

Universität Basel
Departement Umweltwissenschaften
Institut für Natur- Landschafts- und Umweltschutz



Struktur und Nutzung der Quellen im Naturpark Diemtigtal

Masterarbeit

Géraldine Meyer

Betreut von:

Dr. Stefanie von Fumetti

Prof. Dr. Peter Nagel

Basel, Januar 2015

Für die Unterstützung meiner Masterarbeit möchte ich mich bei den folgenden Personen und Institutionen herzlich bedanken:

Professor Peter Nagel für die Ermöglichung der Masterarbeit

Dr. Stefanie von Fumetti für die engagierte Betreuung der Masterarbeit

Der Verwaltung des Naturparks Diemtigtal für das Ermöglichen der Feldarbeit im Naturpark und das Erteilen der Fahrerlaubnis auf den Alpstrassen

Susanne Felder, Lukas Forlin und Lea Mühlemann für die Mithilfe bei der Feldarbeit im Naturpark

Besonders herzlich möchte ich mich bei meiner Familie und Marco Chevalier bedanken für ihre grosse Hilfe bei der Feldarbeit und die Unterstützung während der gesamten Masterarbeit.

Abstract

Der Regionale Naturpark Diemtigtal im Berner Oberland besteht seit September 2011. Das Ziel eines Regionalen Naturparks ist eine nachhaltige regionale Entwicklung mit grösstmöglicher Rücksicht auf sensible Naturräume und Landschaften. Die Umsetzung von Naturschutzprojekten ist vereinfacht. Der Park umfasst eine Fläche von 135,4 km² und deckt die gesamte Fläche der Gemeinde Diemtigen sowie einen Teilbereich der Gemeinde Zweisimmen ab. In dieser Arbeit wurden 137 Quellen im Naturpark Diemtigtal kartiert und strukturell bewertet. Dazu wurde jeweils eine qualitative faunistische Probe entnommen. Ziel der Arbeit war es, einen Überblick über die im Parkgebiet vorhandenen Quellen zu gewinnen, um es dem Naturpark Diemtigtal zu erleichtern, die im Parkgebiet vorhandenen ökologisch wertvollen Quellen zu schützen. Die Feldarbeit fand im Frühling und Sommer 2014 statt. Es konnte gezeigt werden, dass 62% der beprobten Quellen im Parkgebiet naturnah und somit nicht gefasst sind. Quelltypische Organismen finden sich nicht nur in naturnahen Quellen, sondern annähernd gleich häufig auch in älteren gefassten Quellen. Die Artzusammensetzung von strukturell unterschiedlich gut bewerteten Quellen unterscheidet sich demnach nicht signifikant. Die Artzusammensetzung der Quellfauna unterscheidet sich signifikant zwischen helokrenen Quellen und anderen Quelltypen, sowie zwischen Quellen unterhalb von 1000 m ü. M und oberhalb. Es konnte gezeigt werden, dass der Naturpark über eine Vielzahl von sowohl gefassten, als auch nicht gefassten Quellen verfügt, die eine quelltypische Fauna beherbergen und somit schutzwürdige Habitats darstellen. Dem Naturpark wird mit dieser Arbeit eine Übersicht über diese Quellen gegeben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Untersuchungsgebiet	6
3	Material und Methoden.....	8
4	Resultate.....	10
4.1	Die Quellen	10
4.2	Abiotische Parameter	13
4.3	Ergebnisse Strukturelle Bewertung nach LUBINI ET AL. (2014).....	17
4.4	Quellfauna.....	19
5	Diskussion.....	28
5.1	Methodenkritik.....	28
5.2	Ergebnisdiskussion	29
5.3	Besondere Quelllebensräume	36
6	Literaturverzeichnis	44
7	Bestimmungsliteratur.....	48
7.1	Gastropoda	48
7.2	Plecoptera.....	48
7.3	Trichoptera	48
8	Abbildungsverzeichnis.....	49
9	Tabellenverzeichnis.....	50
10	Anhang.....	51
10.1	Schutzgebiete im Naturpark Diemtigtal.....	51
10.2	Liste der kartierten Quellen	Error! Bookmark not defined.
10.3	Liste der gefundenen Taxa.....	0
10.4	Kartierbogen Strukturbewertung (LUBINI ET AL. 2014)	0
10.5	Textresultate PCA	1
10.6	Redlichkeitserklärung.....	3

1 Einleitung

Quellen sind aus der Erde tretendes Wasser (ZOLLHÖFER 1997). Etwas ausführlicher kann eine Quelle definiert werden als jener Punkt einer Landschaft, an dem Grundwasser aus dem Grundwasser-Aquifer an die Erdoberfläche tritt. An der Quelle überlappen sich also die Lebensräume Grundwasser und Fliessgewässer (CANTONATI ET AL. 2006). Nach STEINMANN (1915) und THIENEMANN (1924) können Quellen in drei Haupttypen eingeteilt werden: Ein punktueller Austritt wird als Rheokrene bezeichnet, ein flächiger als Helokrene. Wenn sich der Austritt am Grund eines Tümpels befindet, spricht man von einer Limnokrene. Das Quellhabitat umfasst den Wasserkörper selbst sowie die wassergetränkte Fläche um die Quelle herum, den sogenannten Quellbereich. Der Austritt des Grundwassers kann ganzjährig, temporär oder intermittierend stattfinden. Die Quelle unterliegt nur geringen Schwankungen der Umweltfaktoren wie Temperatur, Abfluss, Wasserchemie und Substratzusammensetzung. Alpine Quellen sind in diesen Faktoren weniger konstant. Gerade der Abfluss zeigt bei Quellen im Berner Oberland starke saisonale Abflussschwankungen (WIGGER & VON FUMETTI 2013). Im Schweizer Mittelland beispielsweise sind weniger als ein Prozent aller Quellen noch naturnah. (ZOLLHÖFER 1997) Grund dafür ist, dass das austretende Wasser als Trinkwasserressource geschützt ist, das Quellhabitat jedoch nicht. In der Regel sind die einzelnen Quellen voneinander isoliert, es handelt sich also um sogenannte Inselbiotope, was sie besonders schutzbedürftig macht. Quellen können als Spiegel ihrer Einzugsgebiete gesehen werden, da Faktoren wie Klima, geologisches Ausgangssubstrat, Umfeld- und Landnutzungsbedingungen grossen Einfluss auf die Charakteristik der Quellen haben (RAGNO ET AL. 2007).

Es existieren verschiedene Möglichkeiten eine Quelle zu fassen und sie beeinträchtigen das Quellhabitat unterschiedlich stark. Am stärksten beeinträchtigend ist eine komplette Fassung, bei der kein oberflächlicher Abfluss mehr vorhanden ist. Anhand der Gewässerschutzkarte im Geoportal des Kantons Bern sind etwa 90 Quellen im Diemtigtal derartig gefasst. Zwanzig davon wurden während dieser Arbeit notiert. Daneben ist es auch möglich, dass eine sogenannte Brunnenstube mit Überlauf errichtet wird, bei der zumindest ein Teil des Abflusses noch oberflächlich erfolgt. Die am wenigsten ins natürliche Quellhabitat eingreifende Variante ist die Verbauung mit einem Rohr oder einer Rinne. Fassungen mit einer kleinen Brunnenstube, die der Entwässerung von Weidegebieten dienen, kommen in den tieferen Lagen des Diemtigtals häufig vor (Abb. 1). Ziel einer solchen Fassung ist die optimale Nutzung der Weiden ohne „Beeinträchtigung“ durch feuchte Bereiche. Waldquellen sind im Gegensatz zu Quellen im Offenland häufiger naturnah (BEIERKUHNLEIN & HOTZY 1999). Geschädigte Quellen im Wald erfahren laut BEIERKUHNLEIN & HOTZY 1999) andere Beeinträchtigungen als Offenlandquellen wie

beispielsweise indirekt durch das Auflichten des Waldes durch Kahlschlag oder Wegebau in der Nähe, wodurch Veränderungen der Quellwassertemperatur oder der Schüttung herbeigeführt werden können. Auch direkte Beeinträchtigungen wie durch Fassung oder Entwässerung, Bodenverletzungen durch Rückarbeiten, durch Fahrspuren von forstlichen Maschinen und durch Trittschäden treten auf.

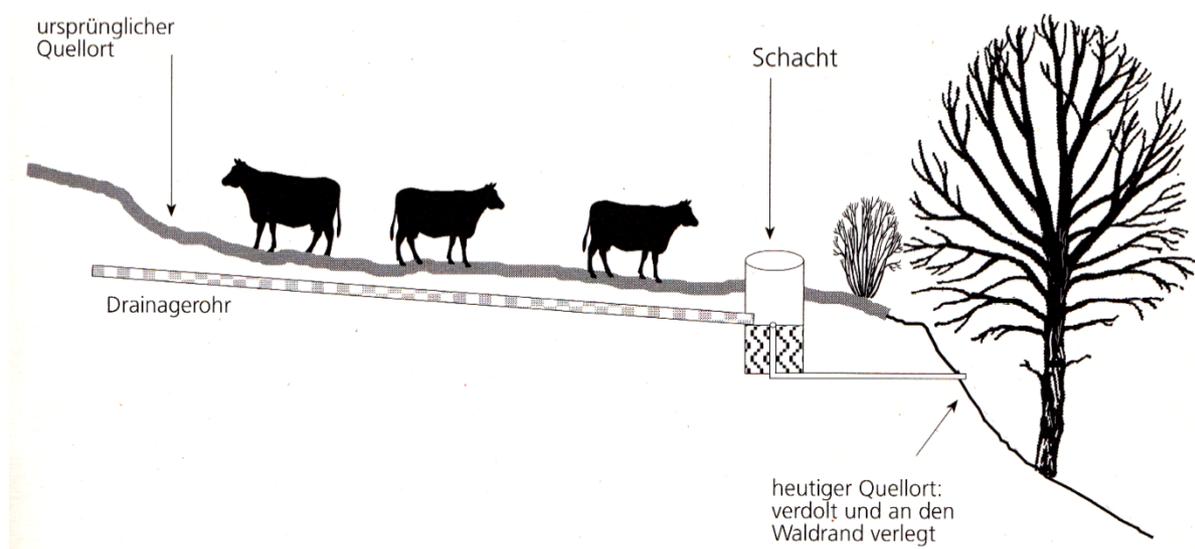


Abbildung 1: Typische Fassung einer Quelle zur Drainage eines Weidegebietes. (ZOLLHÖFER 1997)

In dieser Arbeit wurden die Quellen des Naturparks Diemtigtal untersucht. Erstes Ziel war eine möglichst flächendeckende Kartierung der Quellen. Es sollte herausgefunden werden, wie es um die Quellen im Naturpark Diemtigtal bestellt ist. Zentrale Fragen dabei waren ob und wie die Quellen genutzt werden, und wie das Verhältnis zwischen naturnahen und genutzten, also gefassten Quellen gewichtet ist. Unter den naturnahen Quellen sollte auch die Verteilung der Quelltypen im Tal eruiert werden und es sollte untersucht werden, ob die naturnahen Quellen von quelltypischen Organismen besiedelt werden. Die Arbeit soll es dem Naturpark Diemtigtal ermöglichen, seine Quellen besser zu schützen, denn diese sind aufgrund ihrer Eigenschaften sehr schützenswerte und auch schutzbedürftige Habitate.

Die Daten, die in dieser Arbeit gesammelt wurden, werden in eine sich in Planung befindende Datenbank aller Quellen des Kantons Bern einfließen.

2 Untersuchungsgebiet

Das Diemtigtal stellt das grösste Seitental des Simmentals dar, welches sich bei Wimmis gegen den Thunersee hin öffnet. Das Tal erhielt am 06. September 2011 durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) den Status eines Regionalen Naturparks. Nach dem Artikel 23g des Natur- und Heimatschutzgesetzes ist ein Regionaler Naturpark ein grösseres, teilweise besiedeltes Gebiet, das sich durch seine natur- und kulturlandschaftlichen Eigenschaften besonders auszeichnet und dessen Bauten und Anlagen sich in das Landschafts- und Ortsbild einfügen. Im Regionalen Naturpark werden die Qualität von Natur und Landschaft erhalten und aufgewertet, sowie die nachhaltig betriebene Wirtschaft gestärkt und die Vermarktung ihrer Waren und Dienstleistungen gefördert. (451 NHG, Art. 23g)

Der Regionale Naturpark umfasst eine Fläche von 135.4 Quadratkilometern und besteht aus der kompletten Fläche der Gemeinde Diemtigen, sowie einer Teilfläche der Gemeinde Zweisimmen. Der Park erstreckt sich hauptsächlich über das Einzugsgebiet der Flüsse Chirel und Fildrich. Der Chirel mündet bei Horboden in den Fildrich, welcher wiederum am Ausgang des Diemtigtals in die Simme einfliesst. Die Simme mündet gemeinsam mit der Kander in den Thunersee. Der Naturpark Diemtigtal enthält 67 Hektaren an Alpwirtschaftsgebiet, welches das grösste Alpwirtschaftsgebiet der Schweiz darstellt. Die Alpweiden im Diemtigtal befinden sich auf Höhen zwischen 1000 und 1800 m ü. M. Der höchste Punkt des Parkgebiets ist die Männliflueh fast im äussersten Süden des Parks mit einer Höhe von 2652 m ü. M, der tiefste Punkt befindet sich am Taleingang mit dem Gebiet Burgholz in einer Höhe von etwa 640 m ü. M. Dort befindet sich auch eine kleine Industriezone. Im Süden wird das Tal begrenzt durch das Seehorn, Spillgerten und das Rauflihorn, sowie die erwähnte Männliflueh. Die Geologie des Tals besteht hauptsächlich aus Kalk, überlagertem Moränenmaterial, Flysch und Schuttablagerungen von Bächen. Etwa 30% der Fläche des Diemtigtals sind bewaldet. Die obere Waldgrenze befindet sich auf etwa 1800 m ü. M. In den Auengebieten von nationaler Bedeutung entlang der Simme finden sich kleinflächige Grauerlenwälder. Bis 1000 m ü. M häufen sich Buchenwälder, wobei die Fichte die Buche oftmals verdrängt. Zwischen 800 und 1400 m ü. M wird die Tanne ein wichtiger Bestandteil der Wälder. Sie dominiert vor allem in frischen, eher schattigen Lagen, während die Fichte trockene und wechsellrockene Standorte bevorzugt. In den hohen Lagen des Parks im Südwesten bestehen einzelne Bergföhren- und Arvenwälder. Das Offenland enthält sowohl intensiv genutzte Wiesen, als auch Goldhaferwiesen, Kammgras-, Milchkraut- und Borstgrasweiden und in hohen Lagen auch alpine Rasengesellschaften. (www.diemtigtal.ch)

Im Park befinden sich diverse Schutzgebiete, darunter zwei Auengebiete von nationaler Bedeutung, zwei Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung, zwei Hochmoore von

nationaler Bedeutung, sowie mehrere Trockenwiesen und -weiden. Dazu gibt es zwei Naturschutzgebiete, mehrere Trockenstandorte von regionaler und voraussichtlich nationaler Bedeutung, sowie Feuchtgebiete von nationaler Bedeutung. (Anhang 10.1) Der Naturpark Diemtigtal bietet durch seine grosse Spanne von Höhenlagen von der montanen bis zur alpinen Stufe eine grosse Vielfalt an Lebensräumen für Flora und Fauna. Dies trägt entscheidend zur Artenvielfalt bei. (www.diemtigtal.ch)

Fast die Hälfte des Gebiets des Naturpark Diemtigtal gehört zum Gewässerschutzbereich „Au“. Dieser umfasst die „nutzbaren Grundwasservorkommen sowie die zu ihrem Schutz notwendigen Randgebiete“ (Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion Kanton Bern). Dazu gibt es 15 Grundwasserschutzzonen im Einzugsgebiet von gefassten Quellen. Es ist anzunehmen, dass all jene Quellen zur Trinkwasserversorgung genutzt werden. Diese Quellen wurden zum Teil auch in dieser Arbeit kartiert. Das Diemtigtal verfügt über diverse verschiedene Quelltypen, darunter auch seltene Kalksinter-Rheokrenen und eisenhaltige Quellen. Zu Beginn dieser Arbeit wurde die totale Anzahl an Quellen im Naturpark Diemtigtal auf etwa 120 bis 150 geschätzt. Im Laufe der Arbeit wurde jedoch klar, dass es sich um mehr als 330 Quellen handeln muss. Es finden sich viele zu Trinkwasserzwecken oder zur Entwässerung von landwirtschaftlichen Flächen gefasste Quellen aber auch viele naturnahe.

3 Material und Methoden

Als Erstes wurden zur Übersicht und Orientierung, wo sich möglicherweise Quellen befinden könnten, auf der 1:25'000 Landeskarte der swisstopo alle Flussanfänge markiert. Dazu wurde später auch die Gewässerschutzkarte des Kantons Bern konsultiert. Dadurch entstand eine Liste von potentiell beprobaren Quellen, die ungefähr 240 Quellen umfasste.

Im Feld wurden bei jeder Quelle die Koordinaten aufgenommen, sowie Fotos und eine Skizze angefertigt. Die Höhe der Quelle wurde nicht den GPS-Daten entnommen, da das GPS-Gerät nur sehr ungenaue Angaben zur Höhe macht, welche meist einen gravierenden Messfehler enthalten. Daher wurde die Höhe jeweils aus der topographischen Karte mit Massstab 1:25'000 ausgelesen. Zu jeder Quelle wurde der Quellerfassungsbogen (LUBINI ET AL. 2014) ausgefüllt. Der Kartierbogen bewertet allfällige Beeinträchtigungen sowie die Vegetation/Nutzung und die Struktur der Quelle und berechnet einen Wert zwischen 0.6 und 5 (Bewertungsklassen von „naturnah“ über „bedingt quelltypisch“, „mässig“, „geschädigt“ bis zu „stark geschädigt“). Es wurden zudem die abiotischen Parameter Temperatur (°C), elektrische Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH und Sauerstoffgehalt (% und mg/L) gemessen. Dabei wurden mobile Messgeräte (WTW, Wissenschaftlich-Technische Werke, Weilheim, Deutschland) verwendet. Aufgrund technischer Probleme war es nicht immer möglich, alle abiotischen Faktoren zu messen.

Abschliessend wurde jeweils noch eine qualitative faunistische Probe entnommen, wozu eine kleine Weisschale, ein Sieb und eine Pinzette verwendet wurden. Die Tiere wurden in 80 prozentigem Alkohol gesammelt und im Labor so weit möglich bis auf Artniveau bestimmt (Anhang 10.3). Aufgrund der Tatsache, dass viele Tiere zu klein waren, um alle Merkmale zweifelsfrei beurteilen zu können, konnte ein Teil der Tiere nur auf Gattungsniveau bestimmt werden. Eine krenobionte Art wurde hier als Art definiert, die bei der Habitatpräferenz (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 1996) in der Artentabelle einen Wert grösser als 5 erreicht hat oder deren Ökologische Wertezahl ÖWZ (FISCHER, J. 1996) den Höchstwert 16 beträgt. Die Habitatpräferenz wird als Wert zwischen 1 und 10 angegeben.

Für die Auswertung wurden die Programme ArcGIS, Microsoft Excel, SPSS und Primer (CLARKE, K.R. & GORLEY, R.N. 2006) verwendet. Mit ArcGIS wurden alle Quellen auf der 1:25'000 Landeskarte von swisstopo aufgetragen und eine Datentabelle mit den abiotischen Faktoren sowie Kennwerten wie beispielsweise „Fassung“, „Quelltyp“ und „Geologie“ notiert. Mit Excel wurde die Vorlage des Quellerfassungsbogens ausgefüllt. Im Anhang findet sich der leere Bogen zur Ansicht. SPSS wurde zur Erstellung der Boxplots verwendet, Primer (CLARKE & GORLEY 2006) zur Berechnung der nMDS (Non-Metric Multidimensional Scaling) und PCA (Principal Component Analysis). Die PCA wurde durchgeführt, um von allen abiotischen Parametern sowie den verschiedenen anorganischen und organischen

Substrattypen die relevanten Faktoren herauszufiltern. Für die Analyse wurden die Daten zuerst normalisiert, da die Faktoren in unterschiedlichen Einheiten gemessen wurden und die Substratwerte keine Einheit aufweisen. Für die nMDS wurde die Bray-Curtis-Similarity verwendet. Bei allen statistischen Auswertungen der Artzusammensetzungen wurde nur mit reinen presence – absence – Daten gearbeitet, da die Aufnahme der Quellfauna qualitativ war und somit stark durch den Sammelaufwand und durch Selektion beeinflusst sein dürfte.

Die Spanne der Höhenstufen, auf welchen Quellen kartiert wurden, reicht von 730 bis 2030 m ü. M. Sie wurde in drei Bereiche aufgeteilt: Der unterste Bereich reicht von 730 bis 1000 Meter und enthält viele Waldflächen. Der Bereich von 1000 bis 1800 m ü. M ist mehrheitlich von Alpweiden bedeckt. Darüber befindet sich die alpine Zone ab 1800 m ü. M.

4 Resultate

4.1 Die Quellen

Insgesamt wurden 157 Quellen kartiert. Davon waren 20 komplett gefasst, sodass kein oberflächlicher Abfluss mehr vorhanden war, wodurch auch keine Kartierung und Beprobung möglich war. Von den 137 Quellen, bei denen eine Beprobung durchgeführt werden konnte, waren 36 gefasst, davon 22 mit einer Brunnenstube mit Überlauf und 14 nur mit einem Rohr oder einer Rinne (Abb. 4). 101 Quellen waren naturnah und damit nicht gefasst. Dies entspricht einem Anteil von etwa 64 Prozent aller Quellen. In der faunistischen Auswertung wird der Fokus vor allem auf diese Quellen gelegt werden. Deutlich am häufigsten sind rheokrene Quellen: Es wurden 63 Rheokrenen sowie fünf seltene Kalksinter-Rheokrenen kartiert, dazu 25 Helokrenen und 7 Helokrenen, welche ebenfalls Kalksinter aufwiesen. Zudem wurde auf der Grimmialp eine stark eisenhaltige Limnokrene gefunden (Abb. 4). Die gefundenen Quellen finden sich auf allen Höhenstufen zwischen 730 und 2030 m ü. M (Abb. 2). Auf der Höhe von ca. 1300 m ü. M finden sich auffälligerweise kaum Quellen.

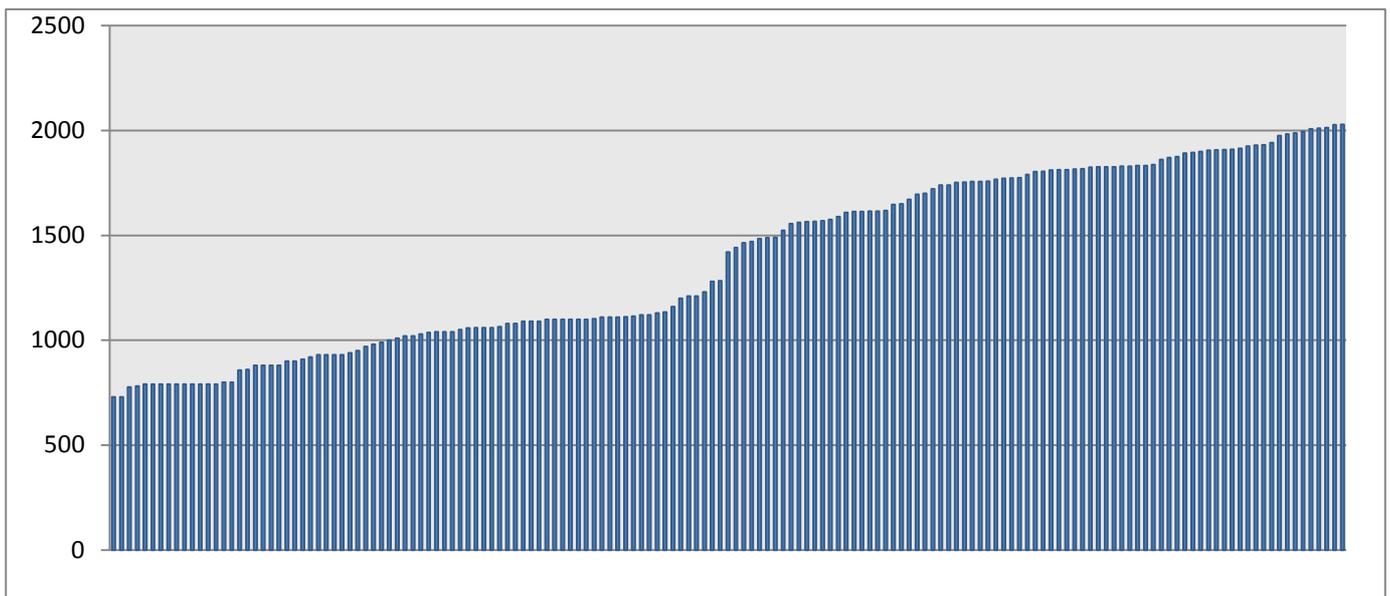


Abbildung 2: Position der kartierten Quellen im Höhenprofil. Jeder Strich stellt eine Quelle und seine Lage im Höhenprofil dar.

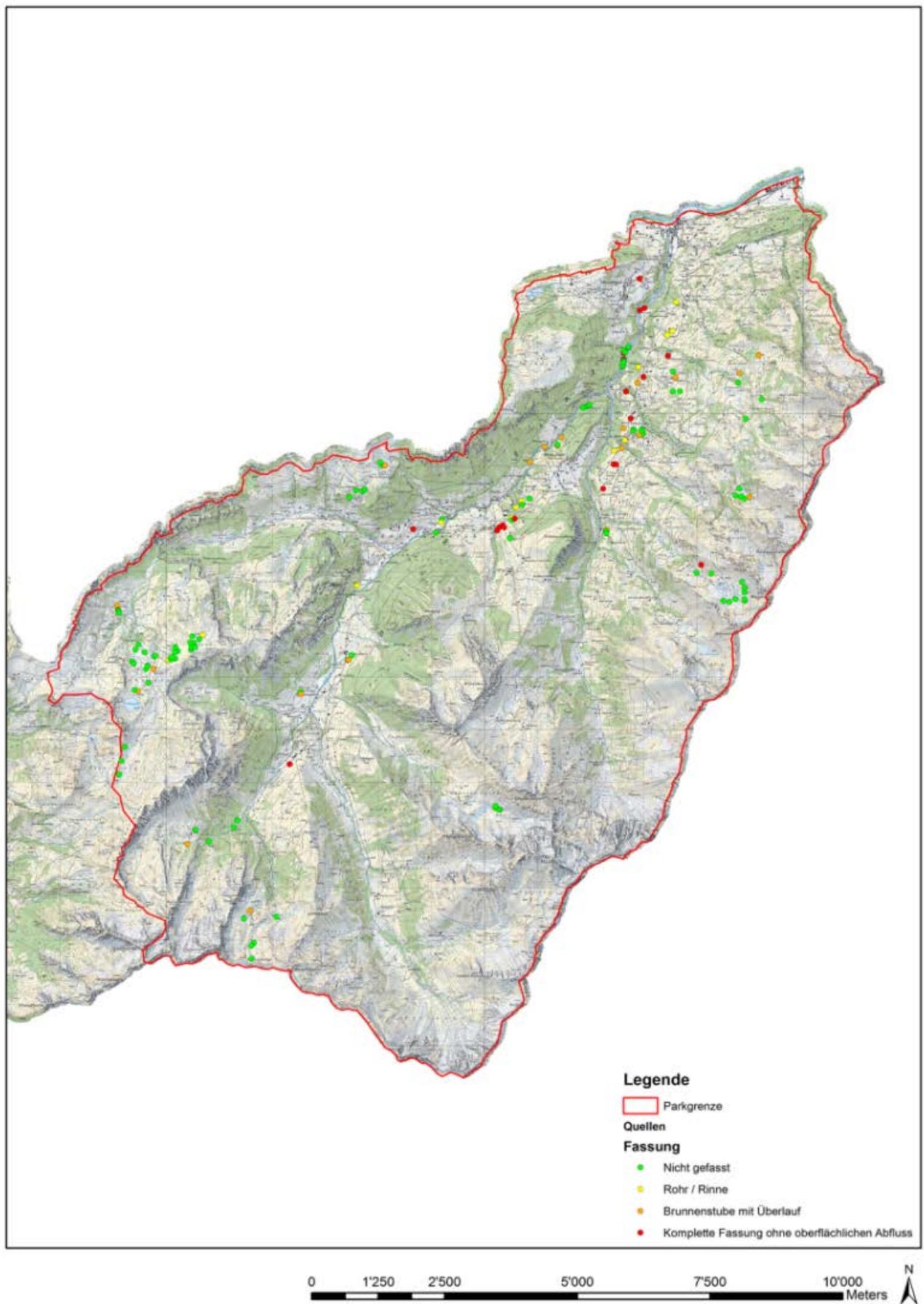


Abbildung 3: Darstellung der kartierten Quellen unterschieden nach Fassung.

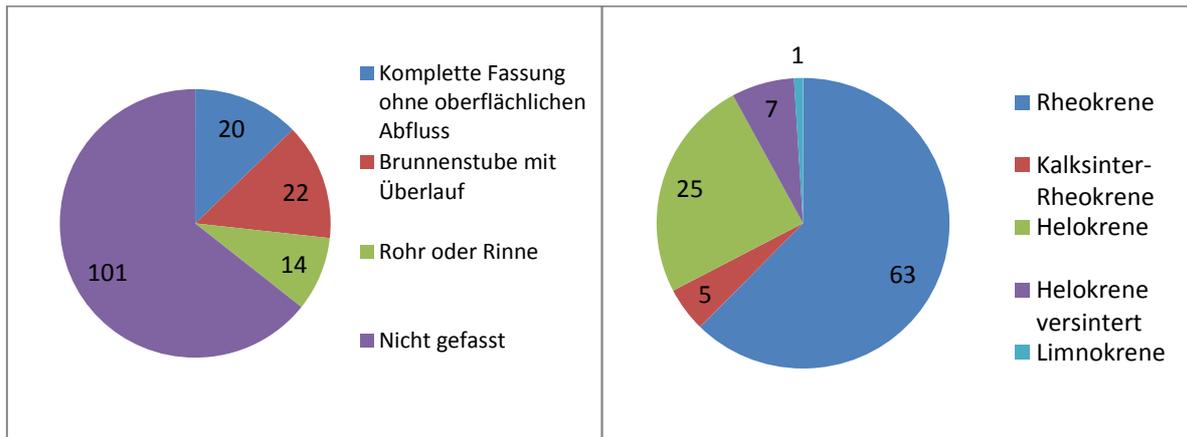


Abbildung 4: Links: Verschiedene Fassungen der Quellen im Naturpark. Totale Anzahl kartierter Quellen: 157. Rechts: Verschiedene Quelltypen der kartierten nicht gefassten Quellen. Totale Anzahl kartierter nicht gefasster Quellen: 101.

Die prozentualen Anteile der unterschiedlichen Fassungen der Quellen im Verlauf der Höhe zeigen, dass mit zunehmender Höhe mehr naturnahe Quellen kartiert wurden, während der Anteil der gefassten Quellen im mittleren Bereich etwas zunimmt, um im obersten Bereich fast ganz zu verschwinden (Abb. 5). Betrachtet man die prozentualen Werte, so wird deutlich, dass die nicht gefassten Quellen unter 1000 m ü. M. einen Anteil von knapp 43% erreichen. Dieser Wert steigt zwischen 1000 und 1800 Metern auf 61% und erreicht über 1800 Metern gar 90 Prozent. Die unterschiedlichen Fassungen sinken mit steigender Höhe von 17 bis 20 Prozent auf 2.5 bis 5 Prozent.

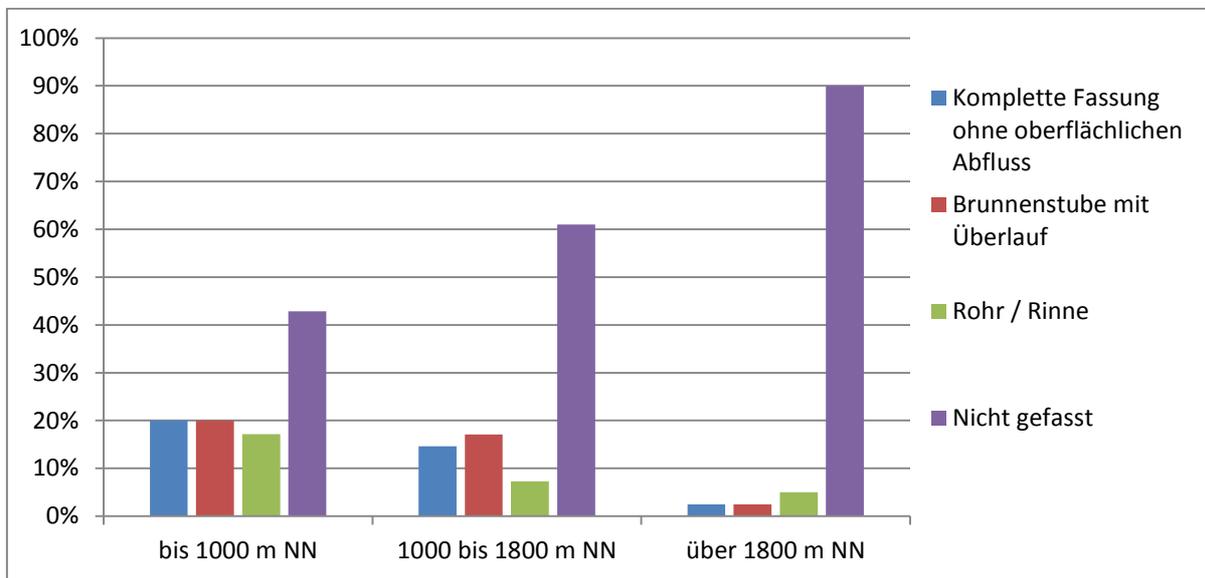


Abbildung 5: Prozentualer Anteil der Fassungen im Höhenverlauf. Totale Anzahl Quellen: bis 1000 m NN: 35; 1000 – 1800 m NN: 82, über 1800 m NN: 40.

4.2 Abiotische Parameter

Bei der Temperatur beträgt der Mittelwert 6.9 °C mit einer Standardabweichung von 2.6. Die Sauerstoffsättigung beträgt im Schnitt 84.8% oder 8.7 mg/L. Die elektrische Leitfähigkeit beträgt im Schnitt 792 µS/cm, der pH beträgt im Durchschnitt 7.6. Grundsätzlich ist die Streuung bei allen gemessenen abiotischen Daten recht gross. Die Daten wurden über den Zeitraum von Anfang April bis Ende August gesammelt.

Tabelle 1: Abiotische Parameter

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Temperatur [°C]	134	1.9	22.0	6.9	2.6
O₂ [%]	127	17.9	115.2	84.8	16.2
O₂ [mg/L]	127	1.8	12.2	8.7	1.8
Elektr. Leitfähigkeit [µS/cm]	136	16	4490	792	661
pH	122	4.4	9.1	7.6	0.7

Die Resultate der PCA (Principal Component Analysis) zu den abiotischen Faktoren und den Substrattypen zeigen, dass die ersten fünf Komponenten insgesamt 57.2% der Varianz erklären. Die erste Komponente erklärt 19%, die zweite 13.6% und die dritte 10.3% (Tab. 2).

In der PCA kann man erkennen, dass vor allem die helokrenen Quellen stark durch die organischen Substrate wie beispielsweise die Detritusaufgabe beeinflusst werden. Bei vielen Helokrenen scheint auch der Sauerstoffgehalt eine nicht zu vernachlässigende Rolle zu spielen. Die einzige Limnokrene scheint sehr stark durch die Faktoren Temperatur und Detritusaufgabe beeinflusst zu sein (Abb. 6).

Tabelle 2: Eigenwerte und Varianz der PCA. Werte der ersten fünf Hauptkomponenten (PC)

PC	Eigenwert	% Varianz	Kumulierte % Varianz
1	4.19	19.0	19.0
2	2.98	13.6	32.6
3	2.26	10.3	42.9
4	1.8	8.2	51.1
5	1.35	6.1	57.2

Auf der PC1 (principal component 1) hat hauptsächlich die Substratvariable Detritus eine hohe Ladung in positiver Richtung (0.298) (Tab. 3). In der negativen Richtung dominieren weitere organische Substrate wie Totholz (-0.402), durchspülte Wurzelräume (-0.351), Falllaub (-0.318) und Geniste (0.363). Die PC1 weist vor allem bei den Quellen Q263 mit -5.46, Q264 (-5.11), Q265 (-5.49) und Q268 (-5.05) einen hohen negativen Score auf.

Auf der PC2 dominieren auf der positiven Achse die elektrische Leitfähigkeit (0.293) und die Temperatur (0.258) sowie ferner die Geniste (0.244). Auf der negativen Achse dominiert der Sauerstoffgehalt (-0.488 für O₂ in Prozent respektive -0.487 in mg/Liter). Besonders dominieren diese Faktoren bei den Quellen Q242 (5.19) und Q264 (5.91). Ebenfalls wichtig sind sie bei der Limnokrene Q158 (4.62) sowie bei den Quellen Q28 (4.36) und Q151 (4.07).

Auf der PC3 weisen die anorganischen Substrate Blöcke (0.429), Felsen (0.368) und Eisenocker (0.348) die stärksten positiven Ladungen auf. In der negativen Richtung dominieren die Temperatur (-0.259) sowie Ton & Schluff (-0.254), ferner Fallaub (-0.221) und Sand (-0.213). Diese Faktoren dominieren die Quelle Q155 mit einem Wert von 4.48, sowie die Q158 (4.2) und die Q264 (3.62).

Tabelle 3: Komponentenmatrix der PCA. Hohe Ladungen sind fett markiert. (Rot = negative Ladung, grün = positive Ladung)

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Temperatur	0.029	0.258	-0.259	-0.190	0.088
O ₂ in Prozent	0.005	-0.488	-0.151	0.199	-0.108
O ₂ in mg/Liter	-0.039	-0.487	-0.113	0.236	-0.132
Elektrische Leitfähigkeit	-0.168	0.293	0.107	-0.174	-0.194
pH	0.046	-0.076	-0.014	0.191	0.077
Moospolster	-0.113	-0.013	0.132	0.451	-0.166
Durchspülte Wurzelräume	-0.351	0.143	-0.102	0.069	0.084
Fallaub	-0.318	0.113	-0.221	0.167	-0.162
Geniste	-0.363	0.244	-0.006	0.084	0.065
Totholz	-0.402	0.131	-0.150	0.098	0.000
Detritus	0.298	0.136	-0.087	0.046	-0.021
Faulschlamm	0.033	0.031	-0.051	-0.060	-0.054
Vegetation	-0.004	-0.008	-0.118	0.291	0.531
Ton, Schluff	0.063	-0.051	-0.254	-0.325	0.031
Sand	-0.047	-0.168	-0.213	-0.314	-0.299
Feinkies, Kies und Grus	-0.256	-0.266	-0.107	-0.357	0.096
Mittel- und Grobkies	-0.277	-0.265	0.034	-0.300	0.270
Steine	-0.240	-0.232	0.320	-0.122	0.154
Blöcke	-0.186	-0.096	0.429	-0.006	-0.042
Felsen	-0.139	0.036	0.368	-0.006	0.051
Kalksinter	-0.202	-0.021	-0.310	0.109	-0.395
Eisenocker	0.044	0.022	0.348	-0.105	-0.462

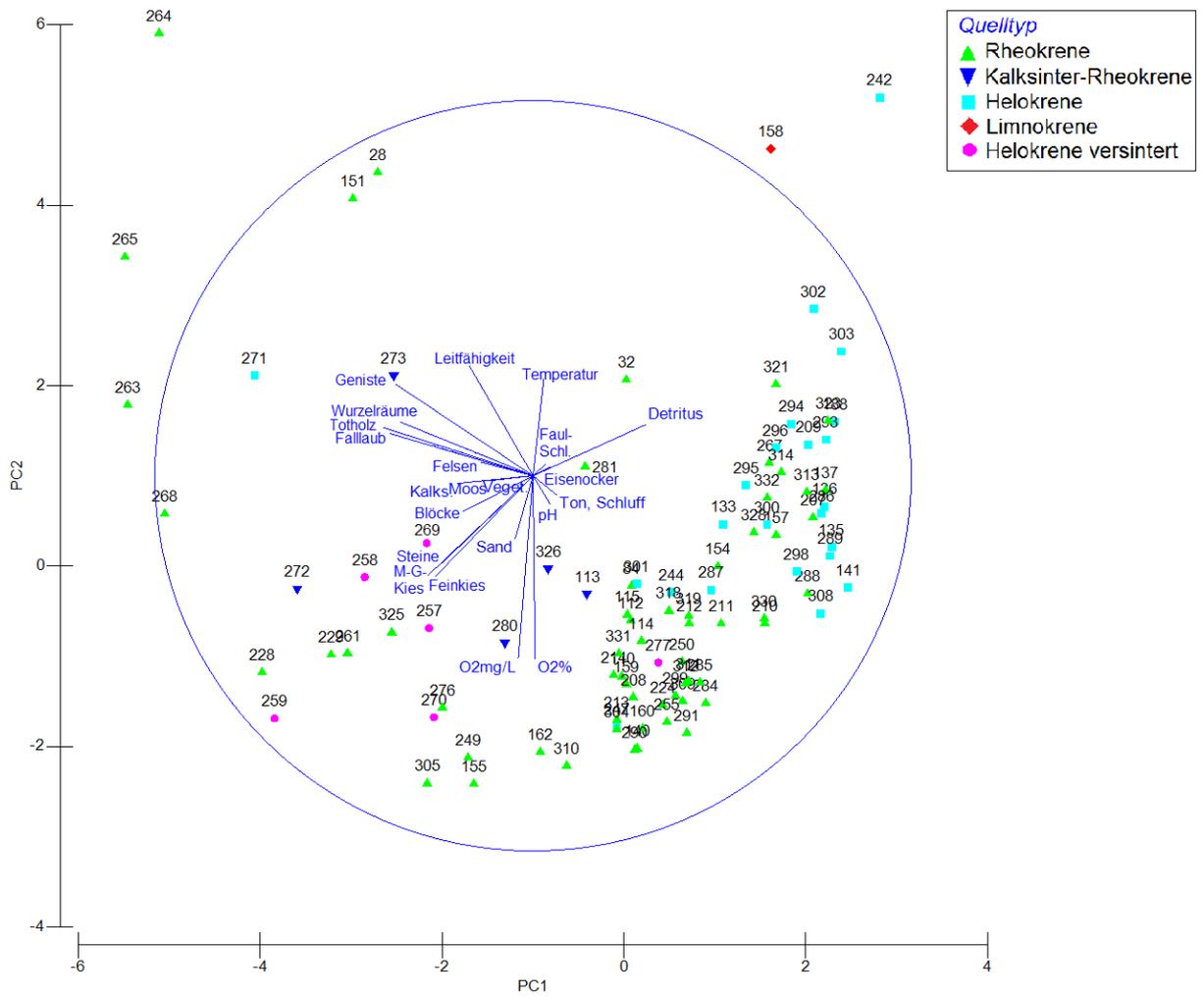


Abbildung 6: PCA der abiotischen Faktoren und Substrattypen.

4.3 Ergebnisse Strukturelle Bewertung nach LUBINI ET AL. (2014)

Der Bewertungsbogen dient der Kategorisierung der Qualität von Struktur und Substrat einer Quelle. Betrachtet man zunächst das Gesamtergebnis der Quellen, so wird deutlich, dass 47.4%, also fast die Hälfte der kartierten Quellen als naturnah bewertet werden kann. Ein Viertel der Quellen (25.9%) erhält immerhin die Bewertung „bedingt quelltypisch“. Weitere 18.5 Prozent wurden als „mässig“ eingestuft, die restlichen 8.1% als geschädigt.

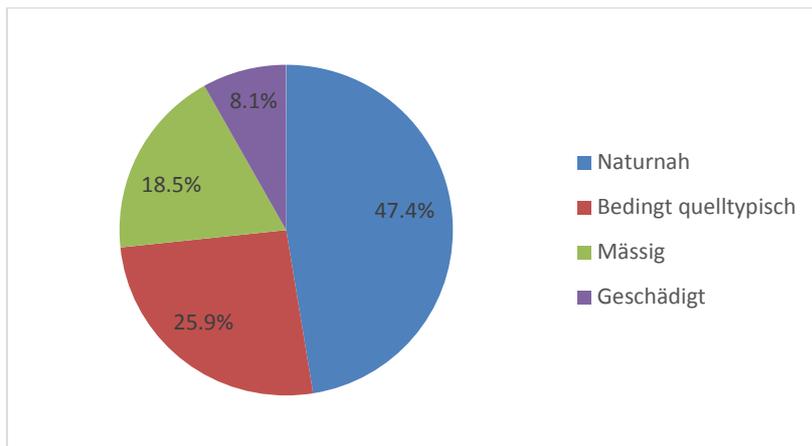


Abbildung 7: Anteil der verschiedenen Strukturgütern in Prozent. Totale Anzahl bewerteter Quellen: 135

Die Vegetation und Landnutzung wurde im Quellbach, am Quellufer, im Quellbereich, im Umfeld sowie im Einzugsgebiet notiert. Das Umfeld schliesst sich aussen länglich oval um den Quellbereich an und reicht etwas weiter als der Kronenradius eines grossen Baumes, entsprechend etwa 15 Meter (LUBINI ET AL. 2014). Für jede Quelle können mehrere Vegetationen und Nutzungen ausgewählt werden, welche keine Gewichtung erhalten.

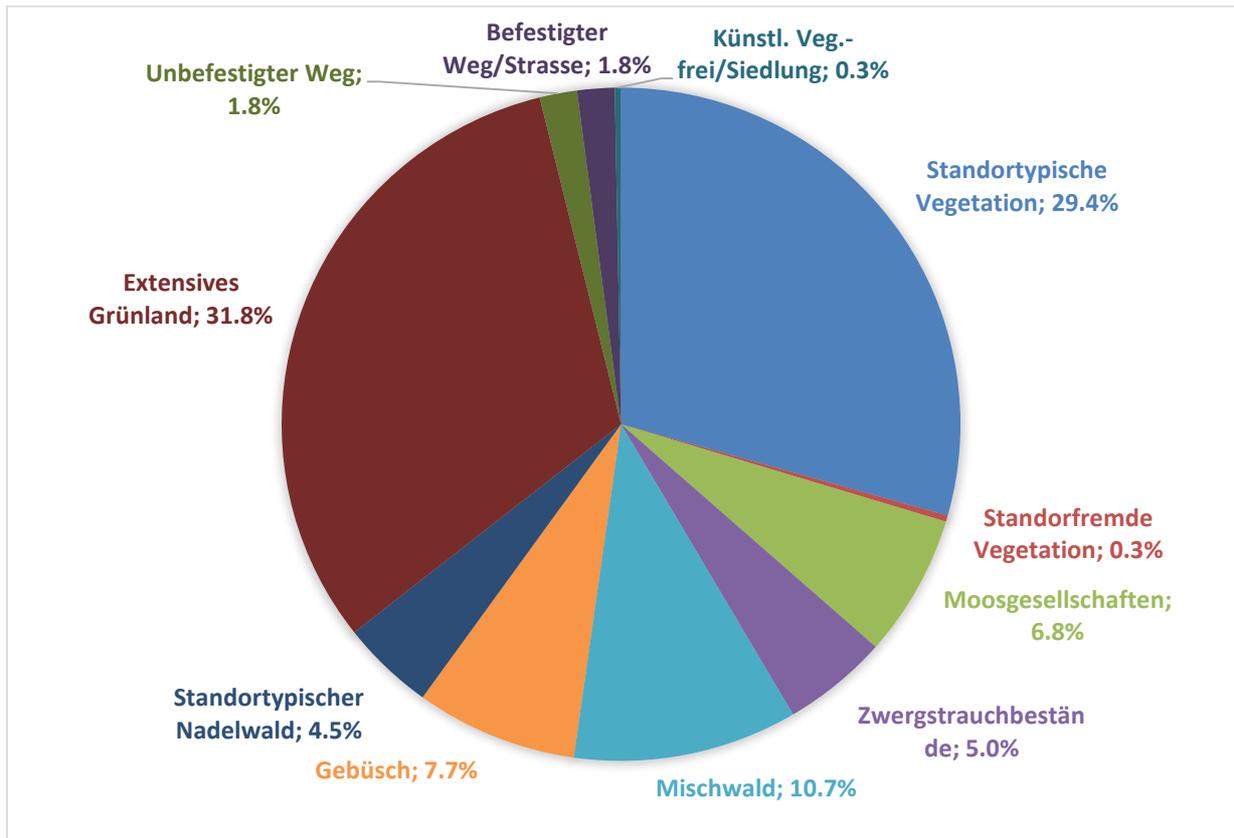


Abbildung 8: Prozentualer Anteil der im Umfeld der Quellen auftretenden Vegetationsarten und Landnutzungen

Die am häufigsten genannten Vegetationstypen sind mit 31.8% das extensive Grünland, sowie mit 29.4% die standorttypische Vegetation. Im Umfeld von 10.7% der Quellen befindet sich Mischwald. 7.7% der Quellen haben Gebüsche in ihrem Umfeld, 6.8% Moosgesellschaften. 5% der Quellen befinden sich im Umfeld von Zwergstrauchbeständen. 4.5% aller Quellen sind von standorttypischem Nadelwald umgeben. Jeweils unter 2% aller Quellen befinden sich im Umfeld von standortfremder Vegetation, unbefestigten oder befestigten Wegen sowie künstlich vegetationsfreiem Gebiet wie zum Beispiel Siedlungen.

Die Strukturvielfalt in Form der Anzahl gefundener Substrate pro Quelle wurde anhand einer nMDS-Analyse auf ihren Einfluss auf die Artenzusammensetzung des Makrozoobenthos untersucht, es wurde jedoch kein statistisch signifikanter Zusammenhang festgestellt. Ebenso wurden die Sommerbeschattung, allfällige Trittschäden sowie abgelagerte Abfälle behandelt. Es wurde jeweils kein Zusammenhang mit der Artenzusammensetzung gefunden.

4.4 Quellfauna

Bei der qualitativen Aufnahme der Fauna wurden insgesamt 1177 Individuen gesammelt, welche zu 102 verschiedenen Taxa gehören. Die individuenstärksten Taxa waren: *Crenobia alpina* (Dana, 1766) mit 99 Individuen, welche in 45 verschiedenen Quellen gefunden wurden, die Muschelgattung *Pisidium* spp. mit 53 Individuen und *Gammarus fossarum* (Koch, 1835) mit 59 Individuen. Bei den Ephemeroptera waren *Baetis* sp. mit 27 Individuen und *Baetis alpinus* (Pictet, 1843) mit 12 Individuen dominierend. Insgesamt wurden 6 Ephemeroptera-Taxa gefunden, wovon 3 bis auf Artniveau bestimmt werden konnten. Bei den Plecoptera sind *Nemoura* spp. mit 91 Individuen, sowie *Nemurella pictetii* (Klapalek, 1900) mit 118 Individuen und *Protonemoura* spp. mit 116 Individuen am häufigsten. Es wurden 19 Steinfliegentaxa gefunden, wobei 12 bis auf Artniveau bestimmt werden konnten. Die individuenstärksten Trichopteren-Taxa sind die nicht weiter bestimmten Limnephiliden mit 40 Individuen, *Drusus monticola* (McLachlan, 1876) mit 30 Individuen und *Pseudopsilopteryx zimmeri* (McLachlan, 1876) mit 31 Individuen. Insgesamt wurden 37 Trichoptera-Taxa gefunden, wobei 31 bis zur Art bestimmt werden konnten. Bei den Dipteren sind die Chironomidae mit 123 Individuen eindeutig das häufigste Taxon.

Bei der Interpretation sollte jedoch im Auge behalten werden, dass die Faunaproben qualitativ gemacht wurden, sodass die Individuenzahl keine absolute Aussage über die Häufigkeit der Art machen kann. Daher sind auch in der Tabelle (Anhang) jeweils nur die presence – absence – Daten vermerkt, also ob ein Taxon in einer Quelle gefunden wurde (+), oder eben nicht (-).

Es wurden zwölf eindeutig krenobionte Taxa gefunden (Tab. 4). Hauptsächlich handelt es sich um Arten der Ordnung Trichoptera, davon 5 aus der Familie der Limnephilidae. Der Strudelwurm *Crenobia alpina* wurde in 45 Quellen gefunden. Das einzige weitere quelltypische Taxon, das nicht zur Ordnung der Trichoptera gehört, ist die Gattung *Pedicia* sp. aus der Ordnung der Diptera. Gut die Hälfte der als krenobiont identifizierten Arten wurde unter anderem auch in gefassten Quellen gefunden. Vier davon sogar in Quellen, die eine Brunnenstube mit Überlauf aufwiesen, welche den schwerwiegendsten Eingriff ins Quellhabitat darstellt, bei welchem noch oberflächlich Quellwasser abfließt. Daher wurden hier, obwohl grundsätzlich der Fokus auf die naturnahen Quellen gesetzt wurde, auch die gefassten Quellen berücksichtigt.

Ferner wurden 9 weitere krenophile Taxa gefunden, welche die Ökologische Wertezahl (ÖWZ) 8 aufweisen. Sie sind nicht zwingend auf den Lebensraum Quelle angewiesen und haben ihren Verbreitungsschwerpunkt im Quellbach oder Grundwasser. Dennoch kommen sie im eigentlichen Quellhabitat vor. Es handelt sich um die Steinfliegenarten *Leuctra nigra* (Olivier, 1811), *Nemoura marginata* (Pictet, 1836), *Nemurella pictetii* und *Protonemoura risi* (Jacobson & Bianchi, 1905) sowie die Gattung *Protonemoura* spp. und um die Köcherfliegenarten *Lithax niger* (Hagen, 1859), *Drusus monticola*, *Pseudopsilopteryx zimmeri* und *Plectrocnemia brevis* (McLachlan, 1871).

Tabelle 4: Krenobionte Arten

Art	Quelle	Quellentyp oder Fassung	Höhe in m NN
<i>Crenobia alpina</i> (Dana, 1766)	div. (45)	div.	div.
<i>Lithax niger</i> (Hagen, 1859)	Q029	Brunnenstube mit Überlauf, alt	980
<i>Consoerophylax consors</i> (McLachlan, 1876)	Q276 Q304 Q305	Rheokrene Rheokrene Rheokrene	1555 1752 1740
<i>Drusus discolor</i> (Rambur, 1842)	Q309	Rheokrene	1650
<i>Limnephilus centralis</i> (Curtis 1834)	Q133 Q242	Helokrene Helokrene	1827 1060
<i>Micropterna lateralis</i> (Stephens, 1837)	Q330 Q225	Helokrene Brunnenstube mit Überlauf, alt	1813 1700
<i>Parachiona picicornis</i> (Pictet, 1834)	Q188 Q244 Q292 Q306	Helokrene Helokrene Rohr / Rinne, alt Brunnenstube mit Überlauf, alt	1060 1200 1905 1772
<i>Potamophylax rotundipennis</i> (Brauer, 1857)	Q187	Rohr / Rinne, alt	1040
<i>Wormaldia occipitalis</i> (Pictet, 1834)	Q270	Helokrene versintert	1100
<i>Plectrocnemia geniculata</i> (McLachlan, 1871)	Q137	Rheokrene	1722
<i>Rhyacophila laevis</i> (Pictet, 1834)	Q232	Brunnenstube mit Überlauf, neu	1523
<i>Pedicia</i> sp.	Q292	Rohr / Rinne, alt	1905

Die Köcherfliegenarten *Potamophylax rotundipennis* (Brauer, 1857) und *Rhyacophila laevis* (Pictet, 1834) sind im Gebiet bisher noch nicht gefunden worden. *Potamophylax rotundipennis* weist nur zwei Funde nach dem Jahr 2000 auf, nämlich nördlich des Vierwaldstättersees sowie in der Nähe von Porrentruy im Jura (CSCF Verbreitungskarten). *Rhyacophila laevis* wurde nach dem Jahr 2000 an zwei Stellen nordöstlich des Neuenburgersees gefunden, sowie einmal im Unterwallis bei Martigny und bei Altdorf im Kanton Uri. (CSCF Verbreitungskarten)

Insgesamt wurden 12 Taxa gefunden, welche in der Roten Liste der EPT-Taxa von LUBINI ET AL. (2013) aufgelistet sind. Es handelt sich um 10 potentiell gefährdete Arten, eine stark gefährdete, sowie eine vom Aussterben bedrohte Art. Bei den potentiell gefährdeten Arten handelt es sich um 10 Köcherfliegenarten: *Micrasema morosum* (McLachlan, 1868), *Conсорophylax consors* (McLachlan, 1880), *Drusus monticola*, *Limnephilus coenosus* (Curtis, 1834), *Micropterna lateralis* (Stephens, 1837), *Parachiona picicornis* (Pictet, 1834), *Potamophylax nigricornis* (Pictet, 1834), *Rhadicoleptus alpestris* (Kolenati, 1848), *Plectrocnemia brevis* und *Plectrocnemia geniculata* (McLachlan, 1871). *Micrasema morosum* bevorzugt kleine Quellabflüsse mit bemoostem Untergrund (LUBINI-FERLIN & VICENTINI 2005). Bei der stark gefährdeten Arten handelt es sich um die Köcherfliegenart *Potamophylax rotundipennis*.

Die Anzahl gefundener Arten im Makrozoobenthos der verschiedenen Quellen wurde hier in einem Boxplot dargestellt, aufgeteilt nach dem Ergebnis der Strukturgütebewertung nach LUBINI ET AL. (2014). Die Streuung der Anzahl Arten nimmt mit abnehmendem Gesamtergebnis der Strukturbewertung ab. Während in naturnahen und bedingt quelltypischen Quellen bis zu 10 Arten gefunden werden konnten, wurden in mässig geschädigten Quellen nie mehr als 8 verschiedene Arten gefunden und in geschädigten Quellen nicht mehr als 6 verschiedene Arten. In den Quellen mit einem Gesamtergebnis der Strukturbewertung von „naturnah“, „bedingt quelltypisch“ und „mässig geschädigt“ bewegen sich jeweils 50% der Quellen bei 3 bis 6 Arten pro Quelle, in geschädigten Quellen sind es nur 2 bis 4 Arten.

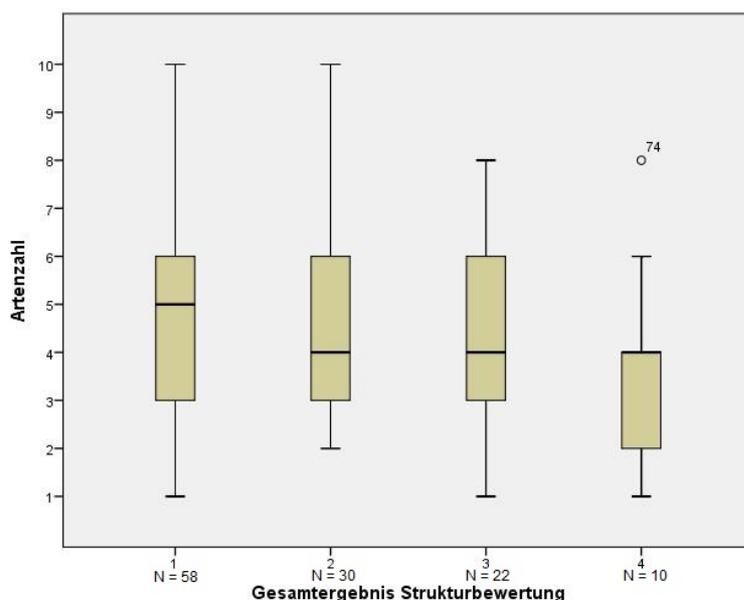


Abbildung 9: Die Artenzahlen der Quellen aufgeteilt nach der Strukturgüte. 1 = naturnah; 2 = bedingt quelltypisch; 3 = mässig; 4 = geschädigt

Die Ähnlichkeit der Artenzusammensetzung der verschiedenen gut bewerteten Quellen wurde anhand einer nicht-metrischen Multidimensionalen Skalierung (nMDS) berechnet. Es ist auf den ersten Blick keine auffallende Unterschiedlichkeit in den Zusammensetzungen zu erkennen. Einzig die geschädigten Quellen (4 – rot) scheinen eine etwas geringere Diversität aufzuzeigen, da sich anders wie bei den besser bewerteten Quellen die Punkte nicht über die gesamte Datenwolke erstrecken. Um genauere Aussagen über die unterschiedlichen Artenzusammensetzungen zu machen wurde zusätzlich wieder auch eine ANOSIM durchgeführt (Tab. 5). Diese ergab, dass sich zwar die Gruppen 2 „bedingt quelltypisch“ und 4 „geschädigt“ am stärksten unterscheiden, aber auch, dass auch zwischen diesen beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied in der Artenzusammensetzung besteht ($p=0.049$).

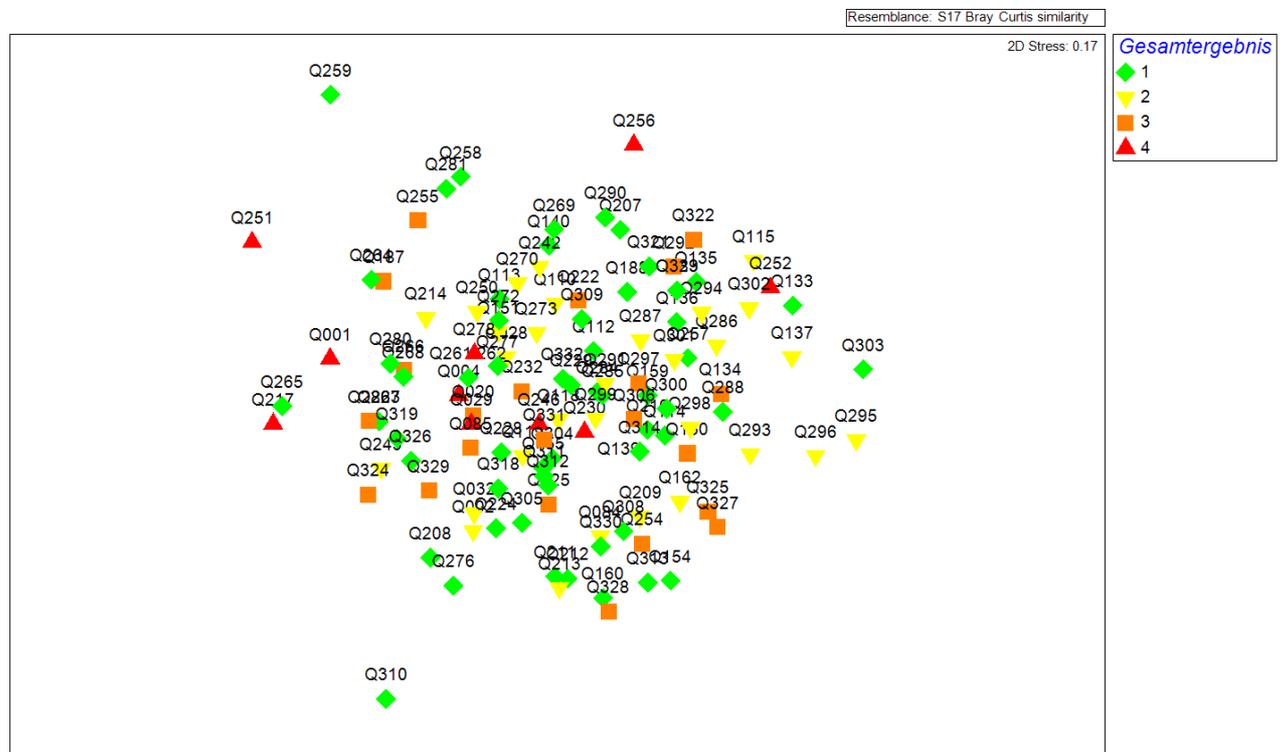


Abbildung 10: nMDS der Artenzusammensetzung mit dem Faktor Gesamtergebnis der Bewertung der Quellstruktur. 1 = naturnah; 2 = bedingt quelltypisch; 3 = mässig; 4 = geschädigt

Tabelle 5: Output der ANOSIM Ähnlichkeitsanalyse

Gruppen	R Statistik	Signifikanzlevel %
4, 2	0.108	4.9
4, 3	0.053	18.4
4, 1	0.065	17.4
2, 3	0.018	24.3
2, 1	-0.012	62.5
3, 1	0.01	40

Um herauszufinden, ob sich die Verteilung der Artenzahlen im Höhenverlauf verändert, wurden die gefundenen Artenzahlen der einzelnen Quellen anhand der Höhenstufen zusammengefasst (Abb. 11). Man erkennt, dass auf der mittleren Höhenstufe die grösste Streuung der Artenzahlen herrscht. Der Median ist bei der untersten Höhenstufe 5, bei den oberen beiden 4. Dennoch ist die Streuung bei den oberen Höhenstufen viel grösser. Gleichzeitig ist auch die Anzahl Quellen auf den oberen Höhenstufen deutlich höher.

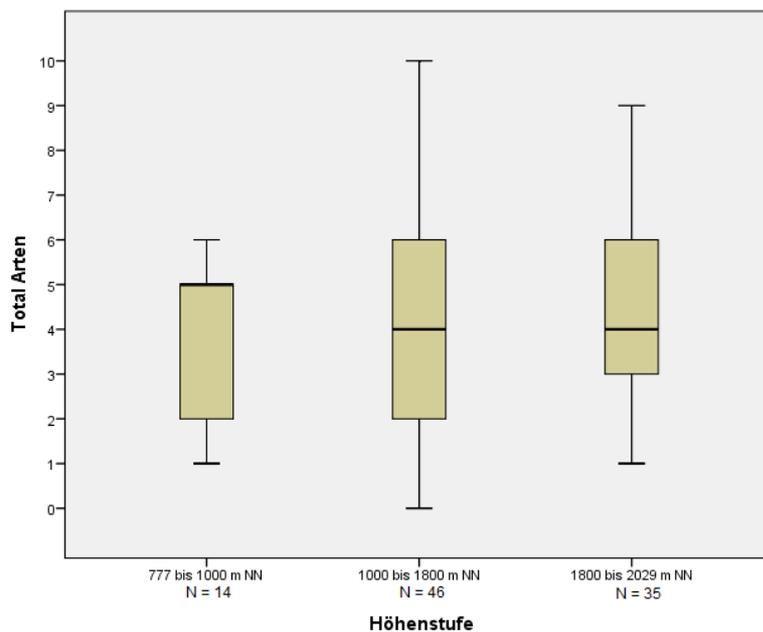


Abbildung 11: Die Artenzahlen der Quellen aufgeteilt nach der Höhenstufe.

Die Ähnlichkeit der Artenzusammensetzung der verschiedenen Höhenstufen wurde analog zu den Strukturgütern mit einer nMDS dargestellt. Der erste Blick auf die nMDS lässt keine grossen Unterschiede erkennen. Dennoch kann man sagen, dass die Arten der untersten Höhenstufe von 777 bis 1000 m ü. M. sich weniger mit den anderen beiden Höhenstufen überschneiden, als jene sich miteinander überschneiden. Die ANOSIM Ähnlichkeitsanalyse ergab, dass sich die Höhenstufen „1 - unterhalb 1000 m ü. M“ und „2 - zwischen 1000 und 1800 m ü. M“, sowie die Höhenstufen „1 - unterhalb 1000 m ü. M“ und „3 - über 1800 m ü. M“ signifikant voneinander unterscheiden (1,2: $R = 0.198$, $p = 0.002$; 1,3: $R = 0.457$, $p = 0.001$). Zwischen den Höhenstufen „2 - zwischen 1000 und 1800 m ü. M“ und „3 - über 1800 m ü. M“ besteht kein signifikanter Unterschied in der Artenzusammensetzung (2,3: $R = 0.037$, $p = 0.061$).

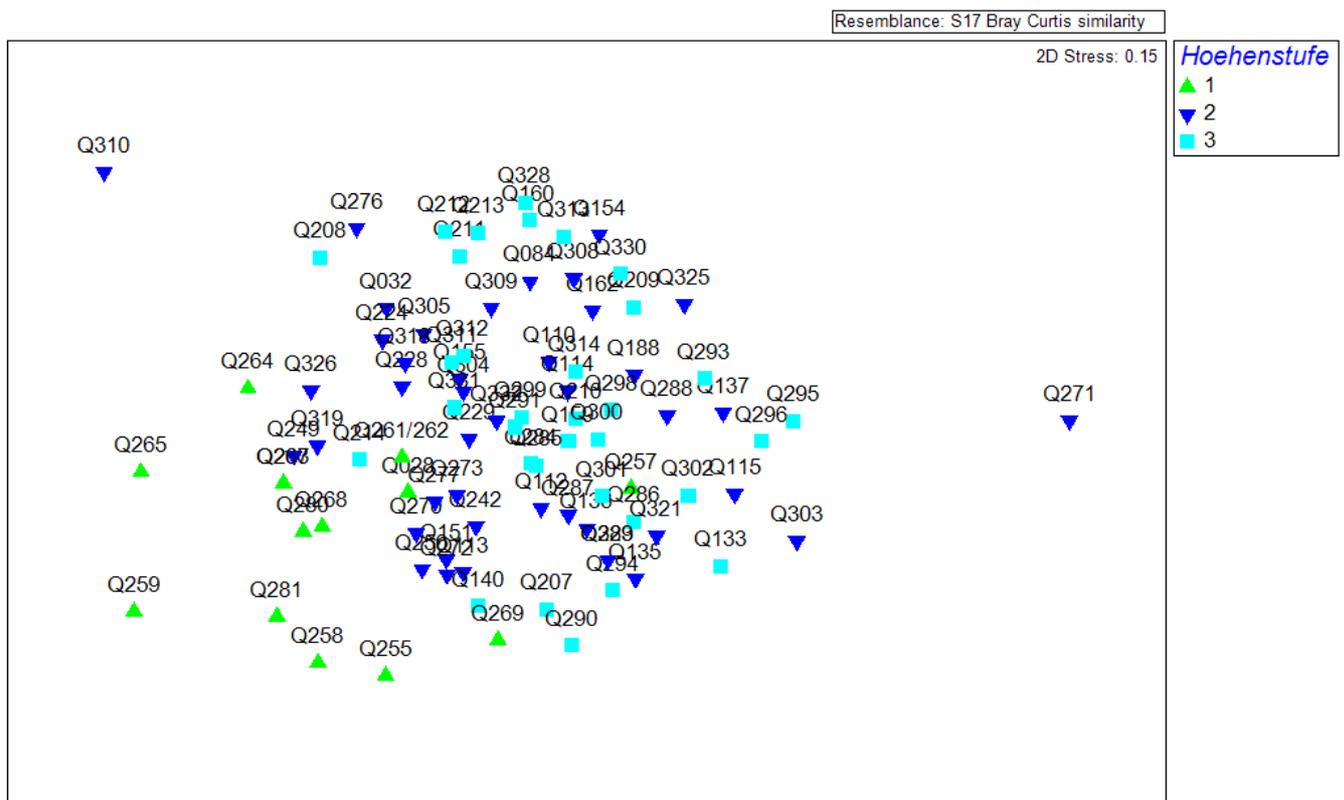


Abbildung 12: nMDS der Artenzusammensetzung mit dem Faktor Höhenstufe. 1 = 777 bis 1000 m ü. M, 2 = 1000 bis 1800 m ü. M, 3 = 1800 bis 2029 m ü. M

Die Aufspaltung der Anzahl gefundener Arten nach dem Quelltyp zeigt, dass die Rheokrenen die grösste Streuung zeigen, allerdings ist auch die Anzahl Quellen bei den Rheokrenen mit Abstand am grössten. 50 Prozent der Rheokrenen zeigen zwischen zwei und sechs unterschiedlichen Arten. Die Hälfte der Kalksinter-Rheokrenen zeigen zwischen vier und sechs Arten, der höchste Wert ist sieben. Bei den Helokrenen bewegen sich 50 Prozent der Quellen zwischen zwei und vier Arten, bei den versinterten helokrenen Quellen bewegen sich 50% zwischen zwei und fünf Arten. Die einzige Limnokrene zeigt nur eine einzige Art. Der Median liegt bei Rheokrenen und versinterten Helokrenen bei 4, bei gewöhnlichen Helokrenen bei 3, bei den Kalksinter-Rheokrenen bei 6. Die versinterten Helokrenen zeigen eine auffällig hohe Streuung, obwohl die Anzahl solcher Quellen nur N = 7 beträgt.

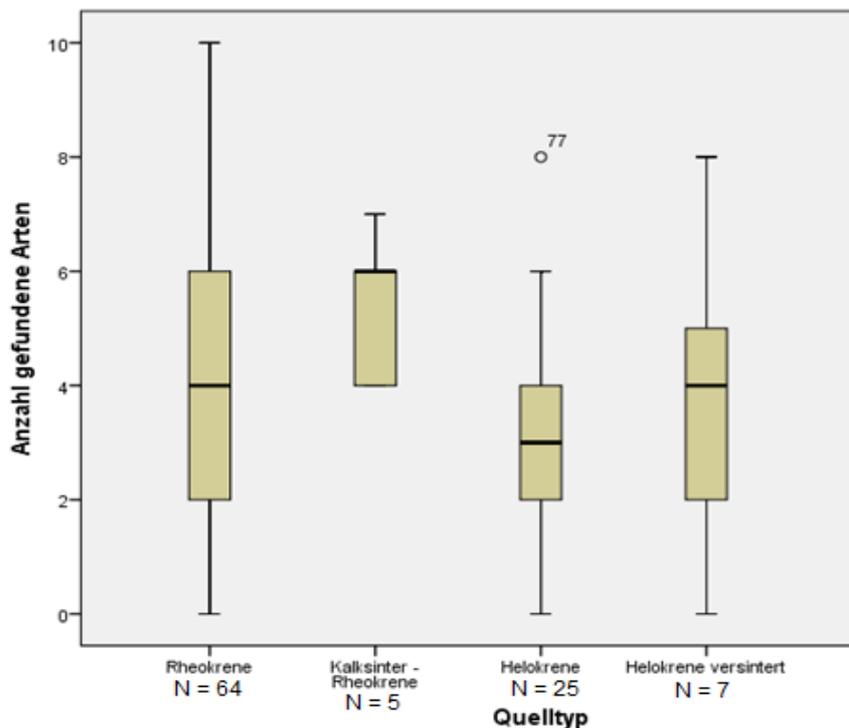


Abbildung 13: Anzahl gefundene Arten pro Quelle aufgeteilt nach dem Quelltyp.

Die Ähnlichkeit der Artenzusammensetzung der verschiedenen Quelltypen wurde wieder anhand einer nicht-metrischen Multidimensionalen Skalierung (nMDS) berechnet. Es sind keine signifikanten Unterschiede erkennbar, obwohl innerhalb des Clusters eine gewisse Aufteilung erkennbar ist. So scheinen Helokrene und Kalksinter-Rheokrene bzw. versinterte Helokrenen kaum Überschneidungen in der Artzusammensetzung zu haben. Rheokrene Quellen scheinen das breiteste Spektrum an Arten zu haben.

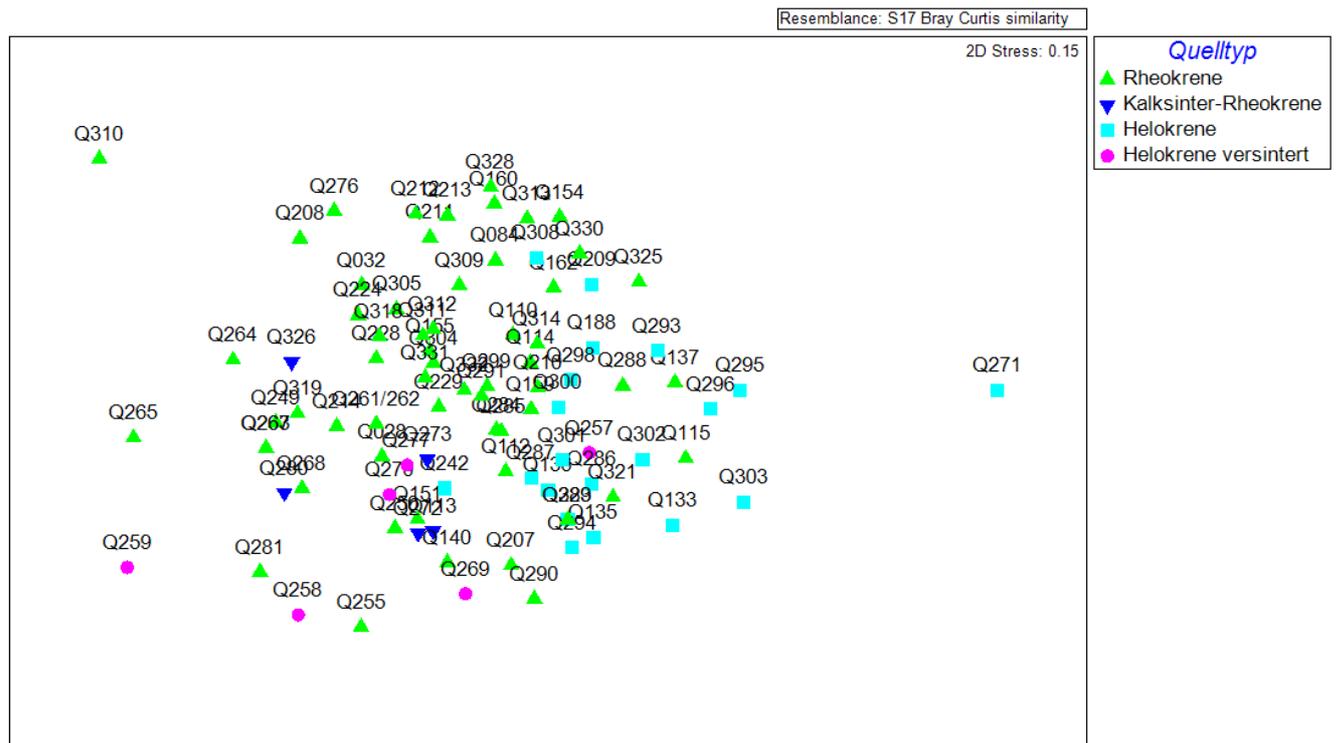


Abbildung 14: nMDS der Artenzusammensetzung mit dem Faktor Quelltyp

Tabelle 6: Output der ANOSIM Ähnlichkeitsanalyse.

Gruppen	R Statistik	Signifikanzlevel (%)
Rheokrene, Kalksinter-Rheokrene	0.056	29.7
Rheokrene, Helokrene	0.159	0.2
Rheokrene, Helokrene versintert	0.212	1.7
Kalksinter-Rheokrene, Helokrene	0.427	0.3
Kalksinter-Rheokrene, Helokrene versinter	0.087	26.8
Helokrene, Helokrene versintert	0.376	0.2

Die Summe der Artenzahlen auf den verschiedenen geologischen Untergründen scheint sehr variabel. Die grössten Varianzen zeigen sich auf Moränenmaterial, auf Niesenflysch, sowie auf dem Wildflysch der Zone Submédiane. Am vielfältigsten scheint die Artenzusammensetzung auf Malm bzw. Jura im Allgemeinen zu sein: Dort liegen 50 Prozent der Werte zwischen 5 und 8 Arten, der Median beträgt 7. Auffallend ist auch, dass häufig Quellen an Schichtgrenzen zwischen den verschiedenen geologischen Untergründen gefunden wurden.

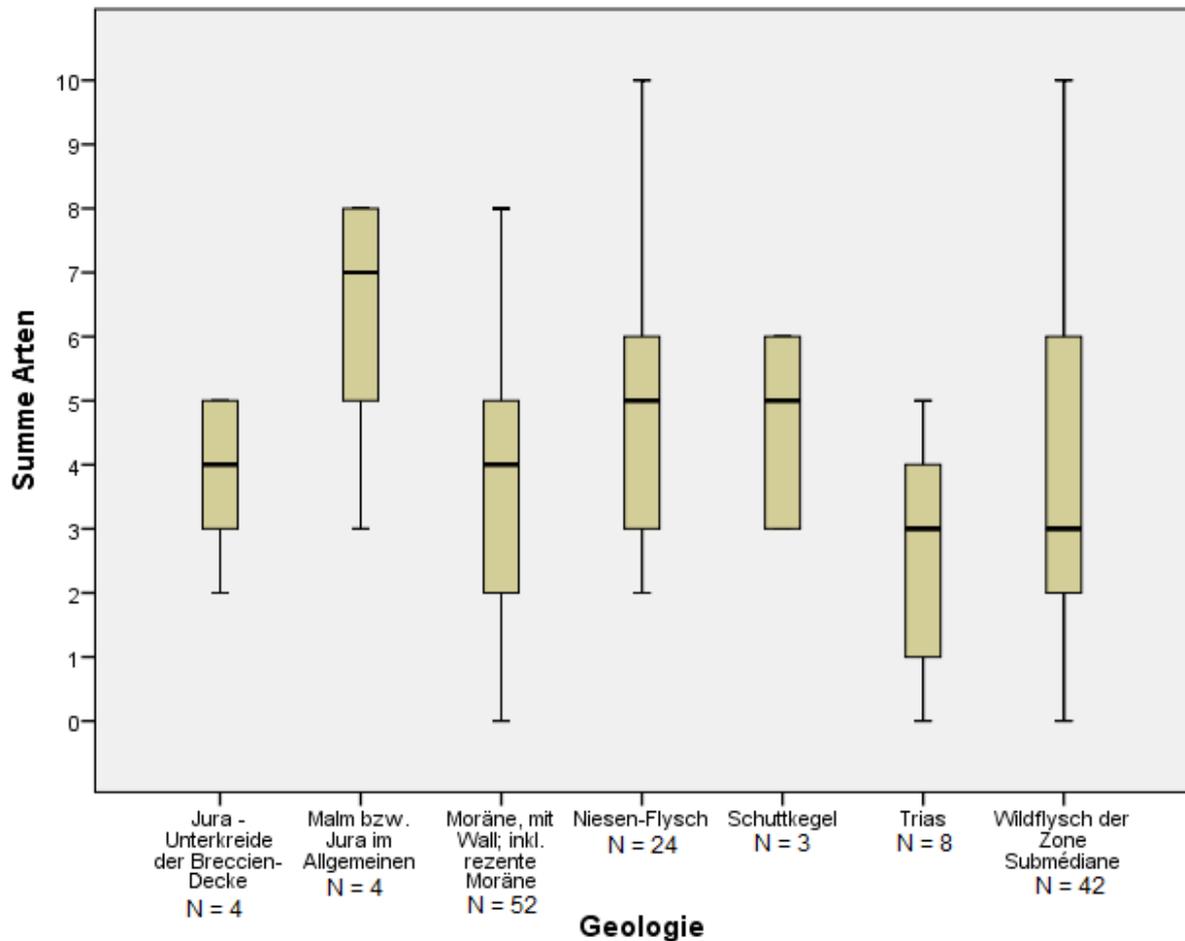


Abbildung 15: Boxplots der Verteilung der Artensummen der Quellen aufgeteilt nach dem geologischen Untergrund

5 Diskussion

5.1 Methodenkritik

Im Vorfeld der Feldarbeit wurde überlegt, wie eine gewisse Selektion der Quellen nach ihrer Erreichbarkeit verhindert werden kann. Es wurde dann entschieden, möglichst alle Höhenstufen abzudecken. Dennoch ist eine gewisse Selektion nicht zu leugnen und es war auch zeitlich nicht möglich, flächenmässig den gesamten Park abzudecken. Alternativ wurden einige Täler ausgewählt (z. Bsp. Mechlistall) und von unten nach oben bearbeitet. Aufgrund der Tatsache, dass die Schneeschmelze im Jahr 2014 verzögert eintrat, war es auch schwierig, im geplanten Zeitraum die Quellen bis in die obersten Höhenstufen zu bearbeiten. Selbst Mitte Juni lag um ca. 2000 m ü. M teilweise noch Schnee. Dies hatte zur Folge, dass vor allem die Quellen im Bereich Seeberg und Stand zu einem im Nachhinein betrachtet zu frühen Zeitpunkt beprobt wurden. Dadurch war es schwierig, eine Quelle von lediglich ablaufendem Schmelzwasser zu unterscheiden. Natürlich führt Schmelzwasser zu erhöhten Abflussraten in alpinen Quellen im Frühjahr (WIGGER & VON FUMETTI 2013). Dennoch ist es nicht immer eindeutig, ob ein Wasseraustritt auch gänzlich ohne das Schmelzwasser vorhanden wäre oder nicht. Ein weiterer negativer Effekt der frühen Beprobung ist, dass die gesammelten faunistischen Proben viele Tiere enthielten, die für eine genaue Bestimmung auf Artniveau noch zu klein waren, sodass viele Merkmale noch nicht erkennbar waren.

Der Strukturbewertungsbogen von LUBINI ET AL. (2014) in der digitalen Version als Excel-File erleichtert die strukturelle Bewertung sehr, da die fehleranfällige Arbeit der Berechnung des Gesamtergebnisses für jede einzelne Quelle wegfällt. Bei einigen Punkten der „Kopfdaten“ können nur ganze Zahlen eingetragen werden, es ist es nicht möglich, Dezimalzahlen einzutragen. Insbesondere bei sehr kleinen Quellen kann es daher bei den Punkten „Grösse“, „Quellbereich“ sowie „Quellschüttung“ sein, dass die Zahlen gerundet werden müssen. Bei Quellkomplexen und Quellsystemen besteht die Unsicherheit, ob mit der Distanz zur Nachbarquelle die nächste Quelle innerhalb des Quellkomplexes bzw. Quellsystems zu nennen ist, oder jene zur nächsten Quelle ausserhalb des Systems. Im Bewertungsteil B zur Vegetation / Nutzung können jeweils mehrere Vegetationstypen genannt werden. Bei der Auswertung der Daten stellt sich jedoch das Problem, dass diese Vegetationstypen oder Nutzungen nicht nach ihrem Anteil gewichtet sind, sodass eine Auswertung beispielsweise zur Frage, wieviele Quellen sich im Umfeld von Wald oder Offenland befinden, sich als schwierig erweist. Zudem war es zu Beginn der Feldarbeit nicht ganz klar, dass im Bereich Substrat und Struktur jeweils nur einmal die Kategorie „stark“ für ein Substrat gewählt werden kann – ein Wert für die Strukturbewertung wird aber trotzdem berechnet -, sodass viele Kartierbögen später noch nachbearbeitet werden mussten.

5.2 Ergebnisdiskussion

Diese Arbeit stellt die bisher erste Untersuchung zu den Quellen des Naturparks Diemtigtal dar. Dementsprechend wurde angestrebt, möglichst viele Quellen zu kartieren und möglichst alle Höhenstufen abzudecken. Der Fokus der Arbeit lag daher auch auf der umfassenden Feldarbeit.

Laut ZOLLHÖFER (1997) sind im Schweizer Mittelland geschätzt weniger als ein Prozent aller Quellen noch naturnah und nicht gefasst. Der im Laufe dieser Arbeit gefundene Anteil an naturnahen Quellen im Naturpark Diemtigtal von etwa 64% indiziert einen sehr viel höheren Anteil an naturnahen Quellen in alpinen Gebieten. Möglicherweise kann ein Teil dieses hohen Anteils naturnaher Quellen dadurch begründet werden, dass im Laufe dieser Arbeit eine Selektion naturnaher Quellen stattfand, da diese von grossem Interesse sind. Es muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass das Parkgebiet grosse Anteile an alpinen und montanen Bereichen zeigt, was im Schweizerischen Durchschnitt weniger stark der Fall ist. Laut der Landesagentur für Umwelt der Autonomen Provinz Bozen – Südtirol (2008) beträgt der Anteil naturnaher Quellen in Südtirol etwa 62%, was in etwa dem in dieser Arbeit festgestellten Anteil entspricht. BEIERKUHNLEIN & HOTZY (1999) stellten im Oberpfälzer Wald bezüglich des Anteils naturnaher Quellen eine grosse Diskrepanz zwischen Offenland und Waldgebieten fest. Im Offenland, welches häufig intensiv genutzt wird, beträgt der Anteil an naturnahen Quellen gerade 10%. Im Wald dagegen wurde noch ein Anteil naturnaher Quellen von 70% festgestellt. Laut CANTONATI ET AL. (2006) dominieren in den Alpen Rheokrenen und Helokrenen, der häufigste Quelltyp ist die Rheokrene. Dieses Muster wurde auch unter den naturnahen Quellen im Naturpark Diemtigtal festgestellt.

Auf Höhen bis zu 1800 m ü. M finden sich viele relativ intensiv genutzte Alpwiesen, auf welchen allfällige Quellen mit Drainagen an den Waldrand unterhalb der Wiese verlegt wurden. Dies führt zu einem im Vergleich zu der alpinen Stufe (10%) relativ hohen Anteil an gefassten Quellen (39%). Auch über 1800 m ü. M gibt es noch Weiden, welche landwirtschaftlich genutzt werden, allerdings unterliegen diese einer weniger intensiven Nutzung und die Quellen werden weniger häufig drainiert. Anhand der Gewässerschutzkarte des Kantons Bern ist auch ersichtlich, dass es in hohen Lagen über 1800 m ü. M immer noch gefasste Quellen gibt, dass diese aber weniger wegen der Entwässerung von Weideflächen als viel mehr zur Trinkwassergewinnung gefasst sind. Da es im Quellkartierbogen nach LUBINI ET AL. (2014) möglich war, mehrere Vegetationstypen zu nennen, diese aber nicht prozentual gewichtet wurden, ist es möglich, dass diese Resultate in der Gewichtung etwas verfälscht sind. Es ist schwierig, Aussagen über das Verhältnis zwischen Quellen im Offenland- und Waldquellen zu treffen. Was jedoch hervorgehoben werden kann, ist, dass etwas über 15% aller Quellen entweder standorttypischen Nadelwald oder Mischwald in

ihrem Umfeld haben. Daraus kann geschlossen werden, dass etwa 85% der kartierten Quellen im Offenland, beziehungsweise im Gebüsch oder in Zwergstrauchbeständen liegen. Bei mehr als 29% aller Quellen wurde zudem „standorttypische Vegetation“ angekreuzt. Bei Quellen in Rheinland-Pfalz stellte SCHINDLER (2004) fest, dass fast die Hälfte der Quellen im Wald lag. Fast ein Viertel der Quellen in Rheinland-Pfalz lag zudem an einem Acker oder einer Sonderkultur, an einer Strasse oder einer Siedlung. Dieser Anteil ist bei den Quellen im Diemtigtal verschwindend gering, was wohl auf die Lage in einem abgelegenen Tal mit nur geringem Siedlungsanteil zurückzuführen ist.

Unter den 103 gefundenen Taxa befinden sich 12 krenobionte Taxa (11 Arten, eine Gattung). Die Hälfte dieser Arten wurde in gefassten Quellen gefunden. Es waren mit einer Ausnahme jeweils ältere Fassungen, entweder nur mit einem Rohr oder einer Rinne oder mit einer Brunnenstube mit Überlauf. Laut ZOLLHÖFER (1997) haben zerstörte oder neu angelegte Quell-Lebensräume eine Regenerationszeit von ca. 3,5 Jahren. Dies bedeutet, dass nach dieser Zeit etwa die Hälfte der zu erwartenden Arten im Lebensraum vorkommt. Die Tatsache, dass in den alten gefassten Quellen krenobionte Arten vorkommen, lässt auf eine geglückte Wiederbesiedelung des durch die Fassung erst einmal zerstörten Lebensraumes schliessen.

Die Werte der im Naturpark Diemtigtal gemessenen abiotischen Parameter entsprechen im Grossen und Ganzen den Werten in den Nationalparks Berchtesgaden und Kalkalpen (GERECKE & FRANZ 2006). Dennoch zeigen sich Unterschiede. Die hohen Werte für die elektrische Leitfähigkeit, gemessen in der Limnokrene Q158 auf der Grimmialp und bei einer Quelle nahe eines Bauernhofs (Q151 bei Schwenden) von über 3000 bis zu 4490 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sind deutlich höher als die in den beiden Nationalparks gemessenen Maxima von 452 beziehungsweise 532 $\mu\text{S}/\text{cm}$. In der Limnokrene ist die hohe Leitfähigkeit durch den hohen Eisengehalt zu erklären. Die Lage der Quelle Q151 direkt neben einem Bauernhof auf einer Weide legt den Schluss nahe, dass die hohe Leitfähigkeit dort durch die Düngung des Bodens hervorgerufen wird. Da in den Nationalparks keine Landwirtschaft betrieben werden darf, sind solche hohen Werte dort kaum zu finden. Die Limnokrene Q158 weist neben der auffällig hohen Leitfähigkeit auch extrem geringe Sauerstoffgehalte von 1.78 mg/L respektive 17.9 % auf. Auch FELDER (2013) fand in ihrer Arbeit im Schweizerischen Nationalpark eine Limnokrene. Auch deren Leitfähigkeit war mit 1511 $\mu\text{S}/\text{cm}$ erhöht und der Sauerstoffgehalt war mit 0.3 mg/L respektive 3% sogar noch tiefer als in der Q158. Anders als in der Limnokrene auf der Grimmialp ist die hohe Leitfähigkeit auf den hohen Sulfatgehalt zurückzuführen und nicht auf Eisen. NADIG (1942) erklärt derlei tiefe Sauerstoffgehalte in limnokrenen Quellen dadurch, dass das Grundwasser ohne Kontakt zur Luft in den Quellweiher eintritt und sich somit nicht mit Sauerstoff anreichern kann, wie es

beispielsweise bei einer Rheokrene in der Regel der Fall ist. Weiter ist laut NADIG (1942) Grundwasser gerade dann besonders arm an Sauerstoff, wenn es „reich an oxydierbaren, anorganischen oder organischen Substanzen“ ist. Die Schicht an organischem Schlamm die am Grund der Limnokrene festgestellt wurde, hat wohl genau diesen Einfluss auf den Sauerstoffgehalt des Wassers der Q158 auf der Grimmialp.

Die Resultate der PCA zeigen, dass nur 42.9% der Varianz in den Daten durch die ersten drei Komponenten erklärt werden kann. Dies ist relativ wenig. Bei der Betrachtung der Resultate aus der PCA wird ersichtlich, dass die meisten Helokrenen stark durch Detritus beeinflusst werden, während Rheokrenen sehr hohen Einfluss durch den Sauerstoffgehalt erfahren, ferner auch durch anorganische Grobsubstrate, wie Mittel- und Grobkies. Eine Gruppe von Waldquellen entlang des Fildrich zeigt hohen Einfluss durch organische Substrate wie Geniste, Totholz, durchspülte Wurzelräume und Falllaub. In einer Studie über die Faktoren, welche die Artzusammensetzungen des Makrozoobenthos in saisonalen Quellen der Nordwestschweiz dominieren (VON FUMETTI S., NAGEL P., SCHEIFHACKEN N. ET AL. 2006) wurde eine ähnliche Analyse mit den Substraten, aber ohne Abiotik gemacht. Die Studie zeigte, dass die Substratzusammensetzung einer Quelle einen grossen Einfluss auf die Zusammensetzung der Fauna hat. So bevorzugen Detritivoren schlammige, helokrenartige Quellen mit geringem Abfluss während Weidegänger grobsubstratige Quellen mit hohem Abfluss bevorzugen. Weiter wurde Falllaub als eine der wichtigsten Substratkomponenten für die Zusammensetzung der Makrofauna in Quellen identifiziert. Dadurch, dass das Abflussregime der Quelle die Substratzusammensetzung formt, ist auch der Abfluss indirekt ein grosser Faktor für die Artzusammensetzung (SMITH ET AL. 2003). Im Diemtigtal konnten leider keine Informationen zum jahreszeitlichen Abflussregime gesammelt werden, da jede Quelle nur einmal besucht wurde. HAHN (2000) konnte Quellen im Pfälzerwald in drei Kategorien einteilen: Die erste Gruppe besteht aus versauerten Rheokrenen mit grobem anorganischem Substrat. Die zweite Gruppe enthält neutrale und schwach versauerte Quellen (hauptsächlich Rheokrenen) mit grobem anorganischem Substrat. Die dritte Gruppe besteht aus lenitischen Quellen (hauptsächlich Helokrenen, einige Limnokrenen) mit feinem organischem Substrat und breit gestreutem pH. In diesen lenitischen Quellen wurden limnophile, schlamm- und organisches Material bewohnende Taxa gefunden, wie Tanypodinae, Tanytarsini und *Nemurella pictetii*, sowie sedimentfressende und filtrierende Taxa wie viele Dipteren und *Pisidium personatum*. Tatsächlich wurden auch im Diemtigtal in den helokrenen Quellen viele dieser Taxa gefunden: *Pisidium* spp. und *Nemurella pictetii* wurden je in fast der Hälfte der Helokrenen nachgewiesen, ferner einige Dipteren wie Ceratopogoninae, Chironomidae, Tanypodinae, *Simulium* spp., Tipulidae und Stratiomyidae. Laut WINTER & SCHINDLER (2012) führt das Fehlen von Falllaub, wie es beispielsweise in nadelholzdominierten Beständen der Fall ist, zu

verminderten Taxazahlen. Besonders hohe Taxazahlen stellten sie bei Quellbereichen mit vielfältigen Substrattypen, welche ein Mosaik an Mikrohabitaten bilden, fest. Im Diemtigtal wurden 15 Quellen im Umfeld von standorttypischem Nadelwald kartiert, die durchschnittliche Taxazahl unterscheidet sich nicht von der durchschnittlichen Taxazahl aller Quellen. KUBÍKOVÁ, L. ET AL (2012) stellten im Böhmerwald in der Tschechischen Republik fest, dass gewisse Quelltypen anhand der Artenzusammensetzung erkannt werden können. Beispielsweise kann zwischen helokrenartigen Quellen und Quellen mit starkem Abfluss unterschieden werden. KUBÍKOVÁ, L. ET AL (2012) stimmen mit HAHN (2000), ZOLLHÖFER ET AL. (2000), ILMONEN & PAASIVIRTA (2005) und VON FUMETTI ET AL. (2006) überein, dass die Artzusammensetzung in Quellen hauptsächlich durch die Abflussrate und durch Substratcharakteristika beeinflusst wird.

Auch im Nationalpark Berchtesgaden wurden Quellen faunistisch untersucht (GERECKE & FRANZ 2006). In jener Arbeit dort wurden 25 Arten gefunden, welche jetzt auch im Diemtigtal nachgewiesen wurden. Es handelt sich um 8 Steinfliegenarten und 17 Köcherfliegenarten. Interessant ist beispielsweise die Köcherfliege *Rhyacophila laevis*. Sie gilt als Spezialistin für Quellen mit starker Moosbedeckung und für deren Abflüsse. Im Nationalpark Berchtesgaden wurde sie an zwei Standorten zwischen 1100 und 1300 m ü. M gefunden. Im Naturpark Diemtigtal wurde ein Exemplar am Austritt einer Brunnenstube mit Überlauf der Goldbachquelle (Q232; Siehe Anhang 10.2) gefunden. Die Quelle liegt mit 1523 m ü. M etwas höher als die Fundorte im Nationalpark Berchtesgaden. Das Wasser tritt mit einem grossen Absturz von etwa einem Meter aus zwei Rohren aus. Das Substrat darunter, der Quellbereich sowie das Umfeld sind moosdominiert. Es ist interessant, dass die krenobionte *Rhyacophila laevis* sich an dieser stark gefassten Quelle angesiedelt hat, ist es doch ein Indiz dafür, dass wie von ZOLLHÖFER (1997) erwähnt, gefasste Quellen nach einiger Zeit wieder qualitativ gute Quellhabitats für Krenobionte darstellen können, obwohl wie in diesem Falle die Strukturbewertung mit 2.79 als „mässig geschädigt“ nicht optimal ausfällt. Ebenfalls in beiden Parks gefunden wurde *Allogamus uncatus* (Brauer, 1857), wobei in der Bestimmungsliteratur (WARINGER & GRAF 2011) die Arten *Allogamus uncatus* und *Alpopsyche ucenorum* (McLachlan 1876) nicht weiter unterschieden werden können. *Alpopsyche ucenorum* wurde bisher nur am Gemmipass gefunden. Da sich der Gemmipass nur 17 Kilometer vom Südrand des Naturparks entfernt befindet, ist nicht auszuschliessen, dass es sich bei den Funden von *Allogamus uncatus* auch um *Alpopsyche ucenorum* handeln könnte.

Die Quellen des Einzugsgebiets des Pletschbächli wurden vollständig kartiert. Die häufigsten gefundenen Taxa in den Quellen des Pletschbächli sind *Crenobia alpina* sowie *Drusus monticola*. Die Köcherfliegenart *Drusus monticola* wurde auch im Nationalpark

Berchtesgaden mit 69 Exemplaren an 18 Standorten zwischen 600 und 2000 m ü. M gefunden. Sie bevorzugt das Eukrenal bis Epirhithral und ernährt sich als Weidegänger. Weitere gefundene Köcherfliegentaxa sind zum Beispiel *Pseudopsiloptyx zimmeri*, *Micropterna lateralis* und *Chaetopteryx villosa* (Fabricius, 1798). Laut GERECKE & FRANZ (2006) wurde *Pseudopsiloptyx zimmeri* im Nationalpark Berchtesgaden auf Höhen zwischen 600 und 1400 m ü. M gefunden. Die Funde im Diemtigtal liegen also teilweise deutlich höher (790 bis 2007 m ü. M), insbesondere jene in den Quellen des Pletschbächlis.

Die statistischen Auswertungen zur Artenzusammensetzung und Artenvielfalt wurden nur mit den Daten aus naturnahen nicht gefassten Quellen durchgeführt. Im Nachhinein betrachtet wäre es sinnvoller, bei allen statistischen Auswertungen alle Quellen – auch die gefassten – in die Auswertung miteinzubeziehen. Einzig bei den Analysen zum Gesamtergebnis der Strukturbewertung wurden sowohl gefasste als auch ungefasste Quellen miteinbezogen. Die nMDS zum Gesamtergebnis der Strukturbewertung zeigte keine signifikanten Unterschiede der Artzusammensetzungen von verschiedenen gut bewerteten Quellen. Es ist einzig erkennbar, dass geschädigte Quellen (Bewertung 4) nicht ganz dieselbe Artenvielfalt abdecken, wie die besser bewerteten Quellen. Die Hälfte der mit „4 – geschädigt“ bewerteten Quellen weist eine neue Fassung mit einer Brunnenstube mit Überlauf auf. Es kann daraus geschlossen werden, dass ältere Fassungen keine grosse Einschränkung für die Artenvielfalt in einer Quelle sein müssen (ZOLLHÖFER 1997). In der Dissertation von SCHINDLER (2004) wurde zwischen der Gesamtbewertung der Quellstruktur und der Taxa- bzw. Quelltaxazahl eine starke Korrelation gefunden. Im Diemtigtal wurde keine einzige Quelle mit „5 – stark geschädigt“ bewertet. Gerade diese Quellen sind es bei SCHINDLER (2004), welche deutlich die geringsten Artenzahlen zeigen. Die gefundenen Taxazahlen sind zwar bei SCHINDLER (2004) deutlich höher als im Diemtigtal, wobei aber auch ein höherer Sammelaufwand betrieben wurde und die Beprobung nach der Zeitsammelmethode durchgeführt wurde. Die Ergebnisse von SCHINDLER (2004) und jene in dieser Arbeit zeigen in die selbe Richtung, nämlich dass naturnahe bis mässig geschädigte Quellen grundsätzlich keine Einbussen an Artenvielfalt zeigen. Bei geschädigten Quellen ist eine leichte Abnahme zu finden, bei stark geschädigten Quellen wurde bei SCHINDLER (2004) eine stark geringere Artenvielfalt verzeichnet. Viele gefasste Quellen mit einer alten oder verfallenen Fassung werden strukturell vergleichsweise positiv mit Bewertungen von mässig geschädigt oder sogar besser bewertet und zeigen dementsprechend eine durchschnittlich hohe Taxazahl. Das Alter und der Zustand einer Fassung haben laut SCHINDLER (2004) einen starken Einfluss auf die Besiedlung durch Makrozoobenthos. Alte und verfallene Fassungen weisen oft eine bessere Strukturbewertungskategorie auf als neue Fassungen mit stärkerem Unterhalt. In seiner Studie waren eine Reihe von alten gefassten sowie verfallenen Fassungen quelltypisch besiedelt und wiesen eine hohe Quelltaxazahl auf. Damit

sind diese Quellen sekundär ökologisch wertvoll. Auch VON FUMETTI (2003) stellte in ihrer Arbeit über die Quellen im Basler Umland fest, dass einerseits eine strukturell beeinträchtigte Quelle ein Lebensraum für Quellorganismen sein kann, dass aber andererseits auch eine scheinbar naturnahe Quelle durch beispielsweise hohe Nährstoffeinträge stark belastet sein kann, sodass eine natürliche Quellfauna in der Quelle nicht überleben kann. Nährstoffmessungen wurden im Diemtigtal nicht gemacht, einzig die Messung der elektrischen Leitfähigkeit kann einen Hinweis auf erhöhten Nährstoffeintrag geben, wie es beispielsweise auch bei der Quelle Q151 bei Schwenden der Fall ist. HOHMANN & MARTIN (2014) beobachteten zwar eine verringerte Artenzahl in Quellen mit schlechterem Quellzustand, sie fanden aber keine lineare Abnahme der krenobionten Taxa. Auch in degradierten Quellen wurden teils überraschende Vorkommen von quellpräferenten Taxa notiert. Für sie besteht kein klarer Zusammenhang zwischen dem Zustand der Quellstruktur und der faunistischen Besiedlung der Quellen. Im Nationalpark Kalkalpen wurde an unbeeinträchtigten Quellaustritten ein Anteil an quelltypischer Fauna von über 70% festgestellt (WEIGAND ET AL. 2002). Quellen, die seit vielen Jahrzehnten in einer gerodeten Almweide liegen, zeigten nur noch einen Anteil quelltypischer Fauna von unter 5%. Laut WEIGAND ET AL. (2002) treten an die Stelle der quelltypischen Fauna hauptsächlich ubiquistische Taxa, wie auch Faunenelemente der Gebirgsbäche sowie Schlammbewohner sommerwarmer Stillgewässer.

Die statistischen Auswertungen zur Artenvielfalt und –zusammensetzung auf verschiedenen Höhenstufen des Naturparks zeigen, dass sich die Artenzusammensetzung der Quellen bis 1000 m ü. M von jenen über 1000 Metern signifikant unterscheiden. Zudem wurden unter 1000 m ü. M nur maximal 6 verschiedene Taxa pro Quelle gefunden, während es weiter oben bis zu 10 respektive 9 Taxa waren. Es muss dabei beachtet werden, dass unter 1000 Metern 14 naturnahe Quellen bewertet wurden, zwischen 1000 und 1800 m ü. M sind es 46 Quellen und über 1800 Metern 35 Quellen. Damit ist die Datengrundlage der untersten Höhenstufe nur 0.3 beziehungsweise 0.4 Mal so gross wie jene der anderen Höhenstufen. Dazu kommt, dass die Höhenstufen an sich nicht gleich gross sind, da sie nicht aufgrund einer gleichmässigen Aufteilung, sondern aufgrund der Vegetation und der Landnutzung getroffen wurde. Waldquellen sind oft recht naturnah (SCHINDLER 2004), jedoch zeigt sich weder eine Häufung von Waldquellen in der untersten Höhenstufe, noch sind sie seltener. Die Vegetation im Umfeld scheint also nicht der Grund für die relative Artenarmut der tiefliegenden Quellen zu sein.

Die Auswertungen zur Artenzusammensetzung und –vielfalt verschiedener Quelltypen zeigen, dass sich die Artenzusammensetzung der Helokrenen signifikant von allen anderen Quelltypen (Rheokrenen, Kalksinter-Rheokrenen, Helokrenen mit Versinterungen)

unterscheidet. Im Boxplot zu den Artenzahlen zeigt sich, dass 50% aller Helokrenen nur 2 bis 4 verschiedene Taxa beherbergen, während es bei den anderen Quelltypen im Schnitt mehr sind. Die rheokrenen Quellen zeigen die grösste Streuung der Artenzahlen, aber auch die grösste Anzahl an Quellen (N = 64). So könnte man sagen, dass die hohe Streuung nur durch die grosse Anzahl an Quellen zu erklären ist. Andererseits zeigen beispielsweise die versinterten Helokrenen mit nur 7 Quellen eine ähnlich grosse Streuung, obwohl 50% der Daten sich zwar nur zwischen 2 und 5 Arten, statt 2 und 6 bewegen, wie bei Rheokrenen. Bei den Kalksinter-Rheokrenen sind anscheinend keine Quellen mit weniger als 4 verschiedenen Arten vorhanden. Interessant ist, dass die gewöhnlichen Helokrenen eine geringere Artenvielfalt aufzuweisen scheinen, obwohl das N mit 25 ca. 3.5 mal grösser ist als bei den versinterten Helokrenen. Dennoch zeigen helokrene Quellen grundsätzlich weniger Varianz in der Artenzahl als Rheokrenen. Möglicherweise sind die Helokrenen, die Versinterungen zeigen, nicht ganz korrekt definiert. Alle diese Quellen befinden sich im Wald oder zumindest am Waldrand auf Höhen von 777 bis 1100 m ü. M. Hier zeigt sich auch wieder, dass es sinnvoll gewesen wäre, auch gefasste Quellen in die Auswertungen zur Artenvielfalt miteinzubeziehen, denn unter den gefassten Quellen finden sich weitere Kalksinter-Quellen, welche ähnliche Artenzusammensetzungen zeigen, wie die nicht gefassten Kalksinter-Rheokrenen. ZOLLHÖFER (1997) stellt fest, dass in der Schweiz Kalksinterquellen oft geringere Taxazahlen aufweisen als andere Quelltypen. Im Diemtigtal zeigen gerade Kalksinter-Rheokrenen eine Taxazahl, welche gewöhnlichen Rheokrenen ebenbürtig ist.

5.3 Besondere Quellebensräume

Im Laufe der Feldarbeit wurden viele interessante und schützenswerte Standorte und Quellen entdeckt. Von vornherein bekannt war beispielsweise, dass auf der Grimmialp der Kraftort Grimmiwasser liegt, welcher stark eisenhaltige Quellen beherbergt. Diesem Quellwasser wurde eine stark heilende Wirkung zugesprochen. Daher wurden diese Quellen 1899 gefasst und ihr Wasser für Bäder und als Trinkkur zum Kurhotel Grimmialp geleitet. Heute sind diese Leitungen nicht mehr in Betrieb (www.diemtigtal.ch). Bei der Feldarbeit wurde beim Kraftort Grimmiwasser eine stark eisenhaltige Quelle (Q158; Siehe Anhang und Abb. 16) gefunden und kartiert. Interessanterweise zeigt die Quelle sowohl rheokrene als auch limnokrene Eigenschaften auf. Ein erster Austritt mündet in einen kleinen Tümpel, in welchem jedoch eindeutig auch Wasser vom Grund des Gewässers austritt. Der gesamte Grund des Tümpels ist mit einer dicken Schicht an organischem Schlamm bedeckt (Abb. 17). Die extrem hohe elektrische Leitfähigkeit ist charakteristisch für stark mineralhaltige Quellen.



Abbildung 16: Eisen - Limnokrene Q158, Grimmialp (23.07.2014)

Laut der Website des Diemtigtals wurde das Wasser durch den Kantonschemiker von Bern, Herr Dr. Schaffer auch als stark gipshaltig bezeichnet. Weiter wurden während der Feldarbeit

extrem tiefe Sauerstoffwerte gemessen (1.78 mg/L respektive 17.9 %). Aufgrund der tiefen Sauerstoffwerte wurde in der Quelle keine Fauna gefunden. Die Quelle tritt genau an der Schichtgrenze zwischen Trias und Moränenmaterial aus. Der Naturpark Diemtigtal hat nun Exkursionen zum Kraftort Grimmwässer für ein breites Publikum zur Planung in Auftrag gegeben. Die Daten dieser Quelle wurden für die Planung der Exkursionen zur Verfügung gestellt.



Abbildung 17: Nahaufnahme Q158, Grimmialp (23.07.2014)

Entlang des Fildrichs flussabwärts gesehen auf der linken Flussseite unterhalb Horboden verläuft eine ganze Reihe an Quellen, die auf einer Länge von mindestens 500 Metern austreten (Abb. 18 – 21). Es wurden 11 Quellen kartiert, es wird jedoch angenommen, dass die Kartierung noch unvollständig ist. Es finden sich sowohl gefasste als auch ungefasste Quellen, zwei komplette Fassungen ohne oberflächlichen Abfluss, zwei mit einem Rohr gefasste Rheokrenen, eine Kalksinter-Rheokrene und eine Helokrene, welche Versinterungen zeigt, sowie 7 gewöhnliche Rheokrenen. Die Quellen befinden sich sowohl im Wald als auch auf einer steilen Wiese und an sehr steilen Abhängen. Flussabwärts der kartierten Quellen fand sich auch eine grosse steile Felsformation, die von Wasser überflossen wird. Es ist zu erwarten, dass sich oberhalb dieser Wand weitere Quellen befinden.



Abbildung 18: Rheokrenen Q261 und Q262, teilgefasst durch ein Rohr. Entlang des Fildrichs (10.05.2014)



Abbildung 19: Rheokrenen Q266 und 267. Entlang des Fildrichs (23.50.2014)



Abbildung 20. Kalksinter-Rheokrene Q280. Entlang des Fildrichs (23.05.2014)



Abbildung 21: Q269. Entlang des Fildrichs (10.05.2014)

Das Tal des Pletschbächlis wurde vollständig kartiert. Es ist unterteilt in Ober-, Mittel- und Untermechlistall. Das Tal liegt am östlichen Rand des Parks zwischen dem Mäggisserehore und dem Schmelihore. Es wurden zehn ungefasste Quellen kartiert, sowie eine komplett gefasste ohne oberflächlichen Abfluss. Bei den naturnahen Quellen handelt es sich um neun Rheokrenen und eine Helokrene. Die gefundenen Quellen befinden sich auf Höhen zwischen 1833 und 2029 m ü. M. Der Bereich Obermechlistall wird als Kuhweide genutzt, sodass die Quellen grundsätzlich durch Viehtritt beeinflusst werden. Bei der Helokrene Q209 wurden Kühe beobachtet, die knietief im weichen Substrat der Quelle einsanken (Abb. 22) Das Tal ist stark geprägt durch einen moorigen See, in welchen auch ein Teil der Quellen mündet. (Abb. 23) Viele alpine Moore sind durch Alpwirtschaft beeinträchtigt. (LUBINI-FERLIN & VICENTINI 2005)



Abbildung 22: Nahaufnahme Helokrene Q209. Ober-Mechlistall (07.08.2014)



Abbildung 23: Quellsystem Q208, im Hintergrund sumpfiges Gebiet. Ober-Mechlistall (07.08.2014)

Ebenfalls interessant sind die Quellen des Goldbachs. Es wurden 4 Quellaustritte kartiert. Zwei davon befinden sich auf einer Höhe von 1555 bis 1570 m ü. M, es handelt sich um Rheokrenen. Zwei weitere befinden sich etwas unterhalb auf Höhen zwischen 1420 und 1470 m ü. M, es handelt sich um eine mit einer Brunnenstube mit Überlauf gefasste Quelle sowie ein riesiges Quellsystem mit einer Fläche von geschätzt 1000 Quadratmetern. Dieses Quellsystem wird jedoch möglicherweise gespeist von einem der beiden oberen Quellaustritte, der unterwegs wieder versickert. Nichtsdestotrotz könnte das grosse Quellsystem aufgrund seiner Grösse mit mindestens 10 Quellaustritten und seiner Vielfalt an Lebensräumen für weitere Untersuchungen von Interesse sein.



Abbildung 24: Quellkomplex Q229. Goldbachquellen (20.05.2014)



Abbildung 25: Quellkomplex Q229. Goldbachquellen (20.05.2014)



Abbildung 26: Quellkomplex Q229. Goldbachquellen (20.05.2014)

Der Naturpark Diemtigtal verfügt über eine Vielfalt von schützenswerten Quellbiotopen, in denen auch potentiell bis stark gefährdete Tiere ein Habitat finden. In dieser Arbeit wurde eine Übersicht über die Quellenlandschaft des Naturpark Diemtigtal geschaffen. Es zeigte sich, dass auch bereits gefasste Quellen wieder zu einem ökologisch wertvollen Habitat werden können und daher gleichermassen Schutz benötigen, wie ungefasste Quellen. Obwohl bis heute das Quellbiotop gesetzlich nicht geschützt ist, wird dem Naturpark mit dieser Arbeit eine Informationsquelle geboten, um seine Quellen zu schützen.

6 Literaturverzeichnis

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1996): Ökologische Typisierung der aquatischen Makrofauna. Informationsberichte des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft. München. 548 S.

BEIERKUHNLEIN, C., & HOTZY, R. (1999). Naturschutzfachliche Bewertung von Waldquellen. Bayreuther Institut für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK). 11 S.

CANTONATI, M., GERECKE, R. & BERTUZZI, E. (2006). Springs of the Alps – sensitive ecosystems to environmental change: from biodiversity assessments to long-term studies. *Hydrobiologia* 562: 59-96.

CLARKE, K.R. & GORLEY, R.N. (2006). Primer v6. User manual/Tutorial. Primer-E, Plymouth. 190 S.

FELDER, S. (2013). Faunistische Charakterisierung alpiner Quellen im Schweizerischen Nationalpark. Masterarbeit, Departement Umweltwissenschaften, Universität Basel, 41 S.

FISCHER, J. (1996). Bewertungsverfahren zur Quellfauna. *Crustacea* 5: 227–240.

GERECKE, R. & FRANZ, H. (2006). Quellen im Nationalpark Berchtesgaden, Lebensgemeinschaften als Indikatoren des Klimawandels. Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsbericht 51. 272 S.

HAHN, H.J. (2000). Studies on Classifying of Undisturbed Springs in Southwestern Germany by Macroinvertebrate Communities. *Limnologica*, 30. S. 247-259.

HOHMANN, I., & MARTIN, P. (2014). Untersuchungen zur Besiedlung anthropogen beeinträchtigter Quellen in Schleswig-Holstein. Jahrestagung der Deutschen Limnologischen Gesellschaft (DGL), Hardegsen 2014. 5S.

ILMONEN, J., & PAASIVIRTA, L. (2005). Benthic macrocrustacean and insect assemblages in relation to spring habitat characteristics: patterns in abundance and diversity. *Hydrobiologia*, 533(1-3), 99-113.

KUBÍKOVÁ, L., SIMON, O. P., TICHÁ, K., DOUDA, K., MACIAK, M., & BÍLÝ, M. (2012). The influence of mesoscale habitat conditions on the macroinvertebrate composition of springs in a geologically homogeneous area. *Freshwater Science*, 31(2), 668-679.

LANDESAGENTUR FÜR UMWELT DER AUTONOMEN PROVINZ BOZEN – SÜDTIROL (2008). Quellen – Unbekannte Lebensräume – Ein Spaziergang durch die faszinierende Welt der Quellen. 27 S.

LUBINI-FERLIN, V., & VICENTINI, H. (2005). Der aktuelle Kenntnisstand der Köcherfliegenfauna (Insecta: Trichoptera) der Schweiz. *Lauterbornia* 54: Dinkelscherben. 63-78.

LUBINI, V., STUCKI P. & VICENTINI H. (2014). Bewertung von Quell-Lebensräumen in der Schweiz. Entwurf für ein strukturelles und faunistisches Verfahren. Bundesamt für Umwelt BAFU. 44 S.

LUBINI, V., KNISPEL, S., SATORI, M., VICENTINI, H & WAGNER, A. (2012). Rote Liste Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug. Nr. 1212. 111 S.

NADIG, A. (1942). Hydrobiologische Untersuchungen in Quellen des Schweizerischen Nationalparks im Engadin. Unter besonderer Berücksichtigung der Insektenfauna. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchung im Schweizerischen Nationalpark. Band 1. Nr. 9. Verlag H. R. Sauerländer & Co., Aarau. 432 S.

RAGNO, G., LUCA, M. D., & IOELE, G. (2007). An application of cluster analysis and multivariate classification methods to spring water monitoring data. *Microchemical Journal*, 87(2), 119-127.

SCHINDLER, H. (2004). Bewertung der Auswirkungen von Umweltfaktoren auf die Struktur und Lebensgemeinschaften von Quellen in Rheinland-Pfalz. Dissertation, Institut für Naturwissenschaften der Universität Koblenz-Landau, Abt. Biologie, 203 S.

SMITH H., WOOD P.J. & GUNN J. (2003). The influence of habitat structure and flow performance on invertebrate communities in karst spring systems. *Hydrobiologia* 510: S. 53-66

STEINMANN, P. (1915). Praktikum der Süsswasserbiologie. 1. Teil. Die Organismen des fliessenden Wassers. Bornträger, Berlin. 184 S.

THIENEMANN, A. (1924). Die Gewässer Mitteleuropas – eine hydrobiologische Charakteristik ihrer Haupttypen. Stuttgart. 84 S.

VON FUMETTI, S. (2003). Anwendung ökologischer Quellbewertungsverfahren auf Quellen im Basler Umland. Diplomarbeit, NLU Universität Basel. 70 S.

VON FUMETTI, S., NAGEL, P., & BALTES, B. (2007). Where a springhead becomes a springbrook—a regional zonation of springs. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie*, 169(1), 37-48.

VON FUMETTI, S., NAGEL, P., SCHEIFHACKEN, N. & BALTES, B. (2006). Factors governing macrozoobenthic assemblages in perennial springs in north-western Switzerland. *Hydrobiologia*, 568. S. 467–475.

WEIGAND, E., PELIKAN, U., RATSCHAN, C., & SCHEIDER, C. (2002). Gewässerökologische Bewertung des Einflusses von Alm-und Forstwirtschaft auf Karstquellen im Nationalpark Kalkalpen (Österreich)/Evaluation hydro-écologique des effets du pastoralisme et de la sylviculture sur les sources karstiques dans le Parc national des Kalkalpen (Autriche). *Revue de géographie alpine*, 90(2), 103-115.

WIGGER, F & VON FUMETTI, S. (2013). Quellen und ihre Lebensgemeinschaften in den Berner Alpen. *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern* NF 70: 117-131.

WINTER, M. B., & SCHINDLER, H. (2012). Waldquellenmonitoring im Naturpark Pfälzerwald. *Ann. Sci. Rés. Bios. Trans. Vosges du Nord-Pfälzerwald – 16 (2011-2012)*: 182-212

ZOLLHÖFER, J.M. (1997). Quellen, die unbekanntes Biotop im Schweizer Jura und Mittelland: erfassen-bewerten-schützen. Bristol-Stiftung Ruth und Herbert Uhl-Forschungsstelle für Natur- und Umweltschutz. Bristol-Schriftenreihe Band 6. 153 S.

ZOLLHÖFER, J. M., BRUNKE, M. UND GONSER T. (2000). A typology of springs in Switzerland by integrating habitat variables and fauna. *Archiv für Hydrobiologie* 121(Supplement):349–376.

Internetquellen

Gewässerschutzkarte im Geoportal des Kanton Bern (Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion Kanton Bern):

http://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/grundwasser/grundwasserschutz/planerischer_grundwasserschutz_gewaesserschutzkarte.html (05.11.2014)

Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF) Verbreitungskarten:

www.cscf.ch (17.01. 2015)

Webseite des Naturpark Diemtigtal:

www.diemtigtal.ch (20.01.2015)

Art. 23g des Bundesgesetzes über den Natur- und Heimatschutz (NHG). SR451. vom 01. Juli 1966. 26 S. (Stand am 12. Oktober 2014):

<http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19660144/index.html#> (Stand 17.01.2015)

7 Bestimmungsliteratur

SCHMEDTJE, U. & KOHMANN, F. (1988). Bestimmungsschlüssel für die Saprobier DIN-Arten (Makroorganismen). Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München.

7.1 Gastropoda

BOSCHI, C. (2011). Die Schneckenfauna der Schweiz. Ein umfassendes Bild- und Bestimmungsbuch. Haupt, Bern. 624 S.

7.2 Plecoptera

LUBINI, V., KNISPEL, S. & VINCON, G. (2012). Die Steinfliegen der Schweiz. Fauna Helvetica. Band 27. Centre suisse de la cartographie de la faune, Neuchâtel. 270 S.

7.3 Trichoptera

WARINGER, J. & GRAF, W. (2011) . Atlas der mitteleuropäischen Köcherfliegenlarven. Erik Mauch Verlag. Dinkelscherben. 466 S.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Typische Fassung einer Quelle zur Drainage eines Weidegebietes. (ZOLLHÖFER 1997)	5
Abbildung 2: Position der kartierten Quellen im Höhenprofil. Jeder Strich stellt eine Quelle und seine Lage im Höhenprofil dar.	10
Abbildung 3: Darstellung der kartierten Quellen, unterschieden nach Fassung.	11
Abbildung 4: Links: Verschiedene Fassungen der Quellen im Naturpark. Rechts: Verschiedene Quelltypen der kartierten nicht gefassten Quellen.	12
Abbildung 5: Prozentualer Anteil der Fassungen im Höhenverlauf.	12
Abbildung 6: PCA der abiotischen Faktoren und Substrattypen.	16
Abbildung 7: Anteil der verschiedenen Strukturgüten in Prozent.	17
Abbildung 8: Prozentualer Anteil der im Umfeld der Quellen auftretenden Vegetationsarten und Landnutzungen.	18
Abbildung 9: Die Artenzahlen der Quellen aufgeteilt nach der Strukturgüte.	21
Abbildung 10: : nMDS der Artenzusammensetzung mit dem Faktor Gesamtergebnis der Bewertung der Quellstruktur.	22
Abbildung 11: Die Artenzahlen der Quellen aufgeteilt nach der Höhenstufe.	23
Abbildung 12: nMDS der Artenzusammensetzung mit dem Faktor Höhenstufe.	24
Abbildung 13: Anzahl gefundene Arten pro Quelle aufgeteilt nach dem Quelltyp.	25
Abbildung 14: nMDS der Artenzusammensetzung mit dem Faktor Quelltyp.	26
Abbildung 15: Boxplots der Verteilung der Artensummen der Quellen aufgeteilt nach dem geologischen Untergrund.	27
Abbildung 16: Eisen - Limnokrene Q158, Grimmialp (23.07.2014)	36
Abbildung 17: Nahaufnahme Q158, Grimmialp (23.07.2014).	37
Abbildung 18: Rheokrenen Q261 und Q262, teilgefasst durch ein Rohr. Entlang des Fildrichs (10.05.2014).	38
Abbildung 19: Rheokrenen Q266 und 267. Entlang des Fildrichs (23.05.2014)	38
Abbildung 20. Kalksinter-Rheokrene Q280. Entlang des Fildrichs (23.05.2014)	39
Abbildung 21: Q269. Entlang des Fildrichs (10.05.2014)	39
Abbildung 22: Nahaufnahme Helokrene Q209. Ober-Mechlistall (07.08.2014)	40
Abbildung 23: Quellsystem Q208, im Hintergrund sumpfiges Gebiet. Ober-Mechlistall (07.08.2014).	41
Abbildung 24: Quellkomplex Q229. Goldbachquellen (20.05.2014)	42
Abbildung 25: Quellkomplex Q229. Goldbachquellen (20.05.2014)	42
Abbildung 26: Quellkomplex Q229. Goldbachquellen (20.05.2014)	43

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abiotische Parameter.....	13
Tabelle 2: Eigenwerte und Varianz der PCA. Werte der ersten fünf Hauptkomponenten (PC)	14
Tabelle 3: Komponentenmatrix der PCA. Hohe Ladungen sind fett markiert. (Rot = negative Ladung, grün = positive Ladung)	15
Tabelle 4: Krenobionte Arten.....	20
Tabelle 5: Output der ANOSIM Ähnlichkeitsanalyse.....	23
Tabelle 6: Output der ANOSIM Ähnlichkeitsanalyse.....	26

10 Anhang

10.1 Schutzgebiete im Naturpark Diemtigtal

Bund

Inventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz (ISOS)	Diemtigen, Ortsbild von nationaler Bedeutung
Auengebiet von nationaler Bedeutung	Nr. BE 75 Brünnlisau
	Nr. BE 76 Wilerau
Amphibienlaichgebiet von nationaler Bedeutung	Nr. BE 742 „Ägelsee-Moor“
	Nr. BE 756 „Flachmoor Oberste Gurbs“
Hochmoor von nationaler Bedeutung	Nr. BE 528 „Ägelsee-Moor“
	Nr. BE 1511 „Oberste Gurbs“
Trockenwiesen und –weiden von nationaler Bedeutung	(mehrere Objekte, Inventar noch nicht rechtskräftig)

Kanton

Naturschutzgebiet	Spillgarten
	Ägelsee
Trockenstandorte von (voraussichtlich) nationaler und regionaler Bedeutung	(mit Bewirtschaftungsverträgen geschützt)
Feuchtgebiete (Flachmoore) von nationaler Bedeutung	Nr. BE 1511 „Oberste Gurbs“, inkl. Amphibienlaichgebiet von nationaler Bedeutung Nr. BE 756 „Flachmoor Oberste Gurbs“) und regionaler Bedeutung (mit Bewirtschaftungsverträgen geschützt)
4 rechtskräftige Waldreservate	(geschaffen im Zusammenhang mit den Waldzerstörungen des Orkans „Lothar“ vom Dezember 1999)
Div. Gewässerschutzzonen	im Bereich von Trinkwasserfassungen
Inventar der schützens- und erhaltenswerten Bauten (Baudenkmäler)	die Gemeinde Diemtigen ist Trägerin des Wakker-Preises 1986 (Auszeichnung für die besonders schöne Streusiedlung)

Quelle: www.diemtigtal.ch

11.0.2 Liste der kartierten Quellen

Name	Fassung	X	Y	Höhe	Quellentyp	Temperatur	O2 in %	O2 in mg/L	Elektrische Leitfähigkeit	pH	Ergebnis Strukturbewertung	Eisen	Geologie	
Q1 Bächeloume	Rohr / Rinne, neu	630614	166121	860	Kalkstein-Rheokrene, künstlich	10,70	95,00	9,50	965	8,53	4		Tras	
Q2 Teuffelbach	Rohr / Rinne, alt	605538	165579	900	Rheokrene, künstlich	11,40	87,00	8,50	845	7,94	2		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q4 Teuffelbach	Brunnenstube mit Überlauf, alt	609881	164588	857	Rheokrene, künstlich	13,00	78,20	7,40	1133	7,64	4		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q15 Grund	Komplette Fassung ohne oberflächlichen Abfluss	630616	166009	730	Komplette Fassung ohne oberflächlichen Abfluss	0,00	0,00	0,00	0	0,00	-		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q16 Grund	Komplette Fassung ohne oberflächlichen Abfluss	609626	165065	730	Komplette Fassung ohne oberflächlichen Abfluss	0,00	0,00	0,00	0	0,00	-		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q20 Buechacher	Rohr / Rinne, alt	630445	165500	930	Kalkstein-Rheokrene, künstlich	9,00	71,40	7,40	840	8,70	3	Ja	Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q28 Ruet/Houerten	Nicht gefasst	630550	164801	970	Rheokrene	6,70	0,00	0,00	513	7,60	2		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q29 Ruet/Houerten	Brunnenstube mit Überlauf, alt	630600	164691	980	Rheokrene, künstlich	6,70	0,00	0,00	525	7,60	4		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q30 Sengli	Komplette Fassung ohne oberflächlichen Abfluss	609626	165154	790	Komplette Fassung ohne oberflächlichen Abfluss	0,00	0,00	0,00	0	0,00	-		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q31 Sengli	Komplette Fassung ohne oberflächlichen Abfluss	609621	165033	790	Komplette Fassung ohne oberflächlichen Abfluss	0,00	0,00	0,00	0	0,00	-		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q32 Houerten	Nicht gefasst	630549	164443	1130	Rheokrene	6,70	0,00	0,00	464	7,60	2		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q48 Schlüpfatte	Komplette Fassung ohne oberflächlichen Abfluss	609436	163944	1280	Komplette Fassung ohne oberflächlichen Abfluss	0,00	0,00	0,00	0	0,00	-		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q49 Schlüpfatte	Komplette Fassung ohne oberflächlichen Abfluss	609478	163044	1090	Komplette Fassung ohne oberflächlichen Abfluss	0,00	0,00	0,00	0	0,00	-		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q79 Tschugene	Komplette Fassung ohne oberflächlichen Abfluss	605658	161822	1280	Komplette Fassung ohne oberflächlichen Abfluss	0,00	0,00	0,00	0	0,00	-		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q84 Tiermatt	Nicht gefasst	605615	159401	1113	Rheokrene	5,70	95,90	7,24	601	8,04	2		Schuttkegel	
Q85 Tiermatt	Brunnenstube mit Überlauf, alt	604438	159320	1110	Rheokrene, künstlich	6,10	73,50	8,00	622	8,00	3		Schuttkegel	
Q110 Obers/Baachi	Nicht gefasst	605078	163029	1566	Rheokrene	8,60	95,70	9,36	398	7,78	2		Willdyflöcher der Zone Submediane	
Q112 Heji	Nicht gefasst	604573	162549	1489	Rheokrene	7,30	74,70	7,52	762	7,00	1		Malm bzw. Jura im Allgemeinen	
Q113 Heji	Nicht gefasst	604457	162417	1441	Kalkstein-Rheokrene	8,00	90,00	8,91	799	7,00	1		Malm bzw. Jura im Allgemeinen	
Q121 Heji	Nicht gefasst	604690	162133	1484	Rheokrene	8,50	93,90	8,35	666	6,80	1		Malm bzw. Jura im Allgemeinen	
Q115 Heji	Nicht gefasst	604746	162560	1490	Rheokrene	8,90	91,90	8,88	715	6,80	2		Malm bzw. Jura im Allgemeinen	
Q118 Udergestetle	Brunnenstube mit Überlauf, alt	600086	163085	1618	Rheokrene, künstlich	4,80	107,10	11,49	1280	7,84	2		Willdyflöcher der Zone Submediane	
Q119 Udergestetle	Brunnenstube mit Überlauf, verfallen	600097	163020	1609	Rheokrene, künstlich	4,80	82,20	8,82	1216	7,81	2		Willdyflöcher der Zone Submediane	
Q131 Seeborg	Nicht gefasst	600406	158785	1827	Helokrene	7,00	62,20	5,70	430	7,88	1		Willdyflöcher der Zone Submediane	
Q134 Seeborg	Brunnenstube mit Überlauf, alt	600470	158784	1825	Helokrene, künstlich	7,20	69,40	6,73	321	7,73	3		Willdyflöcher der Zone Submediane	
Q135 Seeborg	Nicht gefasst	600649	159209	1757	Helokrene	7,10	92,70	8,99	388	7,78	1		Willdyflöcher der Zone Submediane	
Q136 Seeborg	Nicht gefasst	600654	159216	1758	Helokrene	6,90	82,90	8,09	496	7,87	1		Willdyflöcher der Zone Submediane	
Q137 Chuewald	Nicht gefasst	600479	159624	1722	Helokrene	7,20	77,60	7,51	730	7,91	2		Willdyflöcher der Zone Submediane	
Q138 Chuewald	Nicht gefasst	600507	159475	1739	Helokrene	4,30	60,70	6,56	801	7,07	1		Willdyflöcher der Zone Submediane	
Q140 Seeborg	Nicht gefasst	601171	159535	1816	Helokrene	3,80	90,00	9,33	388	7,77	1		Willdyflöcher der Zone Submediane	
Q141 Seeborg	Nicht gefasst	602210	159493	1811	Helokrene	8,10	95,50	9,22	16	7,90	2		Willdyflöcher der Zone Submediane	
Q150 Anger	Rohr / Rinne, alt	604656	160761	1120	Rheokrene, künstlich	7,00	76,70	8,14	302	6,00	1		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q151 Obermatte	Nicht gefasst	603532	158718	1210	Rheokrene	7,10	0,00	0,00	4200	7,76	2		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q154 Wurzi	Nicht gefasst	602558	156597	1564	Rheokrene	8,60	84,50	8,09	663	7,77	1		Tras	
Q155 Wurzi	Nicht gefasst	603636	155871	1465	Rheokrene	4,00	100,30	10,94	375	8,40	1	Ja	Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q156 Wurzi	Nicht gefasst	622142	162578	1281	Rheokrene	6,20	83,00	8,79	420	8,00	1		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q157 Wurzi	Nicht gefasst	602272	156160	1284	Rheokrene	6,10	94,50	10,01	477	0,00	1		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q158 Wurzi	Nicht gefasst	602470	154413	1817	Umlinkrene	5,00	17,90	1,78	3810	6,80	2	Ja	Tras	
Q159 Grimm	Nicht gefasst	602619	153897	1614	Rheokrene	9,40	98,60	8,91	454	6,80	1		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q160 Grimm	Nicht gefasst	602655	153948	1610	Rheokrene	5,30	92,60	9,32	429	6,20	2		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q162 Grimm	Nicht gefasst	603079	154446	1790	Rheokrene	4,40	97,70	10,17	380	6,50	2		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q185 Wagewege	Rohr / Rinne, alt	607052	162222	1260	Rheokrene, künstlich	6,70	64,00	6,49	600	8,00	2		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q187 Wagewege	Rohr / Rinne, alt	607095	162438	1040	Rheokrene, künstlich	7,10	0,00	0,00	797	7,96	3		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q188 Wagewege	Nicht gefasst	607944	162390	1030	Helokrene	7,00	64,00	6,80	881	7,60	1		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q207 Ober-Mechistal	Nicht gefasst	611456	160486	2007	Rheokrene	3,80	75,50	7,83	422	8,49	1		Niesen-Flysch	
Q208 Ober-Mechistal	Nicht gefasst	611609	160415	2010	Rheokrene	4,30	83,10	8,75	400	8,05	1		Ja	Niesen-Flysch
Q209 Ober-Mechistal	Nicht gefasst	611728	160482	2029	Helokrene	5,20	60,80	6,04	487	8,00	2		Niesen-Flysch	
Q210 Ober-Mechistal	Nicht gefasst	611899	160477	1988	Helokrene	4,30	95,30	9,72	429	8,33	1		Niesen-Flysch	
Q211 Ober-Mechistal	Nicht gefasst	611896	160623	1983	Helokrene	4,10	94,00	9,51	402	8,00	1		Niesen-Flysch	
Q212 Ober-Mechistal	Nicht gefasst	611905	160697	1995	Rheokrene	4,60	82,00	8,20	423	8,52	1		Niesen-Flysch	
Q213 Ober-Mechistal	Nicht gefasst	611850	160888	2013	Rheokrene	5,00	90,00	9,00	489	8,25	2	Ja	Niesen-Flysch	
Q214 Mittel-Mechistal	Nicht gefasst	609096	160801	1813	Rheokrene	8,50	89,30	8,38	445	8,34	1		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q217 Suedlich Rotbä	Rohr / Rinne, alt	609442	162394	1020	Kalkstein-Rheokrene, künstlich	6,70	97,50	10,25	1010	8,00	4	Ja	Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q221 Rotbä	Rohr / Rinne, alt	609649	163499	1020	Kalkstein-Rheokrene, künstlich	6,80	100,00	10,50	791	8,10	2		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q222 Nordlich Rotbä	Brunnenstube mit Überlauf, neu	609670	163277	990	Rheokrene, künstlich	6,70	95,00	9,79	1230	8,13	3		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q224 Undere Nitzel	Nicht gefasst	611900	162394	1695	Rheokrene	4,00	115,20	12,17	341	3,14	1		Ja	Niesen-Flysch
Q225 Undere Nitzel	Brunnenstube mit Überlauf, alt	611994	162423	1700	Rheokrene, künstlich	4,40	112,60	11,87	367	5,52	3	Ja	Niesen-Flysch	
Q228 Undere Drune	Nicht gefasst	611917	162901	1670	Rheokrene	4,40	105,30	11,34	337	7,96	1		Niesen-Flysch	
Q230 Chuewald Gold	Brunnenstube mit Überlauf, alt	611715	164590	1620	Rheokrene, künstlich	6,40	94,80	9,84	410	8,00	2		Niesen-Flysch	
Q230 Chuewald Gold	Brunnenstube mit Überlauf, alt	611803	164775	1470	Rheokrene, künstlich	6,60	76,90	8,04	576	7,64	4		Niesen-Flysch	
Q232 Spierwald	Brunnenstube mit Überlauf, neu	612170	161101	1623	Rheokrene, künstlich	6,10	91,30	9,39	551	4,40	3		Niesen-Flysch	
Q242 Wagewege	Nicht gefasst	610681	162276	1260	Rheokrene	6,60	0,00	0,00	1707	7,60	2		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q243 Houerten	Nicht gefasst	610681	164426	1160	Rheokrene	6,60	0,00	0,00	460	8,05	1		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q244 Almirred	Brunnenstube mit Überlauf, alt	607479	161697	1200	Helokrene	6,00	96,80	10,44	948	7,44	3		Willdyflöcher der Zone Submediane	
Q246 Obermatte	Brunnenstube mit Überlauf, neu	603536	158679	1210	Rheokrene, künstlich	0,00	0,00	0,00	489	7,46	4		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q247 Wagewege	Nicht gefasst	607515	161977	1100	Rheokrene, künstlich	6,00	0,00	0,00	961	8,00	2		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q248 Wasserbrugg	Nicht gefasst	606087	161743	1040	Rheokrene	6,60	99,20	10,74	775	0,00	2		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q250 Deyen	Nicht gefasst	606298	161998	1050	Rheokrene	8,50	92,80	9,59	599	0,00	2	Ja	Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q251 Oryen Drainage	Rohr / Rinne, alt	606294	161981	1030	Rheokrene, künstlich	8,30	82,00	8,90	610	8,00	2		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q252 Sarge	Brunnenstube mit Überlauf, neu	607852	163886	950	Rheokrene, künstlich	7,70	97,80	10,38	456	0,00	4		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q253 Entschall Bruch	Brunnenstube mit Überlauf, verfallen	608376	163891	940	Helokrene, künstlich	0,00	68,40	5,74	651	8,06	3		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q254 Wampflin	Brunnenstube mit Überlauf, alt	608376	163891	940	Kalkstein-Rheokrene, künstlich	8,10	92,00	9,43	202	8,00	1	Ja	Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q255 Entschall Bruch	Nicht gefasst	608374	163411	930	Rheokrene	7,50	102,00	10,89	568	2,88	3		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q256 Entschall Bruch	Brunnenstube mit Überlauf, alt	608450	163554	930	Rheokrene, künstlich	10,00	83,20	8,37	699	8,04	4		Moräne, mit Wall; inkl. rezente Moräne	
Q257 Cholerebrugg	Nicht gefasst	608858	164115	880	Helokrene versintert	8,50	84,40	9,78	665	8,85	1		Tras	
Q258 Cholerebrugg	Nicht gefasst	608912	164139	880	Helokrene versintert	7,60	93,90	10,14	741	8,00	1		Tras	
Q259 Cholerebrugg	Nicht gefasst	608866	164155	880	Helokrene versintert	8,80	89,50	9,33	674	8,50	1		Tras	
Q260 Cholerebrugg	Nicht gefasst	608978	164166	880	Helokrene versintert	9,00	87,30	9,03	490	0,00	1		Tras	
Q261 Sengli	Rohr / Rinne, alt	609624	164800	790	Rheokrene, künstlich	6,70	91,00	9,38	375	7,40	1			

10.5 Textresultate PCA

PCA
Principal Component Analysis

Data worksheet
Name: Data4
Data type: Other
Sample selection: All
Variable selection: All

PC	Eigenvalues	%Variation	Cum.	%Variation
1	4.19	19.0		19.0
2	2.98	13.6		32.6
3	2.26	10.3		42.9
4	1.8	8.2		51.1
5	1.35	6.1		57.2

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

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Temperatur	0.029	0.258	-0.259	-0.190	0.088
O2Prozent	0.005	-0.488	-0.151	0.199	-0.108
O2mgproLit	-0.039	-0.487	-0.113	0.236	-0.132
Leitfähigkeit	-0.168	0.293	0.107	-0.174	-0.194
pH	0.046	-0.076	-0.014	0.191	0.077
Moosp.	-0.113	-0.013	0.132	0.451	-0.166
Wurzeln	-0.351	0.143	-0.102	0.069	0.084
Fallaub	-0.381	0.113	-0.221	0.167	-0.162
Geniste	-0.363	0.244	-0.006	0.084	0.065
Totholz	-0.402	0.131	-0.150	0.098	0.000
Detritus	0.298	0.136	-0.087	0.046	-0.021
F-Schlamm	0.033	0.031	-0.051	-0.060	-0.054
Vegetation	-0.004	-0.008	-0.118	0.291	0.531
Ton, Schluff	0.063	-0.051	-0.254	-0.325	0.031
Sand	-0.047	-0.168	-0.213	-0.314	-0.299
(Fein)Kies	-0.256	-0.266	-0.107	-0.357	0.096
M-Grobkies	-0.277	-0.265	0.034	-0.300	0.270
Steine	-0.240	-0.232	0.320	-0.122	0.154
Blöcke	-0.186	-0.096	0.429	-0.006	-0.042
Felsen	-0.139	0.036	0.368	-0.006	0.051
Kalksinter	-0.202	-0.021	-0.310	0.109	-0.395
Eisenocker	0.044	0.022	0.348	-0.105	-0.462

Principal Component Scores

Sample	SCORE1	SCORE2	SCORE3	SCORE4	SCORE5
28	-2.71	4.36	2.21	0.382	0.475
32	2.48E-2	2.06	1.29	-1.4	2.17
84	8.61E-2	-0.218	2.03	-1.19E-2	0.25
110	-2.32E-2	-1.22	-1.34	-0.85	0.144
112	7.43E-2	-0.606	0.171	-0.721	0.711
113	-0.409	-0.311	-2.19	3.12E-2	-2.79
114	0.191	-0.83	-0.428	-0.629	6.01E-2
115	3.77E-2	-0.539	-1.31	-1.04	0.101
133	1.09	0.459	0.122	-4.55E-2	2.48
135	2.28	0.208	-1.21	0.488	0.875
136	2.21	0.659	-0.818	0.635	0.901
137	2.22	0.841	-0.498	1.31	0.451
140	0.146	-2.03	0.253	-1.33	0.219
141	2.47	-0.239	-1.58	-4.92E-2	-0.293
151	-2.98	4.07	1.48	-5.51	-8.56E-2
154	1.03	-5.64E-3	1.17	-0.338	0.84
155	-1.65	-2.42	4.48	0.232	-0.527
157	1.67	0.343	2.06E-2	1.42	-0.496
158	1.61	4.62	4.2	-2.55	-5.09
159	2.69E-2	-1.31	0.366	-0.142	1.24
160	0.204	-1.81	-0.217	-2.12	0.521
162	-0.92	-2.06	3.16	-3.44E-2	0.595
188	2.32	1.6	-0.846	0.312	0.813
207	2.08	0.538	0.948	1.24	-0.41
208	0.101	-1.46	2.16	-0.17	-1
209	2.03	1.35	0.523	1.07	0.393
210	1.55	-0.638	-0.305	0.81	-0.434
211	1.07	-0.64	0.336	1.2	-0.699
212	0.717	-0.638	1.53	0.367	-0.752
213	-7.74E-2	-1.71	1.62	-1.24	-1.27
214	-0.114	-1.21	0.327	-0.417	1.12
224	0.426	-1.54	3.6	2.6	-0.322
228	-3.98	-1.18	-0.44	0.477	0.674
229	-3.22	-0.985	-0.725	0.446	0.767
242	2.81	5.19	-1.04	-2.01	0.424
244	0.517	-0.293	-1.03	1.99	-0.79
247	-8.01E-2	-1.79	-0.221	-1.4	1.31
249	-1.72	-2.13	1.57	-0.714	-1.08
250	0.64	-1.07	-0.404	-3.87	-1.6
255	0.473	-1.73	-0.806	-0.643	1.59

257	-2.14	-0.688	-3.06	1.54	-1.73
258	-2.85	-0.124	-2.35	0.909	-2.67
259	-3.85	-1.69	-1.63	-0.727	-1.53
261	-3.04	-0.966	0.517	-3.41E-2	1.2
263	-5.46	1.79	-0.44	8.88E-2	1.17
264	-5.11	5.91	3.62	-0.126	1.36
265	-5.49	3.43	-1.01	2.68	0.888
267	1.6	1.14	-0.591	1.19	5.39E-2
268	-5.05	0.576	-1.07	1.49	0.945
269	-2.17	0.252	-1.81	0.922	-0.296
270	-2.09	-1.68	-1	-0.916	0.512
271	-4.06	2.11	-1.8	0.845	-0.785
272	-3.59	-0.253	-2.27	0.567	-1.43
273	-2.53	2.11	-3.24	0.594	-1.14
276	-2	-1.57	1.12	0.905	0.594
277	0.378	-1.07	-1.74	0.878	-1.55
280	-1.31	-0.852	2.12	-1.56E-2	-0.558
281	-0.427	1.1	-0.326	1.07	-1.87
284	0.9	-1.52	-1.12	-0.766	0.642
285	0.838	-1.29	6.01E-2	-0.818	0.635
286	2.17	0.581	2.67E-2	1.27	-6.43E-2
287	0.961	-0.266	-0.659	-0.227	0.585
288	2.02	-0.307	-0.906	-9.95E-2	-0.535
289	2.27	0.11	-1.73	-0.369	0.387
290	0.119	-2.04	-0.554	-2.42	0.908
291	0.691	-1.85	-0.961	-2.05	0.497
293	2.22	1.4	-0.838	-0.244	1.52
294	1.84	1.57	0.489	0.748	0.379
295	1.34	0.892	-1.1	-1.04	-0.71
296	1.67	1.31	0.363	4.99E-2	0.294
298	1.9	-6.32E-2	-5.32E-2	1.91	-0.201
299	0.566	-1.44	-1.12	-0.723	0.749
300	1.57	0.458	-0.431	1.37	0.256
301	0.141	-0.198	-0.736	-0.734	1.24
302	2.09	2.85	-0.321	0.335	0.62
303	2.39	2.38	-0.536	0.786	1.19
304	-7.9E-2	-1.81	1.93	1.2	0.459
305	-2.16	-2.41	1.67	-0.213	0.417
308	2.16	-0.527	0.643	1.34	-0.704
309	0.645	-1.5	1.23	0.877	-0.7
310	-0.63	-2.21	-0.702	-1.28	1.21
311	0.712	-1.28	1.44	1.59	0.285
312	0.675	-1.3	0.847	1.14	0.415
313	2.01	0.819	-3.21E-2	0.596	-0.249
314	1.73	1.04	0.713	0.981	0.344
318	0.495	-0.497	-8.58E-2	0.336	-0.107
319	0.712	-0.555	0.227	1.47	-0.206
321	1.67	2.01	-0.299	0.514	0.802
323	2.24	1.61	-0.276	1.02	0.806
325	-2.55	-0.736	0.553	-1.2	0.589
326	-0.835	-3.08E-2	-1.23	0.44	-1.73
328	1.43	0.372	-2.36	-3.84	-0.79
330	1.54	-0.582	1.82	0.477	-3.49
331	-5.68E-2	-0.973	2.07	-0.233	9.07E-2
332	1.58	0.754	-1.28	-1.82	-0.493

Outputs
Plot: Graph20

10.6 Redlichkeitserklärung