zu erheben. Nach der Kalibrierung konnten die verschiedenen Sensoren die Messungen von alleine durchführen, wodurch es möglich war die chemisch-physikalischen Daten gleichzeitig wie die faunistischen Daten zu erheben. Zu jeder Quelle wurde jeweils nur eine Messung der abiotischen Faktoren gemacht, weshalb die Daten nicht vertrauenswürdig sind. Man hätte an einer weiteren Stelle die gleichen Messungen wiederholen müssen um einen Mittelwert zu erhalten. Der Verlust der Sonde für die Leitfähigkeit konnte mangels technischer Kenntnisse nicht behoben werden, wodurch diese Daten für die Arbeit ebenfalls irrelevant werden. So stellen diese chemisch-physikalischen Daten nur eine Momentaufnahme von einem Punkt in den Quellen dar, welche nach einer Stunde wieder komplett anders aussehen könnte. Auch äussere Einflüsse wie das Wetter und die Lufttemperatur wurden hier vernachlässigt, obwohl diese einen klaren Einfluss auf die Eigenschaften der Quellen hat (Nadig, 1942).

Die abiotischen Daten konnten aufgrund zu kleiner Stichprobenzahlen statistisch nicht ausgewertet werden. Um sicherzugehen, dass abiotische Messwerte ausreichend beprobt wurden, könnte eine standardisierte Vorgehensweise verwendet werden. Diese könnte z.B. die Anzahl an erforderlichen Messungen sowie die Messpunkte innerhalb einer Quelle beinhalten die nötig sind, um ein Mittelwert samt Standardabweichung zu berechnen. Um genauere abiotische Daten über das Quellwasser zu erhalten, müsste man diverse Logger über den Zeitraum von einem Jahr an verschiedene Orte in den Quellen platzieren. Nur so ist es möglich, genügend physikochemische Daten aus dem Untersuchungsgebiet zu erlangen und diese auch zu interpretieren (Blattner & Von Fumetti, 2016).

Die optimalsten Familien für ökologische Gutachten sind diejenigen, welche die meisten Arten besitzen. Aufgrund der grossen Anzahl an Arten innerhalb einer Familie kann davon ausgegangen werden, dass sich diese Organismen an die verschiedensten Umweltbedingungen angepasst haben und sie viele Nischen besetzen. Die in dieser Arbeit untersuchten Trichoptera sind mit ihrer grossen Diversität ein guter Indikator für die verschiedenen Verhältnisse ihrer Umgebung. Weitere optimale Familien für ökologische Charakterisierungen sind die Acari und Diptera, welche ebenfalls mit einer grossen Artenvielfalt in Quellen vertreten. Um diese Familien jedoch bis auf Artniveau bestimmen zu können müsste aufgrund ihrer Komplexität und Diversität viel Zeit in die Vorbereitung und Analyse investiert werden (Blattner & von Fumetti, 2016; Steiner, 2017). Die Acari wurden daher nicht weiter bestimmt. Die Diptera wurden mittels Sundermanns (2000) Bestimmungsliteratur bis auf ihre Gattungen bestimmt.

Organismen der Gattungen Oligochaeta, Tardigrada, Copepoda und Ostracoda wurden aufgrund vom Fokus dieser Arbeit und mangelnder Arbeitszeit nicht genauer bestimmt. Die restlichen gesammelten Taxa wurden derweil mithilfe der vorhandenen Bestimmungsbücher so weit wie möglich bestimmt.

6.2 Ergebnisdiskussion

Die physikochemischen Daten erschweren aufgrund ihrer Unzuverlässigkeit einen Vergleich. Dennoch sind einige Aussagen anhand der Messwerte machbar.

So konnten die erhobenen pH-Werte >8 nicht stimmen, da solche Werte in den Alpen und auf kristallinem bzw. silikatischem Ausgangsstein nicht möglich sind. Normalerweise sollten die pH-Werte in diesen Gebieten relativ tief sein, da es sich um weniger saures Gestein handelt. Solche Werte sind beim karbonatischen Ausgangsgestein des SNPs auch nicht anzutreffen (Nadig, 1942; Steiner, 2017; Blattner & Von Fumetti, 2016).

Auch die Wassertemperaturen der Quellen sind im Vergleich zu den anderen Studien sehr hoch. Der Grund dafür könnte aber an der Quellschüttung liegen, die in den meisten Fällen nicht gross war. So floss das Wasser langsam aus der Quelle und staute sich in natürlichen Becken an, wo es mangels Zirkulation aufgewärmt wurde.

Über die Leitfähigkeit kann mangels Daten überhaupt keine Aussage gemacht werden. Die Hypothese, dass sich die physikochemischen Daten der von uns getrennten Regionen ähneln, kann somit anhand der mangelnden Daten weder bestätigt noch abgelehnt werden. Der Einfluss des Ausgangsgesteins auf die Artenzusammensetzungen kann aus demselben Grund nicht beobachtet werden. Ein Vergleich zwischen den Lebensgemeinschaften der silikatischen und karbonatischen Quellen ist somit unmöglich.

Aufgrund von früheren Beobachtungen von Quellen im SNP gingen wir davon aus, dass innerhalb des Untersuchungsgebietes eine grosse Diversität an Substratverhältnisse vorgefunden wird und sich die Quellen stark voneinander unterscheiden (von Fumetti & Blattner 2017). Beim betrachten unserer Daten stellen wir allerdings fest, dass sämtliche untersuchten Quellen in diesem Raum ein ähnliches Erscheinungsbild besitzen. Moospolster, Detritusauflagen, Vegetation sowie Steine und Blöcke wurden in allen Quellen in unterschiedlichen Massen vorgefunden. Totholz, Wurzelräume, Ton und Sand dagegen fehlten ganz. Innerhalb einer Quelle wurden demnach diverse Substratverhältnisse vorgefunden, die bei den anderen Standorten jedoch genauso vorlagen.

Die beobachteten Substrattypen der Quellen in unserem Untersuchungsgebiet sind typisch für alpine Quellen. Grobe Gesteine wie Felsen und Blöcke dominierten innerhalb der Gewässer, da diese Gesteinsmassen noch nicht weit transportiert wurden und die Erosion noch keinen grossen Einfluss hatte (Inderbitzin, 2000). Zudem gibt es keine Einflüsse von Bäumen und Sträucher, da diese in diesem Gebiet nicht lebensfähig sind. Nebst den Steinen sind vor allem die Moospolster und die damit verbundenen Detritusauflagen die meisten vorgefundenen Substrattypen. Die Vegetation ist jedoch genauso dominant in den Quellen, da diese aufgrund wechselnder Positionen der Wasseraustritte extrem mit der Umgebung verzahnt sind.

Diese extremen Verhältnisse in den alpinen Quellen stellen nur für gewisse Organismen einen geeigneten Lebensraum dar. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass diese Quellen mit nur 27 beschriebenen Arten und höheren Taxa deutlich weniger divers sind als Quellen aus dem Tiefland (77 Arten und höhere Taxa in Weigand, 1998; 90 Arten und höhere Taxa in von Fumetti et al., 2007). Der Vergleich mit anderen alpinen Quellen zeigt zusätzlich, dass sich nicht viel tiefer gelegene Quellen (1'500 bis 2'000 m ü.M) ebenfalls deutlich in ihrer Diversität von unseren Standorten unterscheiden (63 Arten und höhere Taxa bei von Fumetti, 2014; 76 Arten und höhere Taxa bei Blattner & Von Fumetti, 2016; 68 Arten und höhere Taxa bei Steiner, 2017). Ein Grund dafür könnte sein, dass in dieser Arbeit die Acari und Diptera nicht weiter bestimmt wurden. Diese werden in den meisten vorhin genannten Studien auf ihre höhere Taxa bestimmt und gelten als sehr artenreich (Gerecke, 2002; Pape 2009).

Von den EPTs wurden in unserem Gebiet nur die Trichoptera gefunden. Auch diese erschienen nur mit 7 Arten aus 61 Individuen im Vergleich zu anderen Studien nicht sehr divers. Die Art *Micropterna* (Stephen, 1834) wurde dabei am häufigsten beschrieben. Diese Art kommt typischerweise in kühlen Gebirgsregionen vor und besitzt eine weite Verbreitung in alpinen Gebieten. In den Gewässern sind sie vorüberwiegend in Quellen (Eukrenal) sowie in Quellbäche (Hypokrenal) und Forellenbäche (Epirhithral) vorzufinden (Atlas der mitteleuropäischen Köcherfliegen, 2011). Ephemeroptera und Plecoptera kamen gar nicht vor. Die Periode der Schneebedeckung beeinflusst die regionalen Umweltverhältnisse in der Temperatur und Lichtverhältnisse (Sarady & Sahlin, 2016). Dies hat erhebliche Auswirkungen auf die Produktivität und Artenzusammensetzungen der Quellen, die sich im Winter unter diesen Schneedecken befinden (Gavazov, 2016). Da Nahrungsquellen für die Ephemeroptera und Plecoptera in den Quellen vorhanden waren, gehen wir davon aus, dass ihre Abwesenheit an den extremen Bedingungen des Untersuchungsgebietes lag.

Im Vergleich zu anderen Taxa kamen die Oligochatea und Acari in den grössten Individuenzahlen vor. Dies ist insofern erstaunlich, da in vielen anderen Untersuchungen die Organismengruppe der Diptera jeweils mit Abstand am häufigsten vertreten waren (Staudacher & Füreder, 2007; Steiner, 2017). Das Moos scheint dabei eine wichtige Rolle auf die Individuenzahl einzunehmen, da dieses als Schutz und als Nahrungsquelle dienen kann (Gerecke et al., 2006). Auch viele andere gefundene Arten bevorzugen moos- und detritusreiche Standorte, weshalb Proben ohne Moos und mit vielen Steinen signifikant weniger Organismen beinhalteten.

Erstaunlich ist die vorgefundene Anzahl an Tardigrada in den Quellen. Diese kommen mit vielen Extrembedingungen zurecht und besitzen daher ein grosses Verbreitungsgebiet (Zawierucha, 2016). Eine derartige Abundanz im Untersuchungsgebiet Macun wurde allerdings noch nie beschrieben.

Der Vergleich unserer Arbeit mit der ersten ökologischen Untersuchung im SNP von Nadig (1942) zeigt mehrere faunistische und abiotische Unterschiede auf. In seiner Studie wurden vier Quellen bei „Il Fuorn“ im „Ofengebiet“ kartiert und analysiert. Dieses „Ofengebiet“ befindet sich im Zentrum des SNP und beinhaltet das Einzugsgebiet des Baches „Ova del Fuorn“. Es liegt auf ca. 2'000 m ü.M. und somit deutlich tiefer als das 8km weit entfernte Macun, wodurch bereits viele Unterschiede begründet werden können.

Nadig beschreibt die Methoden für die Durchführung seiner Messungen nicht. Allerdings war er in der Lage dieselben relevanten Werte zu messen wie in unserer Arbeit (pH, Sauerstoff und Temperatur). Sämtliche Quellen von Nadig wiesen einen pH-Wert von 7-8 auf. Diese Werte kommen in seinen Quellen konstant vor und sind für karbonatisches Gestein natürlich. Die Sauerstoffwerte des Wassers wurden im Labor ermittelt. Sie schwanken zwischen 0-100%, wobei bei ihm ebenfalls zwei Messungen eine Sauerstoffübersättigung angaben. Die Wassertemperaturen waren bei Nadig mit 5-7°C im Durchschnitt etwa 2-3°C tiefer als wie in Macun. Ebenfalls tiefer sind die Niederschlagsmengen im Ofengebiet. Mit 650 mm Niederschlagsmengen im Jahr fällt rund 100-150 mm weniger Wasser in dieses Einzugsgebiet ein als wie es in der Nähe von unserem Untersuchungsgebiet geschieht.

Die faunistischen Unterschiede zwischen unseren Quellen und denjenigen, die etwas tiefer liegen, sind ziemlich gross. Der Vergleich mit der Arbeit von Nadig unterstreicht diese Feststellungen ein weiteres Mal. Insgesamt wurden im Schnitt aus 100 Quellproben 85 Tierarten beschrieben. Dabei muss beachtet werden, dass in Nadig's Arbeit nebst der EPT Fauna auch die Acari (3 Arten) und Diptera (49 Arten) auf Artniveau bestimmt wurden. Wie bereits von Blattner & von Fumetti (2016) und von Fumetti (2014) beobachtet kommen auch hier die Diptera am abundantesten vor.

Ein weiterer Unterschied zwischen den Quellen aus Macun und dem Ofengebiet ist das Auftreten der Ephemeroptera und Plecoptera. Diese kommen bei Nadig in sämtlichen Quellen vor. Allerdings wurden Familien wie die Collembola, Copepoda oder Tardigrada in seiner Arbeit nicht beschrieben.

Die Unterschiede in der Fauna können unter anderem auf unterschiedliche Messmethoden zurückgeführt werden. Nadig verwendete dabei Netze und Siebe mit denen er freischwimmende Organismen einfing. Die Steinfaua, sowie die Ritzen der Steine und Fallholz wurden mit einer Pinzette untersucht. Die dabei gefundenen Individuen wurden in einem selbstgebauten Käfig gelegt, damit sie im Labor lebendig untersucht werden können. Zusätzlich wurden Kleintiere noch weiter gezüchtet, bis diese genug gross waren um bestimmt werden zu können.

Aufgrund der topographischen Unterschiede zwischen den Untersuchungsgebieten erstaunt es nicht, dass sich sämtliche physikochemische Parameter und faunistischen Beobachtungen von Nadig zu unseren unterscheiden. Bekanntlich beeinflusst die Umgebung die Eigenschaften der Quellen am stärksten (Yasinskii & Gusev, 2003). Verschiedene Gefälle und Wasserführungen sind daher ein wichtigerer Faktor für die Ähnlichkeit der Lebensgemeinschaften, als der Chemismus und die Temperatur (Nadig, 1942). Daher können das Ofengebiet und Macun als separate Lebensräume mit jeweils charakteristischen Lebensgemeinschaften beschrieben werden.

Alle in Macun vorgefundenen Arten sind im SNP bereits einmal beobachtet und als quellspezifische Bewohner beschrieben worden (Knipsel & Lubini, 2015). Weil sich der Lebensraum vieler Arten auf montane bis alpine Gebiete beschränkt, ist ihr Vorkommen in unserem Untersuchungsgebiet zu erwarten. Nach Bottazzi et al. (2011) ist die Präsenz von Moos ein Faktor für die hohen Abundanzen und Diversitäten der quellspezifischen Organismen. Das Moos bietet Schutz vor Fressfeinden und einen Halt bei grösserer Fliessgeschwindigkeit. Zudem besitzt dieser Lebensraum diverse Mikrohabitate, da es der Schnittpunkt zwischen terrestrischen und aquatischen Systemen ist (Bottazzi, 2011). In unserer Arbeit besitzen sämtliche Proben mit grossem Moosanteil erwartungsgemäss mehr und diversere Organismen. Ob die hohen Abundanzen der Acari und Tardigrada noch mit der Geologie zusammenhängen, müsste mit einer neuen Hypothese in weiteren Studien untersucht werden.

In den untersuchten Quellen wurden Arten gefunden, die auf der Roten Liste verzeichnet sind. Von den gefundenen Trichopteren sind die Arten *Consorophylox consors* (McLachlan, 1880), *Limnephilus coenosus* (Curtis, 1834) und *Micropterna lateralis* (Stephens, 1834) potentiell gefährdet (IUCN Kategorie NT) (Lubini et al., 2012). Da die restlichen Arten nicht weiter bestimmt wurden, können keine Aussagen über deren Gefährdung gemacht werden. Da verschiedene bedrohte Trichoptera und viele Acari gefunden wurden, lässt sich daraus schliessen, dass die Quellen in Macun naturnah sind und vom Menschen wenig beeinflusst werden. Aufgrund dieser Eigenschaften sind die Untersuchungen im Gebiet Macun besonders interessant, da Quellen ohne anthropogene Einflüsse heutzutage sehr selten vorzufinden sind. Sie geben Aufschluss darüber, wie sich die natürlichen Artenzusammensetzungen heute präsentieren und sich über die Jahre verändern (Cantonati et al., 2006). Es ist noch zu beachten, dass diese Standorte indirekt durch den Klimawandel und den damit verbundenen Temperaturschwankungen dennoch beeinflusst werden.

Die Analysen mittels nMDS und ANOSIM zeigten, dass sich die drei von uns definierten Regionen von den Artenzusammensetzungen der Makroinvertebraten nicht signifikant voneinander unterscheiden. Gründe dafür könnten die vorhin beschriebenen ähnlichen Quellstrukturen und Substraten sein, welche in den Quellen nur für die vorgefundenen Organismen eine Nische boten. Trotz räumlicher Entfernung sind die Umweltbedingungen der Quellen demnach ähnlich.

Unsere Annahme, dass sich die Organismen aufgrund von natürlichen Barrieren im Untersuchungsgebiet nicht weiter verbreiten können wird somit verworfen. Die dort lebenden Organismen sind in der Lage alle drei Regionen zu besiedeln und sich dort erfolgreich durchzusetzen. Wie gross die natürlichen Barrieren sein müssten, damit es die Organismen nicht mehr darüber hinweg schaffen, müsste in einer anderen Studie untersucht werden.

Der Vergleich mit anderen Studien von Robinson & Oertli (2009) und Oertli et al. (2007) aus dem Gebiet Macun zeigt, dass sich unsere Daten nicht gross von deren abweichen. Die Verteilung der Arten innerhalb von Macun wiesen damals ebenfalls einige faunistische Unterschiede auf. Aquatische Organismen hatten aber schon damals keine Probleme andere Quellen zu erreichen und diese zu besiedeln, was unsere Hypothese der natürlichen Barrieren ein weiteres Mal falsifiziert. Die Beziehungen zwischen den Umweltbedingungen und der Taxa-Diversität waren in diesen Studien nicht signifikant. Zudem wurde genauso beobachtet, dass die Diversität der alpinen Quellen im Vergleich zu tiefer gelegenen Quellen kleiner war.

Ein Unterschied von früheren Untersuchungen aus Macun zu unseren Daten ist die Dominanz der Chironomidae, Oligochaeta und Coleoptera. Diese stellen allerdings in vielen Studien die dominanten Gattungen dar, weshalb die Verteilung der Organismengruppen unserer Untersuchungen eher als speziell angesehen werden darf. Einige Gattungen wie die Tardigrada wurden nur in unserer Studie gefunden, während die Gattungen Heteroptera, Tricladia und Bivalvia nur in den früheren Studien beschrieben wurden. Der Grund für diese faunistischen Unterschiede könnte bei den verschiedenen verwendeten Messmethoden liegen.

Dank dem langjährigen Monitoring von Macun kann festgestellt werden, dass die Diversität der Quellorganismen immer mehr abnimmt. Wurden bei Oertli (2007) noch 47 Taxa vorgefunden sind es bei unserer Untersuchung „nur“ noch 27. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass in unserer Studie nicht alle Gattungen auf Artniveau bestimmt wurden und somit weniger Taxa beschrieben wurden. Es ist ein Abwärtstrend zu beobachten.

7. Fazit

Diese Studie zeigt, dass hochalpine Quellen im Vergleich zu tiefer gelegenen Standorten aufgrund extremer Umweltbedingungen nur von wenigen spezialisierten Arten bewohnt werden können. Die Individuendichte dieser vorgefundenen Arten nimmt mit der Höhenlage nicht signifikant ab. Die Organismen kommen im hochalpinen Lebensraum demnach immer noch sehr in grossen Zahlen vor.

Diese spezialisierten Organismen sind in den Quellen nicht voneinander isoliert und haben die Fähigkeiten sich aktiv zu verbreiten, da sich die Artenzusammensetzungen der Quellen nicht signifikant voneinander unterscheiden. Natürliche Barrieren wie Karseen, Bäche und Felsen stellen für diese Organismen kein Hindernis dar.

Die Quellen im Untersuchungsgebiet Macun stehen nur indirekt unter anthropogenen Einfluss (Klimawandel), weshalb sie ein sehr interessantes Forschungsobjekt sind. Die Beobachtungen dieser Lebensräume kann Aufschluss über deren natürlichen Artenzusammensetzungen geben und ermöglichen Vergleiche mit anthropogen stärker beeinflussten Quellen. Anhand dieser Vergleiche kann ermittelt werden, ab wann eine Quelle geschützt werden muss.

Das geologische Ausgangsgestein hat voraussichtlich keinen anderen Einfluss auf die Artenzusammensetzungen als die karbonatischen Ausgangsgesteine. Aufgrund der fehlenden physikochemischen Daten ist jedoch eine eindeutige Aussage unmöglich. Hierfür wären genauere Untersuchungen auf silikatischen und alpinen Quellen erforderlich um einen korrekten Vergleich ziehen zu können.

Literaturverzeichnis

Literatur:

Bahlburg H., & Breitzkreuz C. (2012) Grundlagen der Geologie. Springer, Heidelberg

Beniston M. (2006) Mountain weather and climate: A general overview and a focus on climatic change in the Alps. *Hydrobiologia* 562: 3 - 16

Blattner L. & Von Fumetti S. (2016) Längszonierung alpiner Fließgewässer: Echte Gewässerabschnitte oder Relikte aus der Theorie? Masterarbeit, Universität Basel

Bottazzi E., Bruno MC., Pieri V., Di Sabatino A., Silveri L., Carolli M. & Rossetti G. (2011) Spatial and seasonal distribution of invertebrates in Northern Apennine rheocrene springs. *Journal of Limnology* 70: 77-92.

Cantonati M., Gerecke R. & Bertuzzi E. (2006) Springs of the Alps – Sensitive Ecosystems to environmental change: from biodiversity assessments to long-term studies

Cantonati M., Füreder L., Gerecke R., Jüttner I. & Cox EJ. (2012) Crenic habitats, hotspots for freshwater biodiversity conservation: toward an understanding of their ecology. *Freshwater Science* 31: 463-480

Clarke KR. & Gorley RN. (2006) PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth

Crema S., Ferrarese U., Golo D., Modena P., Sambugar B. & Gerecke R. (1996) Ricerche sulla fauna bentonica ed interstiziale di ambienti sorgentizi in area Alpina e Prealpina. Report del Centro di Ecologia Alpina (Trento) 8: 1-104

Erman NA., & Erman DC. (1995) Spring Permanence, Trichoptera Species Richness, and the Role of Drought. *Journal of the Kansas Entomological Society Kansas (Central States) Entomological Society* 68: 50-64

Gerecke R. (2002) The water mites (Acari, Hydrachnidia) of a little disturbed forest stream in southwest Germany – a study on seasonality and habitat preference, with remarks on diversity patterns in different geographical areas. In: Bernini F., Nannelli R., Nuzzaci G., et al., editors. *Acarid phylogeny and evolution: adaptation in mites and ticks. Proceedings of the 4th Symposium of the EURAAC Siena, Italy*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 2002. 69-89

Gerecke R. & Franz H. (2006) Quellen im Nationalpark Berchtesgaden. Lebensgemeinschaften als Indikatoren des Klimawandels. Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsbericht 51: 122 - 149

Germaud V., Goldschneider N., Savoy L., Favre G. & Masson H. (2009) geological structure, recharge processes and underground drainage of a glacierised karst aquifer system, Tsanfleuron-Sanetsch, Swiss Alps, *Hydrogeology Journal* 8: 1833 - 1848

Haller H., Eisenhut A. & Haller R. (2013) Atlas des schweizerischen Nationalparks, die ersten 100 Jahre

Illies J. (1982) Längsprofil des Breitenbachs im Spiegel der Emergenz (Ins. Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera)

Inderbitzin L. & Pointner E. (2000) Diplomarbeit über die Geologie in Macun

Knipsel S. & Lubini V. (2015) Inventaire et suivi de la biodiversité des cours d'eau du Parc National Suisse 2011-2012

Lubini V., Knipsel S., Satori M., Vincentini H. & Wagner A. (2012). Rote Listen Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg.

Nadig A. (1942) hydrobiologische Untersuchungen in Quellen des schweizerischen Nationalparkes im Engadin (unter besonderer Berücksichtigung der Insektenfauna)

Navratilova J. & Navratil J. (2005) Vegetation gradients in fishpond mires in relation to seasonal fluctuations in environmental factors. *Preslia*, Praha, 77: 405-418

Oertli B., Indermuehle N., Angélibert S., Hinden H. & Stoll A. (2007) Macroinvertebrate assemblages in 25 high alpine ponds of Swiss National Park (Cirque of Macun) and relation to environmental variables. *Hydrobiologia*, 597: 29-41

Pape T., Bickel D. & Meier R. (2009) Diptera Diversity: Status, Challenges and Tools.

Robinson CT., Schmid D., Svodoba M. & Bernasconi SM. (2008) Functional measures and food webs of high elevation springs in the Swiss alps. *Aquatic Sciences*

Robinson CT. & Oertli B. (2009) Long-term Biomonitoring of Alpine Waters in the Swiss National Park

Sarady M. & Sahlin EA. (2016) the influence of snow cover on ground freeze- thaw frequency, intensity, and duration: An experimental study conducted incoastal northern Sweden. *Norwegian Journal of Geography*, 70:2, 82-94

Staudacher K. & Füreder L. (2007) Habitat complexity and invertebrates in selected Alpine springs (Schütt, Carinthia, Austria). *International Review of Hydrobiology* 92: 465-479.

Steiner E. (2017) Faunistische Lebensgemeinschaften alpiner Quellen unter besonderer Berücksichtigung der Süßwassermilben. Bachelorarbeit, Universität Basel

Von Fumetti S., Nagel P. & Baltes B. (2007) Where a springhead becomes a springbrook – a regional zonation of springs. *Archiv für Hydrobiologie* 1: 37- 48

Von Fumetti S. & Felder S. (2014) Faunistic Characterization of Alpine springs in the Swiss National Park

Von Fumetti S. & Blattner L. (2017) Faunistic assemblages of natural springs in different areas in the Swiss National Park: a small-scale comparison. *Hydrobiologia*, 6 - 8

Yasinskii SV. & Gusev EM. (2003) Dynamic-stochastic modeling of spring slope runoff in small drainage areas

Wigger FW., Schmidlin L., Nagel P. & von Fumetti S. (2015) Macroinvertebrate assemblages of natural springs along an altitudinal gradient in the Bernese Alps, Switzerland. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology* 51

Woodward G., Perkins DM. & Brown LE. (2010) Climate change and freshwater ecosystems: impacts across multiple levels of organization. *Phil. Trans. R. Soc.*, 365, 2093 - 2106

Zawierucha K., Vonnahme TR., Devetter M., Ostrowska M., Kosicki JZ. & Chmielewski S. (2016) Area, depth and elevation of cryoconite holes in the Arctic do not influence Tardigrada densities. *Polish Polar Research* 2: 325 – 334

Bestimmungsliteratur

Müller H., Bährmann R. (2015) Bestimmung wirbelloser Tiere. Bildtafeln für zoologische Bestimmungsübungen und Exkursionen. 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

Sundermann A., Lohse S. (2000) Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Zweiflügler (Diptera) in Anlehnung an die Operationelle Taxaliste für Fliessgewässer in Deutschland

Tachet H., Richoux P., Bournaud M., Usseglio-Polatera P. (2000) Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie. CNRS Éditions, Paris

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

Internetquellen:

Universität Basel Logo.

URL: www.unibas.ch/de/Mitarbeitendenportal/Infrastruktur/Corporate-Design/Logo-Vorlagen.html

NLU Logo.

URL: www.biogeography.unibas.ch

Swisstopo. Das Geoportal des Bundes. BAFU, Bern.

URL: www.map.geo.admin.ch/ (Stand: 1.2017)

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz.

URL: www.meteoschweiz.admin.ch/ (Stand: 1.2017)

OpenStreetMap contributors.

URL: www.climate-data.org/

Schweizer Nationalpark

URL: www.nationalpark.ch/ (Stand 1.2017)

Anhang

1. PRIMER, ANOSIM output

ANOSIM

Analysis of Similarities

One-Way Analysis

Resemblance worksheet
Name: Resem2
Data type: Similarity
Selection: All

Factor Values
Factor: gebiet
a
b
c

Factor Groups
Sample gebiet
1.1 a
1.2 a
1.3 a
1.4 a
2.1 a
2.2 a
2.3 a
2.4 a
3.1 a
3.2 a
3.3 a
3.4 a
4.2 b
4.3 b
4.4 b
5.1 b
5.2 b
5.3 b
5.4 b
7.1 b
7.2 b
7.3 b
7.4 b
6.1 c
6.2 c
6.3 c
6.4 c
8.1 c
8.2 c
8.3 c
8.4 c
9.1 c
9.2 c
9.3 c
9.4 c

Global Test
Sample statistic (Global R): 0.068
Significance level of sample statistic: 7.3%
Number of permutations: 999 (Random sample from a large number)
Number of permuted statistics greater than or equal to Global R: 72

Pairwise Tests

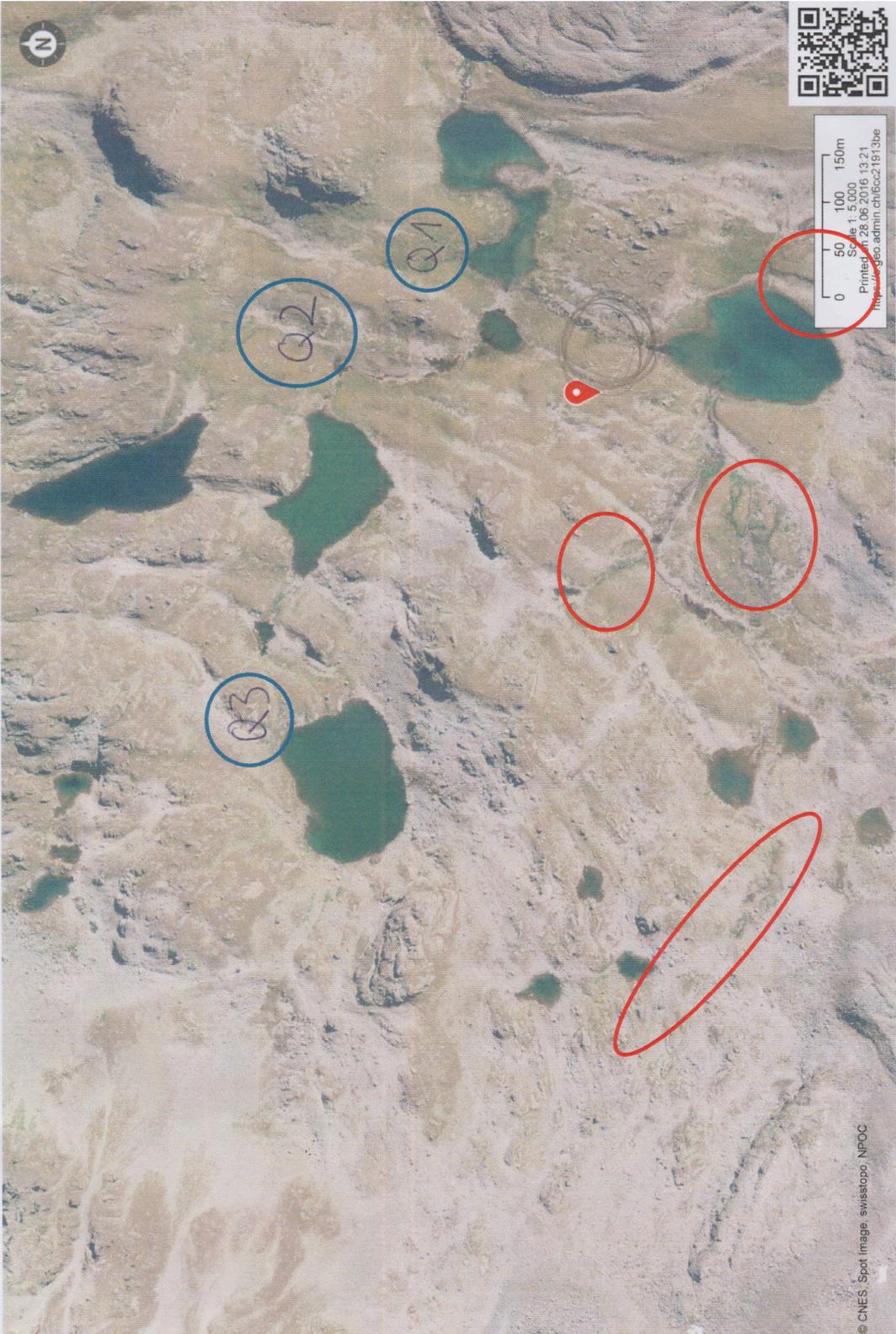
Groups	Statistic	R	Significance Level %	Possible Permutations	Actual Permutations	Number >= Observed
a, b	0.086		9.2	1352078	999	91
a, c	0.055		14.5	1352078	999	144
b, c	0.073		10.7	1352078	999	106

2. Quellenprotokoll zur Erfassung der Struktur von Quellen

Grundlagen	Datum	BearbeiterIn
Benennung		
Name		
Abschnitt		
Koordinaten		
Hochwert		
Rechtswert		
Höhe über NN		
Physikochemie		
Temperatur		°C
Leitfähigkeit		µS/cm
Sauerstoff	%	mg/L
pH		
Quellschüttung		
Verteilung		Menge
ganzjährig		
unterbrochen		
zeitweise		
		l/min
		geschätzt
		gemessen
		Messmethode
Geländebeschreibung		
Lage der Quelle		Geländeneigung
Kuppe, Oberhang		schwach
Mittelhang		mässig
Hangfuss		stark
Tallage		schroff
Strömungsdiversität		
Spritzwasser		geripfelt
glatt		plätschernd
fliessend		überstürzend
überfliessend		fallend
Wasser-Land-Verzahnung		
gross		
mittel		
gering		

3. Karte mit den potentiellen Standorten

Possible study sites Macun North Basin and South Basin



www.geo.admin.ch is a portal provided by the Federal Authorities of the Swiss Confederation to gain insight on publicly accessible geographical information, data and services. Limitation of liability. Although every care has been taken by the Federal Authorities to ensure the accuracy of the information published, no warranty can be given in respect of the accuracy, reliability, up-to-dateness or completeness of this information. Copyright, Swiss federal authorities. http://www.disclaimer.admin.ch/terms_and_conditions.html

In collaboration with the authors

4. Erklärung zur wissenschaftlichen Redlichkeit



Universität
Basel

Philosophisch-Naturwissenschaftliche
Fakultät



Erklärung zur wissenschaftlichen Redlichkeit

(beinhaltet Erklärung zu Plagiat und Betrug)

Bachelorarbeit / Masterarbeit (*nicht Zutreffendes bitte streichen*)

Titel der Arbeit (*Druckschrift*):

Name, Vorname (*Druckschrift*): _____

Matrikelnummer: _____

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

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

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

ja nein

Ort, Datum: _____

Unterschrift: _____

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