



Universität Basel  
Departement Umweltwissenschaften  
Forschungsgruppe Biogeographie



# Quellen und Wasseraustritte im Tal der Clemgia im Unterengadin (GR)



Masterarbeit

Lea Mühlemann

Mai 2017

Betreuung:

Dr. Stefanie von Fumetti

Prof. Dr. Peter Nagel



Für die Hilfe und die Unterstützung bei der Verfassung dieser Masterarbeit möchte ich mich bedanken bei:

Dr. Stefanie von Fumetti für die engagierte Betreuung der Arbeit und ihre grosse Hilfe in allen Belangen.

Prof. Dr. Peter Nagel für das Ermöglichen der Arbeit und die Bereitstellung der Infrastruktur.

Dr. Ruedi Haller für die Ermöglichung dieses Projekts im Rahmen der Forschung im Schweizerischen Nationalpark.

Johannes Ortlepp und Uta Mürle von Hydra Fluss & See für die Begleitung bei der Erstbegehung und die Einführung in das Untersuchungsgebiet.

Lucas Blattner für die genetische Verifikation der *Crunoecia*-, *Leuctra*- und *Nemurella*-Individuen.

Judith Kobler Waldis für die Analyse der Wasserproben.

Dominique Müller und Tabea Bischof für die tatkräftige Unterstützung während der Feldarbeit bei Wind und Wetter.

Und nicht zuletzt meiner Familie und meinen Freunden für die Unterstützung und das Verständnis im Verlauf dieser Arbeit.

## Abstract

Quellen sind als Übergangsbereich zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser Lebensraum für eine sehr spezialisierte Flora und Fauna. Im Val S-charl fließt die Clemgia entlang der Grenze zum Schweizerischen Nationalpark. Unterhalb der Wasserentnahme durch die Engadiner Kraftwerke gibt es einen Bereich, in dem im Bett der Clemgia Wasser aufstösst. Es ist dabei nicht klar, ob es sich um Grundwasser handelt, das in Form von Quellen im Bachbett austritt oder um versickertes Restwasser der Clemgia, das wieder zutage tritt. Gleichzeitig gibt es in diesem Bereich des Tals mehrere Quellen im Uferbereich, die nicht in direktem Kontakt mit der Clemgia stehen. Im Rahmen dieser Arbeit werden acht dieser Aufstöße sowie die Clemgia anhand von faunistischen Beprobungen, der Substratverteilung und der Physikochemie charakterisiert und miteinander verglichen. Vier der acht Quellen erwiesen sich als echte Quellen mit Grundwasseranschluss und zwei als Aufstöße von versickertem Wasser der Clemgia. Die Herkunft zweier Wasseraufstöße konnten nicht restlos geklärt werden, anhand der Fauna sind aber Flussstandorte wahrscheinlicher. Richtige Quellen weisen eine höhere Artendiversität und mehr quelltypische Arten auf. Eine Redundanzanalyse (RDA) hat gezeigt, dass vor allem die Substratzusammensetzung die Artengemeinschaft des Makrozoobenthos beeinflusst. Dabei ist vor allem die Unterscheidung zwischen organischem und anorganischem Substrat wichtig. Vegetationsbewuchs und vor allem Moospolster traten in mehreren Quellen auf, und diese Standorte wiesen höhere Individuenzahlen, eine höhere Diversität an Taxa und auch mehr quelltypische Organismen auf. Die grösste Vielfalt an Organismen trat in Standorten mit organischem Substrat und hohen Leitfähigkeiten auf. Standorte mit anorganischen Substraten wie Steinen oder Sand waren artenärmer und wiesen vor allem weniger quelltypische Organismen auf. Neben der Substratdiversität beeinflusst auch der Abfluss die Artengemeinschaft. Zwei der untersuchten Aufstöße trockneten im Verlauf dieser Arbeit aus, was bei diesen intermittierenden Standorten zu geringeren Individuen- und Artenzahlen führte. Der Lebensraum im Val S-charl ist sehr dynamisch und der Abfluss der Clemgia veränderte sich während dieser Untersuchung ebenfalls sehr stark. Das zu Beginn herrschende Hochwasser führte zur Verdriftung von Organismen, was sich in geringen Individuenzahlen bei der ersten Beprobung zeigte. Bei der zweiten Beprobung hatte sich der Wasserpegel wieder normalisiert und es wurden wieder mehr Organismen gefunden. Die Vermutung, dass Organismen aus dem Restwasser der Wasserentnahme durch die Engadiner Kraftwerke die Quellen in der Nähe der Clemgia als Rückzugsorte nutzen können, hat sich nicht bestätigt. Die Substratzusammensetzung dieser Quellstandorte unterscheidet sich zu stark von der Clemgia und die Flussorganismen finden kein geeignetes Substrat, das ihnen das Überleben ermöglichen würde.

# Inhaltsverzeichnis

Abstract .....	I
Abbildungsverzeichnis .....	III
Tabellenverzeichnis .....	III
1 Einleitung .....	1
2 Untersuchungsgebiet .....	3
2.1 Schweizerischer Nationalpark .....	3
2.1.1 Klima .....	4
2.1.2 Geologie und Geomorphologie .....	5
2.2 Untersuchte Objekte .....	6
3 Material und Methoden .....	8
3.1 Strukturelle Erfassung .....	8
3.2 Abiotische Parameter .....	8
3.3 Faunistische Untersuchung .....	9
3.4 Statistische Auswertung .....	9
4 Standortcharakterisierung .....	11
5 Ergebnisse .....	17
5.1 Abiotik und Struktur .....	17
5.2 Quellfauna .....	22
5.3 Statistische Auswertung .....	27
5.3.1 Abiotische und strukturelle Daten .....	27
5.3.2 Faunistische Daten .....	29
5.3.3 Multivariate Analyse der Abiotik und Fauna .....	31
6 Diskussion .....	33
6.1 Methodendiskussion .....	33
6.2 Ergebnisdiskussion .....	35
7 Conclusion .....	42
Literaturverzeichnis .....	43
Anhang .....	47

## Abbildungsverzeichnis

Titelblatt: Q6, Clemgia und Q2 (Fotos: L. Mühlemann 2016)

Abb. 1: Karte Schweizerischer Nationalpark (HALLER et al. 2013).....	3
Abb. 2: Klimadiagramm Scuol (METEOSCHWEIZ 2017) .....	5
Abb. 3: Geologie des Untersuchungsgebietes (HALLER et al. 2013) .....	6
Abb. 4: Gesamtübersicht der beprobten Standorte im Val S-charl (L. Mühlemann 2017).....	7
Abb. 5: Standort Q1 (Fotos: L. Mühlemann 2016) .....	11
Abb. 6: Standort Q2 (Fotos: L. Mühlemann 2016) .....	12
Abb. 7: Standort Q3 (Fotos: L. Mühlemann 2016) .....	12
Abb. 8: Standort Q6 (Fotos: L. Mühlemann 2016) .....	13
Abb. 9: Standort Q9 (Fotos: L. Mühlemann 2016) .....	14
Abb. 10: Standort Q11 (Fotos: L. Mühlemann 2016) .....	14
Abb. 11: Standort Q12 (Fotos: L. Mühlemann 2016) .....	15
Abb. 12: Standort Q13 (Fotos: L. Mühlemann 2016) .....	16
Abb. 13: Beprobungsstelle Clemgia (Fotos: L. Mühlemann 2016).....	16
Abb. 14: Boxplot der Temperaturlogger .....	19
Abb. 15: Boxplot der Leitfähigkeitslogger .....	20
Abb. 16: Anzahl Individuen pro Beprobung .....	22
Abb. 17: Anzahl Taxa pro Beprobung.....	23
Abb. 18: Individuendichten .....	24
Abb. 19: PCA Plot der Umweltbedingungen .....	28
Abb. 20: nMDS Plot der Juni Einzelproben.....	29
Abb. 21: nMDS Plot der September Einzelproben .....	30
Abb. 22: nMDS Plot aller Quellen.....	30
Abb. 23: RDA Plot der Arten und Umweltbedingungen.....	32
Abb. 24: Klimaverlauf Davos 2016 (MeteoSchweiz 2017) .....	39

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Grundlagedaten und abiotische Parameter der untersuchten Standorte .....	17
Tab. 2: Häufigkeit und Verteilung der unterschiedlichen Substrattypen in den Standorten.....	20
Tab. 3: Ionenanalyse.....	21
Tab. 4: Taxaliste.....	25
Tab. 5: Eigenwerte und Varianz der PCA.....	27
Tab. 6: Komponentenmatrix der PCA.....	27
Tab. 7: Scores der Hauptkomponenten der PCA.....	28
Tab. 8: Ergebnisse der Forward Selection der RDA.....	31

## 1 Einleitung

Quellen sind Orte, an denen Grundwasser natürlicherweise permanent oder temporär an die Erdoberfläche tritt. In den wasserführenden Schichten des Bodens bilden sich Bodenflüsse, die beim Treffen auf wasserundurchlässige Schichten als Quellhorizonte zutage treten (ZOLLHÖFER 1997). Die chemische Zusammensetzung von Quellwasser wird stark durch die hydrogeologische Ausgangssituation im Aquifer beeinflusst. Trotz ihrer meist geringen Grösse haben Quellen einen grossen ökologischen Wert (CANTONATI et al. 2012). Durch ihr Wesen als Übergangsbereich zwischen Grund- und Oberflächenwasser sind Quellen Lebensraum für eine spezialisierte Flora und Fauna (VON FUMETTI et al. 2006, CANTONATI et al. 2012). Sie beherbergen sowohl Biota von Grundwasser- als auch Oberflächenwasser-Ökosystemen sowie krenobionte Organismen, die nur auf Quelllebensräume begrenzt sind (SCARSBROOK et al. 2007). Hydrologische Faktoren, wie die chemische Zusammensetzung des Quellwassers, die Abflussvariabilität und die Temperatur sind wichtige Faktoren, welche die Zusammensetzung und Verbreitung von Arten in Quellen beeinflussen (SCARSBROOK et al. 2007, CANTONATI et al. 2012). Daneben ist aber auch die Substratzusammensetzung ein wichtiger ökologischer Faktor (VON FUMETTI 2006). Durch das Vorhandensein verschiedener Substrate entsteht trotz der oft sehr begrenzten Fläche einer Quelle ein Mosaik von Mikrohabitaten, was die Kolonisierung durch verschiedene Arten fördert sowie für ein breites Nahrungsangebot sorgt. Diese hohe biologische Komplexität ist einer der Hauptgründe für die oft hohe Biodiversität und Artendichte in Quellen (ILLIES & BOTOSANEANU 1963, CANTONATI et al. 2006). Nach der Quelltypologie von STEINMANN (1915) und THIENEMANN (1924) unterscheidet man drei limnologische Haupttypen von Aufstössen: rheo- (Fließ-/Sturzquelle), helo- (Sicker-/Sumpfquelle) und limnokrene (Weiher-/Tümpelquelle) Quellen. Versickertes Flusswasser kann nach unterirdischem Verlauf wieder als Aufstoss an die Oberfläche treten. Dies sind jedoch keine echten Quellen, sondern Erscheinungsformen des Wassertransportes in Fließgewässern (SCHÖNBORN & RISSE-BUHL 2013). Im Gegensatz zu Quellen sind alpine Fließgewässer durch eine hohe Dynamik und oft harsche Lebensbedingungen gekennzeichnet. Ufervegetation und organische Substrate fehlen oft und Steine und sonstiges anorganisches Substrat dominieren. Meist wird nur sehr wenig organisches Material in die Gewässer eingetragen, wodurch die Nahrungsgrundlage für viele Organismen begrenzt ist (HIEBER et al. 2002).

Quellen sind also der Ursprung von Fließgewässern, doch wo liegt die Grenze zwischen den beiden Lebensräumen? Der Lebensraum der Quelle, das Krenal, besteht aus Eukrenal (dem Bereich unmittelbar beim Wasseraustritt) und dem Hypokrenal, dem Quellbach (ILLIES & BOTOSANEANU 1963). Er reicht also vom Quellmund bis in den abfliessenden Quellbach, soweit dieser vom Bereich des unmittelbaren Wasseraustrittes noch geprägt ist. Dies ist für Mitteleuropa die 5°C-Jahresamplituden-Grenze. Erst wenn diese Grenze überschritten wird, beginnt das eigentliche Fließgewässer, das Rhithral (SCHÖNBORN & RISSE-BUHL 2013). Nach VON FUMETTI et al. (2007) ist die Länge des Quellbereichs auf <5m limitiert. Nach ERMAN & ERMAN (1995) liegt die Grenze des Eukrenals am Punkt, wo die Wassertemperatur sich um 2°C von der Temperatur am Quellaustritt unterscheidet. Eine weitere und in der Praxis besser anwendbare Definition des Quellbereichs basiert auf dem Unterschied der Bedeckung mit Moosen, die vor allem im eukrenalen Bereich sehr häufig vorkommen (CANTONATI et al. 2006). Allerdings funktioniert diese Unterscheidung selbstverständlich nur, wenn auch tatsächlich Moose als Quellsubstrat auftreten.

Quellen wurden schon früh ins Forschungsprogramm des Schweizerischen Nationalparks aufgenommen. Nadig war der Erste, der umfangreiche Untersuchungen vornahm und Quellen, Quellrinnsale und Bäche im Einzugsgebiet der Spöl, der Ova dal Fuorn, des Rombaches und der Clemgia physiogeographisch und biologisch untersuchte (NADIG 1942). Zwischen 1955 und 1964 wurden hauptsächlich im Einflussgebiet der Ova dal Fuorn Quellen untersucht und Quellaustritte chemisch charakterisiert (HALLER et al. 2013). Während den letzten zehn Jahren wurden im SNP vor allem Langzeituntersuchungen und Quellmonitoring durchgeführt (HALLER et al. 2013). Die Clemgia steht im Rahmen des Gewässermonitoring SNP zusammen mit der Spöl, der Cluozza und dem Fuornbach unter Dauerbeobachtung. In der Clemgia wird seit 2015 unterhalb der Ausleitung der Wasserentnahme durch die Engadiner Kraftwerke eine Mindestrestwassermenge gewährleistet. Die Auswirkungen davon auf das Zoobenthos werden von Johannes Ortlepp und Uta Mürle von HYDRA Fluss & See untersucht (FORSCHUNGSKOMMISSION SNP 2016).

Im Val S-charl fließt die Clemgia entlang der Grenze zum Schweizerischen Nationalpark. Unterhalb der Wasserentnahme durch die Engadiner Kraftwerke gibt es einen Bereich, in dem Wasser im Bett der Clemgia aufstösst. Es ist dabei nicht klar, ob es sich um Grundwasser handelt, das in Form von Quellen im Bachbett austritt oder um versickertes Restwasser der Clemgia, das wieder zutage tritt. Die Clemgia selbst befindet sich in ständigem Wandel. Die Veränderung ihres Fließweges und saisonal grosse Unterschiede in ihrer Abflussmenge führen zu einer Dynamik des Lebensraums Clemgia selbst, aber auch in den umliegenden Quellstandorten. Im Rahmen dieser Arbeit wurden mehrere dieser Aufstösse sowie die Clemgia selbst untersucht, um einen besseren Einblick in dieses System zu erhalten. Im Vordergrund steht dabei die Forschungsfrage, die anhand der in dieser Arbeit gewonnenen Daten und Erkenntnisse beantwortet werden soll: Sind die Aufstösse im Bett der Clemgia echte Quellen in Form von Grundwasser, das an die Oberfläche tritt oder handelt es sich um Aufstösse von versickertem Flusswasser der Clemgia, das wieder zutage tritt? Die Beantwortung dieser Frage trägt zum Verständnis des Lebensraums und dessen Dynamik im Val S-charl bei.



## 2 Untersuchungsgebiet

### 2.1 Schweizerischer Nationalpark

Der Schweizerische Nationalpark (SNP) wurde 1914 als erster Nationalpark der Alpen gegründet (SCHWEIZERISCHER NATIONALPARK 2017). Gemäss der internationalen Naturschutzunion (IUCN) ist der SNP ein Reservat der Kategorie Ia, was der höchsten Schutzklasse (Wildnisgebiet) entspricht (SCHWEIZERISCHER NATIONALPARK 2017). Er ist damit das grösste Wildnisgebiet der Schweiz und umfasst 170.3 km<sup>2</sup> Gebirgsgelände im Osten des Kantons Graubünden. Der SNP erstreckt sich über die rätoromanischen Gemeinden S-chanf, Zernez, Val Müstair, Lavin und Scuol (Abb. 1). Dabei besteht der Park aus zwei unterschiedlich grossen Teilgebieten: das grosse Hauptareal im Bereich der Unterengadiner Dolomiten und seit dem Jahr 2000 die 3.6 km<sup>2</sup> grosse Seenplatte von Macun auf kristallinem Untergrund. Die mittlere Höhenlage des Parks, die sogenannte Massenerhebung, beträgt 2323 m ü.M. Die absoluten Höhenlagen variieren zwischen dem Piz Pisoc mit 3173 m ü.M. als höchstem Punkt und der schroffen Nordspitze des Nationalparks südlich von Scuol bei der Clemgia mit 1380 m ü.M. als tiefstem Punkt (HALLER et al. 2013).

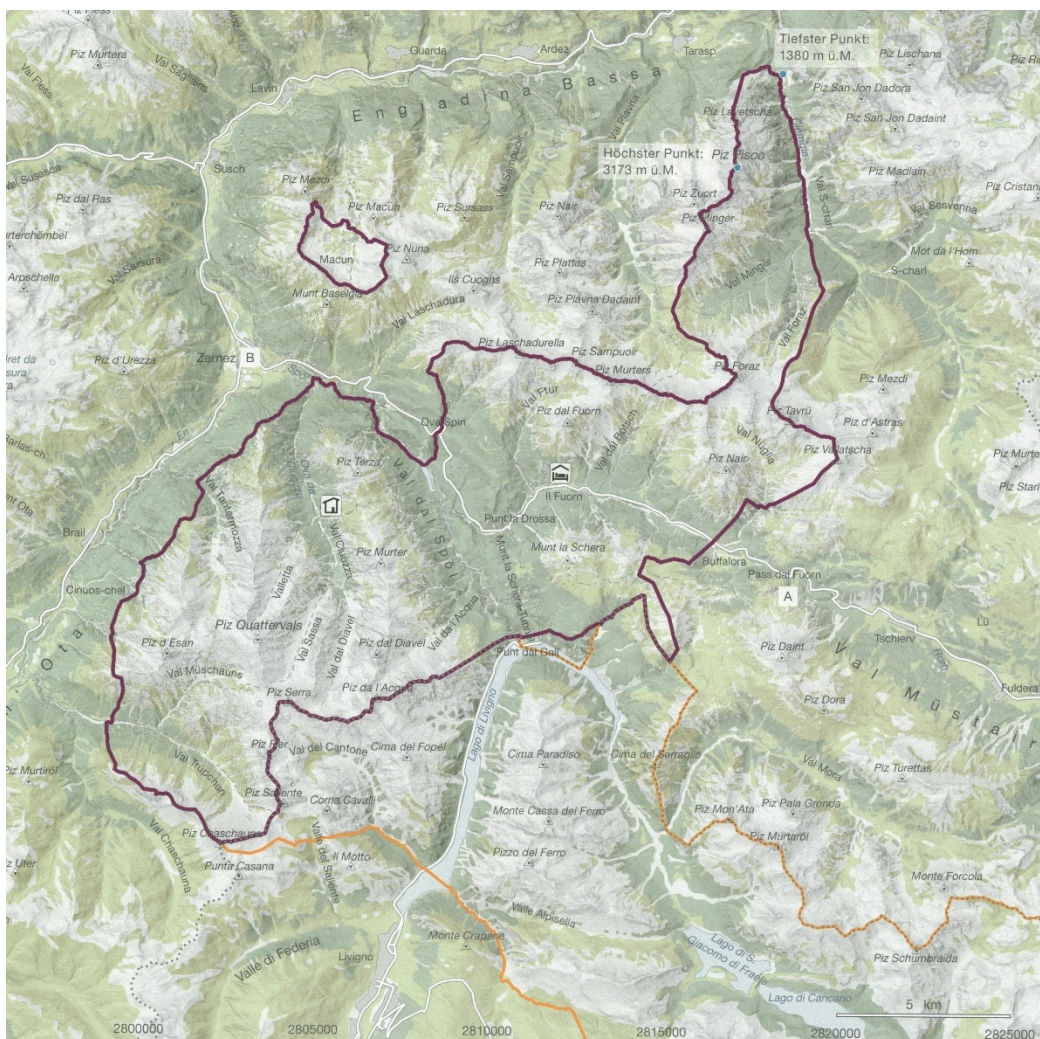


Abb. 1: Karte Schweizerischer Nationalpark (HALLER et al. 2013)



Ziel der Gründung des Schweizerischen Nationalparks war es, die Aktivitäten des Menschen gänzlich auszuschliessen und die natürlichen Prozesse wirken zu lassen. Damit sollten natürlich Phänomene und Entwicklungen sichtbar werden, welche diese Landschaft geschaffen haben und künftig gestalten werden. Dem Park wurden primär karge Räume überlassen, wo der Verzicht auf konsumptive Nutzung möglichst wenig ins Gewicht fiel (HALLER et al. 2013). Daher beträgt der Anteil der vegetationsfreien Fläche 51% der Gesamtfläche. Die Vegetation des Parks verteilt sich auf 31% Waldanteil und 17% subalpine und vor allem alpine Rasen. Durch die extremen klimatischen Bedingungen im Park sind Laubbäume selten und 99.4% des Waldanteils sind mit Nadelholz bestockt. Die fünf Hauptbaumarten sind Lärche (*Larix decidua*), Fichte (*Picea abies*), Arve (*Pinus cembra*), Berg- bzw. Legföhre (*Pinus mugo*) und Waldföhre (*Pinus sylvestris*). Menschliche Infrastruktur beschränkt sich heute auf das 80 km lange Netz markierter Wege und 15 Gebäude beziehungsweise Gebäudekomplexe (HALLER et al. 2013).

Das Val S-charl ist ein Seitental des Unterengadins mit der Clemgia als Hauptfluss. Die Clemgia ist ein Nebenfluss des Inn. Sie fliesst vom Quellgebiet rund 21 km nach S-charl und dann entlang der Grenze des Schweizerischen Nationalparks nach Norden zur tiefsten Stelle des Parks. Dort stürzt sie durch die Clemgia-Schlucht auf einer Strecke von 2 km rund 200 Höhenmeter ins Tal und vereint sich in der Nähe von Scuol mit dem Inn. Der Name Clemgia kommt aus dem Rätoromanischen und bedeutet passenderweise Klamm, Felskluft oder Schlucht (SCHORTA 1988). Durch die Clemgia begrenzt ist die linke untere Talhälfte des Val S-charl Bestandteil des Schweizerischen Nationalparks.

### 2.1.1 Klima

Das Klima des Schweizerischen Nationalparks kann als trocken-kühl mit ausgeprägten Temperaturunterschieden zwischen Sommer und Winter bezeichnet werden. Es ist geprägt durch die inneralpine Trockenheit. In der Schweiz ist die Niederschlagsverteilung stark durch die Alpen beeinflusst. Im Schutz der Berge befinden sich inneralpine Trockengebiete wie das Wallis, Mittelbünden und das Engadin. Die Luftmassen stauen sich an den Alpen und Voralpen, bevor sie das Gebiet des Parks erreichen und so geht bereits dort viel Feuchtigkeit verloren. Die Niederschlagsmengen weisen sowohl saisonale als auch grosse jährliche Variabilität auf. Saisonal zeichnet sich dies im Jahresgang durch ein Maximum in den Sommermonaten und ein Minimum in den Wintermonaten aus. Jährliche Variabilität entsteht vor allem auf Grund von länger bestehenden unterschiedlichen Grosswetterlagen, die zu Perioden mit höheren oder geringeren Niederschlägen führen. Die Temperatur wird grundsätzlich durch die Höhenlage und die Exposition eines Standorts bestimmt. Gleichzeitig sammeln sich vor allem im Winterhalbjahr kalte Luftmassen in Tal- und Muldenlagen und bilden Kaltluftseen, wodurch in diesen Gebieten tiefere Minimumtemperaturen entstehen als an Gipfel- und Hanglagen mit vergleichbarer Höhenlage. Durch die inneralpine Trockenheit kann tagsüber einfallende Sonnenstrahlung weniger in Verdunstung investiert werden, wodurch mehr Energie in die Erwärmung der Luft fliesst. Sichtbar ist das zum Beispiel im Vergleich der langjährigen Tagesmaximumtemperaturen von Adelboden und Scuol (Abb. 2). Beide liegen auf circa 1300 m ü.M., wobei die Juliwerte in Scuol mit 22.8°C gut drei Grad wärmer sind als die Temperatur in Adelboden mit 19.7°C (HALLER et al. 2013, METEOSCHWEIZ 2017).

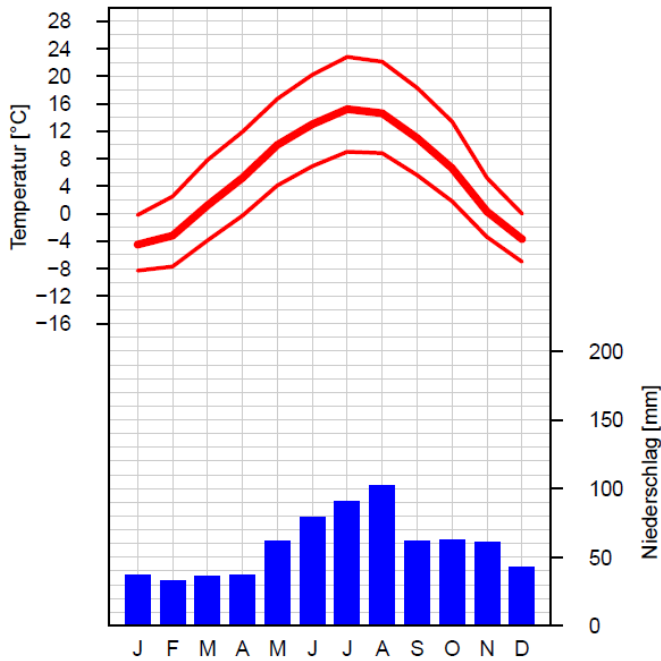


Abb. 2: Klimadiagramm Scuol (METEOSCHWEIZ 2017)

### 2.1.2 Geologie und Geomorphologie

Die Oberostalpinen Decken, aus denen der Schweizerische Nationalpark besteht, sind aus mehreren tausend Meter dicken Gesteinspaketen aufgebaut. Das Grundgebirge ist kristallin. Die darauf auflagernden Sedimente entstanden durch Meeresablagerungen der Tethys, des Urozeans, der sich vor 245 bis 90 Millionen Jahren in diesem Gebiet erstreckte. Damals herrschte ein warmes, subtropisches Klima, was für die Bildung von biogenen, karbonatischen Gesteinen günstig war. Schon in den frühesten Gebirgsbildungsphasen der Alpen wurden die Ostalpinen Decken vom Untergrund abgeschert und unter der Meeresbedeckung viele Kilometer weit über das Penninikum geschoben. Dadurch bildete sich im SNP ein doppelter Deckenstapel: Die Penninischen Decken unten und die Ostalpinen Decken darüber. Seit rund 40 Millionen Jahren ist die oberostalpine Schichtreihe aus dem Meer herausgehoben und unterliegt intensiver Abtragung und Durchtalung. Die Ablagerungen der Eiszeit sind relativ gering und überdecken das Gebirge lückenhaft in den Tälern und Passgebieten. Durch Prozesse der Erosion, des Transports und der Ablagerung unterliegt das Gebiet des Schweizerischen Nationalparks einem ständigen Wandel und einer grossen Dynamik. Felsstürze, Murgänge und Lawinen finden immer wieder statt und sind oft nicht vorhersehbar. Im Kontext der freien Entwicklung der Natur innerhalb des Parks können sie aber nicht als Zerstörung bezeichnet werden, sondern als wichtige Elemente eines dynamischen Lebensraums und als Neuanfänge für Tiere und Pflanzen, die in diesen Gebieten wieder neue Habitate finden (HALLER et al. 2013).

Hauptdolomit aus der Trias prägt und dominiert die Landschaft (Abb. 3). Die Oberfläche des Gebirges ist zerklüftet, der Gebirgsbau ist stock- und pyramidenartig, und dazwischen liegen riesige Schuttkegel. Abgesehen von wenigen kristallinen Gebieten wie Macun ist das Gelände gänzlich dolomitisch und neigt zur Verwitterung in Form von scharfkantigem, beweglichem Kleinschutt. Dolomit, wie er im Nationalpark vorkommt, verwittert im Vergleich zu kristallinen Gesteinen leichter. Dies zeigt sich in den weitläufigen Geröllhalden, Schuttkegeln und zahlreichen Murgängen (HALLER et al. 2013). Das an der östlichen Seite an den Nationalparks anschliessende Gebiet besteht einerseits

ebenfalls aus Dolomit und andererseits aus Evaporiten, also Sedimentgesteinen, die sich durch intensive Verdunstung bildeten. Evaporitgesteine bestehen aus sogenannten Evaporitmineralen, bei denen es sich um relativ leicht lösliche Verbindungen aus den Mineralklassen der Chloride und Sulfate handelt. Die häufigsten Evaporitminerale sind Gips beziehungsweise Anhydrit (beides Calciumsulfat) und Grauwacke, eine Mischung aus Gips und Dolomit (HALLER et al. 2013).

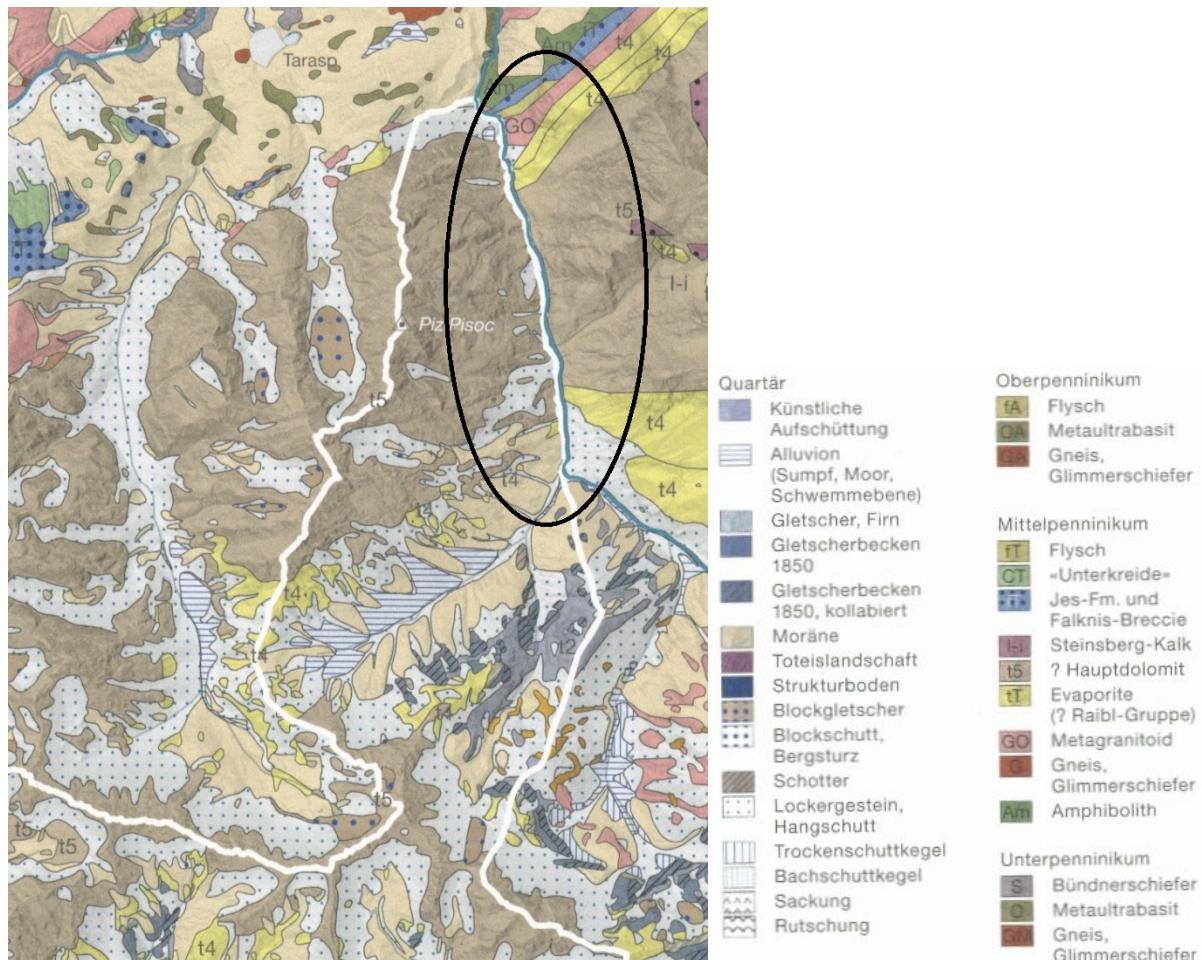


Abb. 3: Geologie des Untersuchungsgebietes im Schweizerischen Nationalpark (HALLER et al. 2013). Schwarz umkreist das Untersuchungsgebiet im Val S-charl.

## 2.2 Untersuchte Objekte

Im Val S-charl gibt es einen Bereich, in dem im Bett der Clemgia Wasser aufstösst. Es ist dabei nicht klar, ob es sich um Grundwasser handelt, das in Form von Quellen im Bachbett austritt oder um versickertes Restwasser der Clemgia, das wieder zutage tritt. Gleichzeitig gibt es ebenfalls mehrere Quellen im Uferbereich, die nicht im direkten Kontakt mit der Clemgia stehen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden 8 dieser Aufstösse sowie die Clemgia untersucht. Die untersuchten Austritte lassen sich dabei in drei Gebiete aufteilen (Abb. 4). Gebiet 1 mit den Standorten Q1, Q2 und Q3 direkt unterhalb der Wasserentnahme durch die Engadiner Kraftwerke. Gebiet 2 mit den Standorten Q6, Q9, Q12 und Q13 sowie der Beprobungsstelle der Clemgia im mittleren Bereich des Untersuchungsgebietes, wo sich das Tal in eine etwas breitere Schotterfläche mit einem lichten

Baumbestand öffnet. Und das dritte und unterste Gebiet mit den Standorten Q9 und Q11, die vor dem Eintritt der Clemgia in die Clemgia-Schlucht liegen. Die etwas unregelmässige Nummerierung der Untersuchungsobjekte kommt daher, dass mehrere Austritte in der Zeit zwischen dem Auslegen der Logger während der Erstbegehung und der ersten Beprobung leider von mehreren Murgängen begraben wurden oder durch eine Veränderung des Flusslaufes der Clemgia nicht mehr existierten. Deswegen wurden bei der ersten Beprobung die Standorte Q11, Q12 und Q13 als Ersatz festgelegt, beprobt und soweit als möglich noch nachträglich mit Loggern ausgestattet. Bei der zweiten Beprobung waren jedoch von diesen Ersatzstandorten Q11 sowie Q13 wieder trocken gefallen. Der Einfachheit halber werden in dieser Arbeit sämtliche Standorte (ausser der Clemgia) mit Q für Quelle bezeichnet, auch wenn es sich teilweise nicht um solche handelt. Eine Differenzierung zwischen echten Quellen aus Grundwasseraustritten und Aufstössen von Flusswasser wird erst später in der Diskussion vorgenommen.

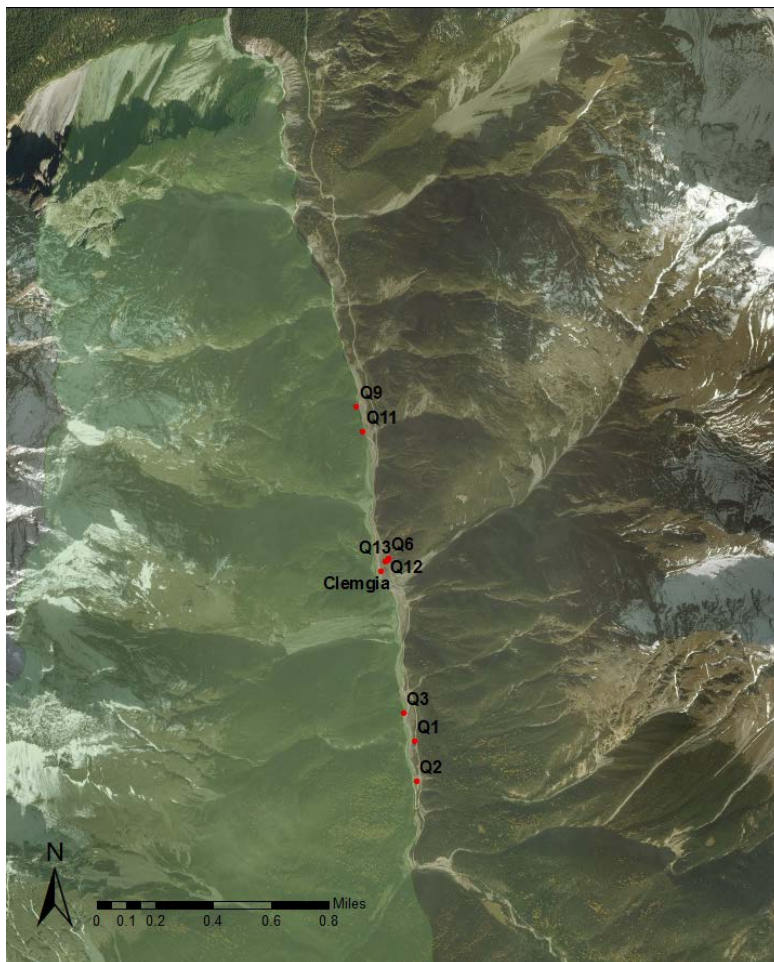


Abb. 4: Gesamtübersicht der beprobten Standorte im Val S-charl. Grün schattiert das Gebiet des Schweizerischen Nationalparks (L. Mühlemann 2017)

## 3 Material und Methoden

### 3.1 Strukturelle Erfassung

Im April 2016 wurde das Untersuchungsgebiet zusammen mit Johannes Ortlepp und Uta Mürle von Hydra in einer Erstbegehung ein erstes Mal besucht und mögliche Aufstösse für eine Untersuchung provisorisch ausgewählt. Anfang Juni wurde das Gebiet zum zweiten Mal besucht. Zehn Standorte wurden definitiv ausgewählt und mit Temperatur- sowie Leitfähigkeitsloggern ausgestattet. Ende Juni fand die erste Beprobung statt, bei welcher auf Grund von durch Murgängen verschütteten Austritten drei neue Standorte ausgewählt wurden. Ende September fand die zweite Beprobung statt. Die strukturelle Erfassung wurde mit Hilfe der von VON FUMETTI und BLATTNER entwickelten strukturellen Erfassungsbögen durchgeführt (BLATTNER 2017). Die Substrattypen entsprechen denjenigen von LUBINI et al. (2014), der bewertende Aspekt war für die Fragestellung hier nicht relevant. Die Schüttung der einzelnen Wasseraustritte wurde jeweils von Auge geschätzt. Ausserdem wurden mit einem GPS-Gerät (Garmin eTrex 10) Höhenlage und Koordinaten für jeden Standort im Schweizer Koordinatensystem CH1903 erfasst. Diese Daten wurden später mit Hilfe von ArcGIS (ESRI 2014) kartographisch dargestellt. Des Weiteren wurden Übersichtsskizzen und Fotos für alle Standorte erstellt, damit sie zu einem späteren Zeitpunkt sicher wieder auffindbar sind.

### 3.2 Abiotische Parameter

Für alle untersuchten Standorte wurden chemische und physikalische Parameter direkt im Feld gemessen. Mit den Messgeräten für den Feldeinsatz der Firma WTW (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, Weilheim) ph3210, Oxi330i und Cond 3110 wurden pH, Temperatur [°C], Sauerstoffgehalt [mg/l, %] und elektrische Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] gemessen. Eine mehrfache Kalibrierung des Sauerstoffmessgerätes im Verlauf der Messungen stellte eine möglichst hohe Messgenauigkeit sicher, da die Löslichkeit von Sauerstoff mit steigender Temperatur abnimmt (SCHWOERBEL 1994).

Die Temperaturlogger (HOBO Pendant temp/light Data Logger) und Leitfähigkeitslogger (HOBO Fresh Water Conductivity Data Logger) wurden bei der zweiten Begehung ausgelegt und zeichneten kontinuierlich vom 6.6.16 bis zum 30.9.16 jede Stunde einen Wert auf. Bei der ersten Beprobung Ende Juni waren die Standorte Q5, Q7 und Q8 durch Hangrutsche verschüttet oder durch Verlagerung des Flusslaufes der Clemgia verschwunden. Q10 war ausgetrocknet und der Logger zwar noch auffindbar, aber ohne auswertbare Daten. Als Ersatz für die verlorenen Standorte wurden Q11, Q12 und Q13 ausgewählt und soweit als möglich mit Loggern ausgestattet. Diese Datenreihen sind entsprechend kürzer und dauern nur vom 1.7.2016 bis zum 30.9.2017. Q9 konnte auf Grund seiner geringen Schüttung nur mit einem Temperaturlogger ausgestattet werden und Q13 mit noch geringerer Wasserführung mit gar keinen Loggern. In der Clemgia konnten auf Grund der starken Strömung und des sich verändernden Flusslaufes keine Logger ausgebracht werden. Bei der zweiten Beprobung Ende September wurden die Logger wieder eingeholt und mit der HOBOWare Software ausgelesen. Der Temperaturlogger von Q1 konnte auf Grund technischer Mängel nicht ausgelesen werden, doch da der Leitfähigkeitslogger ebenfalls die Temperatur aufzeichnet, konnten die Werte von diesem übernommen werden.

Sowohl bei der ersten als auch bei der zweiten Beprobung wurden Wasserproben in 30 ml Röhrchen genommen. Die Proben wurden in Kühltaschen transportiert und so bald als möglich eingefroren, um



einem Abbau von Ionen entgegenzuwirken. Im Labor der Forschungsgruppe Umweltgeowissenschaften der Universität Basel wurden von Judith Kobler Waldis in den 16 Proben der Gehalt von Na, Mg, Ca, K sowie F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> und HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> gemessen. Die Proben wurden unverdünnt und zwanzigfach verdünnt mittels Ionenchromatographie analysiert. Die Konzentrationen sind in mg/L oder ppm angegeben. Die Messung von HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> darf nur als Versuch angesehen werden, da wegen des geringen Probenvolumens nur sehr wenig Säure titriert werden musste und daher ein Tropfen einer sehr grossen Unsicherheit entspricht (30-50%).

### 3.3 Faunistische Untersuchung

Im Rahmen der faunistischen Erfassung des Makrozoobenthos wurden pro Standort insgesamt je zehn Proben entnommen: Vier quantitative und eine qualitative Probe bei der ersten Probenahme vom 29. Juni bis am 1. Juli 2016 sowie nochmal dasselbe vom 30. September bis am 1. Oktober 2016. In der Clemgia wurde jeweils nur eine qualitative Probe pro Beprobung entnommen. Da bei der zweiten Beprobung zwei Standorte trockengefallen waren, wurden diese nur einmal beprobt und es ergab sich eine Gesamtprobenzahl von 72. Die quantitative Probennahme wurde mit Hilfe eines kleinen Surber-Samplers (10cmx10cm, 500 µm Maschenweite) ausgeführt, abgeändert speziell für die Nutzung in Quellen (VON FUMETTI et al. 2006). Dabei wurden die Proben vom Quellbach in Richtung Quellsprung entnommen, um eventuelle Verfälschungen durch Beeinträchtigung der Quelle zu vermeiden (VON FUMETTI et al. 2006, 2007). In der Clemgia wurde die Beprobung durch ein Kicksampling nach dem Modulstufen-Konzept zur Untersuchung von Fließgewässern des BAFUS (STUCKI 2010) durchgeführt. Die Proben wurden in 80% Ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) konserviert und später im Fließgewässerlabor der Forschungsgruppe Biogeographie der Universität Basel aussortiert. Die qualitative Beprobung fand jeweils durch Handbesammlung statt, wobei möglichst alle vorhandenen Substrate untersucht und vorhandene Organismen eingesammelt wurden. Die Bestimmung der Organismen erfolgte soweit als möglich bis auf Artniveau und wurde mit Hilfe eines Stereomikroskops (x120) durchgeführt. In einigen Fällen waren die Organismen zu klein und zu wenig weit entwickelt, um sie mit Sicherheit bestimmen zu können. In solchen Fällen wurde die Bestimmung auf dem Gattungs- oder sogar Familienniveau belassen.

### 3.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Loggerdaten wurde mit dem Programm R beziehungsweise RStudio durchgeführt (RSTUDIO TEAM 2016). Die Loggerdaten für Temperatur und Leitfähigkeit wurden für jeden Standort über den Zeitraum der Messungen geplottet. Zur graphischen Darstellung wurden Boxplots erstellt, wodurch sich mögliche Ausreisser in der Datenstruktur erkennen lassen. Anschliessend wurden Temperaturmaxima, Temperaturminima und Temperaturamplituden berechnet.

Im Programm PRIMER (CLARKE & GORLEY 2006) wurden die faunistischen Daten statistisch ausgewertet und analysiert. Die Anzahl Individuen der quantitativen und qualitativen Proben wurden dafür summiert und in einer species-site Matrix abgebildet. Die Abundanzen wurden mit log(x+1) transformiert und mittels der für ökologische Fragenstellungen sinnvollen Bray-Curtis Similarity in einer Ähnlichkeitsmatrix dargestellt (LEYER & WESCHE 2007). Anschliessend wurden die Daten mittels einer nMDS (nonmetric Multidimensional Scaling) bezüglich ihrer Unterschiede dargestellt.

Das Stress-Mass gibt dabei Auskunft über die Güte der Abbildung des multidimensionalen Raumes in zwei Dimensionen. Bei Stress-Werten  $<0.1$  ist die 2D Projektion gut, bei Werten  $<0.2$  ausreichend (CLARKE & GORLEY 2006). Mittels einer ANOSIM (Analysis of Similarities) wurde die Signifikanz möglicher Unterschiede der Artenzusammensetzungen der untersuchten Quellen überprüft. Die Stärke der Ähnlichkeit wird mit dem globalen R Wert beschrieben. Dieser Wert liegt zwischen 0 und 1, wobei  $R = 0$  keinen Unterschied und  $R = 1$  grösstmöglichen Unterschied bedeutet (CLARKE & GORLEY 2006).

Ebenfalls in PRIMER (CLARKE & GORLEY 2006) wurde eine PCA (Principal Component Analysis oder Hauptkomponentenanalyse) durchgeführt. Anhand der PCA soll ermittelt werden, welche der gemessenen abiotischen Parameter Zusammenhänge zwischen Variablen möglichst umfassend erklären. Die abiotischen Parameter umfassten dabei pH, Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur, unterschiedliche Substrattypen in ihrer Abundanz sowie die gemessenen Ionen Natrium, Magnesium, Calcium, Kalium, Fluorid, Chlorid, Nitrat, Sulfat und Hydrogencarbonat. Da die gemessenen Daten über sehr unterschiedliche Skalen verfügen, mussten sie zu Beginn normalisiert und so für die Analyse vereinheitlicht werden (LEYER & WESCHE 2007). Umweltdaten verhalten sich oft ähnlich und korrelieren miteinander, wodurch sie meist redundante Information enthalten. Durch eine Hauptkomponentenanalyse anhand neuer Achsen soll diese Korrelation möglichst effektiv zusammengefasst werden. Das Ergebnis ist ein in seinen Dimensionen reduzierter Raum, der die wichtigsten abiotischen Zusammenhänge so gut wie möglich abbildet. Dieser Raum wird durch abstrakte Achsen aufgespannt, sogenannte Hauptkomponenten. Diese Hauptkomponenten sind jeweils unterschiedlich stark durch die Umweltvariablen geprägt. Hat eine Umweltvariable eine hohe Ladung auf einer Hauptkomponente, so nimmt sie in Richtung der Komponente stark zu. Die erste Achse bildet möglichst viele der insgesamt vorhandenen Varianzen ab. Im rechten Winkel dazu bildet dann die zweite Achse den maximal möglichen Teil der Restvarianz ab. Die dritte Achse bildet einen möglichst grossen Teil der noch verbleibenden Restvarianz ab. Die Summe aller Ladungen auf einer Hauptkomponente wird als Eigenwert bezeichnet und ist ein Mass dafür, wie viel der ursprünglichen Beziehungen zwischen den Variablen sie abbildet (LEYER & WESCHE 2007). Dieselbe PCA wurde ausserdem zum Vergleich noch in CANOCO 5 (TER BRAAK & ŠMILNAUER 2012) durchgeführt.

Anhand einer Redundanzanalyse wurde der Einfluss der gemessenen Umweltvariablen auf die Artenzusammensetzung untersucht. Mit dem Programm CANOCO 5 (TER BRAAK & ŠMILNAUER 2012) wurde eine RDA (Redundancy Analysis) durchgeführt, wobei die faunistischen Daten in Kombination mit den abiotischen Daten sowie den verschiedenen Substrattypen analysiert wurden. Bei einer RDA wird von einer linearen Verteilung der Arten entlang eines Umweltgradienten ausgegangen (LEYER & WESCHE 2007, TER BRAAK & ŠMILNAUER 2012). Da in dieser Arbeit nur eine relativ geringe Anzahl Standorte untersucht werden konnte, war auch die Anzahl der Variablen, die für die Analyse sinnvoll verwendet werden konnte, gering. Anhand der zuvor durchgeführten PCA konnten jedoch die Variablen mit dem grössten Einfluss (Werte mit den höchsten Ladungen) im Voraus ausgewählt und dann in der RDA mittels „Forward Selection“ einzeln getestet und dem Modell hinzugefügt werden. Die in der RDA verwendeten Umweltvariablen sind Leitfähigkeit, Wassertemperatur, Vegetation, Moospolster und Sand. Sie wurden normiert und so für die Analyse vereinheitlicht.



## 4 Standortcharakterisierung

### Q1

Standort Q1 liegt auf einer Höhe von 1639 m ü. M. im Gebiet 1 direkt neben der Strasse, die das Tal hochführt. Der eigentliche Quellursprung liegt etwa einen Meter oberhalb der Strasse, wird jedoch sogleich gefasst und unter der Strasse durchgeführt, wo das Wasser aus einem Rohr wieder austritt. Dort führt der Quellbach in einer leichten Kurve durch ein lichtetes Tannenwäldchen mit geringer Beschattung. Die Schüttung ist ganzjährig, mit circa 2 Litern pro Sekunde und einer relativ grossen Strömungsdiversität von glatt, über fließend, überfließend, geripelt bis hin zu plätschernd. Die Wasser-Land-Verzahnung ist mittel. Die auftretenden Substrattypen sind mit Kies am stärksten vertreten, doch sowohl Moospolster als auch Totholz sind häufig. Die Detritusaufgabe ist gering, ebenso wie sonstige Vegetation oder grössere Steine. Q1 liegt ausserhalb des Nationalparks.



Abb. 5: Standort Q1 (Fotos: L. Mühlemann 2016)

### Q2

Ebenfalls im Gebiet 1 ist Q2, der grösste der untersuchten Standorte in dieser Arbeit. Er liegt direkt unterhalb des Parkplatzes des Kraftwerkes Clemgia wenige Meter ausserhalb des Nationalparks. Mit einer Höhe von 1650 m ü. M. ist er ausserdem der am höchsten gelegene Standort dieser Untersuchung. Die Schüttung ist ganzjährig und mit circa 10 Litern pro Sekunde relativ gross. Die Geländeneigung ist schroff, was zu einer grossen Strömungsdiversität führt und sogar einen kleinen Wasserfall entstehen lässt. Ebenso ist die Wasser-Land-Verzahnung gross. Der Quellbach geht nach wenigen Metern bei Erreichen des Talgrundes direkt in die Clemgia über. Das dominierende Substrat ist Moos, wobei auch andere Vegetation, Steine und Kies vorkommen.



Abb. 6: Standort Q2 (Fotos: L. Mühlemann 2016)

### Q3

Der Standort Q3 befindet sich auf der im Nationalpark liegenden Seite der Clemgia. Direkt unterhalb einer niedrigen Felswand liegt Q3 am Hangfuss auf einer Höhe von 1622 m ü. M. Die Schüttung ist ganzjährig, mit 1 bis 2 Litern pro Sekunde. Die Strömungsdiversität geht von glatt, über fließend, zu geripelt, bis hin zu plätschernd, und es bildet sich ein kleiner Pool kurz nach dem Quellaustritt. Ton und Schluff sind das am häufigsten vorkommende Substrat, gefolgt von Moospolstern und Steinen. Vereinzelt kommt auch Totholz vor und es wachsen Grashalme im Wasser.



Abb. 7: Standort Q3 (Fotos: L. Mühlemann 2016)



## Q6

Standort Q6 liegt im Gebiet 2 auf 1595 m ü. M. in einem mit einigen Fichten bewachsenen Gebiet unterhalb der Strasse ausserhalb des Nationalparks. Er liegt neben Q12 am Hangfuss des Tals, wobei Q12 bald in den von Q6 abfliessenden Bach mündet. Die Schüttung beträgt etwa 7 Liter pro Sekunde und ist ganzjährig. Die Wasser-Land-Verzahnung ist mittel und die Strömungsdiversität ist glatt, fliessend, geripelt und plätschernd. Das Substrat besteht zu grossen Teilen aus Detritus und aus Moospolstern, über die das Wasser fliesst. Ausserdem wachsen Gräser im Wasser und Ton und Schluff liegen am Grund. Vereinzelt kommt auch Totholz vor und einige Felsblöcke liegen sowohl direkt oberhalb des Austritts, als auch im Wasser selbst.



Abb. 8: Standort Q6 (Fotos: L. Mühlemann 2016)

## Q9

Im dritten Gebiet liegt Q9 auf der Nationalpark-Seite der Clemgia. Der Austritt liegt am Fusse einer hohen Felswand und plätschert über eine kurze, steile Fläche direkt in das kiesige Flussbett der Clemgia. Q9 ist der unterste der untersuchten Standorte und hat mit 1560 m ü. M. die geringste Höhe. Die Schüttung ist mit <1 Liter pro Sekunde gering, aber ganzjährig. Trotz seiner geringen Grösse verfügt Q9 mit glatt, fliessend, überfliessend, geripelt und plätschernd über eine grosse Strömungsdiversität und die Wasser-Land-Verzahnung ist gross. Das dominierende Substrat ist Moos, doch auch sonstige Vegetation in Form von Gräsern gedeiht gut. Steine, Ton und Schluff kommen ebenfalls vor, sowie vereinzelt Totholz.



Abb. 9: Standort Q9 (Fotos: L. Mühlemann 2016)

## Q11

Q11 liegt ebenfalls im Gebiet 3 auf 1561 m ü. M. innerhalb des Nationalparks. Der Standort entspringt direkt aus der Felswand des Tales und mündet bereits nach circa 2 Metern in die Clemgia. Als einer der Ersatzstandorte ausgewählt, fiel Q11 bei der zweiten Beprobung trocken. Die Schüttung ist unterbrochen oder sogar nur zeitweise und beträgt bei Wasserführung circa 2 Liter pro Sekunde. Die Wasser-Land-Verzahnung ist gering und die Strömungsdiversität geht von Spritzwasser, über glatt, zu fließend, geripelt und plätschernd. Das Substrat besteht aus Kies, Steinen, Blöcken und Fels, mit vereinzelt Ansammlungen von Ton und Schluff in Kuhlen. Vegetation ist keine vorhanden.



Abb. 10: Standort Q11. Links mit Wasser, rechts trocken bei zweiter Beprobung (Fotos: L. Mühlemann 2016)



## Q12

Ebenfalls als Ersatzstandort liegt Q12 im Gebiet 2 auf 1593 m ü. M. Er liegt ausserhalb des Nationalparks direkt neben Q6 und fliesst nach kurzer Distanz mit diesem zusammen. Die Schüttung ist ganzjährig und mit circa 1 Liter pro Sekunde relativ gering. Die Strömungsdiversität ist glatt, fliegend, geripelt und plätschernd und die Wasser-Land-Verzahnung mittel. Am einen Ende des Standorts bildet sich ein etwas tieferer Pool mit stehendem Wasser, in dem unzählige Mückenlarven treiben. Das Substrat besteht hauptsächlich aus Moospolstern und einer dicken Detritusauflage sowie Gräsern, die im Wasser wachsen. Zu geringeren Teilen kommen Totholz, Feinkies und Ton und Schluff vor.



Abb. 11: Standort Q12 (Fotos: L. Mühlemann 2016)

## Q13

Q13 ist der einzige helokrene Standort und lag leider bei der zweiten Beprobung ebenfalls trocken. Er ist ein Ersatzstandort und liegt im zweiten Gebiet direkt ausserhalb des Nationalparks auf 1592 m ü. M. Die Schüttung war bereits bei der ersten Beprobung mit deutlich unter 1 Liter pro Sekunde sehr gering und stellte sich als nur zeitweise heraus. Die Strömungsdiversität ist durch die kleine Wassermenge sehr gering und weist nur glatt und geripelt auf. Die Wasser-Land-Verzahnung ist gross. Das Substrat besteht hauptsächlich aus Ton und Schluff sowie grossen Mengen von Detritus. Durch die zahlreichen Föhren, welche den Standort umgeben, wurden ausserdem viele Tannennadeln eingetragen. Des Weiteren kommen Gras und Sand sowie vereinzelte Steine und durchspülte Wurzelräume vor.



Abb. 12: Standort Q13. Links mit Wasser, rechts trocken bei zweiter Beprobung (Fotos: L. Mühlemann 2016)

### Clemgia

Die Beprobung der Clemgia wurde im mittleren Bereich des Untersuchungsgebietes, im Gebiet 2 auf 1591 m ü. M. durchgeführt. Im zweiten Gebiet deswegen, weil Gebiet 1 durch das direkt oberhalb liegende Kraftwerk Clemgia beeinflusst wird und Gebiet 3 bereits über eine hohe Strömungsgeschwindigkeit und einen konzentrierten Strom verfügt, dessen Verlauf zwischen den einzelnen Beprobungen sehr stark variierte. Am zweiten Standort mäandriert die Clemgia noch in einzelnen kleineren Teilflüsschen durch die Kiesebene. Das Substrat aus grossen Blöcken, Steinen, Kies und Sand führt dabei zu einer grossen Diversität an verschiedenen Strömungen, die von reissend zu fast stehend reichen. In der Mitte des Flusses befindet sich eine kleine Kiesinsel.



Abb. 13: Beprobungsstelle Clemgia (Fotos: L. Mühlemann 2016)



## 5 Ergebnisse

### 5.1 Abiotik und Struktur

Die untersuchten Standorte befinden sich durch ihre Lage im gleichen Tal alle auf einer vergleichbaren Höhenlage. Der am höchsten gelegene Standort ist Q2 auf 1650 m ü.M. am oberen Ende des Untersuchungsgebietes. Der am tiefsten gelegene Standort ist Q9 auf 1560 m ü.M. am unteren Ende des Untersuchungsgebietes. Die im Feld gemessenen abiotischen Parameter sind als Punktmessungen zum Zeitpunkt der Beprobung zu verstehen (Tab. 1) und sollten sich zwar im Rahmen der Messungen der Temperatur- und Leitfähigkeitslogger bewegen, müssen aber nicht genau mit den Werten in Tabelle 2 übereinstimmen. Die gemessene Wassertemperatur der Aufstösse lag zwischen 5.4°C bei Q2 und 7.4°C bei Q1, was einem Temperaturunterschied von 2°C entspricht. Die Clemgia war mit 8.2°C deutlich wärmer. Die Messreihen der Temperaturlogger zeigen ein etwas anderes Bild (Tab. 2). Hier ist der wärmste Standort Q3 mit einer durchschnittlichen Temperatur von 7.0°C und der kälteste ist Q9 mit einer Durchschnittstemperatur von 5.9°C, was einem Unterschied von 1.1°C entspricht. Die Schwankungen der Wassertemperatur sind bei Q1 mit einer Amplitude von 4.4°C am grössten und die kleinste Amplitude tritt bei Q9 mit 1°C auf. Die Leitfähigkeitsmessungen unterscheiden sich sehr stark zwischen den einzelnen Standorten. Den niedrigsten Wert weist Q13 mit 190 µS/cm auf und den höchsten Wert Q1 mit 943 µS/cm. Dies entspricht einem Unterschied von 752 µS/cm. Die Clemgia liegt mit einer Leitfähigkeit von 513 µS/cm etwa im mittleren Bereich der Messungen. Die Werte der Leitfähigkeitslogger fallen generell tiefer aus als bei den Messungen im Feld. Sie weisen Q2 mit 610 µS/cm als Standort mit der höchsten durchschnittlichen Leitfähigkeit aus und Q6 mit 100 µS/cm mit der niedrigsten. Dies entspricht einem Unterschied von 510 µS/cm, wobei allerdings beachtet werden muss, dass in zwei der Standorte (Q9 & Q13) keine Leitfähigkeitslogger ausgebracht werden konnten. Die Schwankungen der Leitfähigkeitswerte sind bei Q11 mit einer Amplitude von 377 µS/cm am grössten und bei Q12 mit 127 µS/cm am kleinsten. Der pH aller untersuchten Objekte befindet sich mit 7.7 bis 8.7 im basischen Bereich und schwankt nicht sehr stark zwischen den einzelnen Aufstössen. Die Clemgia liegt mit einem pH von 8.2 im selben Bereich. Der Sauerstoffgehalt bewegt sich zwischen dem Minimum von 63% beziehungsweise 6.5 mg/l in Q11 und dem Maximum von 91.7% beziehungsweise 9.2 mg/l in Q1. Die Clemgia hat mit 98.9% beziehungsweise 9.7 mg/l einen höheren Sauerstoffgehalt als die Wasseraufstösse.

Tab. 1: Grundlagedaten und abiotische Parameter der untersuchten Standorte. Punktmessungen zum Zeitpunkt der Beprobung. Hier abgebildet ist der Durchschnitt der Messungen der zwei Beprobungen.

	Koordinaten	Höhe	Quellentyp	Ganzjhr.	Schüttung	Wassertemp.	Leitfgh.	pH	O2
	CH1903	[m ü.M.]			[l/sec]	[°C]	[µS/cm]		[%] [mg/l]
<b>Q1</b>	819066/179824	1639	rheokren	ja	2	7.4	944	8.0	92 9.2
<b>Q2</b>	819085/179599	1650	rheokren	ja	10	5.4	932	7.7	80 8.3
<b>Q3</b>	819006/179976	1622	rheokren	ja	1-2	6.7	658	7.8	74 7.5
<b>Q6</b>	818902/180834	1595	rheokren	ja	7	5.9	323	7.9	87 8.9
<b>Q9</b>	818708/181671	1560	rheokren	ja	<1	5.8	684	7.8	71 7.5
<b>Q11</b>	818747/181538	1561	rheokren	nein	2	5.9	809	7.7	63 6.5
<b>Q12</b>	818895/180826	1593	rheokren	ja	1	6.2	231	8.7	92 8.7
<b>Q13</b>	818885/180818	1592	helokren	nein	<1	6.3	191	8.2	87 7.6
<b>Clemgia</b>	818864/180765	1591	Fluss	ja	100	8.2	513	8.1	99 9.7



Betrachtet man die Plots der Temperaturlogger, so fällt sofort auf, dass einige Standorte über die gesamte Messperiode sehr konstante Temperaturen aufweisen und andere im Gegensatz dazu sehr stark schwanken (Anhang 2). Ein Ausdruck dafür ist die Amplitude. Extrem geringe Temperaturschwankungen und damit eine sehr kleine Amplitude mit  $1^{\circ}\text{C}$  hat Q2 (Anhang 4). Der Plot von Q6 zeigt zu Beginn noch relativ grosse Schwankungen, doch circa ab Mitte August stabilisiert sich die Temperatur und bleibt von da an äusserst konstant. Q9 zeigt in seinem Plot ein ähnliches Bild. Zu Beginn eine Phase mit einigen Temperaturpeaks, aber dann eine Stabilisierung und von da an äusserst konstante Temperaturen. Q12 verfügt beinahe die gesamte Messperiode lang über relativ konstante Temperaturwerte, aber kurz vor Ende der Messperiode treten plötzlich zunehmend grössere Schwankungen auf. Grosse Schwankungen der Wassertemperatur treten vor allem in Q1, Q3 und Q11 auf. Dabei hat Q1 mit einer Amplitude von  $4.4^{\circ}\text{C}$  die mit Abstand grössten Schwankungen. Tatsächlich hat Q1 gleichzeitig die niedrigste Minimaltemperatur ( $5.2^{\circ}\text{C}$ ) und die höchste Maximaltemperatur ( $9.6^{\circ}\text{C}$ ) aller Standorte. Bei Q3 sind die Schwankungen ebenfalls relativ gross. Hier fällt aber vor allem auf, dass die Temperaturen zu Beginn der Messreihe am tiefsten sind, über einen Zeitraum von circa einem Monat bis etwa Mitte Juli ansteigen und sich dann auf einem höheren mehr oder weniger konstanten Niveau bis zum Ende der Messperiode stabilisieren. Bei Q11 treten von Anfang an relativ grosse Temperaturschwankungen auf, doch ab dem 12. August 2016 treten plötzlich riesige Tag-Nacht-Schwankungen der Temperatur auf. Dies lässt auf ein Austrocknungsereignis schliessen und tatsächlich war Q11 bei der zweiten Beprobung ausgetrocknet. Sowohl bei den Temperatur- als auch bei den Leitfähigkeitsloggern haben Q11 und Q12 eine verkürzte Messperiode, da die Logger erst bei der ersten Beprobung am 30. Juni ausgebracht wurden.

Die Boxplots der Messwerte der Temperaturlogger zeigen, dass die Mediane aller untersuchten Objekte im Bereich zwischen  $5.9^{\circ}\text{C}$  (Q6) und  $7.2^{\circ}\text{C}$  (Q3) liegen (Abb. 14). Es lassen sich zwei grobe Gruppen unterteilen: Q1, Q2, Q6 und Q9 mit tieferen Temperaturwerten und Q3, Q11 und Q12 mit höheren Werten. Auffallend ist jedoch vor allem auch in dieser Darstellung die unterschiedliche Stabilität der Wassertemperatur. Beispielsweise Q2 weist extrem geringe Schwankungen über die gesamte Messperiode auf, während zum Beispiel Q1 oder Q11 sehr stark schwanken. Allgemein treten sehr viele Ausreisser auf, wobei gewisse Temperaturschwankungen auch in Quellen durchaus normal sind. Die gemessenen Werte während des Austrocknungsereignisses von Q11 wurden für die Darstellung dieser Boxplots aus dem Datensatz herausgenommen, um die tatsächlichen Mittelwerte nicht zu verfälschen und eine bessere Darstellung zu ermöglichen. In Anhang 4 sind die unbereinigten Boxplots jedoch zusätzlich noch abgebildet.

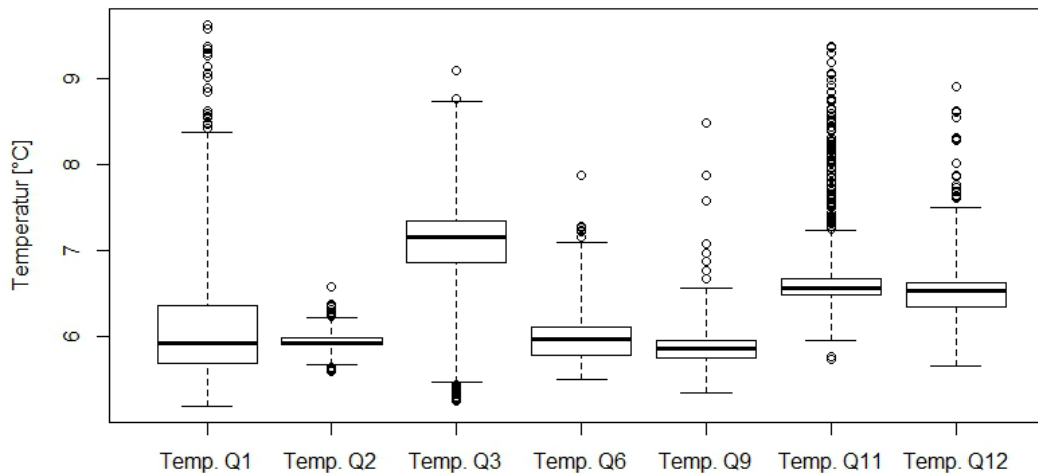


Abb. 14: Boxplot der Temperaturlogger. Die Box umfasst 50% der Daten und ist durch das untere und obere Quartil begrenzt. Die Whisker markieren das Dreifache des Interquartilabstandes. Ausreisser sind als Punkte dargestellt. Die Messwerte für Q11 wurden bereinigt, damit das Austrocknungsergebnis nicht die Abbildung verfälscht.

Die Plots der Leitfähigkeitslogger sind von Standort zu Standort sehr unterschiedlich (Anhang 3). Allerdings weisen fast alle Messreihen in ihrem Verlauf Ende Juni bis etwa Anfang August deutlich grössere Schwankungen auf als gegen Ende der Messperiode, wo sich die Werte meist stabilisieren. Sehr hohe Leitfähigkeiten haben Q1 und Q2. Bei Q1 schwanken die Werte am Anfang auf hohem Niveau stark und sinken dann, wo sie sich stabilisieren. Bei Q2 sind die Schwankungen relativ gering, es zeigt sich aber genau gegenteilig zu Q1 ein relativ konstanter Anstieg der zu Beginn niedrigeren Werte und dann eine Stabilisation auf sehr hohem Niveau. Q3 und Q6 verhalten sich relativ ähnlich mit zu Beginn tiefen, aber konstanten Werten und dann Anfang Juli mit einem starken Anstieg der Leitfähigkeit. Anfang August sinken dann bei beiden Standorten die Werte wieder und stabilisieren sich bei Q6 auf dem Anfangsniveau und bei Q3 auf erhöhtem Niveau. Bei Q12 weisen die Werte über die gesamte Messperiode relativ geringe Schwankungen auf. Auffällig ist ein plötzlicher Einbruch der Leitfähigkeit Ende Juli und dann ein erneuter plötzlicher Anstieg Anfang August, wobei die Werte dazwischen immer ziemlich konstant bleiben. Erst ganz am Ende der Messperiode kommt es zu einem leichten Anstieg und etwas grösseren Schwankungen der Messwerte. Es ist unklar, ob sich dieser Trend bei längerer Messdauer noch weiter verstärkt hätte. Q11 verhält sich deutlich anders als die anderen Standorte. Die Werte beginnen Ende Juni auf hohem Niveau und sinken dann schnell ab, wo sie für eine gewisse Zeit relativ konstant bleiben, bis dann Anfang August, genauer im Zeitraum vom 5. bis 6. August, plötzlich sehr starke Schwankungen auftreten. Danach scheinen sich die Messwerte wieder etwas zu stabilisieren, allerdings ist kurz darauf am 12. August der Standort bis zum Ende der Messreihe ausgetrocknet und die Werte sinken schlagartig auf null.

Die Boxplots der Leitfähigkeitslogger zeigen eine klare Unterteilung in zwei Gruppen (Abb. 15). Auf der einen Seite Q1 und Q2 mit sehr hohen Werten und auf der anderen Seite Q3, Q6, Q11 und Q12 mit geringeren Werten. Hierbei weisen Q6 und Q12 nochmal deutlich tiefere Werte auf. Die Mediane der Leitfähigkeitslogger liegen zwischen 83.2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Q6) und 635.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Q2).

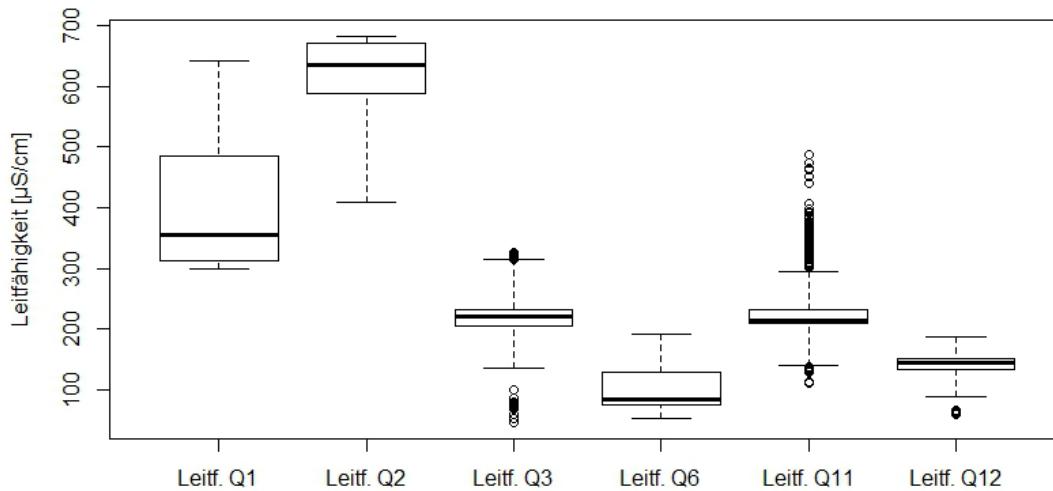


Abb. 15: Boxplot der Leitfähigkeitslogger. Die Box umfasst 50% der Daten und ist durch das untere und obere Quartil begrenzt. Die Whisker markieren das Dreifache des Interquartilabstandes. Ausreisser sind als Punkte dargestellt. Die Messwerte für Q11 wurden bereinigt, damit das Austrocknungsereignis nicht die Abbildung verfälscht.

Die Anzahl Substrate pro Standort variiert zwischen vier bis sechs verschiedenen Substraten (Tab. 2). Q1, Q11, Q12 und Q13 haben alle sechs Substrate, wobei jedoch beachtet werden muss, dass in Q11 vier dieser Substrate Steine in unterschiedlichen Grössen sind. Der Standort mit der geringsten Diversität an Substraten ist Q2 mit vier unterschiedlichen Substrattypen. Das am dominantesten auftretende Substrat ist Moos. Es kommt in der Mehrzahl der Standorte vor und prägt dabei meist stark das Bild. Vor allem Q11 und die Clemgia sind davon das genaue Gegenteil, da diese Standorte durch Kies, Steine und Geröll geprägt sind und praktisch keine organischen Substrate aufweisen.

Tab. 2: Häufigkeit und Verteilung der unterschiedlichen Substrattypen in den Standorten. 0: kein (0%), 1: sehr wenig (<20%), 2: gering (20-40%), 3: mittel (40-60%), 4: viel (60-90%), 5: sehr viel (>90%)

	Moospolster	Wurzelräume	Totholz	Detritus	Vegetation	Ton & Schluff	Sand	Feinkies	Mittel bis Grobkies	Steine	Blöcke	Felsen	Kalksinter
<b>Q1</b>	2	0	2	1	1	0	0	0	4	1	0	0	0
<b>Q2</b>	4	0	0	0	2	0	0	0	2	1	0	0	0
<b>Q3</b>	3	0	0	1	1	4	0	0	0	2	0	0	0
<b>Q6</b>	3	0	1	4	2	2	0	0	0	0	1	0	0
<b>Q9</b>	4	0	1	0	2	2	0	0	0	3	0	0	0
<b>Q11</b>	0	0	0	0	0	1	2	0	3	1	1	2	0
<b>Q12</b>	3	0	1	3	2	1	0	1	0	0	0	0	0
<b>Q13</b>	0	1	0	3	2	4	2	0	0	1	0	0	0
<b>Clemgia</b>	0	0	0	0	0	0	2	2	3	3	3	0	0

Die Ionenanalyse der Wasserproben zeigt kein einheitliches Bild. Die Konzentrationen unterscheiden sich von Standort zu Standort stark. Auffallend ist, dass die Werte für Sulfat in einigen Standorten sehr hoch sind und in anderen sehr gering. Die Werte gehen von 2.8 mg/L  $\text{SO}_4^{2-}$  in Q13 bis zu 418.5 mg/L  $\text{SO}_4^{2-}$  in Q1. Aufstöße mit hohen Sulfatwerten sind Q1, Q2, Q3, Q9 und Q11. Geringe Werte treten in Q6, Q12 und Q13 auf. Die Clemgia liegt mit 161 mg/L im mittleren Bereich. Die Calciumwerte gehen mit dem Sulfat einher. Das heisst, Standorte mit hohem Sulfatgehalt enthalten auch viel Calcium, wobei die Kombination Calciumsulfat auch als Gips oder Anhydrit bekannt ist. Q1 und Q2 am oberen Ende des Untersuchungsgebietes weisen von den sulfatreichen Standorten die höchsten Werte auf, während die Werte talabwärts auch in den sulfatreicheren Standorten geringer werden. Hohe Werte für Calcium und Sulfat in den Standorten gehen mit hohen Leitfähigkeitswerten einher, weshalb angenommen werden kann, dass die Leitfähigkeit vor allem durch Sulfat- und Calcium-Ionen beeinflusst wird.

Tab. 3: Ionenanalyse. Hier abgebildet der Durchschnitt der zwei Messungen. Werte in kursiv mit Vorbehalt behandeln.

	$\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{F}^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$
	Konzentrationen in mg/L (ppm)								
<b>Q1</b>	2.49	33.7	163	<0.1	0.44	<0.1	0.72	418.5	<i>90</i>
<b>Q2</b>	3.83	29.8	153.5	0.47	0.66	1.10	0.77	401	<i>79</i>
<b>Q3</b>	1.60	25.05	101.5	0.61	0.49	0.83	0.80	270.5	<i>95</i>
<b>Q6</b>	2.58	11.7	22	0.24	0.10	0.36	1.09	26.6	<i>91</i>
<b>Q9</b>	3.55	29.5	105	0.36	0.68	0.93	1.32	249.5	<i>119</i>
<b>Q11</b>	1.94	28.8	131	0.24	0.63	0.43	0.82	296	<i>102</i>
<b>Q12</b>	1.73	13.4	22	0.35	<0.05	0.98	1.55	17.8	<i>114</i>
<b>Q13</b>	0.89	10.9	20	0.32	<0.05	0.40	1.25	2.8	<i>106</i>
<b>Clemgia</b>	0.74	18.6	72	0.38	0.39	0.69	0.70	161	<i>85</i>

## 5.2 Quellfauna

Aus den 72 Proben wurden insgesamt 9748 Organismen separiert und bestimmt. Die grösste Anzahl an Individuen haben dabei bei Weitem die Diptera (7492 Individuen), wovon 7168 Chironomidae sind. Am zweithäufigsten sind die Acari mit 765 Individuen, gefolgt von den Plecoptera mit 511 Individuen. Der Standort mit den meisten Organismen ist Q2 mit insgesamt 2665 Individuen. Der Standort mit der geringsten Anzahl gefundener Organismen ist Q11 mit 32 Individuen, wobei dieser Aufstoss jedoch nur einmal beprobt werden konnte (Abb. 16). Betrachtet man nur die erste Beprobung, hat Q11 jedoch auch dort die geringste Anzahl Individuen. Von den zweimal beprobten Standorten hat die Clemgia mit 103 Organismen und von den Wasseraufstössen Q3 mit 488 Organismen die geringste Individuenzahl. Insgesamt wurden 62 Arten und höhere Taxa gefunden. Die Diptera sind nicht nur die individuenreichste Gruppe, sondern weisen mit 16 verschiedenen Taxa auch die grösste Diversität auf. Ebenfalls sehr divers sind die Plecoptera mit 13 verschiedenen Taxa und die Trichoptera mit 10 Taxa. Es ist anzunehmen, dass sich in den 765 Acari ebenfalls mehrere verschiedene Taxa verbergen, doch auf Grund der grossen Menge und des grossen Bestimmungsaufwandes konnten diese im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter bestimmt werden. Summiert man die Anzahl Taxa pro Standort auf, so hat Q1 mit 29 Taxa die grösste Diversität (Abb. 17). Q2, Q3 und Q9 weisen mit 25 bis 28 Taxa ebenfalls eine relativ hohe Diversität auf. Die geringste Diversität hat Q11, mit lediglich 6 unterschiedlichen Taxa. Q13 und die Clemgia haben mit 7 Taxa ebenfalls eine relativ geringe Diversität. Hierbei muss aber beachtet werden, dass Q11 und Q13 im Gegensatz zu den anderen Standorten nur einmal beprobt werden konnten. Betrachtet man allerdings nur die erste Beprobung separat, so haben auch dort Q11 und Q13 die geringste Diversität an Taxa – zusammen mit Q12, der bei der ersten Beprobung ebenfalls nur 7 unterschiedliche Taxa aufwies. Nur die Clemgia hatte bei der ersten Beprobung mit 4 Taxa eine noch geringere Diversität, doch muss sowohl bei der Betrachtung der einzelnen Beprobungen, als auch bei der Gesamtsumme beachtet werden, dass die Clemgia nur qualitativ von Hand und nicht quantitativ mit dem Surber-Sampler beprobt wurde.

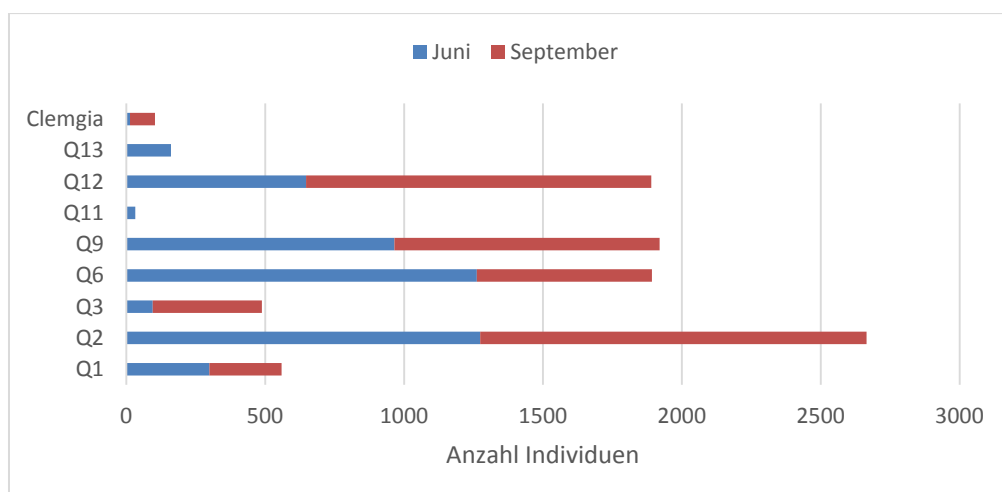


Abb. 16: Anzahl Individuen pro Beprobung. Blau = Beprobung Juni, rot = Beprobung September.

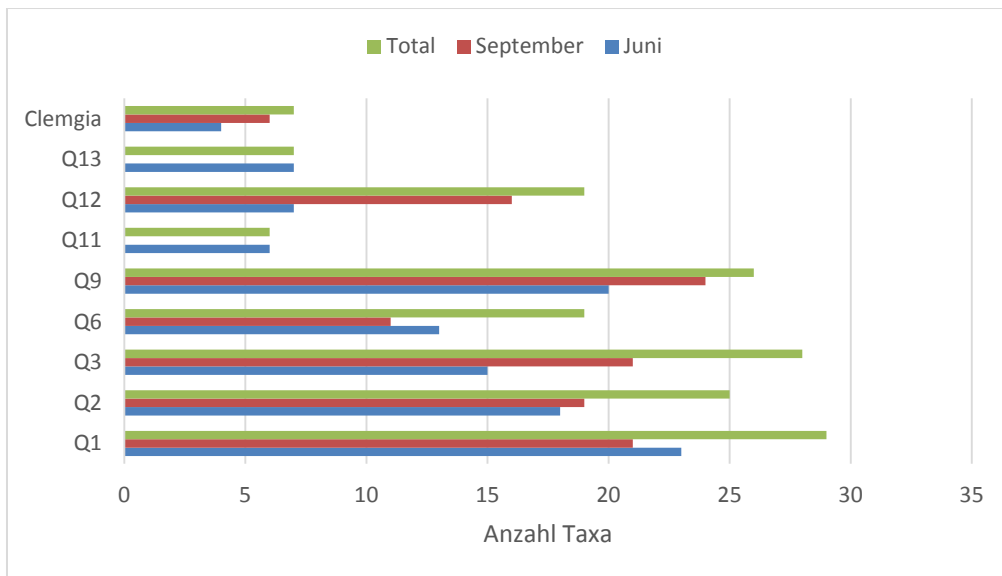


Abb. 17: Anzahl Taxa pro Beprobung. Blau = Juni, rot = September, grün = Total beider Beprobungen

Viele Taxa kommen in mehreren Standorten vor, doch einige Arten treten auch nur in einem einzigen auf. In Q1 sind das beispielsweise *Galba truncatula*, *Helodes* sp., *Limnebius* sp. und *Drusus chrysotus*. Nur in Q2 kommen *Bourletiella* sp., *Dictyogenus fontinum* und die verschiedenen *Rhyacophila*-Arten vor. Einzig in Q3 kommt *Ecdyonurus helveticus* vor. *Protonemura nimborum* und *Protonemura* sp. treten nur in Q6 auf, wobei Letzteres zu klein für eine Bestimmung war. Wahrscheinlich handelt es sich aber ebenfalls entweder um *P. nimborum* oder um *P. lateralis*, die in mehreren anderen Quellen auftraten. Nur in Q9 treten *Siphonoperla montana*, *Apatania helvetica*, *Crunoecia irrorata*, *Micrasema morosum* und Sericostomatidae auf. Die Sericostomatidae waren jedoch so winzig, dass eine weitere Bestimmung nicht möglich war. Tipulidae treten nur in Q11 auf, wobei es sich hier um mehrere bereits verpuppte, beinahe fertig entwickelte, aber noch nicht aus dem Wasser entflogene Individuen handelt. Es ist anzunehmen, dass es sich dabei um *Tipula* handelt, die in mehreren anderen Standorten ebenfalls auftritt, doch auf Grund des Zustands der Organismen war eine genauere Bestimmung nicht möglich. Nur in Q12 treten die Collembolen *Anurophorus* sp. und *Tetracanthella* sp. sowie die Plecoptere *Leuctra* sp. auf. Hierbei handelt es sich aber mit ziemlicher Sicherheit entweder um *Leuctra inermis* oder *Leuctra rosinae*, die in anderen Standorten ebenfalls auftreten. Auf Grund der kleinen Grösse war eine weitere Bestimmung jedoch nicht möglich. Der Käfer *Limnius* sp. tritt einzig in Q13 auf.

Mehrere Taxa treten auch nur bei einer der zwei Beprobungen auf. Dies ist einerseits auf unterschiedliche Entwicklungszyklen der Arten im Jahresverlauf zurückzuführen. Andererseits kann es auch ein Effekt der Beprobung sein, denn es werden nie alle Arten gefunden, die auch wirklich vorkommen. Arten, die nur bei der Sommerbeprobung im Juni vorkommen, sind *Anurophorus* sp., *Ecdyonurus* sp. (wahrscheinlich aber *E. helveticus*, der bei beiden Beprobungen auftrat), *Dictyogenus fontinum*, *Protonemura lateralis*, *Protonemura nimborum*, *Helodes* sp., *Limnius* sp., *Drusus chrysotus* und die Tipulidae in Q11. Nur im September treten die Taxa *Bourletiella* sp., *Tetracanthella* sp., *Leuctra* sp., *Protonemura* sp., *Siphonoperla montana*, Hydraenidae, *Limnebius* sp., *Crunoecia irrorata*, *Drusus alpinus*, *Micrasema morosum*, *Rhyacophila pubescens* und Limoniidae auf. Bei *Leuctra* sp. handelt es sich dabei wahrscheinlich wieder entweder um *L. inermis* oder *L. rosinae*, die bei beiden

Beprobungen auftreten. Die Exemplare von *Protonemura* sp. der September-Beprobung waren schlicht zu klein für eine genauere Bestimmung, doch in der Sommerbeprobung waren *P. lateralis* und *P. nimborum* aufgetreten. Mehrere der Arten, die nur bei einer Beprobung gefunden wurden, treten auch nur in einem einzigen Standort auf. Für Details und Abundanzzahlen finden sich die separaten Artenlisten für die Beprobungen von Juni und September in Anhang 1.

Rechnet man die Anzahl gefundener Individuen pro  $4 \times 0.01 \text{ m}^2$  Beprobungsfläche des Surber-Samplers der quantitativen Beprobung, so erhält man die Individuendichte der einzelnen Standorte. Vor allem Q2 weist mit  $31'575 \text{ Individuen/m}^2$  bei der Beprobung im Juni beziehungsweise  $34'325 \text{ Individuen/m}^2$  bei der Herbstbeprobung eine sehr hohe Individuendichte auf (Abb. 18). Ebenfalls bei mindestens einer Beprobung sehr dicht besiedelt waren Q6, Q9 und Q12. Auffallend ist jedoch, dass bei Q6 die September-Beprobung und bei Q12 die Juni-Beprobung deutlich weniger Individuen enthielt. Besonders wenig Individuen pro Fläche weist Q11 mit  $450 \text{ Individuen/m}^2$  auf. Ebenfalls gering fallen Q3 und Q13 aus, wobei bei Q3 die September-Beprobung deutlich mehr Individuen enthielt.

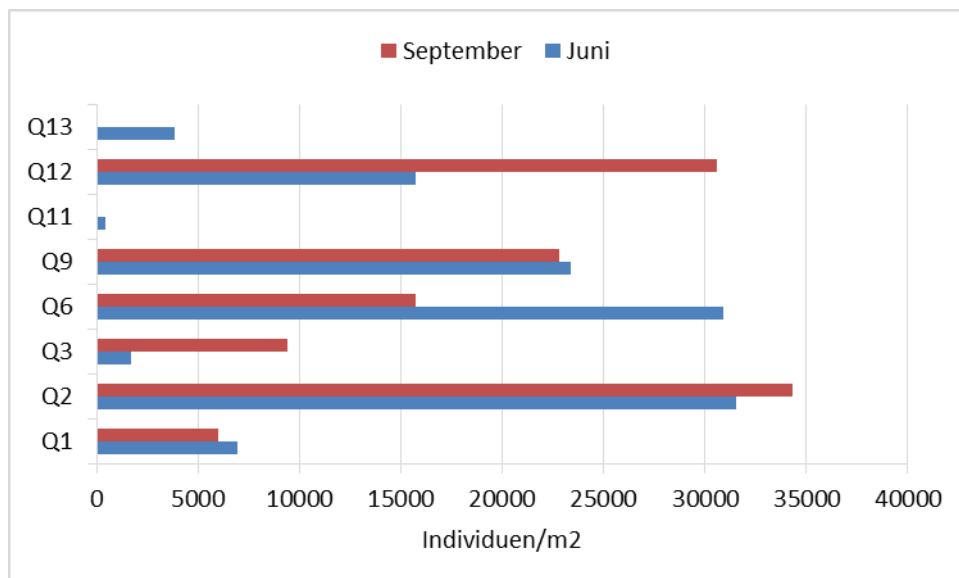


Abb. 18: Individuendichten. Berechnet anhand der quantitativen Proben. 4 Proben entsprechen  $4 \times 0.01 \text{ m}^2$ . Die Werte geben die durchschnittliche Anzahl Individuen pro Fläche an. Blau: Juni, rot: September.



Tab. 4: Taxaliste. Vorkommen (+) oder Fehlen (-) der bestimmten Taxa der qualitativen und quantitativen Probenahme Juni und September.

	Q1	Q2	Q3	Q6	Q9	Q11	Q12	Q13	Clemgia
<b>Turbellaria</b>									
<i>Crenobia alpina</i> (Dana, 1766)	+	+	+	-	+	-	+	-	-
<b>Gastropoda</b>									
<i>Galba truncatula</i> (O.F. Müller, 1774)	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Valvata</i> sp.	+	+	-	+	+	+	+	+	-
<b>Oligochaeta</b>									
	+	+	+	+	+	+	+	+	-
<b>Acari</b>									
	+	+	+	+	+	+	-	+	-
<b>Ostracoda</b>									
	+	-	+	-	+	-	-	-	-
<b>Collembola</b>									
<i>Anurophorus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Bourletiella</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Isotoma</i> sp.	+	+	-	-	+	-	-	-	-
<i>Isotomiella</i> sp.	-	+	+	-	+	-	-	-	-
<i>Tetracanthella</i> sp.	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<b>Ephemeroptera</b>									
<i>Baetis alpinus</i> (Pictet, 1843)	+	+	+	+	-	-	-	-	+
<i>Baetis</i> sp.	+	-	+	+	-	-	+	-	-
<i>Ecdyonurus</i> sp.	-	-	+	-	-	-	-	-	+
<i>Ecdyonurus helveticus</i> (Eaton, 1883)	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Rhithrogena alpestris</i> Eaton, 1885	-	-	+	-	-	-	-	-	+
<b>Plecoptera</b>									
<i>Dictyogenus fontinum</i> (Ris, 1896)	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Leuctra inermis</i> * Kempny, 1899	-	-	+	+	-	-	-	+	+
<i>Leuctra rosinae</i> Kempny, 1900	-	+	-	-	-	-	+	-	-
<i>Leuctra</i> sp.	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Nemoura mortoni</i> Ris, 1902	+	+	+	+	-	-	-	-	-
<i>Nemoura sinuata</i> Ris, 1902	+	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Nemoura</i> sp.	+	-	+	+	+	-	+	-	+
<i>Nemurella pictetii</i> * Klapalek, 1900	+	-	+	+	+	-	+	-	-
<i>Protonemura lateralis</i> (Pictet, 1835)	+	+	+	+	-	-	-	-	-
<i>Protonemura nimborum</i> (Ris, 1902)	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Protonemura</i> sp.	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Siphonoperla montana</i> (Pictet, 1841)	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<b>Heteroptera</b>									
Microphysidae	+	+	-	-	-	-	-	-	-
<b>Coleoptera</b>									
<i>Helodes</i> sp.	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Hydraenidae	-	-	+	-	-	-	+	-	-
<i>Limnebius</i> sp.	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Limnius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<b>Trichoptera</b>									
<i>Apatania helvetica</i> Schmid, 1954	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Crunoecia irrorata</i> * (Curtis, 1834)	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Drusus alpinus</i> (Meyer-Dür, 1875)	-	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Drusus chrysotus</i> (Rambur, 1842)	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Limnephilidae	+	+	+	+	+	-	+	-	-
<i>Micrasema morosum</i> (McLachlan, 1868)	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Rhyacophila glareosa</i> McLachlan, 1867	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhyacophila pubescens</i> Pictet, 1834	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhyacophila</i> s.s.	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Sericostomatidae	-	-	-	-	+	-	-	-	-

	Q1	Q2	Q3	Q6	Q9	Q11	Q12	Q13	Clemgia
<b>Diptera</b>									
<i>Bezzia</i> sp.	+	-	+	+	+	-	-	-	-
Ceratopogonidae	-	-	-	-	-	-	+	+	-
<i>Chelifera</i> sp.	-	-	-	-	+	-	+	-	-
Chironomidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Clinocerinae</i> sp.	-	+	+	-	+	-	-	-	-
<i>Dicranota</i> sp.	-	-	+	+	+	+	+	-	+
<i>Dixa</i> sp.	+	-	-	-	+	-	-	-	-
Empididae	+	+	-	+	+	-	-	-	-
Limoniidae	+	-	+	-	-	-	+	-	-
<i>Lispe</i> sp.	-	-	+	+	-	-	+	-	-
<i>Oxycera pseudoamoena</i> Dusek & Rozksny, 1974	+	+	+	-	+	-	-	-	-
<i>Oxycera</i> sp.	+	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Psychodidae</i> Gen. Sp.	+	+	+	-	+	-	-	-	-
<i>Tipula</i> sp.	+	+	+	-	+	-	+	-	-
Tipulidae	-	-	-	-	-	+	-	-	-

\*genetisch verifiziert durch L. Blattner (2017)

## 5.3 Statistische Auswertung

### 5.3.1 Abiotische und strukturelle Daten

Die ersten drei Komponenten der PCA (Principal Component Analysis) der abiotischen Parameter erklären insgesamt 72.2% der Varianz. Komponente 1 (PC1) erklärt dabei 35.6% der Varianz und hat einen Eigenwert von 8.91. PC2 erklärt 57.7% mit einem Eigenwert von 5.52 und PC3 erklärt 72.2% der Varianz und hat einen Eigenwert von 3.62 (Tab. 5).

Tab. 5: Eigenwerte und Varianz der PCA. Werte der ersten fünf Hauptkomponenten (PC). (PRIMER)

PC	Eigenvalues	%Variation	Cum.%Variation
1	8.91	35.6	35.6
2	5.52	22.1	57.7
3	3.62	14.5	72.2
4	2.71	10.8	83
5	1.51	6	89

Betrachtet man die Komponenten der PCA einzeln, so sieht man, dass bei PC1 in positiver Richtung vor allem *Nitrat* und *Detritus* eine hohe Ladung haben (Tab. 6). In negativer Richtung haben vor allem die Parameter *Leitfähigkeit* und *Calcium* eine hohe Ladung. PC2 hat die höchsten Ladungen in positiver Richtung bei *Sand* und *Blöcke*. In negativer Richtung haben vor allem *Natrium* und *Moospolster* eine hohe Ladung.

Tab. 6: Komponentenmatrix der PCA. Hohe Ladungen sind fett markiert (PRIMER).

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Wassertemp.	-0.041	0.296	0.226	0.088	-0.058
pH	0.254	0.119	0.183	0.111	0.219
O2	0.044	0.092	<b>0.477</b>	0.155	-0.122
Leitfähigkeit	<b>-0.324</b>	-0.095	0.030	-0.047	-0.032
Natrium	-0.119	<b>-0.360</b>	0.078	-0.117	0.057
Magnesium	-0.305	-0.125	-0.009	-0.046	0.064
Calcium	<b>-0.322</b>	-0.069	-0.014	-0.017	-0.024
Kalium	-0.007	-0.084	-0.211	<b>0.515</b>	-0.139
Fluorid	-0.311	-0.100	-0.119	0.054	0.057
Chlorid	-0.011	-0.150	-0.115	<b>0.502</b>	0.211
Nitrat	<b>0.266</b>	-0.143	-0.071	0.016	<b>0.360</b>
Sulfat	-0.320	-0.086	0.063	0.040	0.064
HCO3	0.160	-0.095	-0.204	-0.078	<b>0.510</b>
Moospolster	-0.002	<b>-0.383</b>	0.184	0.133	0.000
Wurzelräume	0.193	0.112	-0.229	-0.099	<b>-0.341</b>
Totholz	0.054	-0.169	<b>0.352</b>	<b>-0.251</b>	0.230
Detritus	<b>0.296</b>	-0.029	0.112	-0.144	-0.157
Vegetation	0.191	-0.314	0.059	0.030	<b>-0.181</b>
Ton & Schluff	0.189	-0.094	<b>-0.328</b>	-0.003	-0.112
Sand	-0.002	<b>0.363</b>	-0.243	-0.068	0.022
Feinkies	0.035	0.262	0.201	0.334	0.321
Grobkies	-0.250	0.189	0.148	-0.159	-0.009
Steine	-0.190	0.080	-0.157	0.248	-0.048
Blöcke	-0.070	<b>0.321</b>	0.068	0.061	0.128
Felsen	-0.125	0.110	<b>-0.270</b>	<b>-0.299</b>	0.320

Anhand der Scores der Hauptkomponenten PC1 wird ersichtlich, dass dies in positiver Richtung vor allem bei Q13 (4.58) und Q12 (4.12) erheblich ist (Tab. 7). In negativer Richtung weist dies vor allem auf die Standorte Q11 (-2.97) und Q2 (-2.83) hin. Bei PC2 ist vor allem die Clemgia mit einer Score von 4.74 und Q13 mit 1.65 entscheidend. Hohe Scores in negativer Richtung treten vor allem bei Q9 (-2.98) und Q2 (-2.23) auf.

Tab. 7: Scores der Hauptkomponenten der PCA. Hohe Ladungen sind fett markiert (PRIMER).

Sample	SCORE1	SCORE2	SCORE3	SCORE4	SCORE5
Q1	-2.19	-0.145	<b>2.94</b>	<b>-2.34</b>	-0.544
Q2	<b>-2.83</b>	<b>-2.23</b>	0.196	1.15	<b>-1.17</b>
Q3	-0.818	-1.14	-1.38	<b>1.65</b>	-1.03
Q6	2.71	-0.797	<b>1.43</b>	-1.15	-0.604
Q9	-0.918	<b>-2.98</b>	-1.03	0.554	<b>1.29</b>
Q11	<b>-2.97</b>	1.61	<b>-2.6</b>	<b>-2.16</b>	<b>1.29</b>
Q12	<b>4.12</b>	-0.706	1.37	0.876	<b>1.93</b>
Q13	<b>4.58</b>	<b>1.65</b>	<b>-2.21</b>	-0.718	<b>-1.37</b>
Clemgia	-1.68	<b>4.74</b>	1.3	<b>2.14</b>	0.217

Die graphische Abbildung der PCA zeigt eine Dreiteilung der Standorte anhand der abiotischen Parameter und der Substrate (Abb. 19). Q1, Q2, Q3 und Q9 bilden eine Gruppe, die gleichzeitig durch Moos als organisches Substrat sowie durch Calcium, Sulfat, Fluorid und Magnesium geprägt wird. Dies entspricht auch den Ergebnissen der Ionenanalyse, die in diesen vier Quellen hohe Werte an Sulfat und Calcium feststellte. Q6, Q12 und Q13 bilden eine Gruppe, die hauptsächlich durch organische Umweltfaktoren, wie Vegetation, Totholz, Detritus oder Moos geprägt werden. Dabei liegt Q13 etwas mehr abseits von den beiden anderen. Q11 und die Clemgia werden durch abiotische mineralische Umweltfaktoren, wie Steine in verschiedenen Formen und Grössen, geprägt.

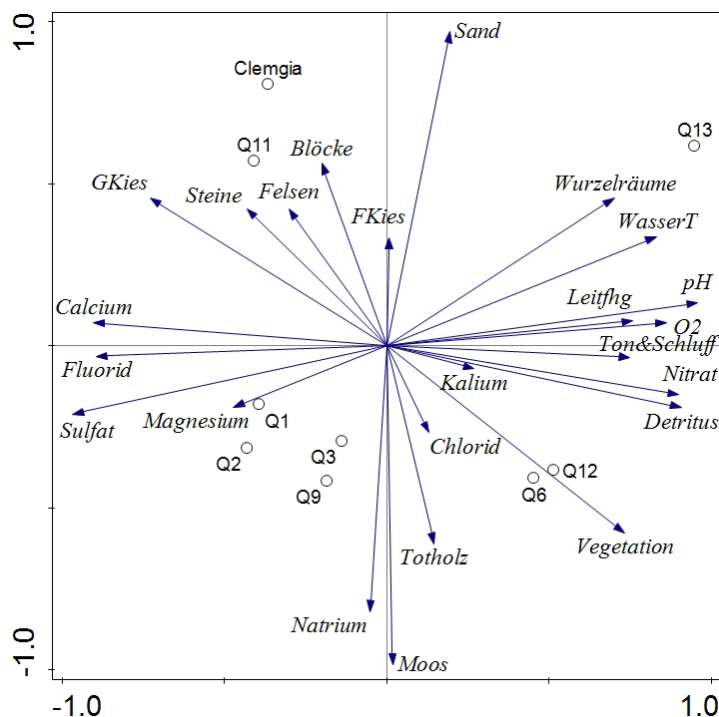


Abb. 19: PCA Plot der Umweltbedingungen. GKies: Grobkies, FKies: Feinkies, WasserT: Wassertemperatur

### 5.3.2 Faunistische Daten

Die nMDS (non-metric Multidimensional Scaling) ergab eine deutliche Unterscheidung zwischen den einzelnen Standorten. Innerhalb der Standorte sind sich die Proben ähnlich. Sowohl bei der ersten, als auch bei der zweiten Beprobung ergab die Ähnlichkeitsanalyse (ANOSIM) einen signifikanten Unterschied zwischen den Standorten. Die Clemgia wurde bei der ANOSIM nicht berücksichtigt, da sie eine Gruppe mit nur einem Sample darstellen würde. Bei den Proben vom Juni ist die Stärke der Ähnlichkeit, das Global R = 0.702 und p ist mit 0.001 klar signifikant. Nicht signifikant ist der Unterschied einzig zwischen Q3 & Q11 (R = 0.13 / p = 0.257), Q3 & Q13 (R = 0.521 / p = 0.057) und Q6 & Q12 (R = -0.021 / 0.543). Bei den September-Proben beträgt das Global R = 0.879, was einer etwas geringeren Ähnlichkeit beziehungsweise einem etwas grösseren Unterschied entspricht und ist mit p = 0.001 ebenfalls wieder deutlich signifikant. Die einzigen nicht signifikanten Unterschiede liegen hier zwischen Q3 & Q6 (R = 0.542 / p = 0.057) und Q6 & Q12 (R = 0.125 / p = 0.286). Der 2D Stress-Wert aller Projektionen liegt zwischen 0.02 und 0.18, was die Artenzusammensetzung gut abbildet (CLARKE & GORLEY 2006). Für sämtliche nMDS und ANOSIM wurden die qualitativen Proben weggelassen, da sie nicht direkt mit den quantitativen Proben verglichen werden können.

In der zweiten Beprobung vom September (Abb. 21) grenzt sich die Clemgia anhand ihrer Artenzusammensetzung viel deutlicher von den restlichen Standorten ab, als in der ersten Beprobung vom Juni (Abb. 20). Ansonsten unterscheiden sich die Plots vor allem dadurch, dass sie durch das Austrocknen von Q11 und Q13 nicht dieselbe Anzahl an Proben aufweisen. Q11 liegt bei der ersten Beprobung abseits der anderen Standorte und die Einzelproben gruppieren sich weniger zusammen als bei allen anderen. Q1, Q2 und Q9 gruppieren sich bei beiden Beprobungen in der Nähe zueinander, während Q6 und Q12 (und bei der ersten Beprobung Q13) beinahe identisch sind. Q3 gliedert sich etwa in der Mitte der beiden Gruppen ein.

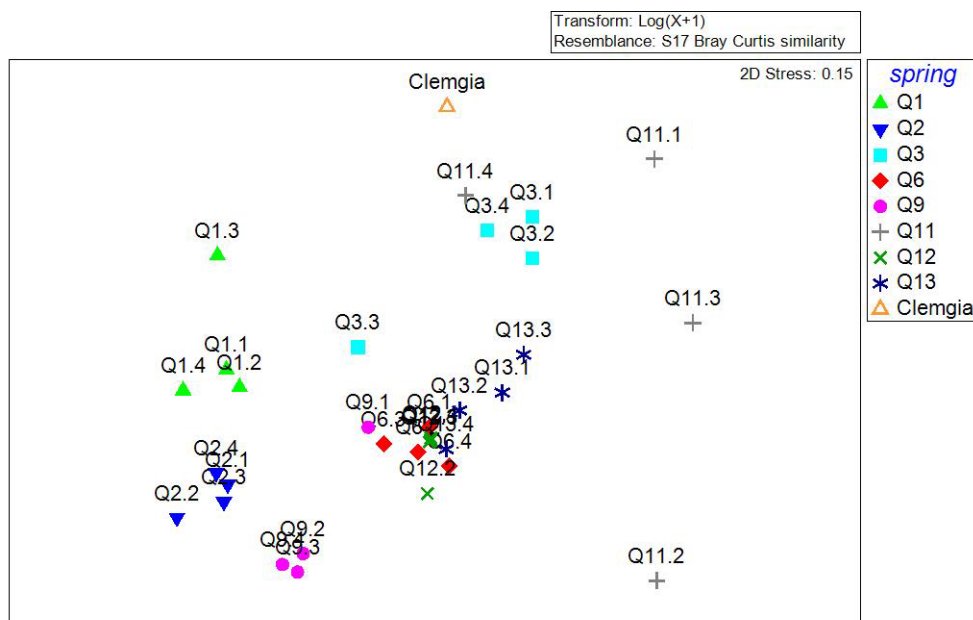


Abb. 20: nMDS Plot der Juni Einzelproben. Die Standorte sind durch unterschiedliche Farben und Formen dargestellt. Die Nummern bezeichnen die jeweilige Probe. Je weiter entfernt zwei Proben voneinander sind, desto unterschiedlicher ist ihre Artenzusammensetzung. Daten wurden  $\text{Log}(X+1)$  transformiert. Ähnlichkeitsindex = Bray-Curtis. ANOSIM: Global R = 0.702; p = 0.001

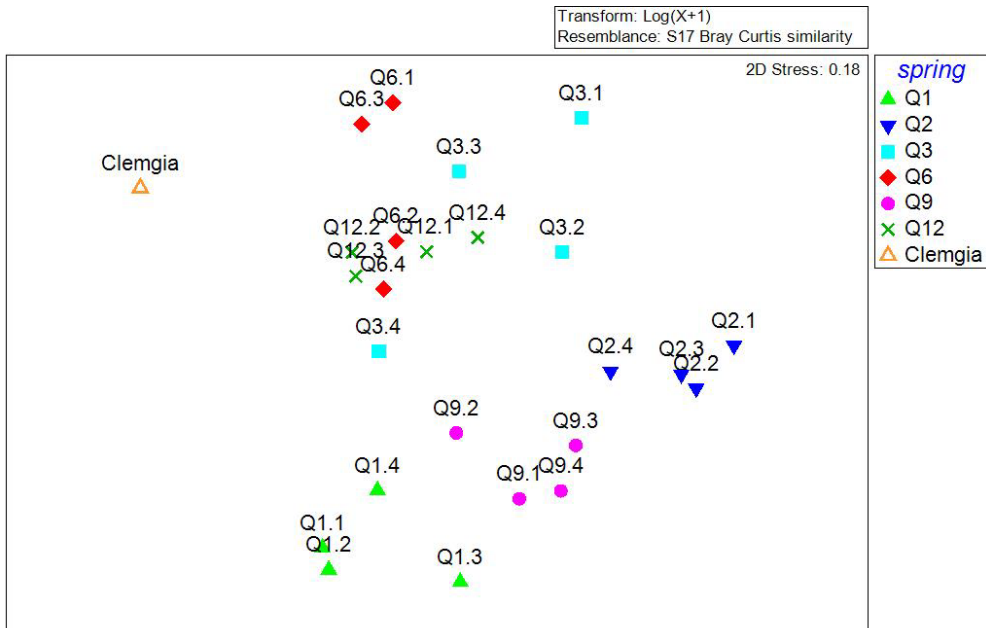


Abb. 21: nMDS Plot der September Einzelproben. Q11 und Q13 fehlen hier, da sie zwischen den Beprobungen trocken gefallen waren. ANOSIM: Global  $R = 0.879$ ;  $p = 0.001$

Die nMDS der summierten Taxazahlen aller Einzelproben der beiden Beprobungen zeigt eine klare Unterscheidung zwischen der Artenzusammensetzung der Aufstöße auf der einen Seite und der Clemgia auf der anderen Seite (Abb. 22). Ausserdem lassen sich Ähnlichkeiten zur Gruppierung der Standorte anhand der Umweltfaktoren in der PCA erkennen. Q1, Q2, Q3 und Q9 liegen auch hier wieder nahe beieinander, während Q6 und Q12 sich eher zusammen mit Q13 gruppieren. Q11 und die Clemgia weisen hier zwar keine Ähnlichkeit auf, sind aber beide wieder deutlich unterschiedlich zu allen anderen Standorten.

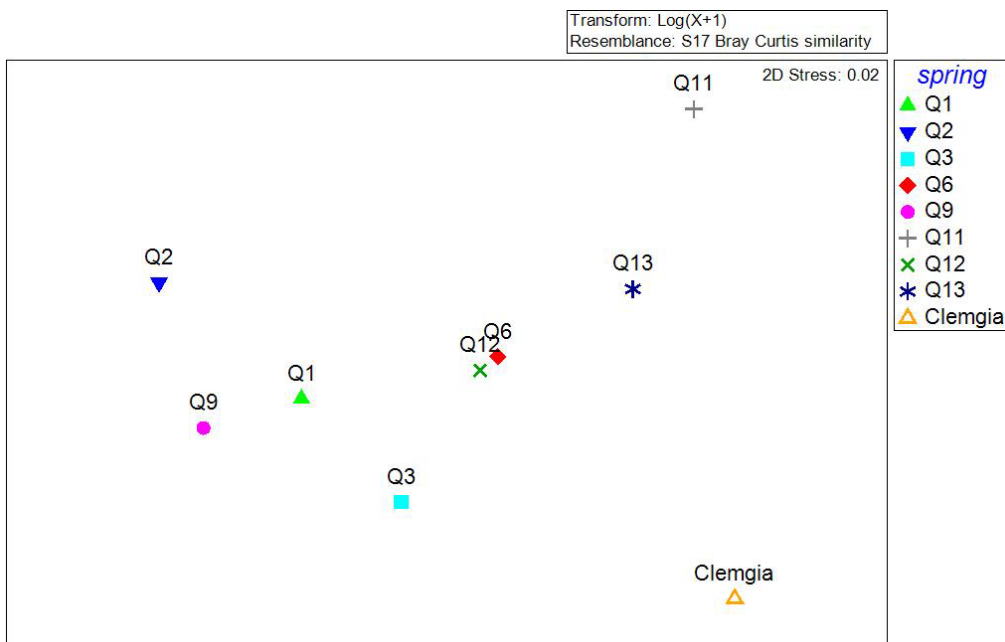


Abb. 22: nMDS Plot aller Quellen. Die Taxazahlen der Einzelproben wurden summiert und ausser bei Q11 und Q13 durch zwei geteilt, um die einmalige Beprobung dieser zwei Standorte zu berücksichtigen.

### 5.3.3 Multivariate Analyse der Abiotik und Fauna

Die Multivariate Analyse der Umweltbedingungen und der Fauna wurde anhand einer Redundanzanalyse (RDA) durchgeführt, da ein linearer Zusammenhang angenommen werden kann. Anhand einer „Forward Selection“ wurden diejenigen Umweltfaktoren ausgewählt, welche am stärksten zur Erklärung der Varianz beitragen (Tab. 8). Das Ergebnis der RDA ist signifikant (Pseudo-F = 2.4;  $p = 0.004$ ) und das Modell erklärt 79.9% der vorhandenen Varianz. Unter den Umweltparametern mit signifikantem Einfluss auf die Artenzusammensetzung sind Leitfähigkeit ( $p = 0.022$ ), Vegetation ( $p = 0.046$ ) und ganz knapp Wassertemperatur ( $p = 0.05$ ). Moospolster sind mit  $p = 0.344$  nicht signifikant, obwohl sie das Bild der Aufstösse sehr stark prägen. Sie können jedoch bis zu einem gewissen Grad unter Vegetation gerechnet werden, obwohl unter Vegetation auch anderer Quellbewuchs zum Beispiel in Form von Gras oder anderen Wasserpflanzen fällt. Sand als Substrat ist ebenfalls nicht signifikant ( $p = 0.212$ ), ist hier jedoch wichtig, da er als abiotischer Faktor einen Gegenpol zu den biotischen Parametern Vegetation und Moos darstellt. Die graphische Darstellung der RDA zeigt, dass sich vor allem Q11 und die Clemgia von den anderen Aufstössen unterscheiden (Abb. 23). Die Richtung des Vektors für die Wassertemperatur zeigt, dass sich die Artenzusammensetzung der Clemgia vor allem auf Grund ihrer höheren Wassertemperatur von den Aufstössen unterscheidet. Die Standorte Q1, Q2, Q3 und Q9 werden in der Ordination in der Nähe zueinander abgebildet, was eine Ähnlichkeit der Zusammensetzung der Fauna in Abhängigkeit der Umweltbedingungen bedeutet. Diese Standorte werden anhand der Richtung der Vektoren von Vegetation und Moos vor allem durch organische Umweltfaktoren beeinflusst. Gleichzeitig zeigt der Vektor für die Leitfähigkeit, dass von diesen vier Standorten vor allem die Fauna von Q1 und Q2 durch hohe Leitfähigkeitswerte beeinflusst wird. Da die Leitfähigkeit hier stellvertretend für die Werte von Calcium und Sulfat verwendet wurde (hohe Calciumsulfat-Werte gehen mit hoher Leitfähigkeit einher), stimmt dies auch mit den Ergebnissen der Ionenanalyse überein. Q1, Q2, Q3 und Q9 sind die Standorte mit hohen Calciumsulfat-Werten, doch die Werte sind in Q1 und Q2 am höchsten. Am anderen Ende des Spektrums gruppieren sich Q6, Q12 und Q13 in der Ordination in der Nähe zueinander. Der Vektor für Sand weist darauf hin, dass die Artenzusammensetzung dieser Standorte vor allem durch abiotische Umweltfaktoren beeinflusst wird, auch wenn der Zusammenhang nicht signifikant ist. Sowohl die Artenzusammensetzung der Clemgia, als auch von Q11 wird durch das Fehlen von organischen Substraten beeinflusst.

Tab. 8: Ergebnisse der Forward Selection der RDA.

Name	Explains %	Contribution %	pseudo-F	P
Leitfähigkeit	22.7	28.4	2.1	0.022
Vegetation	18.8	23.5	1.9	0.046
Wassertemp.	17.9	22.4	2.2	0.05
Moospolster	9.4	11.8	1.2	0.344
Sand	11.1	13.9	1.6	0.212

Die RDA zeigt, dass sich gewisse Arten entlang der Umweltgradienten anordnen und typisch für die jeweiligen Umweltbedingungen sind. Vor allem bei den Trichopteren treten die verschiedenen Arten eigentlich nur in Standorten mit Vegetation beziehungsweise Moosbewuchs auf. Beispiele dafür sind *Rhyacophila glareosa*, *Rhyacophila pubescens*, *Drusus alpinus* oder *Drusus chrysotus*. Eine Vielzahl



anderer Arten kommt ebenfalls vermehrt in Standorten mit organischen Substraten vor. Beispiele dafür sind *Oxycera pseudoamoena*, *Acari*, *Dixa sp.*, *Galba truncatula* oder Ostracoda. Die Verteilung der meisten dieser Arten wird ebenfalls durch die Leitfähigkeit beeinflusst. Sie kommen vermehrt in Standorten mit einer hohen Leitfähigkeit vor. Arten, die vermehrt in wärmeren Wassertemperaturen auftreten, sind verschiedene Ephemeroptera, wie zum Beispiel *Baetis alpinus*, *Leuctra inermis* oder *Rhitrogena alpestris*. Ganz allgemein kann gesagt werden, dass die Mehrzahl der Arten Standorte mit organischen Substraten und hohen Leitfähigkeiten, also viel Calcium und Sulfat, bevorzugen.

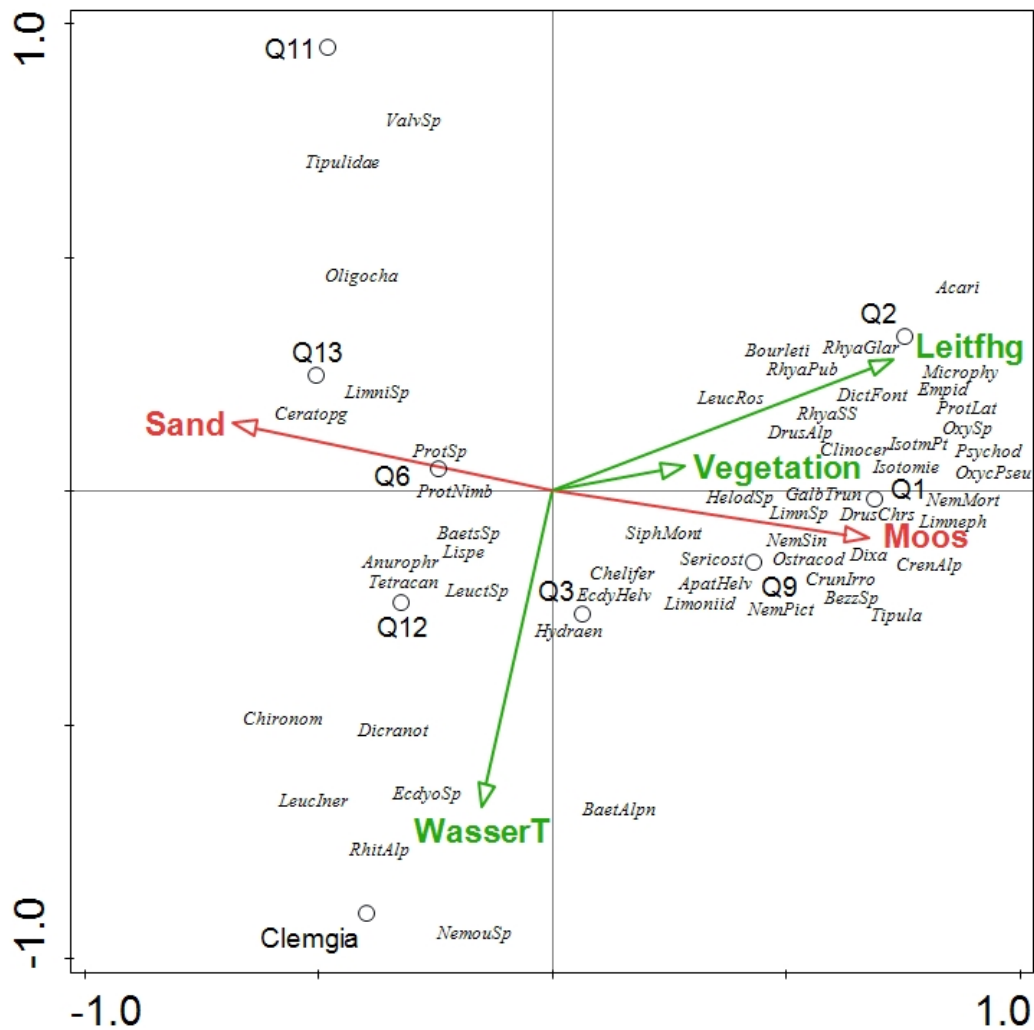


Abb. 23: RDA Plot der Arten und Umweltbedingungen. Die Länge der Vektoren beschreibt den Einfluss der abiotischen Faktoren auf die Verteilung der Arten. In Pfeilrichtung nimmt der entsprechende Faktor zu (LEYER & WESCHE 2007); TER BRAAK & ŠMILNAUER 2012). Faktoren mit significantem Einfluss sind in grün dargestellt, nicht signifikante Faktoren in rot. Pseudo-F = 2.4;  $p = 0.004$

## 6 Diskussion

### 6.1 Methodendiskussion

Durch die vorherrschenden Wetterbedingungen während der Beprobung ergab sich jeweils eine sehr unterschiedliche Gesamtsituation. Ende Juni hatte es in den Wochen zuvor sehr stark geregnet (METEOSCHWEIZ 2017). Die Starkniederschläge führten einerseits zu einem sehr hohen Wasserstand der Clemgia und andererseits zu Steinschlägen, die auch mehrere Standorte verschütteten. Bei der zweiten Beprobung Ende September bot sich ein komplett anderes Bild. Da es in den Wochen zuvor sehr warm und trocken gewesen war, führte die Clemgia sehr wenig Wasser und zwei der Standorte waren in der Zwischenzeit sogar ausgetrocknet. Durch die sehr unterschiedlichen Ausgangssituationen leidet die Vergleichbarkeit der zwei Beprobungen. Ausserdem dezimierte sich durch die Steinschläge die Anzahl der Untersuchungsobjekte dieser Arbeit, was die ganze Studie weniger repräsentativ macht. Allerdings gehören Steinschläge und eine hohe Lebensraumdynamik natürlicherweise zu diesem Gebiet und sollten dabei richtigerweise auch in einer Untersuchung mitberücksichtigt werden.

Das Messen und Aufzeichnen von Wassertemperatur und Leitfähigkeit mit Hilfe von Temperatur- und Leitfähigkeitsloggern über einen längeren Zeitraum ermöglicht interessante Einblicke in die natürlichen Schwankungen in diesen Systemen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Messwerte über einen Zeitraum von vier Monaten vom 4. Juni bis zum 30. September 2016 aufgezeichnet, beziehungsweise im Falle von Q11 und Q12 nur drei Monate. Für ein optimales Ergebnis wäre eine Messperiode von einem Jahr besser gewesen, da sich so die Veränderungen über den Verlauf sämtlicher Jahreszeiten abgebildet hätten. Dies war jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Ausserdem wäre für eine bessere Vergleichbarkeit der Loggerwerte ein Auslegen von Loggern in sämtlichen Standorten wünschenswert gewesen. Dies war jedoch auf Grund von zu wenig Wasser in Q9 und Q13 sowie zu viel Wasser beziehungsweise zu viel Strömung und ein sich zu stark veränderndes Flussbett im Falle der Clemgia nicht möglich. Neben der Berücksichtigung von lokalen Gegebenheiten müssen auch die technischen Eigenheiten der Logger beachtet werden. Die verwendeten Temperaturlogger sind im Innenraum hohl und erfahren dadurch einen Auftrieb im Wasser, was im Falle von Temperaturmessungen in Quellen mit meist wenig Wasser problematisch sein kann. Deshalb mussten die Temperaturlogger mit Hilfe eines Steins an der Gewässersohle verankert werden, um ein Aufschwimmen und dadurch eine Verfälschung der Temperaturaufzeichnung durch direkte Sonneneinstrahlung zu verhindern. Des Weiteren wurden sowohl Temperatur- als auch Leitfähigkeitslogger mit Hilfe von grossen Eisennägeln an der Gewässersohle verankert, um ein Wegschwimmen bei hoher Schüttmenge zu verhindern. Einer der verwendeten Temperaturlogger wies technische Mängel auf und konnte am Ende der Messperiode nicht ausgelesen werden. Da die Leitfähigkeitslogger jedoch ebenfalls die Temperaturwerte aufzeichnen, konnten die Werte für den entsprechenden Standort von dort übernommen werden. Durch die aufgezeichneten Loggerwerte konnte der Zeitpunkt des Trockenfallens von Q11 indirekt genau bestimmt werden und die Messwerte für die Auswertung der Temperatur- und Leitfähigkeitsdaten konnten für diese Zeitperiode bereinigt werden. Dies ist wichtig, da Austrocknungsperioden Extremwerte verursachen und in statistischen Berechnungen zu Fehlinterpretationen führen können.

Sämtliche Wasseraufstösse wurden quantitativ und qualitativ beprobt. Durch die Verwendung eines Surber-Samplers wird die Fläche der einzelnen Beprobungen festgelegt, miteinander vergleichbar gemacht und ermöglicht eine Berechnung der Anzahl Individuen pro Fläche. Dies gibt einen Hinweis

auf die Dichte der Besiedlung des Standortes. Ausserdem wird durch die Verwendung eines Surber-Samplers die Beprobung standardisiert, dadurch reproduzierbar und ist weniger willkürlich. Da möglichst alle Substrattypen bei einer Beprobung berücksichtigt werden sollten, ergibt sich aber bei einer möglichen sehr grossen Substratdiversität der Nachteil, dass nicht alle Substrate berücksichtigt werden können. Eine Erhöhung der Anzahl Proben könnte in diesem Fall Abhilfe schaffen, es müssten dann jedoch in sämtlichen Standorten die gleiche Anzahl Proben genommen werden, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Ein anderer Nachteil bei der Beprobung mit Hilfe eines Surber-Samplers besteht darin, dass nicht alle Substrattypen gleich gut beprobt werden können. Bei einigen Substrattypen ist der Surber-Sampler nur schwierig anwendbar. In dieser Arbeit war dies vor allem bei sehr steinigem Untergrund der Fall, wo der Surber-Sampler oft nicht eben aufgesetzt werden kann. Dadurch können für Organismen, die sich bei einer Störung verdriften lassen, Schlupflöcher entstehen (VON FUMETTI 2004). Durch die Beprobung mit dem Surber-Sampler ergibt sich ausserdem eine relativ starke mechanische Belastung der Tiere. So fehlen bei gesammelten Individuen teilweise Körperteile wie Hinterleibsanhänge, Beine, Antennen oder der Kopf, was eine morphologische Bestimmung oft nur noch mit Mühe möglich macht. Ein Aussortieren von grösseren Steinen sowie Separierung von bereits bei der Beprobung sichtbaren Tieren kann solche Schäden verringern. Die Ergänzung der quantitativen Proben mit einer qualitativen Probe hat sich als sehr sinnvoll erwiesen. Es wurden mehrere zusätzliche Arten gefunden, die in der Beprobung mit dem Surber-Sampler nicht aufgetaucht waren. Dies war vor allem bei den Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera der Fall, die sich gerne auf der Unterseite von grösseren Steinen, auf Totholz oder im Moos aufhalten. Beispiele hierfür sind *Ecdyonurus helveticus*, *Rhithrogena alpestris*, *Protonemura nimborum*, *Siphonoperla montana* oder *Drusus chrysotus*. Bei einer Beprobung von Hand können demnach für den Surber-Sampler ungeeignete Substrate zusätzlich nach Organismen abgesucht werden, wodurch eine vollständige Beprobung möglich wird. Ausserdem ist die mechanische Belastung bei der Beprobung von Hand wesentlich geringer und die Organismen können später entsprechend einfacher bestimmt werden. In der Statistik ist der direkte Vergleich von quantitativen und qualitativen Proben jedoch problematisch. Da die Clemgia auf Grund ihrer grösseren Grösse und viel höherem Abfluss nicht mit dem Surber-Sampler beprobt werden konnte, wurde dort ein Kicksampling nach dem Modulstufen-Konzept zur Untersuchung von Fliessgewässern des BAFUS (STUCKI 2010) durchgeführt. Diese Methode war für die Clemgia angemessen, die Ergebnisse sind aber nicht direkt mit den Ergebnissen der quantitativen und qualitativen Beprobung der Aufstösse vergleichbar.

Je nach Grösse und Entwicklungsstand der gesammelten Organismen stellte sich eine genaue Bestimmung teilweise als schwierig heraus. Das Auftreten von frühen Larvenstadien von Trichopteren, Plecopteren oder Ephemeropteren führte zu extrem kleinen Organismen mit schwach bis nicht ausgeprägten Artmerkmalen, die eine Bestimmung bis auf Artniveau teilweise unmöglich machten. Die grossen Mengen von gesammelten Chironomiden und Wassermilben machten eine genauere Bestimmung dieser Organismen im Rahmen dieser Arbeit aus Zeitgründen unmöglich. Dies beeinflusst die Auswertungen anhand der erstellten Artenliste. Für eine genauere Abbildung der tatsächlichen Artenzusammensetzungen der verschiedenen Standorte wäre eine genaue Bestimmung aller Organismen durchaus sinnvoll gewesen.

## 6.2 Ergebnisdiskussion

Da das Gebiet des SNP von der Gesteinsart her eher homogen aufgebaut ist, durchströmt das Wasser auf seinem Fließweg folglich generell ähnliche Gesteine, genauer die karbonatischen Engadiner Dolomiten. Quellwasser aus karbonatischen Gesteinen ist in der Regel wesentlich höher mineralisiert als Wasser aus kristallinen Gesteinen. Dies erklärt die generell hohe Leitfähigkeit, die von circa 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  bis rund 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  reicht. Das häufigste Gestein im SNP ist der Dolomit (Dolomit = Calcium-Magnesium-Karbonat), was zu entsprechend hohen Konzentrationen von  $\text{Mg}^{2+}$  und  $\text{Ca}^{2+}$  in einigen Quellwässern führen kann (HALLER et al. 2013). Eine genaue Zuordnung der einzelnen Quellen zu spezifischen Fließwegen im Gebirge ist im Detail nicht möglich. Die sicherste Aussage über die Herkunft des Wassers lässt sich jedoch laut HALLER et al. (2013) anhand seines Sulfatgehalts machen. Quellen mit erhöhten Sulfatgehalten haben Evaporite (Gips, Anhydrit oder Rauwacke) durchflossen, wie sie im an den Nationalpark angrenzenden Teil des Untersuchungsgebiets auftreten. Quellen auf silikatischem Untergrund haben normalerweise tiefe Sulfatkonzentrationen, während in Quellen mit karbonatischem Grundgestein sehr hohe Sulfatwerte gefunden werden können. Dies ist vor allem in Gebieten der Fall, wo Gips-Ablagerungen im Einzugsgebiet vorhanden sind (CANTONATI et al. 2006). HALLER et al. (2013) spricht im Gebiet des Schweizerischen Nationalparks von Extremwerten von  $>100 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$  in einzelnen Quellen, in dieser Arbeit wurden jedoch sogar Werte von bis zu  $>400 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$  festgestellt. Extrem hohe Sulfatwerte finden sich vor allem in den Standorten Q1 und Q2 mit  $>400 \text{ mg/l}$ . Sie befinden sich direkt unterhalb eines Einzugsgebietes bestehend aus Evaporiten, wie man beim Vergleich der Übersicht über die Standorte (Abb. 2) und der Geologischen Karte (Abb. 4) feststellen kann. Q3 weist ebenfalls hohe Werte auf, sie sind mit  $270 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$  jedoch bereits deutlich niedriger. Dieser Unterschied kann sich einerseits durch die Position von Q3 auf der anderen Talseite (im Gebiet des Nationalparks) erklären, wo vermehrt Dolomit auftritt und andererseits durch einen Verdünnungseffekt der Clemgia flussabwärts. Q9 und Q11 weisen ebenfalls hohe Sulfatwerte auf, die etwa im Rahmen von Q3 liegen. Hohe Sulfatwerte gehen mit hohen Calciumwerten einher, was sich durch die Zusammensetzung von Gips und Anhydrit als Calciumsulfat und Rauwacke als Mischung aus Dolomit und Gips erklären lässt. Quellen mit hohen Sulfat- und Calciumwerten weisen auch eine hohe Leitfähigkeit auf. Die Leitfähigkeit ist durch die lithologischen Charakteristiken des Substrats und vor allem durch seine Löslichkeit gegeben (CANTONATI et al. 2006). Die Werte unterliegen dabei jedoch auch Schwankungen, was beispielsweise bei Verdünnung durch Oberflächenwasser nach Starkregenereignissen beobachtet werden kann (ZOLLHÖFER 1997). Dies war im Zeitraum dieser Untersuchung mehrfach der Fall, was sich auch in den teilweise stark schwankenden Leitfähigkeitswerten abbildet (Abb. 15 und Anhang 3). Auch die Clemgia weist mit  $161 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$  einen relativ hohen Sulfatwert und eine relativ hohe Leitfähigkeit auf. Dies lässt sich durch ihren Fließweg in der Nähe der Evaporitgesteine erklären, bevor sie als Nationalparkgrenze durch dolomitisches Gestein fließt. Die Nitratwerte der untersuchten Standorte liegen zwischen  $0.7 \text{ mg/l}$  in der Clemgia und  $1.55 \text{ mg/l}$  in Q12. Laut HALLER et al. (2013) enthalten im Schweizerischen Nationalpark viele Quellen in tieferen Hangbeziehungsweise Tallagen  $0.2$  bis  $1.5 \text{ mg/l NO}_3^-$ , wobei es sich dabei ausschliesslich um Lockergesteinsquellen handelt. Das Nitrat wird über Niederschlagswasser oder biologische Prozesse beigeführt, denn anders als im Mittelland, wo Nitrat als Mass für Verschmutzung des Grundwassers durch Landwirtschaft gilt, kann dies im SNP ausgeschlossen werden. Eine mögliche Erklärung für die erhöhten Nitratwerte sind Einträge durch Huftiere in Quellnähe (HALLER et al. 2013).

Die jährlichen Temperaturschwankungen einer Quelle geben Auskunft über die Fließwege im geologischen Untergrund. Geringe Schwankungen weisen auf Tiefengrundwasser hin, wo das Wasser

von den Temperaturschwankungen an der Oberfläche komplett isoliert ist. Grosse Temperaturschwankungen weisen hingegen auf oberflächennahe Fließwege hin, da es sich hier meist um Sickerwasser handelt, das im Lockergesteinskörper gesammelt wurde (HALLER et al. 2013). Demnach entspringt vor allem Q2 mit extrem stabilen Temperaturwerten aus tief liegenden Fließwegen, aber auch beispielsweise Q9 mit relativ stabilen Werten. Sehr stark schwankende Werte und demnach oberflächennahe Fließwege haben Q1 und Q3 (Abb. 18 und Anhang 2). Die Wassertemperatur einer Quelle hängt jedoch nicht nur von der Tiefe der Fließwege ab. Mehrere Faktoren spielen eine Rolle, wovon die wichtigsten die Tiefe und die Geschwindigkeit des Grundwasserflusses, die Dimensionen und die Höhenlage eines Aufstosses sind (CANTONATI et al. 2006). Da sämtliche untersuchte Standorte sich auf mehr oder weniger derselben Höhe befinden, kann der Faktor Höhe hier vernachlässigt werden.

Quellen als Lebensraum wurden lange anhand ihrer stabilen und kalten Temperaturen charakterisiert und diese als Hauptgrund für das Vorkommen von kaltstenothermen Arten bezeichnet (ERMAN & ERMAN 1995). Doch in Realität unterscheiden sich die meisten Quellen stark in ihrer Geomorphologie und der Herkunft des Grundwassers (VON FUMETTI et al. 2006). Nach CANTONATI et al. (2012) sind eigentlich nur perennierende Quellen, die aus tiefen, grossen, nicht-karstigen Aquiferen gespiesen werden, wirklich stabil. Die meisten Quellen haben geringere Abflussmengen und beträchtliche Schwankungen in ihren Umweltbedingungen. Die Substratzusammensetzung spielt hingegen eine wichtige Rolle für die Artenzusammensetzung und Diversität von Lebensgemeinschaften in Quellen (ILLIES & BOTOSANEANU 1963, VON FUMETTI et al. 2006, SCHRÖDER et al. 2006, CANTONATI et al. 2012). Nach SCHRÖDER et al. (2006) widerspiegelt die Artenzusammensetzung von Invertebraten in Quellen klar die Zusammensetzung des Substrats ihres jeweiligen Lebensraums. Einige Arten bevorzugen beispielsweise feinen Detritus und andere eher hartes mineralisches Substrat. VON FUMETTI et al. (2006) identifizierte Laub als eines der wichtigsten Substrate, welche die Zusammensetzung von Quelllebensgemeinschaften beeinflussen. Laub ist vor allem wichtig als Energiequelle in einem System, das sonst nur über wenig allochthones Material verfügt und dient als Hauptnahrungsmittel für viele Arten (ROSI-MARSHALL & WALLACE 2002). Im Rahmen dieser Arbeit wurde durch den fehlenden Laubbaumbestand beziehungsweise den nur sehr geringen Nadelbaumbestand Laub als Substrat nicht gefunden. Allerdings können möglicherweise die teilweise sehr abundant vorkommenden Moospolster und sonstige Vegetation wie zum Beispiel Gras die Rolle des Laubs als Energiequelle und Nahrung für die Organismen übernehmen. Daneben sind Moose besonders wichtige Strukturelemente des Quellsubstrats, da sie einerseits oft auf die Quellzone selbst beschränkt sind und andererseits als Mikrohabitat für die dort lebende Fauna funktionieren. Dichter Moosbewuchs wird oft von sehr hohen Individuenzahlen bevölkert und ist Zentrum grossen Artenreichtums von krenobionten und krenophilen Arten (WEIGAND 1998, CANTONATI et al. 2006). Auch SCHRÖDER et al. (2006) stellte fest, dass Quellgemeinschaften auf organischen Substraten höhere Anteile an quelltypischen Organismen aufweisen, während Arten, die harte mineralische Substrate bevorzugen, auch weiter flussabwärts gefunden wurden. Dies bildet sich auch in den Ergebnissen dieser Arbeit ab (Abb. 23). Standorte mit organischen Substraten, wie zum Beispiel Moospolstern, wiesen mehr und quelltypischere Organismen auf, während Standorte mit hauptsächlich steinigen Substraten mehr Arten aufwiesen, die auch eine epirhithrale Verbreitung haben und teilweise auch in der Clemgia auftraten. Der Abfluss wurde ebenfalls als signifikanter Faktor für die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften identifiziert (MEYER & MEYER 2000, VON FUMETTI et al. 2006). Die Konstanz des Abflusses ist speziell für Kolonisierungsmuster in Quellen wichtig. Sie kann durch Beeinflussung des Substrats und dadurch der Struktur des

Lebensraums auch indirekt die Zusammensetzung des Makrozoobenthos beeinflussen (SMITH et al. 2003).

All dies führt zurück zur ursprünglichen Forschungsfrage dieser Arbeit. Sind die Aufstösse im Bett der Clemgia echte Quellen in Form von Grundwasser, das an die Oberfläche tritt oder handelt es sich um Aufstösse von versickertem Flusswasser der Clemgia, das wieder zutage tritt? Anhand der Fauna lässt sich tatsächlich eine Unterteilung der Standorte vornehmen. Betrachtet man die Artenliste, so sieht man, dass vor allem bei den Plecoptera und den Trichoptera sowie bei einer Art der Stratiomyidae (Diptera) quelltypische Arten auftreten (ROZKOŠNÝ & KNIÉPERT 2000, WARINGER & GRAF 2011, LUBINI et al. 2012). Rein quelltypische Arten sind *Dictyogenus fontinum*, *Apatania helvetica*, *Crunoecia irrorata*, *Drusus alpinus* und *Oxycera pseudoamoena*. Arten, die sowohl in Quellen, als auch in anderen Bereichen von Fliessgewässern (meist Epirhithral) auftreten, sind *Leuctra rosinae*, *Nemoura mortoni*, *Nemoura sinuata*, *Nemurella pictetii*, *Protonemura lateralis*, *Siphonoperla montana*, *Drusus chrysotus*, *Rhyacophila glareosa* und *Rhyacophila pubescens*. Betrachtet man nun das Vorkommen der rein quelltypischen Arten, so fällt auf, dass diese nur in Q1, Q2, Q3 und Q9 vorkommen. In Q6 und Q12 treten zwar keine rein quelltypischen Arten auf, jedoch mehrere Arten, die sowohl in Quellen, als auch in Fliessgewässern vorkommen. In Q11, Q13 sowie wie zu erwarten in der Clemgia traten hingegen keine Quellarten auf. *Leuctra inermis* und *Protonemura nimborum* sind Arten, die nur in Fliessgewässern auftreten und nicht in Quellen. Ihr Auftreten in der Clemgia war demnach zu erwarten, doch treten sie ebenfalls in Q6 und Q13 auf. Anhand der Fauna lässt sich also klar feststellen, dass Q1, Q2, Q3 und Q9 eine krenobionte Lebens-gemeinschaft haben und daher als echte Quellen bezeichnet werden können. Q11 und Q13 können durch das komplette Fehlen jeglicher Quellfauna als Flusstandorte gezählt werden. Bei Q6 und Q12 ist die Sache nicht ganz so klar. Da keine rein quelltypischen Arten auftreten, sondern Arten, die sowohl in Quellen, als auch in Fliessgewässern leben, lässt sich die Unterscheidung nicht ganz so klar vornehmen. Allerdings spricht das Auftreten von reinen Fliessgewässerarten wie *Leuctra inermis* und *Protonemura nimborum* in Q6 dort eher für einen Flusstandort. In Q12 treten diese Arten nicht auf, was eher für einen Quellstandort sprechen würde. Allerdings treten Q6 und Q12 direkt neben-einander aus und bilden zusammen eine Art Quellkomplex, was dafür sprechen würde, dass beide denselben Ursprung haben. In den qualitativen Proben sowie einer der am weitesten vom Quellmund entfernten quantitativen Proben von Q3 trat *Leuctra inermis* ebenfalls auf. Dies passt nicht dazu, dass der Standort als „echte Quelle“ identifiziert wurde. Eine Erklärung für das Auftreten von *L. inermis* wäre, dass der Standort nach anfänglich organischem Substrat mit Moosbewuchs direkt beim Quellmund sehr schnell zu kiesigem Substrat ähnlich der Clemgia übergeht und nach wenigen Metern Quellbach bereits in diese mündet. Es kann also angenommen werden, dass sich die Organismen im steinigen Quellbach aufhielten und nicht im eigentlichen organisch geprägten Quellbereich selbst.

Erinnert man sich zurück an die Analyse der Umweltfaktoren in der PCA (Abb. 19), so ergab sich dort ein ähnliches Bild. Die anhand der Fauna als „echte“ Quellen bezeichneten Standorte Q1, Q2, Q3 und Q9 gruppieren sich hier zusammen. Dies erklärt sich einerseits durch ihre Beeinflussung durch Moos als Substrat und andererseits durch erhöhte Menge an gelösten Ionen. Genauer sind dies hohe Werte an Calcium und Sulfat, aber auch erhöhte Werte an Fluorid und Magnesium, die durch den Fliessweg des Grundwassers durch Evaporitgestein gelöst werden. Die Standorte Q6, Q12 und etwas weiter entfernt Q13 gruppieren sich auch hier zusammen. Dies ist bedingt durch ihre Beeinflussung durch Substrat wie Detritus und Totholz, aber geringere Ionenwerte. Ob es sich bei diesen Aufstössen um Grund- oder Flusswasser handelt kann aber ausschliesslich anhand der PCA nicht festgestellt

werden. Die Clemgia und Q11 bilden die letzte Gruppe, wobei Q11 anhand der Fauna ebenfalls als Flusswasseraufstoss identifiziert wurde. Diese beiden Standorte werden durch mineralische Substrate geprägt.

Kombiniert man nun die faunistische Untersuchung mit den Umweltfaktoren in der RDA, so festigt sich dieses Bild (Abb. 23). Auf der einen Seite liegen Q1, Q2, Q3 und Q9, die durch eine hohe Leitfähigkeit und organisches Substrat, wie Vegetation und speziell Moos, geprägt werden. Sie enthalten eine Mehrzahl der gefundenen Arten generell sowie die quelltypischen Organismen. Auf der anderen Seite liegen Q6, Q12 und Q13 nahe zusammen. Sie sind durch anorganisches Substrat sowie einen Mangel an Quellorganismen, beziehungsweise vorkommende Fließgewässerarten geprägt. Q11 und die Clemgia liegen zwar weit auseinander, aber ebenfalls beide auf der Seite der als „Flussstandorte“ identifizierten Aufstösse mit anorganischem Substrat.

Die zu Beginn gestellte Forschungsfrage kann also durch diese Ergebnisse beantwortet werden. Ja, man kann Grundwasser- und Flusswasseraufstösse anhand von Fauna, physikochemischen Messwerten und Substratzusammensetzung unterscheiden. Bei Q1, Q2, Q3 und Q9 handelt es sich anhand der Ergebnisse dieser Untersuchung mit ziemlicher Sicherheit um „echte Quellen“, während es sich bei Q11 und Q13 sowie selbstverständlich der Clemgia um Flusswasser handelt. Dass Q11 sowie Q13 bei der zweiten Beprobung ausgetrocknet waren, spricht zusätzlich dafür, dass es sich dabei um temporäre Flusswasseraufstösse gehandelt hat. Einzig Q6 und Q12 sind nicht restlos klar, anhand der auftretenden Fauna kann wahrscheinlich aber eher in Richtung Flusswasseraufstösse tendiert werden.

Während des Zeitraums der Untersuchungen für diese Arbeit traten im Untersuchungsgebiet sehr starke Schwankungen der Umweltbedingungen auf und der Lebensraum war durch Starkniederschläge, Steinschläge und Trockenheit in ständigem Wandel und Dynamik. Daraus ergibt sich die Frage, wie sich solche Störungen auf die ansässige Makrozoobenthos-Gemeinschaft auswirken. Während der ersten Untersuchung Ende Juni hatte es in den Wochen zuvor sehr viel und stark geregnet. Laut dem Klimabulletin Jahr 2016 von METEOSCHWEIZ (2017) lieferte der Frühling 2016 insgesamt reichlich Niederschlag und im April und vor allem Mai fielen verbreitet überdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Auch der Juni war überwiegend trüb und regnerisch und in der ersten Monatshälfte brachten Gewitter kräftige Niederschläge und lokale Überschwemmungen. Zur Monatsmitte löste feuchte Mittelmeerluft Starkniederschläge in der Süd- und Ostschweiz aus (Abb. 24). Die durch die bisherige Juniwitterung bereits nassen Böden reagierten auf die Starkniederschläge mit Hangrutschen und Überschwemmungen. Im letzten Monatsmittel traten erneut heftige Gewitterregen auf (METEOSCHWEIZ 2017). Zusammen mit dem saisonalen Schmelzwasser führte dies zu sehr hohen Wasserständen der Clemgia zum Zeitpunkt der Beprobung sowie dem Abrutschen von Geröll an den Talseiten. Damit wurden mehrere Wasseraufstösse, die bei der Vorbegehung als Untersuchungsobjekte festgelegt worden waren, durch Murgänge verschüttet. Eine Beprobung dieser Standorte wurde dadurch unmöglich. Es ist aber anzunehmen, dass die Artengemeinschaften unter den neu entstandenen Schuttkegeln nicht überleben konnten und verschwanden. Das viele Wasser beeinflusste aber auch die Clemgia. Während der zweiten Beprobung konnten bei weniger Wasser mit 90 Individuen deutlich mehr Organismen gefunden werden, als bei der ersten Beprobung mit gerade mal 13 Organismen (Anhang 1). Die Vermutung liegt nahe, dass durch die starke Strömung beim Hochwasser viele der kleinen Organismen weggespült und verdriftet wurden. Nach MATTHAEI & TOWNSEND (2000) kann ein Hochwasser Invertebraten sowohl direkt durch Wegreissen und Erhöhung der Mortalität als auch indirekt durch



Veränderung der räumlichen Verteilung ihrer Ressourcen beeinflussen. Bei der zweiten Beprobung Ende September war genau das Gegenteil der Fall. Anhaltendes Hochdruckwetter führte auf der Alpensüdseite, im Wallis und in der Westschweiz regional zum wärmsten September seit Messbeginn 1864 (METEOSCHWEIZ 2017). Wenig Niederschlag und das Fehlen von Schmelzwasser führten zu einem sehr niedrigen Wasserstand der Clemgia und dem Austrocknen von Aufstössen seit der ersten Beprobung. Makroinvertebraten hatten unterdessen viele Bereiche der Clemgia wieder neu besiedelt, wodurch sich die Individuenzahl sowie auch die Anzahl gefundener Taxa vergrösserte.

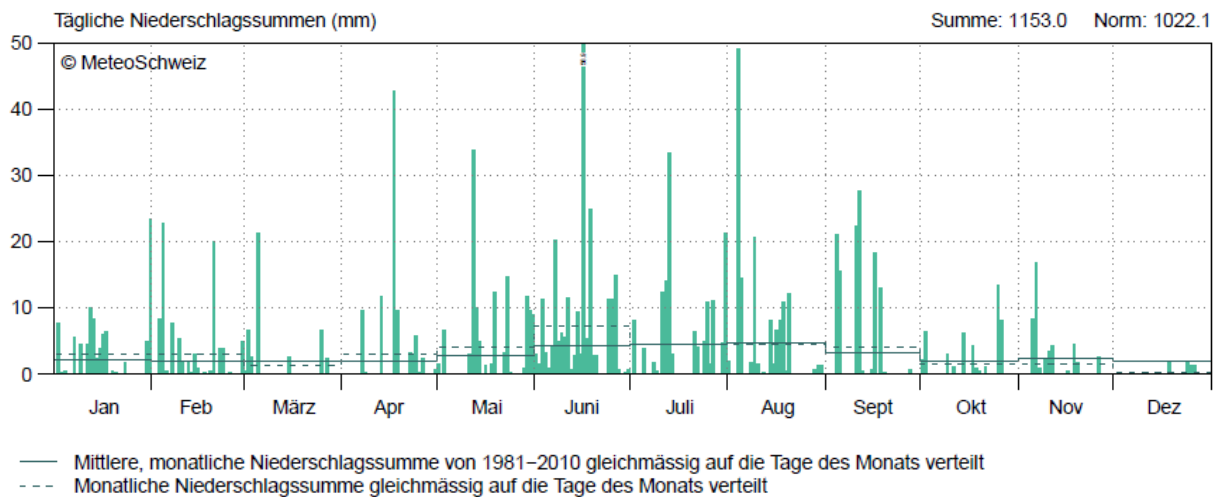


Abb. 24: Klimaverlauf Davos 2016. Tägliche Niederschlagssummen in mm (MeteoSchweiz 2017)

Doch auch in den Quellstandorten zeigten sich Unterschiede in der Wasserführung. Unabhängig von ihrer Schüttungsmenge und ihrem Zustand zeigen die meisten Quellen eine ähnliche Abflusscharakteristik im Jahresverlauf. Im Juni und Juli finden sich die Abflussspitzen mit maximalem Abfluss. Und im Spätsommer und Herbst von August bis Ende Oktober sowie im Hochwinter von Januar bis März sind die trockensten Monate (ZOLLHÖFER 1997). Obwohl Quellen oft als sehr stabile Lebensräume bezeichnet werden, sind nur wenige wirklich stabil. Die meisten Quellen haben beträchtliche Schwankungen in ihren Umweltbedingungen (CANTONATI et al. 2012). Hydrologisch instabile Quellen werden normalerweise von einer geringeren Anzahl Taxa bewohnt, die sich daran angepasst haben, längere Perioden der Austrocknung in speziellen Refugien oder in Überdauerungsstadien zu überstehen (CANTONATI et al. 2006). Auch im Rahmen dieser Untersuchung waren zwei der untersuchten Wasseraufstösse trocken gefallen. Der Verlust von Wasser in temporären Gewässern stellt für die dort lebende Fauna eine grosse Herausforderung dar. Aquatische Insekten können dieser „Terrestrisierung“ ihres Lebensraums durch verschiedene Anpassungen in Form von physiologischer Trockentoleranz, Migration oder Modifikationen ihres Lebenszyklus widerstehen (WILLIAMS 1996, MEYER & MEYER 2000). Obwohl die Strategien zwischen den Arten unterschiedlich sind, zeigen Organismen derselben taxonomischen Gruppe oft ähnliche Stadien in ihren Lebenszyklen. Beispielsweise können verschiedene Arten von Eintagsfliegen das Trockenfallen eines Gewässers als Eier überleben, einige Steinfliegen können als Nymphen in Diapause überleben und Chironomiden überleben als Larven oder Eier (WILLIAMS 1996). Die Diapause ist dabei oft ein direktes Resultat des Trockenfallens des Lebensraums. Das Insekt begibt sich in Ruhe, wenn es durch

das Fehlen von Wasser dehydriert und setzt sein Wachstum fort, wenn wieder Wasser vorhanden ist (HINTON 1960). Saisonale Migration ist eine andere Form der Anpassung, um dem Trockenfallen von Gewässern zu entgehen. Einige Arten von adulten Eintagsfliegen verlassen austrocknende Gewässer und fliegen in Schlupfwinkel in der Nähe. Wenn der Abfluss wiederhergestellt ist, kehren sie zurück, um ihre Eier zu legen. Einige Arten von Limnephiliden legen ihre Eier unter Holz oder in anderen geschützten Stellen ab und die embryonale Entwicklung kann dank einer gelatineartigen Matrix um die Eier auch ohne Wasser geschehen. Die Larven schlüpfen, sobald der Abfluss wiederhergestellt ist (WIGGINS et al. 1980). Ganz allgemein gesehen sind Lebensgemeinschaften in temporären Gewässern meist weniger divers (WILLIAMS 1996, MEYER & MEYER 2000, SMITH et al. 2003), aber nach WILLIAMS 1996 verfügen praktisch alle Ordnungen von aquatischen Insekten über ein paar Arten, die in temporären Gewässern überleben können. Der Zusammenhang zwischen Störungen, Lebensraumvariabilität und Diversität ist also nicht immer klar voraussehbar. DEATH & BARQUÍN (2012) fanden beispielsweise, dass in Spanien Gewässer mit geringen hydrologischen Schwankungen eine geringe Diversität aufwiesen, während gleichzeitig in Neuseeland geringe Schwankungen zu hohen Diversitäten führten. Letzteres deckt sich mit den Funden von VON FUMETTI & NAGEL (2012), welche die höchste Diversität von Makroinvertebraten ebenfalls in relativ stabilen Quellen fanden. Auch in dieser Arbeit wiesen die hydrologisch instabilen Standorte Q11 und Q13 bereits bei der ersten Beprobung tendenziell eine geringere Diversität an Taxa auf, als die stabilen Aufstösse.

Bestimmte Invertebraten sind mögliche Indikatoren für konstanten Abfluss in Quellen (SCARSBROOK 2007). Die Artengemeinschaft von temporären und permanenten Gewässern zeigt sich laut MEYER & MEYER (2000) in klar unterschiedlichen Zusammensetzungen der Fauna. In intermittierenden Quellen mit einzelnen oder mehreren Austrocknungsereignissen treten höhere Zahlen von Taxa mit trockenresistenten Eiern oder Entwicklungsstadien (beispielsweise Oligochaeta, Copepoda oder Ostracoda), Taxa, die im oberflächennahen Grundwasser überleben können (Niphargus oder gewisse Schneckenarten) oder Insektenarten mit hohen Verbreitungs- und Wiederkolonisierungsraten (mehrere Arten von Chironomiden, Tipuliden oder limnephiliden Köcherfliegen) auf (WILLIAMS 1996, MEYER & MEYER 2000, CANTONATI et al. 2012). Nach LINDEGAARD (1995) können Quellen mit konstant stabilem Abfluss allerdings ebenfalls höhere Zahlen von Chironomiden beherbergen, da eine grosse Zahl an Chironomidae-Arten in Quellmoosen vorkommt. Die Präsenz von grösseren Populationen mit limitierten Fähigkeiten für eine Rekolonisation und hoher Empfindlichkeit auf Trockenheit weist hingegen auf einen konstanten Abfluss über das Jahr hin. Beispiele hierfür sind Makrocrustacea, wie Isopoda und Amphipoda oder Wassermilben (GERECKE et al. 2009, CANTONATI et al. 2012). Süsswassermilben (Hydrachnidia) beinhalten eine grosse Zahl an krenobionten Arten und sind oft in den Alpen weit verbreitet (GERECKE & FRANZ 2006, CANTONATI et al. 2006). Sie können Trockenperioden nicht überstehen, was ihr Vorkommen laut CANTONATI et al. 2006 zu einem guten Indikator für hydrologische Stabilität macht. Dies bestätigte sich im Rahmen dieser Arbeit zumindest teilweise. In Q11 und Q13, den trockengefallenen Standorten, traten sowohl Oligochaeta und *Valvata* sp., als auch Chironomidae und Tipulidae auf. Nicht gefunden wurden in diesen Standorten Ostracoda und Köcherfliegen der Familie Limnephilidae. Es muss jedoch angemerkt werden, dass die aufgetretenen Arten auch in fast allen anderen Standorten vorkamen und oft auch in grösseren Zahlen. Makrocrustacea, wie sie für konstante Quellen typisch sind, wurden in dieser Untersuchung überhaupt keine gefunden. Nach CANTONATI et al. (2006) ist aber beispielsweise der Bachflohkrebs der Gattung *Gammarus* zwar in vielen Tieflandquellen weit verbreitet, aber kommt nur sporadisch in Quellen in Bergregionen vor und fehlt in grossen Teilen der Alpen komplett. Dies kann eine Folge der letzten Eiszeiten sein, durch die vor allem in den Alpen

Gebiete entstanden, die immer noch von gewissen Taxa rekolonisiert werden müssen (CANTONATI et al. 2006). Milben wurden in allen Standorten gefunden, ausser in Q12 und der Clemgia. Vor allem in Q2 traten sie mit riesigen Abundanzzahlen von bis zu 484 Individuen pro Beprobung auf, aber sie waren auch in allen anderen „echten Quellen“ (das heisst Q1, Q3 und Q9) relativ abundant. Gleichzeitig trat in Q6 und den beiden intermittierenden Standorten Q11 und Q13 jeweils nur eine einzige Milbe bei der ersten Beprobung auf.

Durch die Wasserentnahme durch die Engadiner Kraftwerke ergibt sich ebenfalls eine Beeinflussung des Lebensraums. Damit Fliessgewässer ihre natürlichen Funktionen erfüllen können, braucht es unterhalb von Wasserentnahmen ausreichend Wasser in Fluss- und Bachbetten. Das Gewässerschutzgesetz legt diese Restwassermengen fest (BAFU 2017). In der Clemgia wird seit 2015 eine Mindestrestwassermenge gewährleistet (FORSCHUNGSKOMMISSION SNP 2016). Wird die Abflussmenge dennoch sehr gering, so kann dies eine Beeinträchtigung für den Makrozoobenthos bedeuten. Es stellt sich aber die Frage, ob die Quellen im Bereich um die Clemgia in solchen Fällen als Rückzugsorte für die Arten aus dem Restwasserabfluss dienen können. Für die Kolonisation von Quellen ist wichtig, in welcher Form sich die Organismen verbreiten. Arten mit aktiver Verbreitung erreichen die Quelle entweder über die Luft als adulte Lebensformen oder können stromaufwärts via Quellbach in die Quelle gelangen. Für eine erfolgreiche Migration stromaufwärts müssen die Organismen einerseits euryök sein und sowohl im Fluss als auch in der Quelle überleben können und andererseits muss eine Verbindung zwischen Fluss und Quelle gegeben sein (VON FUMETTI et al. 2017). Von Fumetti et al. (2007) hat allerdings gezeigt, dass auch Quellen mit kurzen Quellbächen (<30m) noch immer für Quellen charakteristische Artenzusammensetzungen aufweisen und sich vom angrenzenden Fluss unterscheiden. Dies konnte in dieser Untersuchung bestätigt werden. In den als „echte Quellen“ definierten Standorten traten mit einer Ausnahme keine flussspezifischen Organismen auf. Das lässt darauf schliessen, dass das dortige vor allem moosdominierte Substrat sich zu stark vom steinigen Substrat der Clemgia unterscheidet, als dass Fliessgewässerorganismen überleben könnten. In einer Studie VON FUMETTI & BLATTNER (2017) zeigte sich ebenfalls, dass Ähnlichkeiten in der Artenzusammensetzung zwischen Quellen nicht von der Distanz der Quellen zueinander bestimmt werden, sondern durch Ähnlichkeiten des Substrats. Es kann also angenommen werden, dass die Quellen nicht als Rückzugsorte für Arten aus dem Restwasserfluss funktionieren können, da die Habitats zu unterschiedlich sind. Quellen, die bei Hochwasser manchmal durch den Fluss überflutet werden, können jedoch deutlich mehr rhithrale Arten aufweisen (VON FUMETTI et al. 2017). Nach VON FUMETTI et al. (2017) sind solche überflutete Quellen mehr von Generalisten besiedelt und die Anzahl quelltypischer Organismen ist geringer. Das Substrat der überfluteten Quellen spielt dabei eine entscheidende Rolle. Bei VON FUMETTI et al. (2017) waren die überfluteten Quellen durch Steine dominiert, was das Überleben der rhithralen Organismen ermöglicht haben könnte. In dieser Untersuchung waren zumindest bei Q11 durch die grosse Nähe zur Clemgia Überschwemmungen durchaus zu erwarten und auch dort bestand das Substrat hauptsächlich aus Steinen. Die dort gefundenen Arten waren ebenfalls Generalisten, Quellspezialisten traten keine auf. In Q3 könnte das steinige Substrat des Quellbachs das punktuelle Überleben einiger Flussorganismen ermöglicht haben.

## 7 Conclusion

Die vorliegende Masterarbeit hat aufgezeigt, dass sich Wasseraustritte anhand von Fauna, Substrat und Physikochemie in Quellen mit Grundwasseranschluss und Aufstöße von versickertem Flusswasser unterscheiden lassen. Vier der acht Standorte erwiesen sich als echte Quellen, zwei als Flusswasseraustritte und nur zwei sind nicht restlos geklärt. Richtige Quellen weisen eine höhere Artendiversität und mehr quelltypische Arten auf. Die Artengemeinschaft des Makrozoobenthos wird dabei am stärksten durch die Substratzusammensetzung beeinflusst, wobei vor allem die Unterscheidung zwischen organischen und anorganischen Substraten wichtig ist. Standorte mit Moosbewuchs weisen sowohl höhere Individuenzahlen und eine höhere Diversität an Taxa auf, als auch mehr quelltypische Organismen. Neben der Substratdiversität beeinflusst auch die Abflussmenge die Artengemeinschaft. Fehlender Abfluss während Austrocknungsereignissen in intermittierenden Standorten führte in dieser Untersuchung zu geringeren Individuen- und Artenzahlen. Die Lebensraumdynamik im Untersuchungsgebiet beeinflusste sowohl die Wasseraufstöße durch Verschüttung und Austrocknung, als auch den Flusstandort durch Hochwasser und Verdriftung des Makrozoobenthos. Es kann angenommen werden, dass Organismen aus dem Restwasserfluss der Wasserentnahme durch die Engadiner Kraftwerke die Quellen nahe der Clemgia nicht als Rückzugsorte nutzen können. Obwohl sich die Quellen räumlich in der Nähe befinden, unterscheidet sich die Substratzusammensetzung zu stark von derjenigen der Clemgia und die Flussorganismen finden in den Quellstandorten kein geeignetes Habitat.

# Literaturverzeichnis

## Literatur

Blattner, L. (2017) Längszonierung alpiner Fließgewässer: Echte Gewässerabschnitte oder Relikte aus der Theorie? Masterarbeit. Universität Basel

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

Cantonati, M., Füreder, L., Gerecke, R., Jüttner, I., Cox, E.J. (2012) Crenic habitats, hotspots for freshwater biodiversity conservation: toward an understanding of their ecology. *Freshwater Science* 31 (2): 463-480

Clarke, KR., Gorley RN. (2006) PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth, 192 S.

Erman, N.A., Erman, D.C. (1995) Spring permanence. Trichoptera species richness and the role of drought. *Journal of the Kansas Entomological Society*, Vol. 68, No. 2, Supplement: Special Publication Number 1: Biodiversity of Aquatic Insects and Other Invertebrates in Springs: 50-64

ESRI (2014) ArcGIS 10.3 for Desktop. Redlands, CA

Fischer, J. (1996) Bewertungsverfahren zur Quellfauna. *Crunoecia* 5: 227-240

Forschungskommission SNP (2016) Forschung im Schweizerischen Nationalpark und in der Biosfera Val Müstair. Jahresbericht 2016. SCNAT-Forschungskommission des Schweizerischen Nationalparks und der Biosfera Val Müstair, 45 S.

Gerecke, R. (2009) Revisional studies on the European species of the water mite genus *Lebertia* Neuman, 1880 (Acari: Hydrachnidia: Lebertiidae). *Abhandlungen der Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung* 566: 1-144

Gerecke, R., Franz, H. (2006) Quellen im Nationalpark Berchtesgaden. Lebensgemeinschaften als Indikatoren des Klimawandels. *Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsbericht* 51.

Haller, H., Eisenhut, A., Haller, R. (2013) Atlas des Schweizerischen Nationalparks. Die ersten 100 Jahre. *Nat. park-Forsch. Schweiz* 99/1. Bern: Haupt Verlag

Hieber, M., Burgherr, P., Uehlinger, U., Trockner, K. (2002) Alpine Fließgewässer: vielfältige und empfindliche Ökosysteme. *EAWAG News* 55d: Alpine Gewässer – Fragile Vielfalt in Bedrängnis. Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz EAWAG, 9-11

Hinton, H.E. (1960) A Fly Larva that tolerates Dehydration and Temperatures of -270° to +102°C. *Nature* 188: 336-337

Illies, J., Botosaneanu, L. (1963) Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. *Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 12: 1-57

Knispel, S., Lubini, V. (2013) Inventaire et suivi de la biodiversité des cours d'eau du Parc National Suisse 2011-2012. Rapport pour la Commission de Recherche du PNS. Swiss Academy of Sciences SCNAT. Swiss National Park Research.

Leyer, I., Wesche K. (2007) *Multivariate Statistik in der Ökologie*. Berlin: Springer, 221 S.

Lindegaard, C. (1995) Chironomidae (Diptera) of European Cold Springs and Factors influencing their Distribution. *Journal of the Kansas Entomological Society*, Vol. 68, No. 2., Supplement: Special Publication Number 1: Biodiversity of Aquatic Insects on other Invertebrates in Springs, 108-131

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.

Matthaei, C.D., Townsend, C.R. (2000) Long-term effects of local disturbance history on mobile stream invertebrates. *Oecologia* 125: 119-126

MeteoSchweiz (2017) Klimabulletin Jahr 2016. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz. Zürich

Meyer, A., Meyer, E.I. (2000) Discharge regime and the effect of drying on macroinvertebrate communities in a temporary karst stream in East Westphalia (Germany). *Aquatic Science* 62: 216-231

Nadig, A. (1942) *Hydrobiologische Untersuchungen in Quellen des Schweizerischen Nationalparks im Engadin (unter besonderer Berücksichtigung der Insektenfauna)*. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchung des schweizerischen Nationalparks, Band 1. Aarau: Verlag H.R. Sauerländer

Rosi-Marshall, E.J., Wallace, J.B. (2002) Invertebrate food webs along a stream resource gradient. *Freshwater Biology* 47, 129-141

RStudio Team (2016). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, Inc., Boston, URL <http://www.rstudio.com>

Scarsbrook, M., Barquín, J., Gray, D. (2007) New Zealand coldwater springs and their biodiversity. *Science for Conservation* 278. Department of Conservation, Wellington New Zealand

Schönborn, W., Risse-Buhl, U. (2013) *Lehrbuch der Limnologie*. 2. vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung

Schorta, A. (1988) *Wie der Berg zu seinem Namen kam. Kleines Rätisches Namenbuch mit zweieinhalbtausend geographischen Namen Graubündens*. Chur: Terra Grischuna Verlag

Schröder, H., Howein, H., Gerecke, R. (2006) Quelltypen und Quellfauna. Quellen im Nationalpark Berchtesgaden. *Forschungsbericht* 51. Nationalpark Berchtesgaden, Berchtesgaden. 214-220

Schwoerbel, J. (1994) *Methoden der Hydrobiologie. Süßwasserbiologie*. 4. Auflage. Stuttgart: Fischer

Smith, H., Wood, P.J., Gunn, J. (2003) The influence of habitat structure and flow permanence on invertebrate communities in karst spring systems. *Hydrobiologia* 510: 53-66

Steinmann, P. (1915) Praktikum der Süsswasserbiologie. Teil 1: Die Organismen des fliessenden Wassers. Berlin: Bornträger

Stucki, P. (2010) Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Makrozoobenthos Stufe F. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026: 61 S.

Ter Braak, C.J.F., Šmilnauer P. (2012) Canoco Reference Manual and User Guide: Software for Ordination, Version 5.0. Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA, 496 S.

Thienemann, A. (1924) Hydrobiologische Untersuchungen an Quellen. Archiv für Hydrobiologie 14: 151-190

Von Fumetti, S. (2004) Naturnahe Quellen und ihre Lebensgemeinschaften – Zehn Jahre Forschung im Röserental bei Liestal. Regio Basiliensis 55 (3): 101-114

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

Von Fumetti, S., Nagel, P. (2012) Discharge variability and its effect on faunistic assemblages in springs. Freshwater Science 31: 647-656

Von Fumetti, S., Blattner, L. (2017) Faunistic assemblages of natural springs in different areas in the Swiss National Park – a small-scale comparison. Hydrobiologia 793, Issue 1: 175-184

Von Fumetti, S., Dmitročić, D., Pešić, V. (2017) The influence of flooding and river connectivity on macroinvertebrate assemblages in rheocene springs along a third-order river. Fundamental and Applied Limnology

Weigand, E. (1998) Limnologisch-faunistische Charakterisierung von Karstquellen, Quellbächen und unterirdischen Gewässern nach Chirotopen und biozönotischen Gewässerregionen. Nationalpark o.ö. Kalkalpen, Österreich. 179 S.

Williams, D.D. (1996) Environmental constraints in temporary fresh waters and their consequences for the insect fauna. The North American Benthological Society 15 (4): 634-650

Zollhöfer, J.M. (1997) Quellen. Die unbekanntenen Biotope im Schweizer Jura und Mittelland. Erfassen – bewerten – schützen. Bristol-Schriftenreihe Band 6. Zürich: Bristol-Stiftung

## **Internetquellen**

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz.

URL: [www.meteoschweiz.admin.ch/](http://www.meteoschweiz.admin.ch/) (Stand: 18.04.2017)

Bundesamt für Umwelt BAFU.

URL: [www.bafu.admin.ch/](http://www.bafu.admin.ch/) (Stand: 08.05.2017)

Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF) Verbreitungskarten

URL: [www.cscf.ch/](http://www.cscf.ch/) (Stand : 02.04.2017)



Schweizerischer Nationalpark. Parc Naziunal Svizzer.  
URL: [www.nationalpark.ch/de/](http://www.nationalpark.ch/de/) (Stand: 18.04.2017)

### **Bestimmungsliteratur**

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1990) Bestimmungsschlüssel für die Saprobier DIN-Arten (Makroorganismen). Informationsberichte Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 2/88, Loseblattsammlung. München

Boschi, C. (2011) Die Schneckenfauna der Schweiz. Ein umfassendes Bild- und Bestimmungsbuch. Bern/Stuttgart/Wien: Haupt. 624 S.

Eiseler, B. (2005) Bildbestimmungsschlüssel für die Eintagesfliegenlarven der deutschen Mittelgebirge und des Tieflandes. Identification key to the mayfly larvae of the German Highlands and Lowlands. Lauterbornia. Internationale Zeitschrift für Faunistik und Floristik der Binnengewässer Europas. Heft 53. Dinkelscherben

Glöer, P. (2002) Die Süßwassergastropoden Nord- und Mitteleuropas. Bestimmungsschlüssel, Lebensweise, Verbreitung. Die Tierwelt Deutschlands, 73. Teil. Hackenheim: Conch Books

Lubini V., Knispel S., Vinçon G. (2012) Die Steinfliegen der Schweiz: Bestimmung und Verbreitung / Les plécoptères de Suisse: identification et distribution. Fauna Helvetica 27, CSCF & SEG, Neuchâtel

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

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

Studemann, D., Landolt, P., Sartori, M., Hefti, D., Tomka, I. (1992) Ephemeroptera. Insecta Helvetica. Fauna 9. Schweizerische Entomologische Gesellschaft, Fribourg

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. Dinkelscherben: Erik Mauch Verlag

## Anhang

1. Artenlisten mit Abundanzzahlen Juni und September
2. Plots Temperaturlogger
3. Plots Leitfähigkeitslogger
4. Übersicht Loggerdaten und unbereinigte Boxplots
5. PRIMER, ANOSIM output
6. PRIMER, PCA output
7. Beispiel eines Quellprotokolls zur Erfassung der Struktur von Quellen
8. Verifikation von *Crunoecia irrorata* (Curtis, 1834)
9. Erklärung zur wissenschaftlichen Redlichkeit

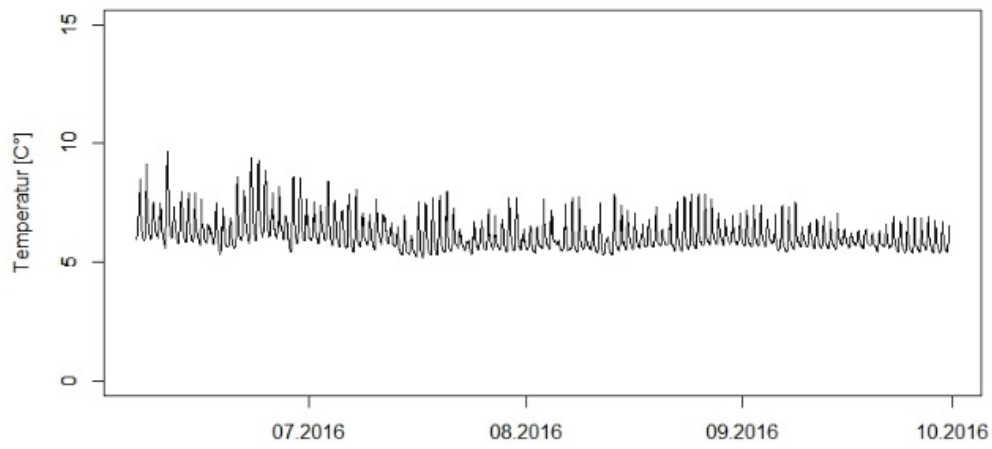
# 1. Artenlisten mit Abundanzzahlen Juni und September

	Juni										Sept						
	Q1	Q2	Q3	Q6	Q9	Q11	Q12	Q13	Clemgia		Q1	Q2	Q3	Q6	Q9	Q12	Clemgia
<b>Turbellaria</b>																	
<i>Crenobia alpina</i> (Dana, 1766)	1	38	4	0	9	0	2	0	0		8	26	7	0	24	12	0
<b>Gastropoda</b>																	
<i>Galba truncatula</i> (Müller, 1774)	2	0	0	0	0	0	0	0	0		2	0	0	0	0	0	0
<i>Valvata</i> sp.	8	1	0	4	38	8	1	5	0		6	2	0	9	31	9	0
<b>Oligochaeta</b>																	
	3	15	5	45	19	3	109	18	0		13	1	10	36	15	68	0
<b>Acari</b>																	
	23	484	2	1	12	1	0	1	0		32	179	3	0	27	0	0
<b>Ostracoda</b>																	
	20	0	0	0	9	0	0	0	0		31	0	1	0	16	0	0
<b>Collembola</b>																	
<i>Anurophorus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	2	0	0		0	0	0	0	0	0	0
<i>Bourletiella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	1	0	0	0	0	0
<i>Isotoma</i> sp.	1	9	0	0	31	0	0	0	0		0	25	0	0	28	0	0
<i>Isotomiella</i> sp.	0	4	0	0	1	0	0	0	0		0	0	1	0	0	0	0
<i>Tetracanthella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	1	0
<b>Ephemeroptera</b>																	
<i>Baetis alpinus</i> (Pictet, 1843)	3	1	1	1	0	0	0	0	0		0	2	1	0	0	0	3
<i>Baetis</i> sp.	3	0	0	0	0	0	0	0	0		1	0	1	17	0	8	0
<i>Ecdyonurus</i> sp.	0	0	2	0	0	0	0	0	1		0	0	0	0	0	0	0
<i>Ecdyonurus helveticus</i> (Eaton, 1883)	0	0	2	0	0	0	0	0	0		0	0	5	0	0	0	0
<i>Rhithrogena alpestris</i> Eaton, 1885	0	0	1	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	2
<b>Plecoptera</b>																	
<i>Dictyogenus fontinum</i> (Ris, 1896)	0	2	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
<i>Leuctra inermis</i> Kempny, 1899	0	0	8	1	0	0	0	2	6		0	0	1	0	0	0	10
<i>Leuctra rosinae</i> Kempny, 1900	0	5	0	0	0	0	1	0	0		0	2	0	0	0	0	0
<i>Leuctra</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	4	0
<i>Nemoura mortoni</i> Ris, 1902	34	0	3	0	0	0	0	0	0		22	0	0	0	0	2	0
<i>Nemoura sinuata</i> Ris, 1902	0	0	0	0	39	0	0	0	0		4	0	0	0	36	0	0
<i>Nemoura</i> sp.	2	0	0	0	0	0	0	0	0		7	0	15	6	26	14	12
<i>Nemurella pictetii</i> Klapalek, 1900	22	4	14	3	27	0	0	0	0		13	1	2	1	0	0	0
<i>Protonemura lateralis</i> (Pictet, 1835)	13	133	2	1	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
<i>Protonemura nimborum</i> (Ris, 1902)	0	0	0	2	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
<i>Protonemura</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	8	0	0	0
<i>Siphonoperla montana</i> (Pictet, 1841)	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	1	0	0
<b>Heteroptera</b>																	
Microphysidae	0	3	0	0	0	0	0	0	0		1	0	0	0	0	0	0
<b>Coleoptera</b>																	
<i>Helodes</i> sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
Hydraenidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	3	0	0	1	0
<i>Limnebius</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1	0	0	0	0	0	0
<i>Limnius</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	2	0		0	0	0	0	0	0	0
<b>Trichoptera</b>																	
<i>Apatania helvetica</i> Schmid, 1954	0	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0	0	0	3	0	0
<i>Crunoecia irrorata</i> (Curtis, 1834)	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	6	0	0
<i>Drusus alpinus</i> (Meyer-Dür, 1875)	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	3	1	0	0	0	0
<i>Drusus chrysotus</i> (Rambur, 1842)	5	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
Limnephilidae	1	0	1	0	0	0	0	0	0		5	25	3	6	10	6	0
<i>Micrasema morosum</i> (McLachlan, 1868)	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	8	0	0
<i>Rhyacophila glareosa</i> McLachlan, 1867	0	6	0	0	0	0	0	0	0		0	2	0	0	0	0	0
<i>Rhyacophila pubescens</i> Pictet, 1834	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	3	0	0	0	0	0
<i>Rhyacophila</i> s.s.	0	2	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
Sericostomatidae	0	0	0	0	8	0	0	0	0		0	0	0	0	1	0	0

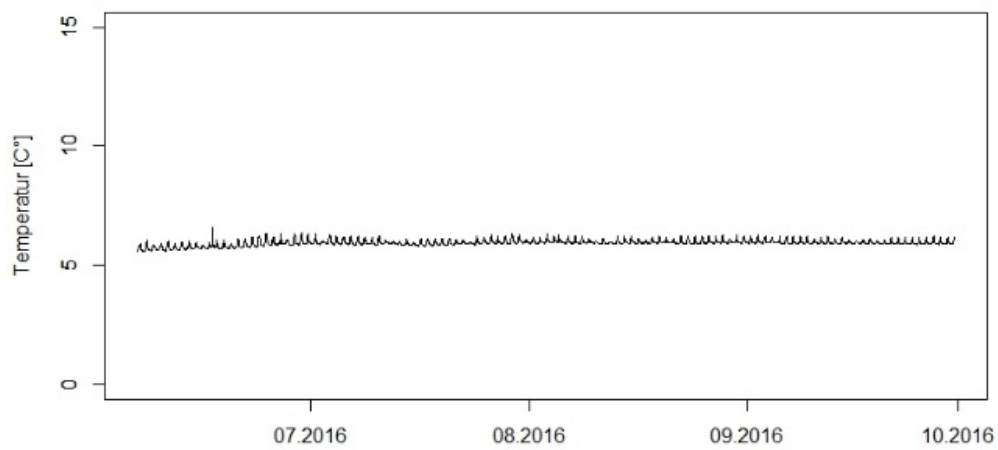
	Juni									Sept						
	Q1	Q2	Q3	Q6	Q9	Q11	Q12	Q13	Clemgia	Q1	Q2	Q3	Q6	Q9	Q12	Clemgia
<b>Diptera</b>																
<i>Bezzia</i> sp.	7	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	8	1	10	0	0
Ceratopogonidae	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Chelifera</i> sp.	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0
Chironomidae	126	512	45	1199	729	5	531	131	3	83	1068	311	543	683	1113	57
<i>Clinocerinae</i> sp.	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	38	14	0	1	0	0
<i>Dicranota</i> sp.	0	0	4	1	2	1	0	0	3	0	0	0	1	5	1	6
<i>Dixa</i> sp.	2	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Empididae	0	18	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Limoniidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	1	0
<i>Lispe</i> sp.	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0
<i>Oxycera pseudoamoena</i> Dusek & Rozksny, 1974	20	31	0	0	18	0	0	0	0	22	5	1	0	14	0	0
<i>Oxycera</i> sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Psychodidae</i> Gen. Sp.	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	4	0	0
<i>Tipula</i> sp.	1	0	0	0	2	0	1	0	0	0	2	2	0	2	0	0
Tipulidae	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## 2. Plots Temperaturlogger

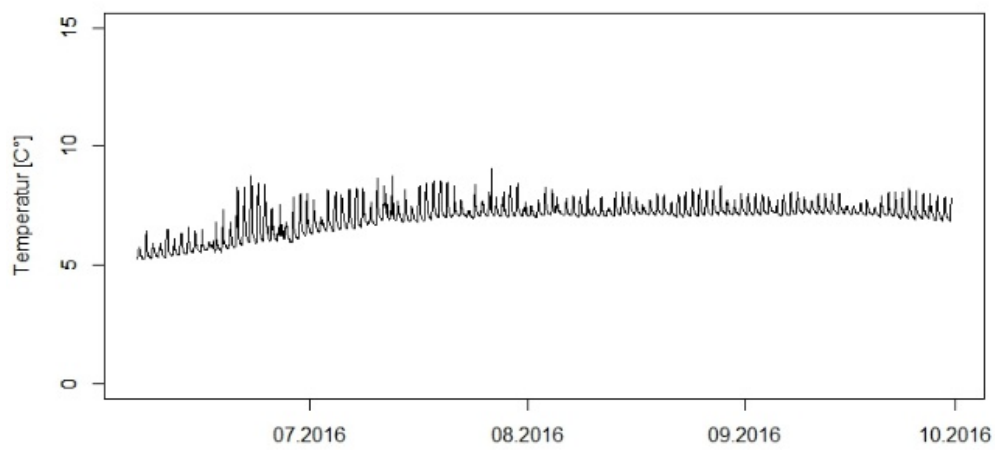
### Q1 Temperatur



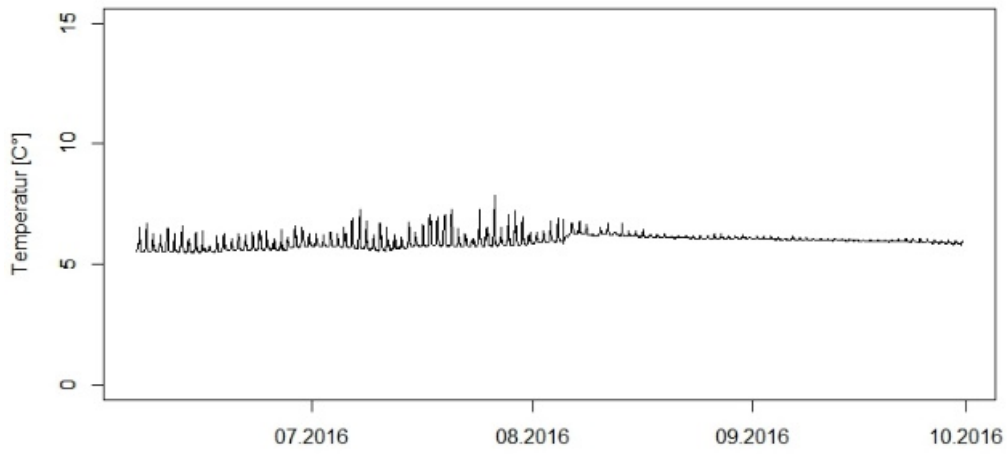
### Q2 Temperatur



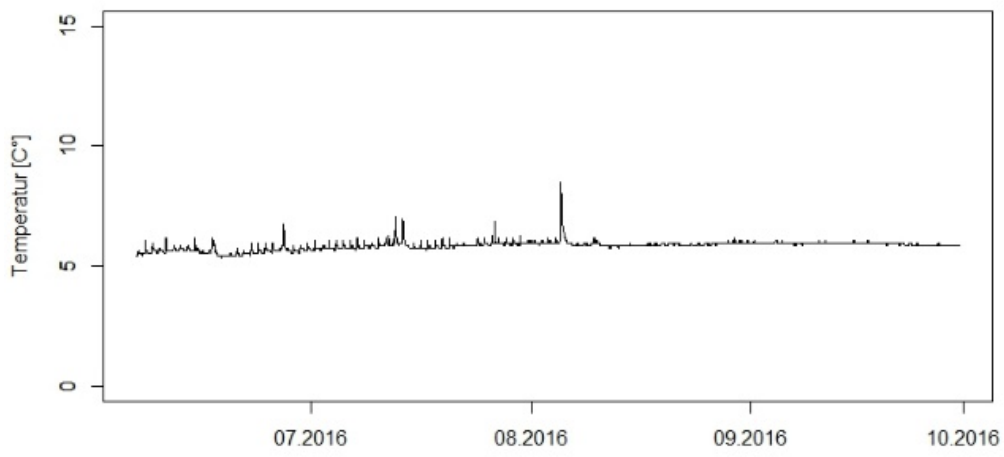
### Q3 Temperatur



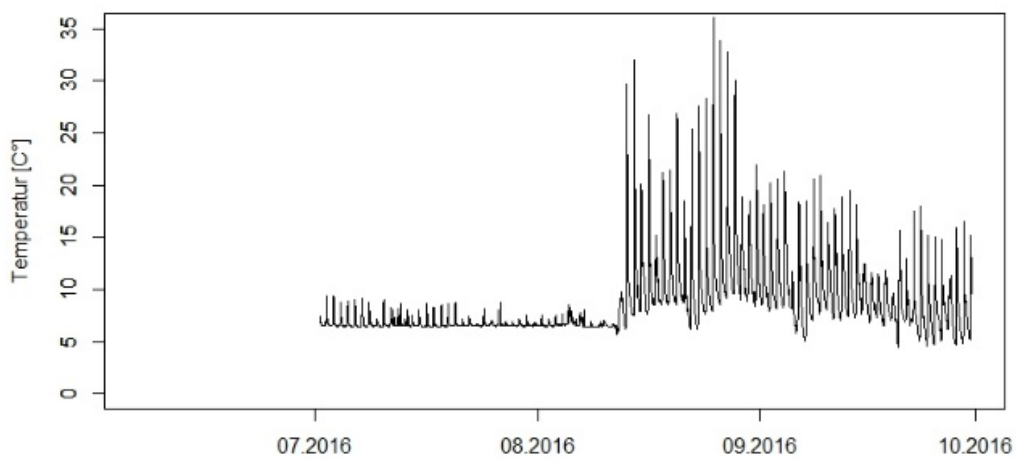
**Q6 Temperatur**



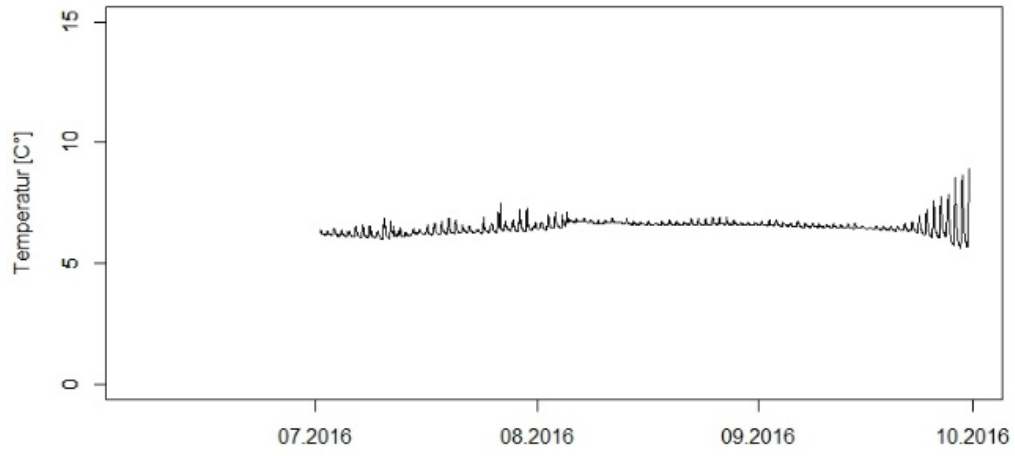
**Q9 Temperatur**



**Q11 Temperatur**

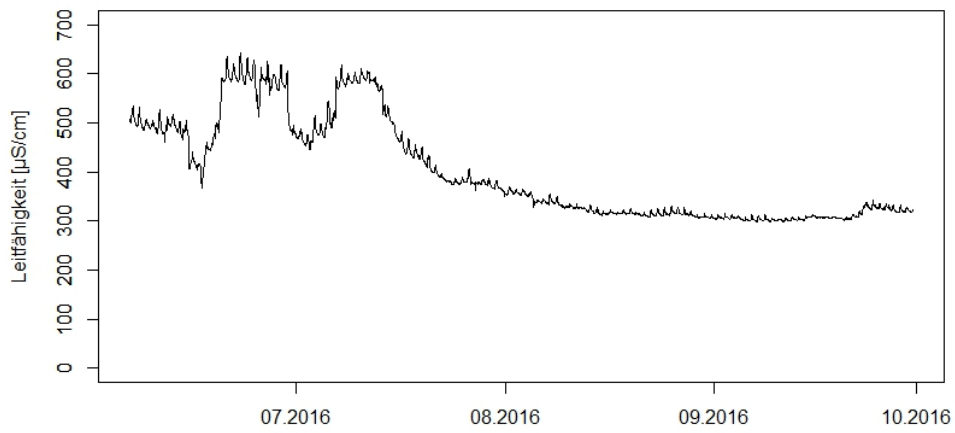


### Q12 Temperatur

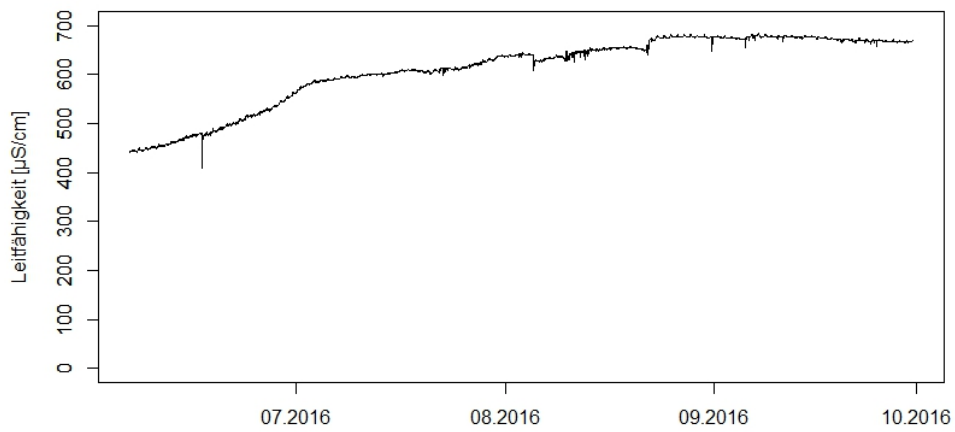


### 3. Plots Leitfähigkeitslogger

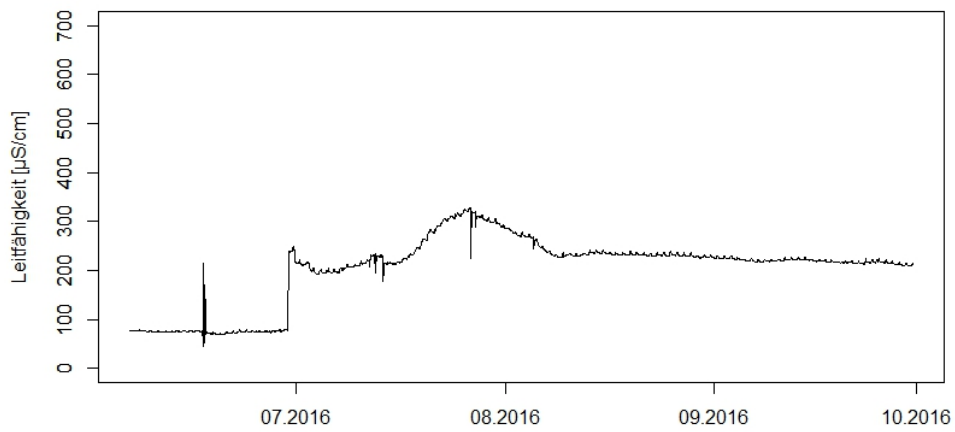
**Q1 Leitfähigkeit**



**Q2 Leitfähigkeit**

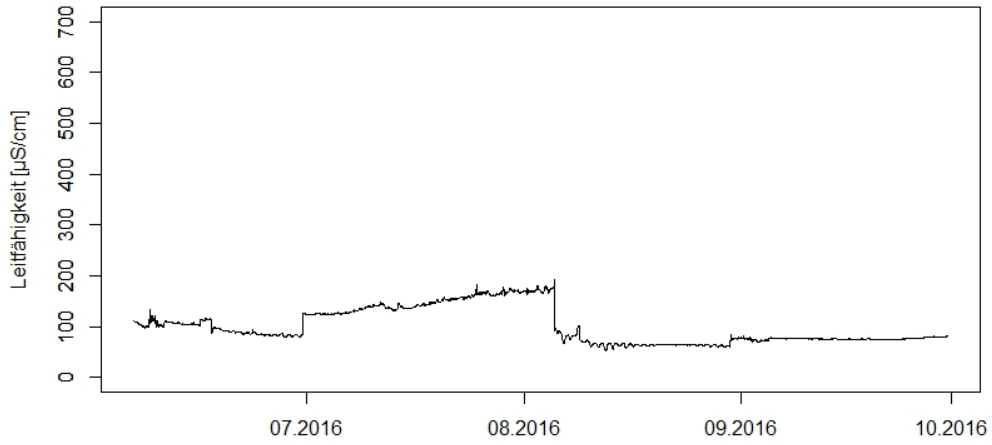


**Q3 Leitfähigkeit**

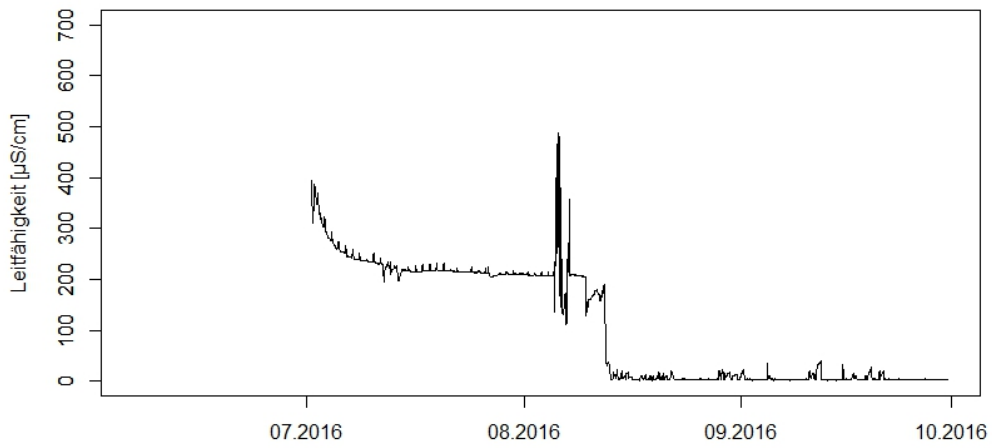




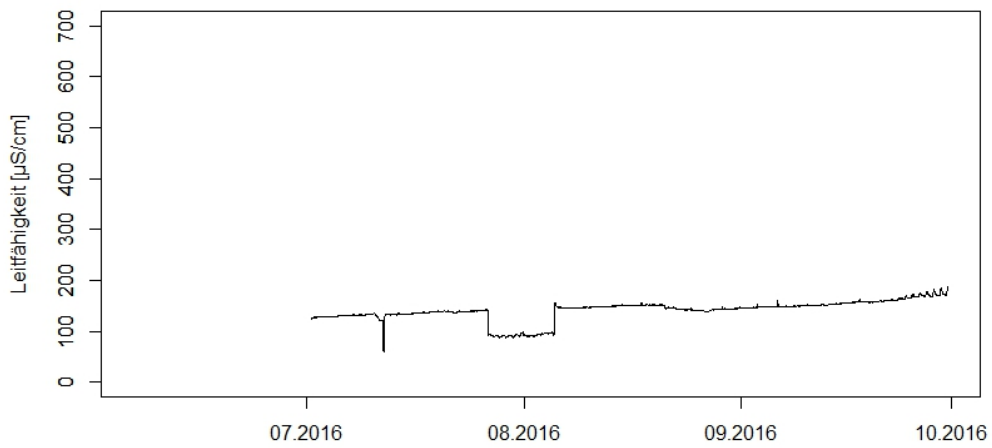
**Q6 Leitfähigkeit**



**Q11 Leitfähigkeit**



**Q12 Leitfähigkeit**

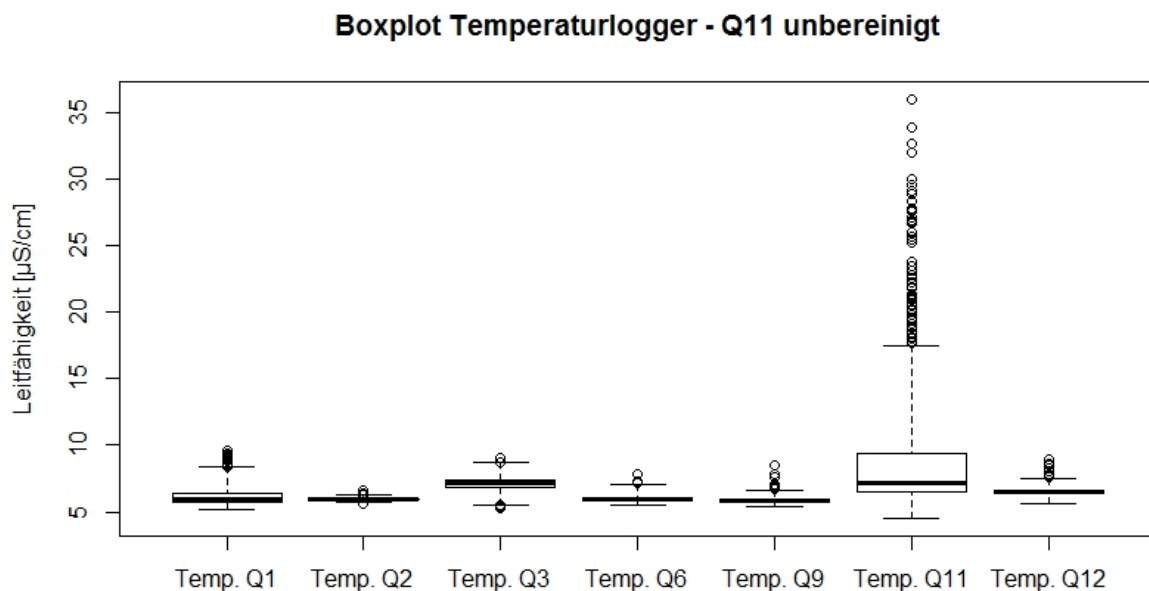


#### 4. Übersicht Loggerdaten und unbereinigte Boxplots

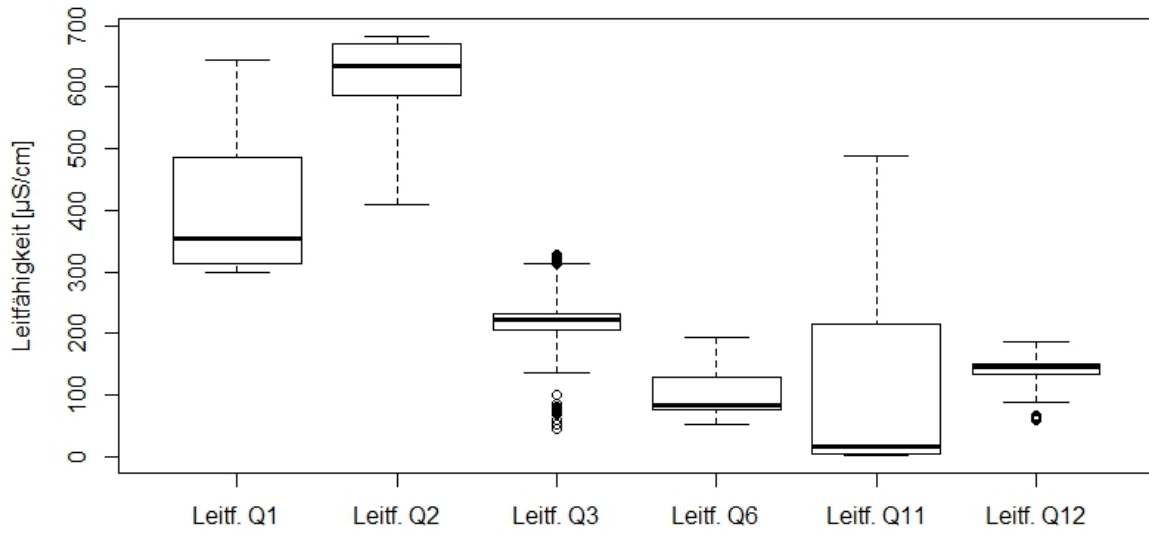
Tabelle der Mittelwerte, Minima, Maxima und Amplituden der Temperatur- und Leitfähigkeitslogger.  
 NA: nicht vorhandene Werte (not available)

	Temperaturlogger [°C]				Leitfähigkeitslogger [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]			
	Mittel	Min	Max	Amplitude	Mittel	Min	Max	Amplitude
<b>Q1</b>	6.12	5.19	9.63	4.44	400.4	298.4	643.2	344.8
<b>Q2</b>	5.94	5.60	6.58	0.98	610.7	409.2	683.6	274.4
<b>Q3</b>	7.02	5.26	9.10	3.84	203.3	45.4	327.0	281.6
<b>Q6</b>	5.97	5.50	7.87	2.37	100.3	53.15	192.4	139.25
<b>Q9</b>	5.86	5.35	8.48	3.13	NA	NA	NA	NA
<b>Q11</b>	6.72	5.74	9.37	3.63	225.0	111.1	488.4	377.3
<b>Q12</b>	6.51	5.66	8.91	3.25	140.5	59.4	187.2	127.8
<b>Q13</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Clemgia</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Werden die Messwerte während des Austrocknungsereignisses von Q11 nicht rausgenommen, sieht der entsprechende Boxplot so aus:



Boxplot Leitfähigkeitslogger - Q11 unbereinigt



## 5. PRIMER, ANOSIM output

Juni

### ANOSIM Analysis of Similarities

#### One-Way Analysis

*Resemblance worksheet*

Name: Resem14

Data type: Similarity

Selection: All

*Factor Values*

Factor: spring june

Q1

Q2

Q3

Q6

Q9

Q11

Q12

Q13

*Factor Groups*

Sample spring june

Q1.1 Q1

Q1.2 Q1

Q1.3 Q1

Q1.4 Q1

Q2.1 Q2

Q2.2 Q2

Q2.3 Q2

Q2.4 Q2

Q3.1 Q3

Q3.2 Q3

Q3.3 Q3

Q3.4 Q3

Q6.1 Q6

Q6.2 Q6

Q6.3 Q6

Q6.4 Q6

Q9.1 Q9

Q9.2 Q9

Q9.3 Q9

Q9.4 Q9

Q11.1 Q11

Q11.2 Q11

Q11.3 Q11

Q11.4 Q11

Q12.1 Q12

Q12.2 Q12

Q12.3 Q12

Q12.4 Q12

Q13.1 Q13

Q13.2 Q13

Q13.3 Q13

Q13.4 Q13

*Global Test*

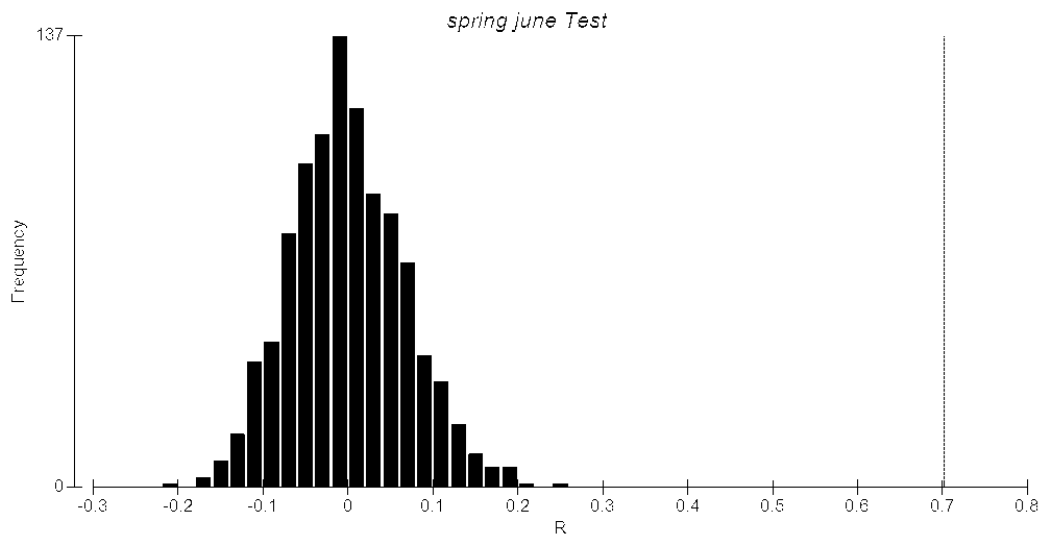
Sample statistic (Global R): 0.702  
 Significance level of sample statistic: 0.1%  
 Number of permutations: 999 (Random sample from a large number)  
 Number of permuted statistics greater than or equal to Global R: 0

*Pairwise Tests*

Groups	R Statistic	Significance Level %	Possible Permutations	Actual Permutations	Number >= Observed
Q1, Q2	0.99	2.9	35	35	1
Q1, Q3	0.917	2.9	35	35	1
Q1, Q6	1	2.9	35	35	1
Q1, Q9	0.833	2.9	35	35	1
Q1, Q11	0.677	2.9	35	35	1
Q1, Q12	1	2.9	35	35	1
Q1, Q13	1	2.9	35	35	1
Q2, Q3	0.969	2.9	35	35	1
Q2, Q6	1	2.9	35	35	1
Q2, Q9	0.99	2.9	35	35	1
Q2, Q11	0.677	2.9	35	35	1
Q2, Q12	1	2.9	35	35	1
Q2, Q13	1	2.9	35	35	1
Q3, Q6	0.729	2.9	35	35	1
Q3, Q9	0.844	2.9	35	35	1
Q3, Q11	0.13	25.7	35	35	9
Q3, Q12	0.75	2.9	35	35	1
Q3, Q13	0.521	5.7	35	35	2
Q6, Q9	0.792	2.9	35	35	1
Q6, Q11	0.615	2.9	35	35	1
Q6, Q12	-0.021	54.3	35	35	19
Q6, Q13	0.563	2.9	35	35	1
Q9, Q11	0.656	2.9	35	35	1
Q9, Q12	0.813	2.9	35	35	1
Q9, Q13	0.927	2.9	35	35	1
Q11, Q12	0.667	2.9	35	35	1
Q11, Q13	0.427	2.9	35	35	1
Q12, Q13	0.698	2.9	35	35	1

*Outputs*

Plot: Graph1



September

## ANOSIM Analysis of Similarities

### One-Way Analysis

*Resemblance worksheet*

Name: Resem15

Data type: Similarity

Selection: All

*Factor Values*

Factor: spring september

Q1

Q2

Q3

Q6

Q9

Q12

*Factor Groups*

Sample spring september

Q1.1 Q1

Q1.2 Q1

Q1.3 Q1

Q1.4 Q1

Q2.1 Q2

Q2.2 Q2

Q2.3 Q2

Q2.4 Q2

Q3.1 Q3

Q3.2 Q3

Q3.3 Q3

Q3.4 Q3

Q6.1 Q6

Q6.2 Q6

Q6.3 Q6

Q6.4 Q6

Q9.1 Q9

Q9.2 Q9

Q9.3 Q9

Q9.4 Q9

Q12.1 Q12

Q12.2 Q12

Q12.3 Q12

Q12.4 Q12

*Global Test*

Sample statistic (Global R): 0.879

Significance level of sample statistic: 0.1%

Number of permutations: 999 (Random sample from a large number)

Number of permuted statistics greater than or equal to Global R: 0

*Pairwise Tests*

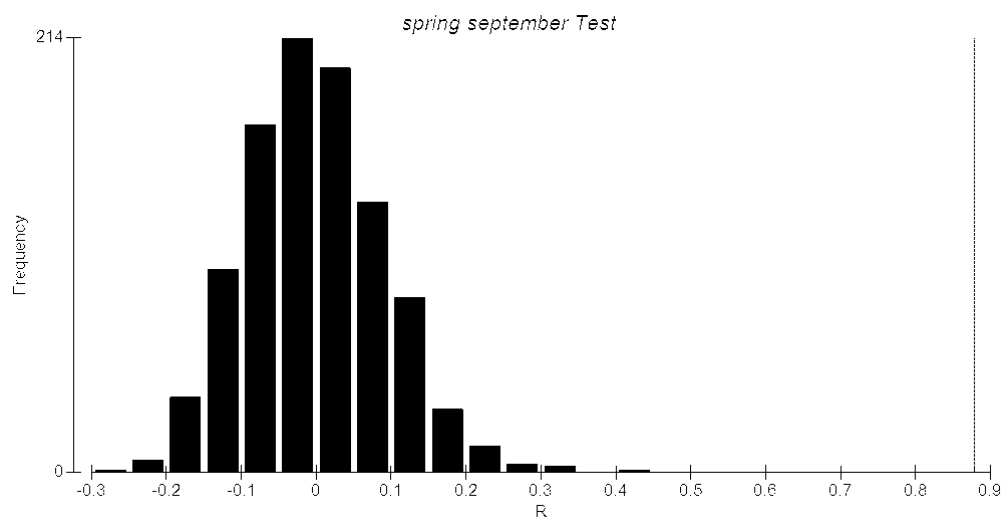
Groups	R Statistic	Significance Level %	Possible Permutations	Actual Permutations	Number >= Observed
Q1, Q2	1	2.9	35	35	1
Q1, Q3	0.875	2.9	35	35	1
Q1, Q6	1	2.9	35	35	1
Q1, Q9	0.99	2.9	35	35	1



Q1, Q12	1	2.9	35	35	1
Q2, Q3	0.854	2.9	35	35	1
Q2, Q6	1	2.9	35	35	1
Q2, Q9	0.979	2.9	35	35	1
Q2, Q12	1	2.9	35	35	1
Q3, Q6	0.542	5.7	35	35	2
Q3, Q9	0.917	2.9	35	35	1
Q3, Q12	0.615	2.9	35	35	1
Q6, Q9	1	2.9	35	35	1
Q6, Q12	0.125	28.6	35	35	10
Q9, Q12	1	2.9	35	35	1

### Outputs

Plot: Graph2



## 6. PRIMER, PCA output

### PCA Principal Component Analysis

#### Data worksheet

Name: Data19  
Data type: Environmental  
Sample selection: All  
Variable selection: All

#### Eigenvalues

PC	Eigenvalues	%Variation	Cum.%Variation
1	8.91	35.6	35.6
2	5.52	22.1	57.7
3	3.62	14.5	72.2
4	2.71	10.8	83.0
5	1.51	6.0	89.0

#### Eigenvectors

(Coefficients in the linear combinations of variables making up PC's)

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Wassertemp.	-0.041	0.296	0.226	0.088	-0.058
pH	0.254	0.119	0.183	0.111	0.219
O2	0.044	0.092	0.477	0.155	-0.122
Leitfähigkeit	-0.324	-0.095	0.030	-0.047	-0.032
Natrium	-0.119	-0.360	0.078	-0.117	0.057
Magnesium	-0.305	-0.125	-0.009	-0.046	0.064
Calcium	-0.322	-0.069	-0.014	-0.017	-0.024
Kalium	-0.007	-0.084	-0.211	0.515	-0.139
Fluorid	-0.311	-0.100	-0.119	0.054	0.057
Chlorid	-0.011	-0.150	-0.115	0.502	0.211
Nitrat	0.266	-0.143	-0.071	0.016	0.360
Sulfat	-0.320	-0.086	0.063	0.040	0.064
HCO3	0.160	-0.095	-0.204	-0.078	0.510
Moospolster	-0.002	-0.383	0.184	0.133	0.000
Wurzelräume	0.193	0.112	-0.229	-0.099	-0.341
Totholz	0.054	-0.169	0.352	-0.251	0.230
Detritus	0.296	-0.029	0.112	-0.144	-0.157
Vegetation	0.191	-0.314	0.059	0.030	-0.181
Ton & Schluff	0.189	-0.094	-0.328	-0.003	-0.112
Sand	-0.002	0.363	-0.243	-0.068	0.022
Feinkies	0.035	0.262	0.201	0.334	0.321
Grobkies	-0.250	0.189	0.148	-0.159	-0.009
Steine	-0.190	0.080	-0.157	0.248	-0.048
Blöcke	-0.070	0.321	0.068	0.061	0.128
Felsen	-0.125	0.110	-0.270	-0.299	0.320

#### Principal Component Scores

Sample	SCORE1	SCORE2	SCORE3	SCORE4	SCORE5
Q1	-2.19	-0.145	2.94	-2.34	-0.544
Q2	-2.83	-2.23	0.196	1.15	-1.17
Q3	-0.818	-1.14	-1.38	1.65	-1.03
Q6	2.71	-0.797	1.43	-1.15	-0.604
Q9	-0.918	-2.98	-1.03	0.554	1.29
Q11	-2.97	1.61	-2.6	-2.16	1.29
Q12	4.12	-0.706	1.37	0.876	1.93
Q13	4.58	1.65	-2.21	-0.718	-1.37
Clemgia	-1.68	4.74	1.3	2.14	0.217

# 7. Beispiel eines Quellprotokolls zur Erfassung der Struktur von Quellen

**Grundfragen** Datum: 11.01.16 Bearbeiterin: [Name]

Benennung: [Name] Abschnitt: 09

**Koordinaten**  
 Hochwert: [ ]  
 Rechtswert: [ ]  
 Höhe über NN: [ ]

**Physikochemie**  
 Temperatur: [ ] °C  
 Leitfähigkeit: [ ] µS/cm  
 Sauerstoff: [ ] %  
 pH: [ ]  
 mg/L: [ ]

**Quellschüttung**  
 Verteilung: [ ] l/min  
 ganzjährig: [X]  
 unterbrochen: [ ]  
 zeitweise: [ ]

**Geländebeschreibung**  
 Lage der Quelle: [ ]  
 Kupps/Oberhang: [ ]  
 Mittelhang: [X]  
 Hangfuß: [ ]  
 Talflage: [ ]

**Strömungsdiversität**  
 Spritzwasser: [ ]  
 glatt: [X]  
 fließend: [X]  
 überfließend: [X]

**Wasser-Land-Verzahnung**  
 gross: [X]  
 mittel: [ ]  
 gering: [ ]

**Geländeneigung**  
 schwach: [ ]  
 mässig: [ ]  
 stark: [X]  
 schroff: [ ]

**Strömungscharakter**  
 geripelt: [X]  
 plätschernd: [X]  
 überstürzend: [ ]  
 fallend: [ ]

**Substrat und Lage** Datum: [ ] Bearbeiterin: [ ]

**Substrattypen**

Substrattyp	keine	sehr wenig	gering	mittel	viel	sehr viel
	0%	< 20%	20-40%	40-60%	60-90%	> 90%
M Moospolster						X
W durchspaltete Wurzelräume	X					
T Totholz (nicht grünes Holz)				X		
D Detritusauflage (FPOM) Organisch				X		
V Vegetation			X			
Ts Ton & Schluff (Mehl...Teig)	X					
S Sand	X					
rk Fein kies-Kies & Guss (Erbsen)	X					
gK Mittel-Grobkies (Kirschen)	X					X
St. Steine (Kw./Apl./Balkensteine)	X					
B Blöcke (Badesstein)	X					
F Feisen (durchgehend)	X					
K Kalksinter (Aste mit Zuckguss)	X					

**Lageskizze (2-dimensional)**, bitte Massstab, Nordpfeil und Legende eintragen.

**Legende**

—	sichernd
—	Nadelwald
##	Auffschüttung
☙	Feuchtwiese
	Moor
∇	GWS
00	Streu
///	Talflage

**Abflussrichtung/Himmelsrichtung**

Beschattung	Winter	0 %	Sommer	6 %
-------------	--------	-----	--------	-----

Seite 2

## 8. Verifikation von *Crunoecia irrorata* (Curtis, 1834)

Verwendete Datenbank: Bold Systems – Management & Analysis

### Specimen Identification Request

Print

Query: L1 (Crunoecia sp. sample: Q9.3)

Top Hit: Arthropoda - Trichoptera - *Crunoecia irrorata* (99.85%)

#### Search Result:

The submitted sequence has been matched to *Crunoecia irrorata*. This identification is solid unless there is a very closely allied congeneric species that has not yet been analyzed. Such cases are rare.

A species page is available for this taxon: [Species Page](#)

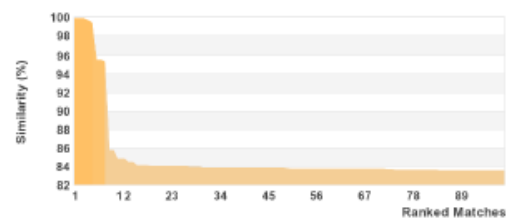
Closest matching BIN (within 3%): [BIN Page](#)

For a hierarchical placement - a neighbor-joining tree is provided: [Tree Based Identification](#)

#### Identification Summary:

Taxonomic Level	Taxon Assignment	Probability of Placement (%)
Phylum	Arthropoda	100
Class	Insecta	100
Order	Trichoptera	100
Family	Lepidostomatidae	100
Genus	Crunoecia	100
Species	Crunoecia irrorata	99.8

#### Similarity Scores of Top 99 Matches:



#### TOP 20 Matches :

Display option: [Top 20](#)

Phylum	Class	Order	Family	Genus	Species	Subspecies	Similarity (%)	Status
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		99.85	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		99.85	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		99.85	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		99.69	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		99.39	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		95.55	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		95.55	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		95.35	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	kempnyi		85.71	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	kempnyi		85.71	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	stellatum		84.79	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	stellatum		84.79	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	sp.		84.5	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	sp.		84.46	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Phryganeidae	Oligostomis	pardalis		84.08	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	hoodi		84.07	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	lydia		84.04	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	destructum		84.02	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	XZ sp. TW1		84.02	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	XZ sp. TW1		84.02	Published <a href="#">↗</a>

#### Sampling Sites For Top Hits (>98% Match):



Query: L2 (Crunoecia sp. sample: Q9\_3)

Top Hit: Arthropoda - Trichoptera - *Crunoecia irrorata* (99.85%)

Search Result:

The submitted sequence has been matched to *Crunoecia irrorata*. This identification is solid unless there is a very closely allied congeneric species that has not yet been analyzed. Such cases are rare.

A species page is available for this taxon: [Species Page](#)

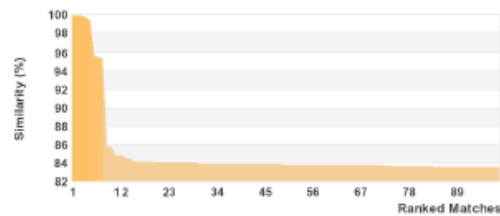
Closest matching BIN (within 3%): [BIN Page](#)

For a hierarchical placement - a neighbor-joining tree is provided: [Tree Based Identification](#)

Identification Summary:

Taxonomic Level	Taxon Assignment	Probability of Placement (%)
Phylum	Arthropoda	100
Class	Insecta	100
Order	Trichoptera	100
Family	Lepidostomatidae	100
Genus	Crunoecia	100
Species	Crunoecia irrorata	99.8

Similarity Scores of Top 99 Matches:

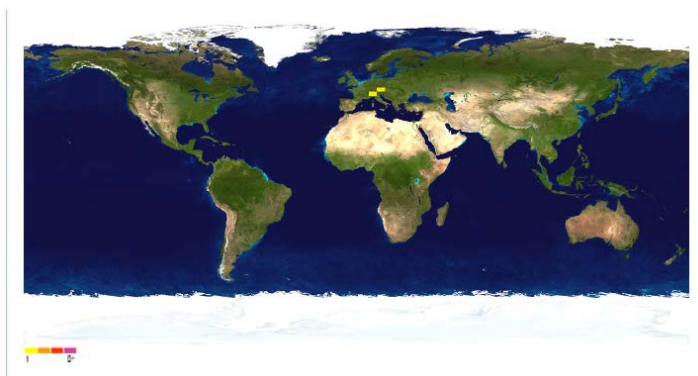


TOP 20 Matches :

Display option: [Top 20](#)

Phylum	Class	Order	Family	Genus	Species	Subspecies	Similarity (%)	Status
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		99.85	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		99.85	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		99.85	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		99.69	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		99.39	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		95.55	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		95.55	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	irrorata		95.35	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	kempnyi		85.71	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Crunoecia	kempnyi		85.71	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	stellatum		84.79	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	stellatum		84.79	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	sp.		84.5	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	sp.		84.46	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Phryganeidae	Oligostomis	pardalis		84.08	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	sp. A BG		84.07	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	sp. A BG		84.07	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	hoodi		84.07	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	lydia		84.04	Published <a href="#">↗</a>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Lepidostomatidae	Lepidostoma	destructum		84.02	Published <a href="#">↗</a>

Sampling Sites For Top Hits (>98% Match):





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):

Quellen und Wasseraustritte im Tal der Clemgia im Unterengadin (GR)

---

---

---

Name, Vorname (Druckschrift): Mühlemann, Lea

Matrikelnummer: 12-055-232

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.*

Januar 2017