

UNI  
BASEL

Universität Basel

Departement Umweltwissenschaften

## **Faunistische Charakterisierung alpiner Quellen im Schweizerischen Nationalpark**



### **Masterarbeit**

Susanne Felder

Geowissenschaften

Dr. Stefanie von Fumetti

Professor Peter Nagel

Basel, Mai 2013

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

Professor Peter Nagel für das Ermöglichen der Masterarbeit

Dr. Stefanie von Fumetti für die hilfreichen Anregungen und die Betreuung der Masterarbeit

Dr. Ruedi Haller für die Koordination der Forschungsarbeit im Nationalpark

Der Forschungskommission des SNP für die Übernahme der Feldspesen

Michael Geiser, Dr. Verena Lubini und Florin Rutschmann für die Verifizierung der Arten in ihren jeweiligen Spezialgebieten

Inès Roethele für die Mithilfe bei der Feldarbeit im Nationalpark

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie und Christian Roesti für die Hilfe bei der Feldarbeit und die grosse Unterstützung während der ganzen Masterarbeit.

## **Abstract**

Quellen sind einzigartige Lebensräume für eine spezialisierte Fauna. Doch nur wenige Quellen sind heute noch im natürlichen Zustand anzutreffen. Alpine Quellen sind durch tiefe Temperaturen und eine kurze Vegetationszeit zusätzlich belastet. Im Schweizerischen Nationalpark sind Quellen seit der Gründung im Jahr 1914 vor anthropogenen Einflüssen geschützt. In dieser Masterarbeit wurde erstmals seit NADIG im Jahr 1942 eine umfassende faunistische Charakterisierung von 20 Quellen durchgeführt. Das Ziel der Arbeit war es, ein detailliertes Inventar der Quellfauna zu erstellen und gleichzeitig die wichtigsten abiotischen Faktoren zu analysieren, deren Einflüsse sich auf die Zusammensetzung des Makrozoobenthos auswirken. Die Quellen wurden im Sommer und Herbst 2012 kartiert und die physikochemischen Parameter wurden gemessen. Die Makroinvertebraten wurden quantitativ mit einem Surber-Sampler und qualitativ von Hand abgesammelt. Die Resultate zeigen, dass die Diptera, Trichoptera und Plecoptera die artenreichsten Ordnungen sind. Darunter befinden sich viele kaltstenotherme Arten, teilweise mit begrenzter Verbreitung. Damit wird die Rolle des Schweizer Nationalparks als Schutzgebiet für gefährdete Arten der Quellfauna belegt. Ein zusätzlicher Schutz von Quellen ausserhalb des Parks wäre erstrebenswert.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	II
<b>Tabellenverzeichnis</b>	II
<b>1. Einleitung</b>	1
<b>2. Untersuchungsgebiet</b>	4
2.1 Der Schweizerische Nationalpark	4
2.2 Klima	5
2.3 Geologie	6
2.4 Beschrieb der Quellen	7
<b>3. Material und Methoden</b>	12
3.1 Faunistische Aufnahmen	12
3.2 Kartierung	13
3.3 Messung der abiotischen Parameter	13
3.4 Statistik	14
<b>4. Resultate</b>	15
4.1 Faunistische Daten	15
4.2 Abiotische Daten	19
4.3 Statistische Auswertung	21
<b>5. Diskussion</b>	24
5.1 Faunistische Zusammensetzung	24
5.2 Einfluss abiotischer Faktoren auf die Quellfauna	27
5.3 Methodenkritik	30
5.4 Der Schweizer Nationalpark im Vergleich	31
<b>6. Zusammenfassung</b>	33
<b>Literaturverzeichnis</b>	35
<b>Anhang</b>	42

## Abbildungsverzeichnis

Titelbild	Limnokrene LIM im God dal Fuorn (C. Roesti, 2012)
Abb. 1	Karte des UNESCO-Biosphärenreservats Val Müstair-Parc Naziunal
Abb. 2	Übersichtskarte der 20 untersuchten Quellen.
Abb. 3	Geologische Karte entlang der Ofenpassroute.
Abb. 4	Quelle VCh1 im Val Chavagl im Sommer 2012 (C. Roesti, 2012)
Abb. 5	Quelle VCh2 im Val Chavagl im Sommer 2012. (C. Roesti, 2012)
Abb. 6	Quelle GF3 im God dal Furon (S. Felder, 2012).
Abb. 7	Quellbach der Limnokrene LIM im God dal Fuorn (C. Roesti, 2012)
Abb. 8	Limnokrene LIM im God dal Fuorn (C. Roesti, 2012)
Abb. 9	Val Brüna (C. Roesti, 2012)
Abb. 10	Das Gebiet Buffalora mit der Quelle BUF2 im Vordergrund (C. Roesti, 2012).
Abb. 11	Artenzahl in den untersuchten Quellen (S. Felder, 2013)
Abb. 12	Vorkommen der Arten pro Anzahl Quellen (S. Felder, 2013)
Abb. 13	Qualitätsbewertung Quellen (S. Felder, 2013)
Abb. 14	Ähnlichkeitsdarstellung der 20 Quellstandorte. Erstellt mit PRIMER (S. Felder, 2013).

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Liste der Anwesenheit und Abwesenheit von 70 bestimmten Arten.
Tab. 2	Gemessene abiotische Daten der untersuchten Quellen.

# 1. Einleitung

Quellen bilden den Übergangsbereich zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer. Sie bieten als Ökoton einen Lebensraum für eine spezialisierte und artenreiche Quellfauna, das Krenon (GERECKE & FRANZ 2006). Die Physikochemie von Quellen ist durch geringe saisonale Schwankungen geprägt (CANTONATI ET AL. 2006), so sind zum Beispiel die Temperaturdifferenzen innerhalb eines Jahres gering (VAN DER KAMP 1995). Generell werden Quellen oft als stabile Lebensräume mit konstanten Bedingungen bezeichnet (GERECKE & FRANZ 2006). Dies gilt nach CANTONATI ET AL. (2012) allerdings nur für Quellen mit hohem und stetigem Abfluss. Gleichzeitig sind Quellen aufgrund ihrer Kleinräumigkeit, der dadurch entstehenden Isolation sowie ihrer speziellen Lebensbedingungen sehr empfindliche Lebensräume (ZOLLHÖFER 1997). Die Isolation erschwert bei Störungen die Wiederbesiedlung oder das Ausweichen auf andere Lebensräume (LUBINI ET AL. 2012).

In der Schweiz sind heute nur noch wenige Quellen in einem natürlichen Zustand anzutreffen (ZOLLHÖFER 1997). Während Quellen in Deutschland gesetzlich geschützt sind, gibt es in der Schweiz keine ausreichenden Schutzbestimmungen (WEBER 2006). Die Fauna ist insbesondere durch Quellfassungen für die Trinkwassergewinnung, Viehtritt und anthropogene Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft gefährdet (WEIGAND & GRAF 2004, GERECKE & FRANZ 2006).

In alpinen Höhenlagen sind die Lebensbedingungen durch die tiefen Temperaturen und die lange Schneebedeckung zusätzlich erschwert (ROBINSON ET AL. 2007). Im Alpenraum sind Quellen auch bereits seit langer Zeit durch Störungen wie Forstwirtschaft oder Alpwirtschaft beeinflusst (WEBER 2006). Gegenwärtig bedrohen steigende Wassertemperaturen, bedingt durch den Klimawandel, den Lebensraum Quelle (VITTOZ ET AL. 2013).

Bisher gibt es nur wenige faunistische Aufnahmen von Quellen in der Schweiz. Eine Grundlage über Quellen im Mittelland und Jura gibt ZOLLHÖFER (1997). Die Quellen im nördlichen Jura wurden durch VON FUMETTI (2008) untersucht. WIGGER (2010) erforschte Quellen entlang eines Höhengradienten im Berner Oberland. Im Kanton Graubünden wurde durch WEBER (2006) eine Strukturanalyse von 51 Quellen innerhalb des Projektes „Alpenquellen“ durchgeführt. Obwohl der Alpenraum besonders reich an Quellen ist, sind alpine Quellen noch ungenügend untersucht. CANTONATI ET AL. veröffentlichten 2006 einen Review über alpine Quellen. Im umliegenden Ausland wurden Quellen in mehreren Nationalparks in den Alpen in Langzeitstudien untersucht (Adamello-Brento, Berchtesgaden, Gesäuse, Kalkalpen). Der Einfluss von ökologischen Faktoren auf die alpine Quellfauna wurde unter anderem von LENCIONI ET AL. (2012) beschrieben.

Der Schweizer Nationalpark (SNP) ist ein Refugium für Tier- und Pflanzenarten in den Alpen. Der einzige Nationalpark der Schweiz liegt im Südosten des Landes im Kanton Graubünden und wurde im Jahr 1914 gegründet. Seither steht das Gebiet unter absolutem Naturschutz. Die Fläche beträgt heute 170.3 km<sup>2</sup>. Neben dem Naturschutz sind die Forschung und die Informationsarbeit zentrale Aufgaben des Nationalparks (NATIONALPARK.CH).

Im Nationalparkgesetz ist festgehalten, dass das Reservat vor allen menschlichen Eingriffen geschützt ist, ausser sie dienen der direkten Erhaltung des Parks (HALLER 2006). Der Nationalpark ist international als strenges Naturschutzgebiet, auch Wildnisgebiet, anerkannt (EUROPARC & IUCN 2000). In zwei Aspekten ist der Schweizerische Nationalpark nicht vor menschlichen Eingriffen geschützt: die Ofenpassstrasse und der Livigno-Stausee. Die Strasse über den Ofenpass führt ganzjährig vom Unterengadin ins Münstertal. Der Stausee für die Stromgewinnung beeinflusst vor allem den Spöl, den grössten Fluss im Nationalpark. Vor der Gründung wurde im heutigen Schutzgebiet auch Forstwirtschaft und im Gebiet Il Fuorn und Munt la Schera seit Ende des 15. Jahrhunderts Bergbau betrieben (SCHLAEPFER 1960). Folglich sind die Wälder am Ofenpass keine Urwälder. Sie entwickeln sich erst seit der Parkgründung wieder zu natürlichen Wäldern.

Als einziges nationales Schutzgebiet im Schweizer Alpenraum spielt der Nationalpark eine zentrale Rolle im Schutz von naturnahen Quellen. Im Gebiet Il Fuorn sind von Schmassmann über 100 Quellenstandorte beschrieben (STEINER 2005). Die genaue Anzahl Quellen im Schweizerischen Nationalpark ist jedoch nicht bekannt. Die Gewässerforschung im Nationalpark begann mit NADIG (1942). In seiner Dissertation untersuchte er intensiv die physikochemischen und faunistischen Eigenschaften von fünf Quellen und deren Quellbäche im Gebiet Il Fuorn. Dies war gleichzeitig die erste Studie über alpine Quellen im ganzen Alpenraum (CANTONATI ET AL. 2006). In weiteren Untersuchungen im Schweizer Nationalpark wurden vorwiegend physikalische und chemische Parameter von Fliessgewässern untersucht (NOLD & SCHMASSMANN 1954, DÖRING 2002). Das Interesse in der Gewässerforschung im Schweizerischen Nationalpark verstärkte sich seit dem Bau der Livigno-Staumauer (SCHEURER 2003). Die Entwicklung im Spöl wurde genau untersucht und seit 1996 besteht ein Langzeitmonitoring, wobei vor allem das Restwasser-Management erforscht wird (MÜRLE & ORTLEPP 2012). Das Seenplateau Macun gehört seit dem Jahr 2000 zum Nationalpark und ist Teil eines Langzeitmonitorings (SCHANZ ET AL. 2012). Die Quellen im Nationalpark wurden nach der Untersuchung von NADIG (1942) in mehreren hydrologischen Studien untersucht (DÖRING 2002, STEINER 2005, ROBINSON 2007). In Studien über bestimmte Tiergruppen im Nationalpark wie Mollusken (BÜTIKOFER 1920), Steinfliegen (AUBERT 1965) und Wassermilben (BADER 1977) wurden auch Quellen beprobt.

In der vorliegenden Masterarbeit wurden 20 Quellen innerhalb des Schweizerischen Nationalparks sowie ausserhalb der Parkgrenzen auf der Alp Buffalora untersucht. Das Ziel der Arbeit war es, ein detailliertes Inventar der Quellfauna zu erstellen. Zusätzlich wurden die wichtigsten abiotischen Faktoren analysiert, um deren Einflüsse auf die Zusammensetzung des Makrozoobenthos zu ermitteln. Das Inventar von alpinen Quellen mit gleichzeitiger Betrachtung der abiotischen Faktoren gibt uns einen ersten Einblick in ein von anthropogenen Einflüssen geschütztes Gebiet in den Schweizer Alpen.

## 2. Untersuchungsgebiet

### 2.1 Der Schweizerische Nationalpark

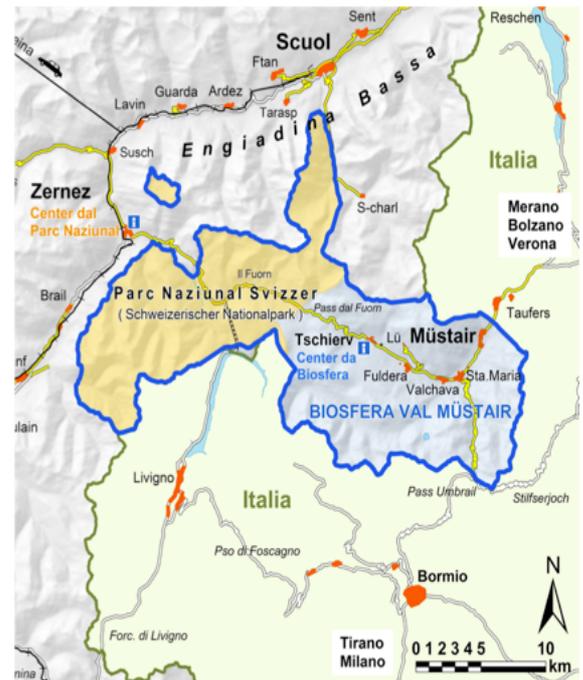
Das Untersuchungsgebiet liegt im Schweizerischen Nationalpark und im angrenzenden Gebiet des Naturparks „Biosfera Val Müstair“. Seit 1979 ist der Schweizer Nationalpark ein UNESCO Biosphärenreservat. Im Jahr 2010 wurde das Reservat erweitert und das Val Müstair als Entwicklungs- und Erhaltungszone an die Kernzone im Nationalpark angegliedert (Abb. 1; NATIONALPARK.CH).

Der Schweizer Nationalpark umfasst die subalpine bis nivale Höhenzone zwischen 1400 m ü. M. bis 3173 m ü. M.. Der grösste Teil der Vegetation besteht aus Nadelwäldern (*Pinus mugo*, *Larix decidua*, *Pinus cembra*) sowie alpinen Matten (SCHEURER 2003).

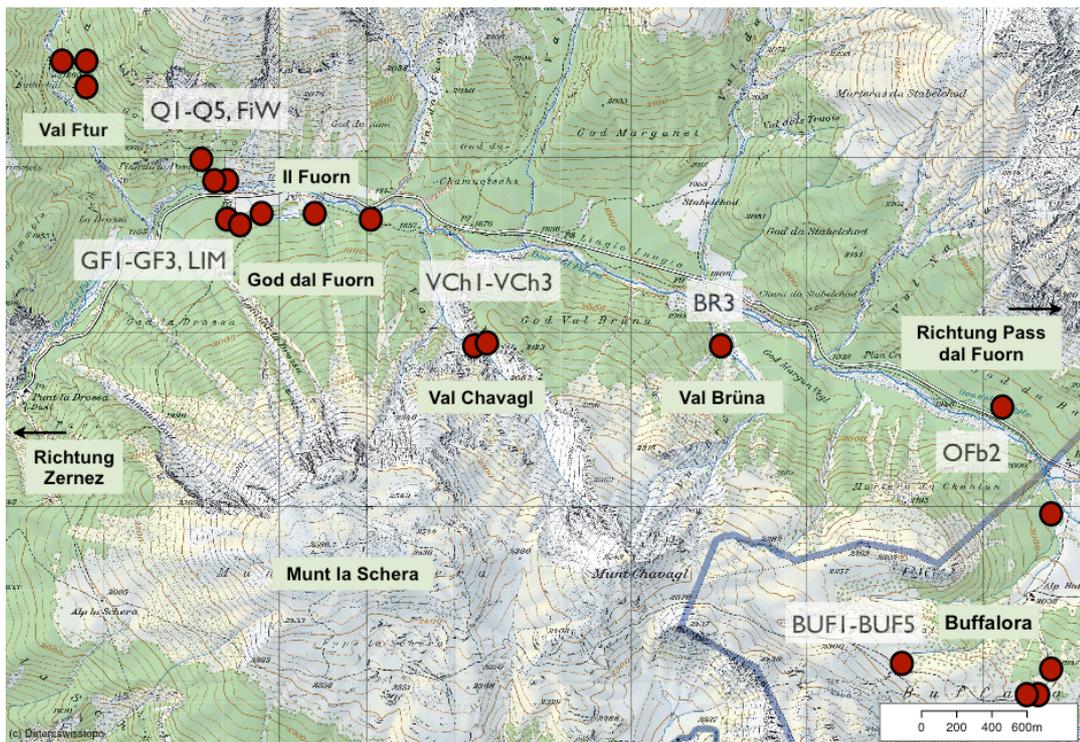
Der Ausgangsort zu den Quellen im Gebiet am Ofenpass ist die rätoromanische Gemeinde Zernez. Das Untersuchungsgebiet ist begrenzt durch den Ofenpass mit dem Gebiet Buffalora im Osten, den Munt la Schera im Süden, das Val Ftur im Westen und den Bergkamm vom Piz Laschadurella bis zum Piz Tavrü im Norden.

Die Quellen liegen im Gebiet Il Fuorn (46° 39' N / 10° 13' E) und Buffalora (46° 38' N / 10° 16' E) (Abb. 2). Il Fuorn ist der zentrale Ausgangspunkt im Untersuchungsgebiet für die umliegenden Täler Val Ftur, Val Chavagl, Val Brüna und den God dal Fuorn. Der Parkplatz Buffalora, ist gleich an der Parkgrenze gelegen und Ausgangspunkt für die Quellen auf der Alp Buffalora und die Quelle OFb2. Die Alp Buffalora liegt ausserhalb der Parkgrenzen. Die Quellen liegen zwischen 1770 m ü. M. und 2255 m ü. M. in der subalpinen bis alpinen Lage.

Die untersuchten Quellen liegen im Einzugsgebiet der Ova dal Fuorn, dem Ofenbach. Der Ofenbach entspringt auf dem Jufplaun im Gebiet Buffalora. Er fliesst durch den Schweizer Nationalpark und mündet kurz vor dem Ausgleichsbecken Lai da Ova Spin in den Spöl. Dieser fliesst bei der Gemeinde Zernez in den Inn, der sich in die Donau und später im Schwarzen Meer entwässert.



**Abb. 1** Karte des UNESCO-Biosphärenreservats Val Müstair-Parc Naziunal (NATIONALPARK.CH).



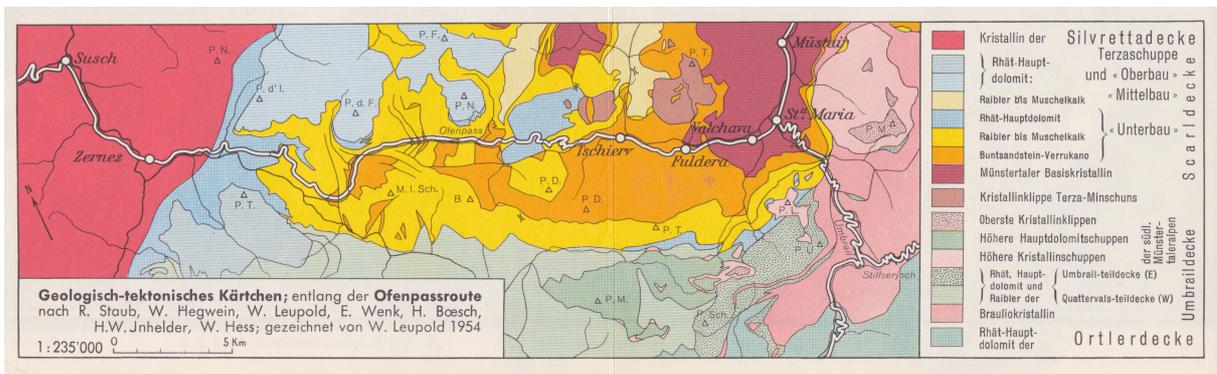
**Abb. 2** Übersichtskarte der Standorte der 20 untersuchten Quellen (rot). Die Parkgrenze ist blau markiert. Masstab 1: 25'000 (MAP.GEO.ADMIN.CH).

## 2.2 Klima

Die mittlere Lufttemperatur bei der Messstation Buffalora auf 1968 m ü. M. beträgt  $0.7^{\circ}\text{C}$  und die Temperatur variiert zwischen  $-9.2^{\circ}\text{C}$  im Winter und  $10.3^{\circ}\text{C}$  im Sommer (METEOSCHWEIZ 2013). Während sechs Monaten im Jahr liegt die Lufttemperatur über dem Gefrierpunkt. Die Vegetationszeit von etwa drei Monaten ist sehr kurz. Der Jahresniederschlag auf Buffalora beträgt 793 mm, wobei im Sommer am meisten Niederschlag fällt. Im Vergleich zu anderen alpinen Standorten ist das Gebiet des Nationalparks eher trocken mit wenig Niederschlag und geringer Luftfeuchtigkeit (HALLER 2006, NATIONALPARK.CH). Seit 1990 werden bei Buffalora und auch weiteren Messstationen im Engadin ansteigende Temperaturwerte gemessen (KETTERER & HALLER 2009).

## 2.3 Geologie

Der Schweizer Nationalpark gehört geologisch betrachtet zu den Ostalpen und liegt zum grössten Teil in den Engadiner Dolomiten (TRÜMPY 1997, HALLER 2006). Eine Ausnahme bildet das seit dem Jahr 2000 zum Nationalpark gehörende Gebiet Macun, das im Silvretta-Kristallin liegt. Die untersuchten Quellen befinden sich in der S-charl Decke, die in einen Unter- und einen Oberbau aufgeteilt werden kann. Fast alle Quellen liegen im Unterbau der S-charl Decke (Abb. 3). Diese geologische Schicht besteht aus Sedimentschichten, hauptsächlich Dolomit (KARAGOUNIS 1962). Die Grenze zwischen dem Hauptdolomit und der Raibler-Schicht ist ein wichtiger Quellhorizont (TRÜMPY 1997). Die starke Verwitterung des Gesteins ist im Nationalpark durch Murgänge und Geröllhalden gut sichtbar (HALLER 2006).



**Abb. 3** Geologische Karte entlang der Ofenpassroute gezeichnet von W. Leupold 1954 (SOMM 1965).

## 2.4 Beschrieb der Quellen

### Val Ftur (Q1-Q5, FiW)

Das Val Ftur liegt nördlich vom Hotel Il Fuorn. Alle Quellbäche mit Ausnahme von Q5 und FiW fließen in die Ova dal Val Ftur, die später in die Ova dal Fuorn mündet. Der Quellbach von Q5 sowie FiW fließt direkt in die Ova dal Fuorn.

- Q1 Die Quelle Q1 liegt im Wald auf 1832 m ü. M. oberhalb des Feldlabors bei Il Fuorn. Das Wasser läuft aus einem Rohr und aus dem Überlauf einer alten Fassung oder Brunnstube ab. Das Substrat besteht hauptsächlich aus Kies und Steinen.
- Q2 Auf einer Höhe von 1920 m ü. M. liegt die Rheokrene Q2. Das Substrat ist mit Kies, Steinen, Totholz, Detritus, Sand, Steinen und Moospolstern sehr vielfältig.
- Q3 Die Quelle Q3 ist eine Rheokrene und liegt auf rund 1960 m ü. M. in einem steilen Mittelhang. Das Substrat besteht hauptsächlich aus Kies und Steinen. Im Herbst konnten in der Quelle Trittsuren von Rothirschen beobachtet werden. Der Quellbach fließt nach 220 m über den Wanderweg, der von Il Fuorn nach Champlönch führt.
- Q4 Ein wenig erhöht über dem Flussbett der Ova dal Val Ftur liegt auf 1900 m ü. M. die Quelle Q4. Es ist eine Sickerquelle mit Moospolstern, Detritus und Kies als Hauptsubstrate. Der Quellbach mündet nach nur wenigen Metern in die Ova dal Val Ftur. Die Moospolster im Quellbereich bieten Lebensraum für hygropetrisch lebende Tiere.
- Q5 Auf 1780 m ü. M. liegt die Rheokrene Q5 in einem Schuttkegel nahe des Hotels Il Fuorn. Die Fließgeschwindigkeit ist sehr schnell und das Substrat besteht nur aus Kies, Steinen, Felsen und Sand.
- FiW Neben dem Feldlabor bei Il Fuorn liegen drei künstlich erschaffene Fischweiher (NADIG 1942). Der kleinste der drei Weiher wurde untersucht. Das Substrat ist nicht divers und besteht hauptsächlich aus feinem anorganischem und organischem Material.

### Val Chavagl (VCh1-VCh3)

Das Val Chavagl liegt südöstlich von Il Fuorn. Das Tal ist durch Schuttansammlungen geprägt. Die früher von Schmassmann (STEINER 2005) kartierten Quellen im Tal sind heute verschüttet.

- VCh1 Die höchst gelegene Quelle in dieser Untersuchung innerhalb des Nationalparks liegt im Val Chavagl auf 1975 m ü. M. (Abb. 4). Die Rheokrene entspringt in einem Gebüsch von Föhren, Lärchen und Birken. Das Substrat ist sandig.
- VCh2 Die zweite Quelle im Val Chavagl liegt nur etwa 15 m von VCh1 entfernt auf 1965 m ü. M. (Abb. 5). Das Wasser fließt aus mehreren Austritten und sammelt sich in einem kleinen See. Im Herbst war der See deutlich kleiner als im Sommer.
- VCh3 Die Quelle VCh3 liegt auf 1845 m ü. M. gleich neben dem Wanderweg von Il Fuorn in Richtung Buffalora. Das Wasser fließt mit einer sehr hohen Fließgeschwindigkeit aus einem Rohr. Das Substrat besteht hauptsächlich aus grossen Steinen, Kies und Sand.



**Abb. 4, 5** Die Quellen VCh1 und VCh2 im Val Chavagl im Sommer 2012.

### God dal Fuorn (GF1-GF3, LIM)

Die Quellen im God dal Fuorn liegen nahe beieinander auf rund 1800 m ü. M.. Der Wald ist von Il Fuorn in wenigen Minuten erreichbar. Alle drei Quellen führten im Herbst nur noch wenig Wasser.

- GF1 Die Quelle GF1 ist eine sumpfige Helokrene. Bereits im Sommer konnte nur eine niedrige Schüttung gemessen werden. Das Substrat ist sehr vielfältig und besteht neben Sand, Kies und Steinen auch aus Moospolstern und Falllaub.
- GF2 Der Wanderweg vom Parkplatz 5 in Richtung Munt la Schera führt direkt neben der Quelle GF2 vorbei. Die Rheokrene hat ein durch Detritus und Totholz geprägtes Substrat. Im Herbst waren neben der Quelle Hirschspuren, Hirschlosung sowie eine Hirschsuhle zu sehen.
- GF3 Die dritte Quelle im God dal Fuorn ist GF2 sehr ähnlich (Abb. 6). Es ist eine Rheokrene und das Substrat ist von organischen Bestandteilen geprägt.
- LIM Die Limnokrene LIM liegt auf 1822 m ü. M. am Hangfuss des Munt la Schera (Abb. 7,8). Der Quellteich ist etwa zwei Meter tief und wurde erstmals zwischen 1934 und 1937 von NADIG (1942) untersucht. Das Substrat besteht aus Detritus und zusätzlich sind Totholz, Pflanzen und Falllaub zu beobachten. Der Quellbach mündet rund 150 m unterhalb der Quelle in der Ova dal Fuorn.



**Abb. 6, 7, 8** Die Quelle GF3 im God dal Fuorn sowie der Quellbach von LIM und deren Quellteich.

### **Val Brüna (BR3)**

Südlich der Ova dal Fuorn liegt das Val Brüna (Abb. 9). Das Tal ist durch Murgänge geprägt, wodurch auch einige früher kartierte Quellen verschüttet wurden.

BR3 Der Abfluss der Rheokrene BR3, die auf 1933 m ü. M. liegt, mündet nur wenige Meter neben dem Quellaustritt in einer kleinen Mulde, wo sich ein kleiner Teich ansammelt. Das Substrat ist sandig. Im Herbst war die Quelle ausgetrocknet.



**Abb. 9** Das durch Murgänge geprägte Val Brüna.

### **Ova dal Fuorn (OFb2)**

Nahe der Parkgrenze des Nationalparks liegt die Quelle OFb2 an der Ofenpassstrasse.

OFb2 Die Quelle liegt auf 1960 m ü. M. und entspringt am Rande einer Lichtung, durch die mehrere Quellbäche der Quelle fließen. Die schnell fließende Rheokrene wirkt naturnah. Nach rund 500 m mündet der Quellbach Ova dals Pluogls in der Ova dal Fuorn.

### **Buffalora (BUF1-BUF5)**

Im Gebiet Buffalora ausserhalb des Nationalparks wird im Sommer Alpwirtschaft betrieben. Der Lebensraum über der Waldgrenze ist geprägt durch Alpweiden, Zwergsträucher, einzelne Arven und Föhren (Abb. 10). Die Vegetationszeit in über 2000 m ü. M. dauert nur wenige Monate.

- BUF1 Die Limnokrene liegt auf rund 2180 m ü. M. mitten in einer Alpweide. Die Fläche des Tümpels ist im Sommer deutlich grösser als im Herbst. Das Substrat besteht hauptsächlich aus Feinmaterial.
- BUF2 Auf gleicher Höhe wie BUF1 liegen mehrere Quellaustritte nahe beisammen, die aus dem gleichen Quellhorizont entspringen. Der Quellbach von BUF 2 fliesst in die Ova dal Buffalora, die später in die Ova dal Fuorn mündet.
- BUF3 Mit einer Höhe 2255 m ü. M. ist die Quelle BUF3 die höchst gelegene Quelle dieser Untersuchung. Sie liegt in einem Schutthang in Richtung *Fop da Buffalora* und zeichnet sich durch eine hohe Schüttung aus. Das Substrat besteht vorwiegend aus Kies, Steinen und Schotter.
- BUF4 Die Quelle BUF4 liegt auf 2163 m ü. M.. Die Quelle ist eingezäunt, da Wasser für einen Brunnen am Wegrand entnommen wird. Das Substrat besteht hauptsächlich aus Detritus und Sand.
- BUF5 Unterhalb der Alp Buffalora liegt die Quelle BUF5 auf 1980 m ü. M. nahe dem Waldrand. Es ist eine von mehreren Sickerquellen an einem Hang, die flächig austreten. Bereits im Sommer fliesst nur wenig Wasser ab, im Herbst ist kein oberirdischer Abfluss mehr beobachtbar.



**Abb. 10** Das Gebiet Buffalora mit der Quelle BUF2 im Vordergrund.

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Faunistische Aufnahmen

Die Quellen im Schweizer Nationalpark wurden bei einer Feldbegehung im Mai 2012 aus bekannten Koordinaten von Schmassmann (STEINER 2005) ausgewählt. Die 20 Quellen wurden im Sommer (01.06. - 05.06.2012) und im Herbst (25.09. - 27.09.2012) untersucht. Im Herbst führte die Quelle BUF5 im Gebiet Buffalora keinen oberflächlichen Abfluss mehr und die Quelle BR3 im Val Brüna war ganz ausgetrocknet. Beide Quellen konnten deshalb nur im Sommer beprobt werden. Der Lebensraum wurde jeweils in den ersten fünf Metern nach dem Quellaustritt berücksichtigt, wobei die Proben in der Reihenfolge vom unteren Bereich der Quelle aufwärts bis zum Quellaustritt entnommen wurden (VON FUMETTI ET AL. 2006, VON FUMETTI ET AL. 2007). Es wurden mit einem Surber-Sampler der Fläche  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  ( $0.01 \text{ m}^2$ ) und einer Maschenweite von  $500 \mu\text{m}$  in jeder Quelle vier quantitative Proben genommen. Dabei wurde die Häufigkeit der unterschiedlichen Substrattypen berücksichtigt. Das mit dem Surber-Sampler entnommene Substrat wurde in einer Weisseschale aufgefangen und grosse Bestandteile wie Steine und Vegetation wurden aussortiert. Danach wurde die Probe durch ein Sieb (Maschenweite:  $500 \mu\text{m}$ ) geschüttet und in einem Becher in Ethanol (80%) fixiert. Zusätzlich zu dieser quantitativen Aufnahme des Makrozoobenthos folgte ein qualitatives Absammeln von Hand, bei dem Steine, Laubblätter, Moos und Totholz abgesammelt wurden. Die Tiere wurden in Ethanol (70%) konserviert. Im Labor wurden die Proben gewaschen und unter dem Binokular (bis 80-fache Vergrößerung) aussortiert. Die Individuen wurden wenn möglich auf Artniveau bestimmt und nach Taxon aufgetrennt in Ethanol (70%) aufbewahrt. Für die statistische Auswertung wurden bei den Plecoptera (*Leuctra* gr. *braueri-muranyii*) und Chironomidae (Chironomidae und Chironomini) Morphotypen unterschieden, die dem Artniveau entsprechen. Die Gastropoda, Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera und Trichoptera wurden von Fachspezialisten überprüft. Die Ergebnisse der Acari und Diptera der Familien Thaumaleidae und Psychodidae, die ebenfalls an Spezialisten gegeben wurden, waren beim Abschluss dieser Arbeit noch nicht bekannt.

### **3.2 Kartierung**

Bei der ersten Probenahme im Sommer wurden die Quellen mit dem Bewertungs-verfahren für Quellen vom Bundesamt für Umwelt BAFU (LUBINI ET AL. 2009, A6) kartiert. Drei Quelltypen wurden unterschieden: Rheokrene (Sturzquelle), Helokrene (Sumpfquelle) und Limnokrene (Weiherquelle). Zusätzlich wurde das Substrat und die Umgebung der Quelle kartiert. Die Schüttung wurde mit Hilfe eines Plastiksacks sowie einem Messbecher während fünf Sekunden gemessen und später auf die Einheit Liter pro Minute umgerechnet. Die Schüttung der beiden Limnokrenen LIM und BUF1 wurde im Vergleich mit den anderen Quellen geschätzt. Das Bewertungsverfahren teilt die Quellen in fünf verschiedene Klassen zwischen naturnah und geschädigt ein.

### **3.3 Messung der abiotischen Parameter**

Die abiotischen Parameter pH-Wert, Sauerstoff (mg/l und %), Leitfähigkeit ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) und Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) wurden mit Feldgeräten (WTW, Wissenschaftlich-Technische Werke, Weilheim, Deutschland) erfasst. Alle Messgeräte wurden täglich kalibriert, das Sauerstoffmessgerät sogar mehrmals täglich. Aufgrund von technischen Problemen wurde der Sauerstoffgehalt nur bei der Herbstaufnahme gemessen. Bei einer zusätzlichen Feldbegehung im Oktober 2012 (08.10. - 10.10.2012) wurde die Leitfähigkeit direkt im Feld gemessen, bei einer fehlerhaften Anzeige des Messgeräts wurden Wasserproben entnommen. Diese wurden im Labor mit einem neuen Gerät ausgewertet. Die Werte der Leitfähigkeit der Messungen im Oktober wurden mit Hilfe einer Umrechnungstabelle und der im Feld gemessenen Temperatur auf  $25^{\circ}$  Celsius normiert. Mit Hilfe doppelter Messungen-Messungen in den Quellen und Wasserproben im Labor- wurden die Werte überprüft.

### 3.4 Statistik

Für die statistische Auswertung der faunistischen und abiotischen Daten wurde das Programm PRIMER (CLARKE & GORLEY 2006) verwendet, das multivariate Analysen beherrscht. Mit PRIMER wurden die faunistischen Daten in einem nMDS-Plot (nonmetric Multi-Dimensional Scaling) dargestellt, um die Ähnlichkeit der Quellen untereinander zu verstehen. Dafür wurden nur die quantitativ gesammelten Daten verwendet. Die Daten wurden transformiert (Square root) und in einer Dreiecksmatrix (Bray-Curtis Similarity) nach ihrer Ähnlichkeit dargestellt. Die Signifikanz eventuell bestehender Unterschiede zwischen Quellgruppen wurde mit einer Ähnlichkeitsberechnung (ANOSIM, Analysis of Similarities) überprüft. Der Global R Wert beschreibt den Ähnlichkeitswert, wobei  $R = 0$  keine Differenz und  $R = 1$  den maximalen Unterschied beschreibt (CLARKE & GORLEY 2006).

Die abiotischen Daten wurden mit einer Principal Components Analysis (PCA) untersucht. Da ökologische Daten oft miteinander korrelierte Variablen enthalten, werden mit einer PCA die Hauptkomponenten ausgewählt (LEYER 2007). Als abiotische Parameter wurden Höhe, pH-Wert (Median zwischen Sommer und Herbst), Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Schüttung, Temperaturamplitude und Anzahl Substrate untersucht. Die Daten wurden normalisiert bevor sie mit PRIMER der PCA-Analyse unterzogen wurden (Abstandsmass Euklidische Distanz). Der direkte Einfluss der Abiotik auf die faunistischen Daten wurde in PRIMER mit der BEST-Analyse (Biota and Environment matching) untersucht.

Die Quellen BR3 und BUF5, die jeweils nur im Sommer beprobt wurden, sind nicht Teil der statistischen Auswertung.

## 4. Resultate

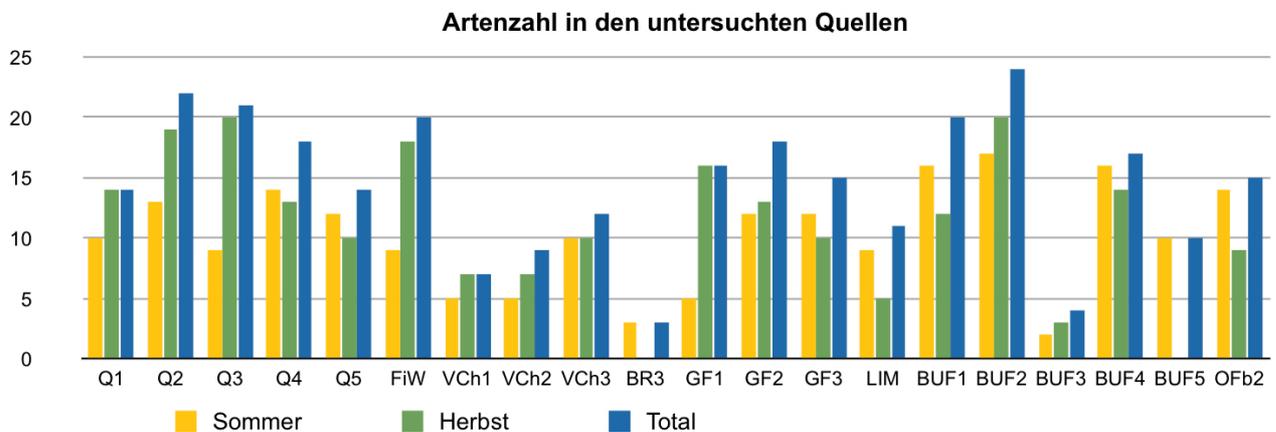
### 4.1 Faunistische Daten

In den 20 Quellen wurden 4550 Individuen aussortiert und bestimmt. Bei der Probenahme im Herbst wurden mit 2780 Individuen mehr Tiere gesammelt als im Sommer (1770). Die höchste Individuenzahl erreichten die Chironomiden mit über 1044 Tieren, gefolgt von den Oligochaeten mit rund 900 Individuen.

Insgesamt wurden 70 Taxa gefunden, davon wurden 46 Taxa auf Artniveau bestimmt (Tab. 1, A1). In den Sommerproben befanden sich besonders bei den Plecoptera mehr Individuen im letzten Larvenstadium, die eine Bestimmung bis zur Art ermöglichen.

Mit 20 Taxa sind die Diptera am häufigsten vertreten, wobei nur vier Taxa auf Artniveau bestimmt werden konnten. Darunter *Prodiamesa olivaceae*, die eine charakteristische Kopfzeichnung aufweist (SUNDERMANN & LOHSE 2004). Weitere artenreiche Ordnungen sind die Trichoptera (17 Taxa) und Plecoptera (12 Taxa). Bei den Trichoptera gehören die meisten Arten zur Familie der Limnephilidae (10). Weniger divers sind die Gastropoda (11), Coleoptera (4) und die Ephemeroptera (2). Nur ein Taxon wurde bei den Turbellaria und Bivalvia nachgewiesen. Die Oligochaeta, Acari und Ostracoda wurden nur auf die Ordnung bestimmt. Bei den Acari ist eine grosse Artenvielfalt zu erwarten. Die Daten sind jedoch noch nicht verfügbar, da sie derzeit von einem Fachspezialisten bestimmt werden.

Die meisten Quellen weisen zwischen 14 bis 20 Taxa auf (Abb. 11). Die grösste Vielfalt zeigt die Quelle BUF2 (24 Taxa), gefolgt von Q2 (22 Taxa). Die höchstgelegene Quelle BUF3 ist zugleich am artenärmsten neben BR3 (3 Taxa). Viele Arten wurden nur in einer einzigen Quelle gefunden (Abb. 11). Vier Taxa konnten in 15 oder mehr Quellen nachgewiesen werden. Die Familie der Chironomidae ist in jeder Quelle vertreten. Beinahe so häufig waren *Crenobia alpina* (Alpenstrudelwurm) und die Oligochaeta.

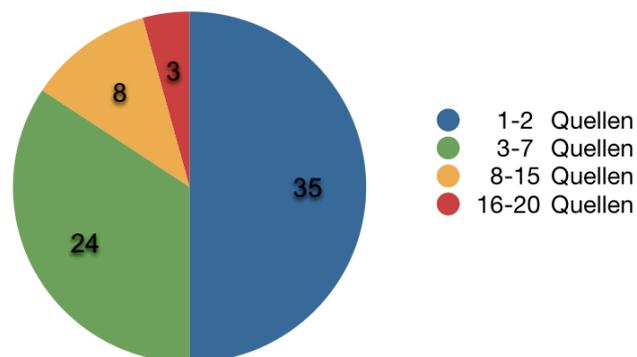


**Abb. 11** Anzahl Arten in den untersuchten Quellen in den Sommer- und Herbstproben sowie das Total.

Von den EPT-Taxa (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) sind 15 von 26 Arten in der Roten Liste beschrieben (LUBINI ET AL. 2012). Darunter ist auch *Nemoura undulata*, die mit dem höchsten Gefährdungsgrad "vom Aussterben bedroht" bezeichnet wird. Diese Art wurde in der Quelle BUF3 auf 2255 m ü. M. oberhalb der Alp Buffalora in der Sommerprobe nachgewiesen. Auch *Acrophylax zerberus*, eine beinahe endemische Art für die Schweiz (OERTLI ET AL. 2008), *Drusus melanchaetes*, *Drusus nigrescens* und *Rhyacophila bonaparti* sind auf der Roten Liste der Köcherfliegen als verletzlich eingestuft. Zwölf der 15 Trichoptera-Arten sind kaltstenotherm, wobei von drei Arten keine Angaben bekannt sind (MOOG 1995). Nur zwei der 15 Trichoptera-Arten sind zwingend krenobiont, also im eigentlichen Quellbereich lebend. Die meisten Arten sind Bewohner des Hypokrenals, des Quellbachs.

Ein Vergleich mit der Roten Liste der Weichtiere der Schweiz (RÜETSCHI ET AL. 2012) hat gezeigt, dass die meisten im Schweizer Nationalpark gefundenen Gastropoden weit verbreitet sind. Zwei Arten sind auf der Roten Liste als verletzlich beschrieben: *Quickella arenaria* (Rötliche Bernsteinschnecke) und *Vertigo genesii* (Blanke Windelschnecke).

**Vorkommen der Arten pro Anzahl Quellen**



**Abb. 12** Vorkommen der Arten in Anzahl Quellen eingeteilt in Häufigkeitsklassen.

Tab. 1 Liste der Anwesenheit (+) und Abwesenheit (-) von den 70 bestimmten Arten in jeder Quelle.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	FiW	VCh1	VCh2	VCh3	BR3	GF1	GF2	GF3	LIM	BUF1	BUF2	BUF3	BUF4	BUF5	OFb2	
<b>Turbellaria</b>																					
<i>Crenobia alpina</i> (Dana, 1766)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	
<b>Oligochaeta</b>																					
<i>Galba truncatula</i> (Müller, 1774)	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	-	
<i>Cochlicopa cf. lubrica</i> (Müller, 1774)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Euconulus fulvus</i> (Gray, 1840)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Trochulus cf. sericeus</i> (Draparnaud, 1801)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Punctum pygmaeum</i> (Draparnaud, 1801)	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Pyramidula pusilla</i> (Vallot, 1801)	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Quickella cf. arenaria</i> (Bouchard-Chanteraux, 1837)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	
<i>Columella cf. edentula</i> (Draparnaud, 1805)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Truncatellina monodon</i> (Held, 1837)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Vertigo genesii</i> (Gredler, 1856)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Nesovitrea petronella</i> (Pfeiffer, 1853)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	
<b>Bivalvia</b>																					
<i>Pisidium cf. personatum</i> (Malm, 1855)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	
<b>Acari</b>																					
<i>Trachearus cf. pumilus</i> (Malm, 1855)	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	
<b>Ostracoda</b>																					
<i>Tridacna cf. pumilus</i> (Malm, 1855)	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	
<b>Ephemeroptera</b>																					
<i>Baetis alpinus</i> (Pictet, 1843)	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	
<i>Rhithrogena loyolae</i> (Navas, 1922)	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Plecoptera</b>																					
<i>Leuctra armata</i> (Kempny, 1899)	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	
<i>Leuctra gr. braueri-muranyii</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	
<i>Leuctra cf. rosinae</i> (Kempny, 1900)	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	
<i>Amphinemura sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	
<i>Nemoura cinerea</i> (Retzius, 1783)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Nemoura mortoni</i> (Ris, 1902)	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	
<i>Nemoura cf. sinuata</i> (Ris, 1902)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	
<i>Nemoura undulata</i> (Ris, 1902)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	
<i>Nemurella pictetii</i> (Klapalek, 1900)	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	
<i>Protonemura cf. lateralis</i> (Ris, 1902)	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	
<i>Dictyogenus alpinum</i> (Pictet, 1841)	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	
<i>Isoperla rivulorum</i> (Pictet, 1841)	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	
<b>Coleoptera</b>																					
<i>Agabus bipustulatus</i> (Linnaeus, 1767)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Hydroporus sp.</i>	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Haliphus lineatocollis</i> (Marsham, 1802)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Limnebius sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	
<b>Trichoptera</b>																					
<i>Beraea pullata</i> (Curtis, 1834)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Lithax niger</i> (Hage, 1859)	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	
<i>Acrophylax zerberus</i> (Brauer, 1867)	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Chaetopterygini/Stenophylacini</i>	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	
<i>Consoophylax consors</i> (McLachlan, 1880)	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Drusus biguttatus</i> (Stephens, 1837)	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Drusus chrysotus</i> (Rambur, 1842)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Drusus discolor</i> (Rambur, 1842)	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Drusus melanchaetes</i> (McLachlan, 1876)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	
<i>Drusus monticola</i> (McLachlan, 1876)	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Drusus nigrescens</i> (Meyer-Dür, 1875)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Limnephilus coenosus</i> (Curtis, 1834)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	
<i>Parachiana picicornis</i> (Pictet, 1834)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	
<i>Plectrocnemia conspersa</i> (McLachlan, 1871)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Rhyacophila bonaparti</i> (Schmid, 1947)	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Rhyacophila glareosa</i> (McLachlan, 1867)	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Rhyacophila sensu stricto</i>	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tab. 1 (Fortsetzung) Liste der Anwesenheit (+) und Abwesenheit (-) von den 70 bestimmten Arten in jeder Quelle.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	FiW	VCh1	VCh2	VCh3	BR3	GF1	GF2	GF3	LIM	BUF1	BUF2	BUF3	BUF4	BUF5	OFb2	
<b>Diptera</b>																					
Ceratopogoninae	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	-	+	-	+	
Chironomidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Prodiamesa olivaceae</i> (Meigen, 1818)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	
Tanypodinae	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	
Chironomini	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	
Tanytarsini	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	
Culcidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Dixa</i> sp.	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Dolichopodidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	
Clinocerinae	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	
Limoniinae	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Dicranota</i> sp.	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	
<i>Eleophila</i> sp.	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-	
Psychodidae	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	
<i>Oxycera cf. pardalina</i> (Meigen, 1822)	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	
<i>Oxycera cf. pseudoamoena</i> (Dusek & Rozkosny, 1974)	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	
<i>Oxycera rara</i> (Scopoli, 1783)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	
<i>Thaumalea</i> sp.	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Tipula</i> sp.	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	
Anzahl Arten	14	22	21	18	14	20	7	9	12	3	16	18	15	11	20	24	4	17	10	15	

## 4.2 Abiotische Daten

Mit dem Bewertungsverfahren von LUBINI ET AL. (2009) wurden die Quellen in fünf Klassen unterteilt. Die meisten Quellen wurden als naturnah eingestuft, wobei die Standorte OFb2 und GF2 den besten Wert in dieser Kategorie erreichten (Abb. 13). Vier Quellen wurden mit Werten über 1.85 bewertet und sind damit nur bedingt naturnah. Sie haben alle künstliche Eingriffe gemeinsam. Die Quellen sind gefasst oder mit Rohren versehen.

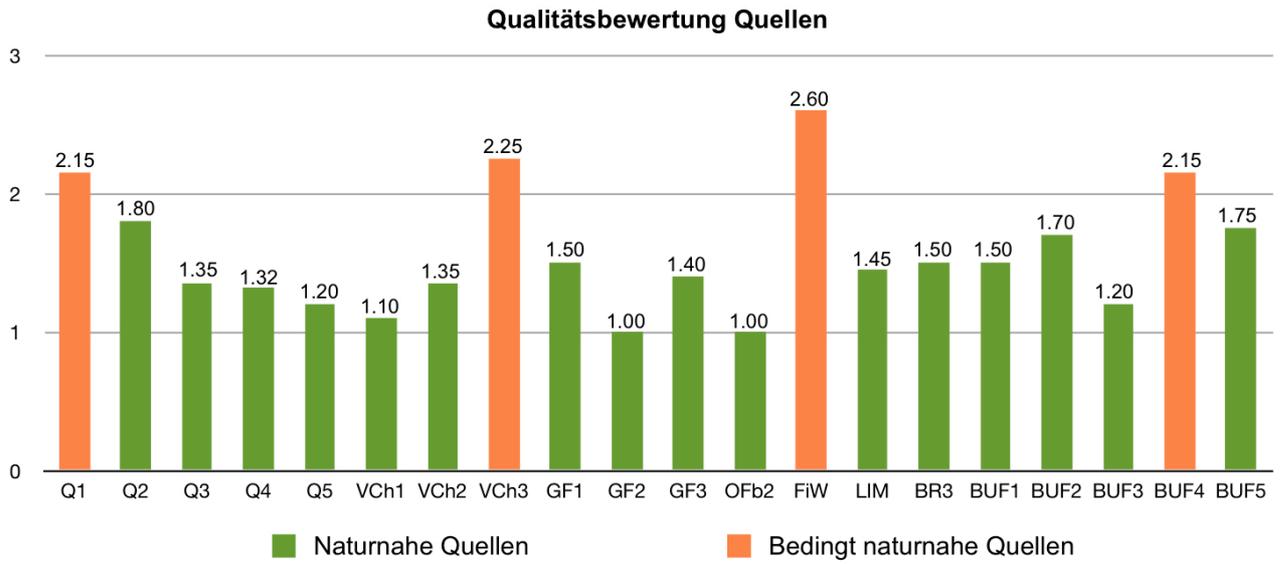
Die meisten Quellen wurden als Rheokrenen eingestuft. Die Quellen Q4, GF1 und BUF5 sind Helokrenen und BUF1 und LIM sind typische Limnokrenen (Tab. 2).

Der maximale Wert des Abflusses betrug 144 l/min in der Quelle VCh3. Der geringste Abfluss wurde mit 2 l/min in der Quelle BUF2 gemessen. Im Herbst konnte bei einigen Quellen ein viel niedrigerer Abfluss beobachtet werden (VCh2, GF1-GF3, BUF1). Die Quelle BR3 war im Herbst ganz ausgetrocknet. Auch die Quelle BUF5 hatte keinen oberflächlichen Abfluss mehr. Das Substrat war aber im Gegensatz zu BR3 teilweise noch feucht.

In den Quellen wurden zwischen vier und acht verschiedene Substrate kartiert. Die Quellen BUF3 und LIM hatten die niedrigste und die Quellen GF1 und GF2 die grösste Substratdiversität. Ausser in den Quellen LIM und BUF4 ist der Anteil von mineralischem Substrat jeweils grösser als der Anteil von organischen Komponenten.

Die Temperaturwerte in den Quellen liegen bei den Sommermessungen zwischen 3.0° C in der Quelle BUF3 und 7.0° C in der Limnokrene (LIM) im God dal Fuorn. Die mittlere Temperatur beträgt 5.1° C. Die Temperaturamplitude im Sommer und im Herbst ist in den Quellen GF3 und LIM mit 0.1 am tiefsten und mit 4.7 in der Quelle BUF4 am höchsten. Der pH-Wert liegt im basischen Bereich zwischen 7.2 (Q2) und 8.9 (VCh2). Der Durchschnittswert beträgt 8.0.

Für die elektrische Leitfähigkeit wurden Werte von 107 µS/cm (BUF3) bis 575 µS/cm (GF1) gemessen. Nur die grosse Limnokrene (LIM) weist eine sehr hohe Leitfähigkeit auf (1511 µS/cm). Mit Ausnahme der Quelle LIM liegt die Sauerstoffkonzentration zwischen 4.6 mg/l (GF2) und 10.0 mg/l (OFb2). Die Sauerstoffsättigung variierte von 47% bis 98%. In Limnokrene LIM wurden ein sehr tiefer Wert gemessen: 0.3 mg/l (3%).



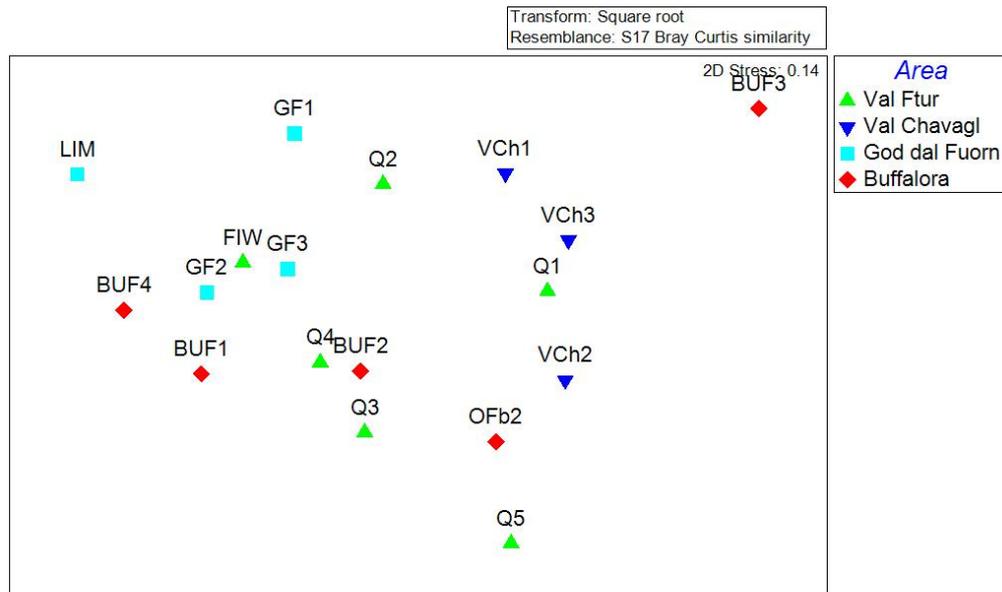
**Abb. 13** Qualitätsbewertung der Quellen nach LUBINI ET AL. (2009). Naturnahe Quellen 1.0 und 1.85, bedingt naturnahe Quellen zwischen 1.81 und 2.6.

### 4.3 Statistische Auswertung

Die Hauptkomponentenanalyse (PCA) der abiotischen Daten zeigte, dass die Sauerstoffkonzentration und die Leitfähigkeit die entscheidenden Faktoren sind. Die ersten beiden Achsen erklären 34.0 % und 20.9 % der Varianz (A2). Die Sauerstoffkonzentration (Eigenvektor: -0.595) auf der positiven Achse und die elektrische Leitfähigkeit (Eigenvektor: 0.584) auf der negativen Achse dominieren die erste Komponente. Die zweite Komponente ist durch die Anzahl Substrate (0.583) und die Temperaturamplitude (0.675) auf der positiven Achse geprägt. Die ersten drei Hauptkomponenten erklären 72.6 % der Varianz. Die Limnokrene LIM zeigte eine hohe Ladung auf der negativen Achse von der ersten Hauptkomponente der elektrischen Leitfähigkeit. Das Gesamtergebnis ändert sich auch nicht mit dem Ausschluss der Limnokrene.

Die Ergebnisse der multivariaten Analyse (nMDS) zeigen eine homogene Verteilung der Quellen auf, ihre Artenzusammensetzungen sind sich grundsätzlich sehr ähnlich (Abb. 14) Mit der Unterscheidung von Standorten im Untersuchungsgebiet zeichnen sich nur begrenzt klare Gruppen ab. Die Quellen im Wald God dal Fuorn bilden eine dieser Gruppen und auch die Quellen im Val Chavagl gruppieren sich zusammen. Die Quelle BUF3 im Gebiet Buffalora zeigt den grössten Unterschied zu den anderen Quellen (A3). Eine Ähnlichkeitsanalyse (ANOSIM) zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Standorten mit  $R = 0.294$  und  $p = 0.012$  (A4). Der grösste Unterschied konnte dabei zwischen den Quellen im Val Chavagl und dem Gebiet God dal Fuorn gefunden werden ( $R = 0.87/p=0.029$ ). Hingegen war kein Unterschied zwischen den Quellen im Schweizer Nationalpark und im Gebiet Buffalora zu erkennen ( $R = 0.1 / p= 0.236$ ).

Die Verknüpfung von abiotischen und faunistischen Daten wurde mit der BEST (Biota and Environment matching) Rangkorrelations-Analyse untersucht. Auch hier wurde wie bei der Hauptkomponentenanalyse. die Leitfähigkeit und der Sauerstoffgehalt als wichtigste Faktoren aufgezeigt, mit einer Korrelation von 0.390 (A5).



**Abb. 14** Ähnlichkeitsdarstellung der 20 Quellstandorte. Mit Farben sind die geographischen Regionen dargestellt. Die Distanz entspricht der Ähnlichkeit der faunistischen Zusammensetzung. Ähnlichkeitsindex: Bray Curtis; Square root transformation.

**Tab. 2** Gemessene abiotische Daten der untersuchten Quellen.

Name	Höhe [m]	Gebiet	Koordinaten [CH1903]	Quellentyp	pH [Median]	Leitfähigkeit [µS/cm; 25°C]	O <sub>2</sub> [mg/l]	O <sub>2</sub> [%]	Schüttung [l/min]	Temperatur [°C ; Sommer]	Temperatur [°C; Herbst]	Anzahl Substrate
Q1	1832	Val Ftur	y: 811545 x: 171995	Rheokrene	7.9	273	8.1	96	9.6	5.0	5.3	5
Q2	1920	Val Ftur	y: 810945 x: 172490	Rheokrene	7.4	328	7.5	93	3.6	5.7	6.7	7
Q3	1960	Val Ftur	y: 810875 x: 172555	Rheokrene	7.8	286	8.1	96	6.0	4.5	4.8	6
Q4	1900	Val Ftur	y: 810740 x: 172600	Helokrene	8.2	275	7.7	93	9.6	5.2	5.4	4
Q5	1780	Val Ftur	y: 811720 x: 171870	Rheokrene	8.0	275	9.6	95	36.0	5.2	5.7	6
FIW	1770	Val Ftur	y: 811630 x: 171845	Rheokrene	7.6	319	6.9	84	3.6	4.4	6.7	4
VCh1	1975	Val Chavagl	y: 813160 x: 170910	Rheokrene	8.3	240	9.5	93	24.0	3.0	4.8	7
VCh2	1965	Val Chavagl	y: 813100 x: 170920	Rheokrene	8.5	266	8.9	87	9.6	4.0	4.7	6
VCh3	1845	Val Chavagl	y: 812575 x: 171605	Rheokrene	8.1	276	9.6	94	144.0	3.0	5.2	5
GF1	1800	God dal Fuorn	y: 811876 x: 171680	Helokrene	8.3	575	6.6	68	3.6	5.2	7.0	8
GF2	1802	God dal Fuorn	y: 811725 x: 171645	Rheokrene	8.2	324	4.6	47	4.2	3.8	6.5	8
GF3	1805	God dal Fuorn	y: 811760 x: 171620	Rheokrene	8.0	226	8.0	79	4.2	5.9	6.0	5
Lim	1822	God dal Fuorn	y: 812185 x: 171675	Limnokrene	7.5	1511	0.3	3	16.8	7.0	6.9	4
BR3	1933	Val Brüna	y: 814490 x: 170920	Rheokrene	10.17*	-	-	-	4.0	3.0	-	7
Buf1	2177	Buffalora	y: 816280 x: 168880	Limnokrene	7.6	161	7.7	79	14.4	4.9	5.2	5
Buf2	2176	Buffalora	y: 816260 x: 168830	Rheokrene	7.7	213	8.4	91	1.8	4.4	7.4	6
Buf3	2255	Buffalora	y: 815560 x: 169100	Rheokrene	8.3	107	9.5	93	16.8	2.8	3.0	4
Buf4	2163	Buffalora	y: 816365 x: 169025	Rheokrene	7.9	259	6.8	73	5.4	2.7	7.4	7
Buf5	1980	Buffalora	y: 816360 x: 169900	Rheokrene	7.9*	-	-	-	6.0	4.4	-	7
OFb2	1960	Buffalora	y: 816120 x: 170560	Rheokrene	8.1	185	10.0	98	78.0	4.4	4.6	7

Die Leitfähigkeit und der Sauerstoffgehalt, respektive der Sauerstoffprozent sind Mittelwerte von Sommer- und Herbstmessungen.

\* Die abiotischen Daten wurden in den Quellen BR3 und BUF5 nur einmal untersucht

## 5. Diskussion

### 5.1 Faunistische Zusammensetzung

In dieser Masterarbeit wurde die faunistische Zusammensetzung in ausgewählten Quellen im Schweizer Nationalpark erstmals nach NADIG (1942) umfassend untersucht. Die Verteilung der meist vertretenen Ordnungen in den untersuchten Quellen im Schweizer Nationalpark bestätigen die Ergebnisse von CANTONATI ET AL. (2006). Wie bereits in Untersuchungen im Nationalpark Berchtesgaden und im Nationalpark Gesäuse festgestellt wurde, sind die Diptera auch in der vorliegenden Arbeit die Ordnung mit der grössten Diversität, darunter vor allem Chironomiden (GERECKE & FRANZ 2006, GERECKE ET AL. 2012). Die Chironomiden (Zuckmücken) sind in Europa mit 1200 Taxa die artenreichste Insektenfamilie und auch in Quellen mit einer hohen Diversität vertreten (GERECKE & FRANZ 2006, KUBIKOVA 2012). Dies gilt auch in der alpinen Stufe (GERECKE & FRANZ 2006, ROBINSON ET AL. 2007, LENCIONI ET AL. 2011). In den untersuchten Quellen wurden Chironomiden bis auf 2255 m ü. M. nachgewiesen. Da Chironomiden in Quellen besonders artenreich und häufig vertreten sind und sie gleichzeitig als wertvolle Bioindikatoren gelten (LENCIONI ET AL. 2012), können sie wichtige Informationen liefern, um Umweltänderungen besser zu verstehen.

Die aufgrund der charakteristischen Kopfzeichnung bis auf die Art bestimmte Chironomidenart *Prodiamesa olivaceae* (SUNDERMANN & LOHSE 2004), kommt nach LENCIONI ET AL. (2012) vor allem in Feinsedimenten von Limnokrenen vor. Genau in diesem Lebensraum wurde die Art gefunden, nämlich in den beiden Limnokrenen sowie in Quellen mit langsamer Fliessgeschwindigkeit. Neben *P. olivaceae* konnten auch die Stratiomyiden (Waffenfliegen) auf Artniveau bestimmt werden. Die drei Arten der Gattung *Oxycera* leben alle hygropetratisch, vorzugsweise in Quellen oder in Moosbewuchs (ROZKOSNY 2000). Währenddem *O. pseudoamoena* fast ausschliesslich in den Quellen im Val Ftur nachgewiesen wurde, konnten die Larven von *O. pardalina* nur in der Quelle BUF2 in grosser Anzahl gefunden werden. Die Ausbreitungsmöglichkeit der Arten scheint beschränkt zu sein.

Nur eine Art der Gastropoda gehört zu den Wasserschnecken (*Galba truncatula*). Im Unterengadin sind nur sieben Arten der Wasserschnecken kartiert (BOSCHI 2011). Auch im Nationalpark Gesäuse wurden die Wassermollusken als artenarm beschrieben. Nur wenige Arten sind im Alpenraum an geringe Nährstoffgehalte und tiefe Temperaturen in Quellen angepasst (GERECKE ET AL. 2012). *Galba truncatula*, die Kleine Leberegelschnecke, ist in der ganzen Schweiz verbreitet. Sie lebt amphibisch, meist im Wasser, bei Sauerstoffmangel im Wasser auch an Land (BOSCHI 2011). Diese Schneckenart ist in Quellen sehr häufig (GERECKE ET AL. 2012).

Die anderen Arten sind Landschnecken, wovon neun Arten ganz oder teilweise rund um den Lebensraum Wasser im hygropetrischen Bereich vorkommen. Die beiden Arten *Quickella arenaria* und *Vertigo genesii* stehen aufgrund ihrer beschränkter Verbreitung auf der Roten Liste. Es sind Einzelfunde von Arten, die ein Verbreitungsgebiet in der subalpinen und alpinen Vegetationsstufe haben.

*Quickella arenaria* ist in den Alpen nur noch reliktiert verbreitet, weshalb die Schweiz die Mitverantwortung für das Überleben dieser Art trägt (RÜETSCHI ET AL. 2012). In Anbetracht des Klimawandels wird *Q. arenaria* auch durch *Succinella oblonga* bedrängt, eine Schneckenart, die in tieferen Lagen weit verbreitet ist (TURNER ET AL. 1998). *Vertigo genesii* ist endemisch für die Schweiz und kommt nur im Kanton Graubünden vor (TURNER ET AL. 1998). Hier trägt die Schweiz sogar die Hauptverantwortung für das Überleben dieser Art im ganzen Alpenraum. *Truncatellina monodon* hat den Verbreitungsschwerpunkt im Kanton Graubünden. Sie gilt als Lokalendemit (RÜETSCHI ET AL. 2012). Die Funde zeigen, dass die durchnässte Umgebung von Quellen auch für Landschnecken ein wichtiger Lebensraum ist. Die zwei verletzlichsten Arten sind besonders auf intakte und natürliche Quelllebensräume angewiesen, die sie im Gebiet des Schweizerischen Nationalparks vorfinden.

In der Ordnung Trichoptera (Köcherfliegen) ist die Unterfamilie Drusinae mit sechs Arten vertreten. Mit Ausnahme von *Drusus melanchaetes* wurden alle Trichopteren der Gattung *Drusus* in den Quellen im Val Ftur gefunden. *D. melanchaetes* ist eine endemische Art für die Westalpen, deren Verbreitung auf die subalpine und alpine Höhenstufe beschränkt ist (MALICKY 2004, WARINGER & GRAF 2011). Auch *Drusus nigrescens* ist eine endemische Art für die Westalpen (WARINGER & GRAF 2011). Die meisten Arten der Drusinae sind kaltstenotherm und kommen nur in Gewässer mit guter Qualität und konstant tiefen Temperaturen vor (WARINGER ET AL. 2008). Deshalb sind sie auch für die Bioindikation von Bedeutung (WARINGER & GRAF 2011). Die Gattung *Drusus* bevorzugt laut GRAF ET AL. (2008) Substrate mit Steinen und Felsen von durchschnittlich über 20 cm Grösse. Bei der Untersuchung im Nationalpark konnte diese Aussage bestätigt werden. Die Hauptsubstrate in den Quellen im Val Ftur sind Steine und Kies.

Ein Vergleich der Artenliste der Trichoptera zwischen dem Nationalpark Gesäuse und dem Schweizer Nationalpark zeigt, dass 11 der 15 im Schweizer Nationalpark bestimmten Arten auch im Nationalpark Gesäuse vorkommen (GERECKE ET AL. 2012). Nur im Schweizer Nationalpark kommen unter anderem *Drusus melanchaetes* und *Drusus nigrescens* vor, deren Verbreitungsgebiet auf die Westalpen begrenzt ist. Die vier auf der Roten Liste der Köcherfliegen als verletzlich eingestufte Arten sind in der Schweiz weiterhin weit verbreitet. Ihr Lebensraum, die naturnahen Quellen in den Alpen, ist jedoch stark bedroht (LUBINI ET AL. 2012).

*Nemoura undulata* ist endemisch für die Zentralalpen und lebt in Gebieten ab einer Höhe von über 1800 m ü. M. (LUBINI ET AL. 2012). *N. undulata* hat ein isoliertes Verbreitungsgebiet und kommt in der Schweiz nur noch auf dem Furkapass und im Schweizer Nationalpark vor. Ein Nachweis von *N. undulata* aus Deutschland ist aus dem Nationalpark Berchtesgaden bekannt (GERECKE & FRANZ 2006). Die Quelle BUF3, wo die Art gefunden wurde, weist nur eine geringe Substratdiversität aus mineralischen Bestandteilen auf. Weitere Studien innerhalb des Schweizerischen Nationalparks in Quellen oberhalb der Baumgrenze mit ähnlichen Strukturen wie BUF3 wären von grossem Interesse.

Die beiden Arten der Ordnung Ephemeroptera (Eintagsfliegen) *Baetis alpinus* und *Rhithrogena loyolaea* wurden beide in der Quelle VCh3 gefunden, in der eine sehr hohe Fliessgeschwindigkeit gemessen wurde. Die Quelle gleicht in der Struktur einem Bergbach, der auch als Lebensraum der beiden Ephemeroptera-Arten beschrieben ist (SARTORI & LANDOLT 1999). Laut WEIGAND (1998) kommt es in alpinen, stark fliessenden Rheokrenen oft zur Einwanderung von Arten aus dem Gebirgsbach. Typische Quellorganismen sind bei den Eintagsfliegen nicht bekannt (GERECKE & FRANZ 2006). *B. alpinus* ist in Europa und der Schweiz weit verbreitet und lebt hauptsächlich über einer Höhe von 1000 m ü. M. (SARTORI & LANDOLT 1999). Sie kann als Pionierart betrachtet werden (BREITENMOSTER-WÜRSTEN & SARTORI 1995). *R. loyolaea* ist eine typische Art in alpinen Bächen, die oft in Quellnähe vorkommt (GERECKE ET AL. 2012).

Die Ähnlichkeitsanalyse zeigte, dass sich die Quellen faunistisch ähnlich sind. Gründe dafür sind die homogene geologische Lage sowie der geringe Höhenunterschied zwischen den Standorten. Trotzdem sind die kleinräumigen Unterschiede zwischen den Quellen gross, da etwa ein Drittel aller Taxa nur an einem Standort nachgewiesen werden konnten. Darunter sind auch alle Arten, die auf der Roten Liste als verletzlich oder gefährdet beschrieben sind. Das beschränkte Vorkommen der Drusinae im Val Ftur spricht für eine limitierte Ausbreitungsmöglichkeit der Arten.

Diese Verteilung unterstreicht die Einzigartigkeit von Quellen. Bereits DÖRING (2002), CANTONATI (2006) und WEIGAND (1998) betonten die Individualität von Quellen. Obwohl die Vielfältigkeit vielen verschiedenen Arten einen Lebensraum bietet, sind diese gleichzeitig stark gefährdet. Wenn Quellen zerstört werden, können seltene Arten vollständig ausgelöscht werden. Neben Naturereignissen ist die Gefahr von anthropogenen Einflüssen besonders gross. Hier spielt der Schweizer Nationalpark als Naturschutzgebiet eine wichtige Rolle für den Schutz der Arten. Jedoch sind die Gewässer auch im Nationalpark nicht vollständig vor anthropogenen Einflüssen geschützt, wie die jüngste Katastrophe im Spöl zeigt.

## 5.2 Einfluss abiotischer Faktoren auf die Quellfauna

Bei der Untersuchung der 20 Quellen im Schweizer Nationalpark wurden die Leitfähigkeit und der Sauerstoffgehalt als wichtigste Faktoren aufgezeigt, durch welche die faunistische Zusammensetzung beeinflusst wird. Mit Ausnahme der Limnokrene und GF2 enthalten die meisten Quellen, wie für Rheokrenen typisch (CANTONATI & ORTLER 1998), einen hohen Anteil an Sauerstoff. Auch LENCIONI ET AL. (2012) beschrieben die Leitfähigkeit neben der Wassertemperatur als Hauptfaktor für die Zusammensetzung der Chironomiden in Quellen der Italienischen Alpen. BONTA (2012) erkannte einen Zusammenhang zwischen der Leitfähigkeit und der Schüttung der Quellen. Die durchschnittliche Leitfähigkeit in den 20 Quellen (ohne Limnokrene  $270 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) stimmt mit dem Ergebnis ( $265 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) von STEINER (2005) überein, der in seiner Diplomarbeit 54 Quellen im Schweizer Nationalpark untersuchte. Er mittelt in diesem Wert jedoch grosse Differenzen, unter anderem durch die Messungen im kristallinen Untersuchungsgebiet Macun. GERECKE ET AL. (2012) beschreiben Werte zwischen  $300 \mu\text{S}/\text{cm}$  und  $350 \mu\text{S}/\text{cm}$  als typisch für Dolomitgestein. Man kann erkennen, dass die meisten gemessenen Werte der Leitfähigkeit in den Quellen im Nationalpark ähnlich sind. Dies überrascht nicht, da die elektrische Leitfähigkeit in natürlichen Quellen direkt von der geologischen Schicht abhängig ist, durch die das Wasser fließt (ZOLLHÖFER 1997, CANTONATI ET AL. 2006).

Anthropogene Einflüsse auf die Leitfähigkeit können im Nationalpark ausgeschlossen werden. Nicht aber auf der Alp Buffalora, wo die gemessene Leitfähigkeit jedoch tiefer war als in den anderen Quellen. Neben dem geringeren Nährstoffeintrag in den Quellen oberhalb der Waldgrenze nimmt die Leitfähigkeit auch mit der Höhe ab, da die Verweildauer des Wassers im Aquifer kürzer ist (CANTONATI ET AL. 2006). Möglicherweise ist auch die tiefere Temperatur bedingt durch die Höhenlage den Grund für die tieferen Werte der Leitfähigkeit. Der tatsächliche Einfluss der abiotischen Faktoren auf die Zusammensetzung der Quellfauna ist bei dieser Untersuchung schwierig zu beurteilen, da die Werte ähnlich sind. Dies wird durch ZOLLHÖFER (1997) bestätigt, der die Unterschiede zwischen den verschiedenen Regionen in der Quellfauna als grösser bezeichnet als diejenigen zwischen den Quellen in derselben Region.

Auch der Vergleich mit dem durchschnittlich gemessenen pH-Wert stimmt mit Messungen von Steiner (2005) ( $\text{pH} = 8.08$ ) überein. Die gemessenen Temperaturen entsprechen dem Temperaturbereich für kaltstenotherme Arten (WARINGER ET AL. 2008). In Zukunft wird sich der Lebensraum kaltstenothermer Arten mit generell höheren Wassertemperaturen bedingt durch den Klimawandel verkleinern (HODKINSON 2005). Die Arten in alpinen Quellen können ihr Verbreitungsgebiet nicht weiter in die Höhe verschieben. Gleichzeitig werden sich Arten aus dem Tiefland in höhere Lagen ausbreiten und dadurch die vorhandene Fauna teilweise verdrängen (VITTOZ ET AL. 2013).

Die Messwerte der abiotischen Faktoren in der Limnokrene LIM unterscheiden sich deutlich vom Durchschnittswert in den anderen Quellen. Der hohe Wert der Leitfähigkeit wird in den Studien von NADIG (1942) und DÖRING (2002) bestätigt und durch den hohen Sulfatgehalt erklärt. DÖRING (2002) stellte im Randbereich der Limnokrene einen hohen Nährstoffgehalt fest und erklärt diesen durch den hohen Eintrag an Material von den umliegenden Steilhänge. Messungen von NADIG (1942) zeigen, dass das einströmende Wasser am Grunde des Weihers sauerstofffrei ist. Er begründet dies mit mächtigen Faulschlammablagerungen, die den Grund des Quellteichs bis zu zwei Meter dick überlagern. Gewässer, die wenig Sauerstoff beinhalten, sind oft reich an oxidierbaren anorganischen oder organischen Substanzen. Das einströmende Wasser durchdringt die Faulschlammablagerungen und ist dadurch besonders sauerstoffarm. Die gemessene Temperaturamplitude ist mit 0.1 klein. Nadig's Messungen ergaben Temperaturamplituden von bis zu 18.9° C im Oberflächenwasser. Die beiden Messungen können jedoch nicht direkt verglichen werden, da Nadig die Daten über eine viel längere Zeitdauer gesammelt hat. Die Limnokrene unterscheidet sich auch morphologisch von den anderen Quellen durch die Grösse von 62 m<sup>2</sup> und die Tiefe des Weihers von 2.1 m (NADIG 1942).

Die ursprünglich von STEINMANN (1915) und THIENEMANN (1924) im frühen 20. Jahrhundert definierten Quelltypen werden heute kontrovers diskutiert (ZOLLHÖFER 1997, VON FUMETTI ET AL. 2011, SPITALE 2012). Die meisten Quellen sind Mischtypen und nicht eindeutig einem der drei Quelltypen zuteilbar. Der Quelltyp Rheokrene ist im Alpenraum am häufigsten vertreten (CANTONATI ET AL. 2006). Laut SPITALE (2012) sind Rheokrenen und Helokrenen die Quelltypen mit der höchsten Biodiversität. Dass die Limnokrene BUF1 mit 20 Taxa die zweitgrösste Vielfalt aufweist, ist wahrscheinlich durch die ausgewogene Anzahl von mineralischen und organischen Substraten zu erklären. Zudem sind Quellen sehr individuell und Strukturmerkmale haben einen bedeutenden Einfluss auf die Zusammensetzung der Fauna (STAUDACHER & FÜREDER 2007, KUBIKOVA 2012).

Im Bewertungsverfahren von LUBINI ET AL. (2012) erreichten die beiden Quellen GF2 und OFb2 die besten Werte. Beide Quellen sind nicht besonders artenreich, aber in der Quelle OFb2 wurden auffällig viele Individuen von *Nemoura mortoni*, *Protonemoura lateralis* und dem Morphotyp 3 der Chironomidae Gen. sp. gefunden. Beide Quellen haben eine hohe Substratdiversität, die eine wichtige Grundlage für die Besiedlung durch das Makrozoobenthos darstellt (HAHN 2000).

Drei der vier Quellen, die nur als bedingt naturnah bewertet wurden, befinden sich im Schweizer Nationalpark. Die Quelle Q1 im Val Ftur ist eine alte Brunnstube, die wahrscheinlich für das Feldlabor oder das nahe gelegene Hotel Il Fuorn genutzt wurde. Das Wasser drückt unter den alten Mauern der Brunnstube hervor und vereint sich mit dem Abfluss aus einem Rohr. Abgesehen von diesen anthropogenen Veränderungen wirkt die

Quelle natürlich. Die Quelle VCh3 fließt ebenfalls aus einem Rohr, teilt das natürliche Erscheinungsbild jedoch nicht. Die Rheokrene hat den höchsten gemessenen Abfluss mit 144 l/min. Das Substrat besteht vorwiegend aus grossen Steinen. Die Quelle gleicht in der Struktur einem Bergbach. Die Fischweiherr in der Nähe des Feldlabors wurden bereits vor der Gründung des Nationalparks angelegt (NADIG 1942). Das Quellwasser wird in einem Teich gesammelt und fließt anschliessend in die Ova dal Fuorn. Die Nähe zum Weg, der zum Feldlabor führt, wertet die Quelle in der Beurteilung ab. Der anthropogene Einfluss ist jedoch als gering einzuschätzen, da der Weg nicht öffentlich zugänglich ist. Die bedingt naturnahen Quellen im Nationalpark sind Relikte aus der Zeit vor der Parkgründung oder dienen der Wasserversorgung.

Die Quellen im Schweizerischen Nationalpark dienen den Tieren als Trinkwasserspender, weshalb an einigen Standorten auch Trittsuren im Quellbereich kartiert werden konnten. Beispiele sind die Quelle Q3 im Val Ftur und die Quellen im God dal Fuorn. Der God dal Fuorn ist im Herbst Schauplatz der Hirschbrunft. Gleich neben der Quelle GF2 wurde eine kleine Quelle als Hirschuhle benutzt.

Der regelmässige Abfluss ist ein entscheidender Faktor für die Entstehung einer stabilen Zusammensetzung der Fauna (VON FUMETTI & NAGEL 2012). Allgemein führten die Quellen im Sommer durch die Schneeschmelze mehr Wasser als im Herbst. Zwei Quellen waren im Herbst ganz oder teilweise ausgetrocknet. Nach SMITH & WOOD (2002) unterscheidet sich die Quellfauna von intermittierenden und perennierenden Quellen und eignet sich als Lebensraum nur für Tiere, die nur einen kurzen Lebenszyklus im Wasser verbringen. In der intermittierenden Quelle BR3 im Val Brüna konnten nur drei Taxa nachgewiesen werden. Die Quellen im Val Brüna sind neben der unregelmässigen Schüttung auch durch Murgänge geprägt. In früheren Studien wurden im Tal mehrere Quellen kartiert, die heute verschüttet sind. Durch die geomorphologischen Prozesse und der daraus resultierenden Verschüttung von Quellen kann sich keine konstante Fauna halten. Die Quelle BUF5 gehört zu einem Quellkomplex, aus dem das Wasser flächig im oberen Bereich eines Hanges austritt. Bei vollständiger Austrocknung der Quelle wäre wahrscheinlich eine Wiederbesiedlung aus den umliegenden Quellen möglich. Für diesen Austausch spricht, dass bei der Sommerprobenahme 10 Taxa in BUF5 nachgewiesen wurden.

### 5.3 Methodenkritik

Die statistischen Auswertungen basieren alle auf den quantitativen Daten, die mit dem Surber-Sampler gesammelt wurden. Das zusätzliche Absammeln von Hand stellte sich als sehr wichtig heraus, da sieben zusätzliche Arten gefunden wurden. Darunter auch *Nemoura undulata*, die nur beim Absammeln nachgewiesen wurde. Die stark gefährdete Art ist ein interessanter und wertvoller Fund. Auch *Quickella arenaria*, *Nemoura cinerea*, *Nemoura cf. sinuata*, *Acrophylax zerberus*, *Drusus discolor* und *Rhyacophila bonaparti* wurden nur mit qualitativen Probenahmen nachgewiesen. Plecoptera und Trichoptera halten sich gerne unter und an Steinen, im Laub und im Moos auf. Von Hand konnten Habitate abgesucht werden, die für die Probenahme mit dem Surber-Sampler nicht geeignet sind. Bei Stein- und Eintagsfliegen, die mit dem Surber-Sampler gesammelt wurden, fehlten oft Körperteile wie Hinterleibsanhänge, Beine, Antennen oder Kopf. Die mechanische Belastung der Tiere bei dieser Sammelmethode ist gross. Ein Aussortieren der sichtbaren Tiere aus der Weisschale würde solche Schäden wahrscheinlich verhindern. GERECKE & FRANZ (2006) empfehlen den Sand in den Proben zu entfernen, da dieser eine grosse Belastung darstellt und gleichzeitig die Sortierarbeit erschwert. Der Transport von lebenden Tieren ist nur bei kurzen Distanzen möglich.

Die Bestimmungsliteratur von Larven der Wasserinsekten ist nicht vollständig und oft ist das Fachwissen bei wenigen Experten konzentriert. Zudem sind viele Larven erst in ihren letzten Larvenstadien sicher bestimmbar, die in den quantitativen Proben wenig vertreten waren. Das zusätzliche Absammeln von Hand ist sinnvoll.

Je nach Ordnung oder auch Art können jedoch bereits sehr kleine Individuen anhand von eindeutigen Merkmalen bestimmt werden. Ein Beispiel ist die Art *Lithax niger* der Familie Goeridae (Trichoptera), deren Köcherbau (Familienzuordnung) und Kopfdelle (Artzuordnung) bereits bei sehr kleinen Tieren erkennbar ist. Für viele Insektenordnungen gibt es für die Adulten gute Bestimmungsliteratur, wie zum Beispiel für Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera. Mit Adultfängen kann mehr Gewissheit bei der Bestimmung erreicht werden.

## 5.4 Der Schweizer Nationalpark im Vergleich

In dem an den Nationalpark angrenzenden Naturpark *Biosfera Val Müstair* gelten weniger strenge Schutzbedingungen. Trotzdem unterscheidet sich die Quellfauna im Gebiet Buffalora wenig von den Quellen im Schweizer Nationalpark. Die Buffalora-Quellen liegen über der Waldgrenze und sind damit die höchstgelegenen Quellen der ganzen Untersuchung. Ausser im Val Chavagl sind die Quellen alle im Wald gelegen.

In den Quellen BUF1, BUF2 und BUF4 wurden durchschnittlich 20 Arten gefunden, wobei die Diptera und die Plecoptera die höchste Diversität zeigten. Die Quelle BUF3 ist mit 2255 m. ü. M. besonders hoch gelegen. In dieser Quelle ist die Artenzahl gering, dafür kommt die besonders gefährdete Art *Nemoura undulata* vor. Drusinae, die als Indikatoren für eine gute Gewässergüte beschrieben sind, wurden in keiner Buffalora-Quelle gefunden. In der Quelle BUF2 wurden jedoch sechs Plecoptera Arten gefunden, die ebenfalls als Bioindikatoren für saubere Gewässer gelten. Die Quellen im Gebiet Buffalora sind weniger geschützt als diejenigen im Nationalpark und sind deshalb durch Störungen gefährdet. Dies kann zum Beispiel durch eine Einzäunung der Quellbereiche während des Alpsommers erreicht werden. STEINER (2005) erwähnt in seiner Diplomarbeit, dass die Quelle BUF3 zum Schutz vor dem Vieh eingezäunt ist. Bei den aktuellen Feldarbeiten konnte diese Beobachtung nicht bestätigt werden.

In drei Nationalparks in Deutschland und Österreich wurden Quellen in umfassenden Studien untersucht. Es handelt sich um den Nationalpark Berchtesgaden, den Nationalpark Gesäuse und den Nationalpark Kalkalpen. Die drei Naturschutzgebiete und der Schweizer Nationalpark liegen im Alpenraum im kalkhaltigen Grundgestein. Der Nationalpark Berchtesgaden ist der einzige alpine Nationalpark in Deutschland. In diesem Nationalpark sind rund 330 Quellen dokumentiert (GERECKE & FRANZ 2006). Der Nationalpark Gesäuse liegt im Bundesland Steiermark in Österreich. Die Quellfauna wird seit 2003 in einem Quellenmonitoring untersucht (GERECKE ET AL. 2012). Seit 1995 wurden im Nationalpark Kalkalpen faunistische Untersuchungen in Quellen durchgeführt. Der Park befindet sich in den Nördlichen Kalkalpen in Oberösterreich. Aus dem Gebiet sind rund 800 Quellen bekannt, die meisten davon Rheokrenen (WEIGAND ET AL. 2004). Ein Vergleich der Quellfauna in den drei Nationalparks zeigt eine nahezu identische Artenliste (GERECKE ET AL. 2012). Die Untersuchung der 20 Quellen im Schweizer Nationalpark ist durch die geringere Anzahl an Standorten nicht vergleichbar mit den Langzeitstudien in den drei genannten Nationalparks. Die Faunenlisten in den Nationalparks Gesäuse und Berchtesgaden sind in allen Ordnungen viel artenreicher. Trotzdem wurden über die Hälfte der im Schweizer Nationalpark bestimmten Arten der Plecoptera und Trichoptera bereits im Nationalpark Gesäuse nachgewiesen.

Die Masterarbeit gibt einen ersten vertieften Einblick in die alpine Quellfauna im Schweizer Nationalpark. Das Inventar der Quellfauna ist ein wichtiger Schritt, um das Verständnis alpiner Arten und ihrer Verbreitung zu verstehen. Ein umfassendes Quellenmonitoring im Schweizer Nationalpark würde weiter helfen, die Gemeinsamkeiten und gleichzeitig die Einzigartigkeit des Gebiets im Vergleich zu anderen Schutzgebieten zu verstehen. Jährliche Unterschiede in der Fauna sowie verborgen lebende Arten können nur bei mehrjährigen Studien erkannt werden. Für weitere Fragestellungen, wie die Auswirkungen des Klimawandels, sind Langzeitstudien eine wichtige Grundlage. Mehr Wissen über die spezialisierte Fauna in Quellen, ist eine Voraussetzung für den Schutz von Quellen. Der Schweizer Nationalpark und seine Umgebung spielen eine wichtige Rolle als Schutzgebiet für gefährdete Arten in der Schweiz und im Alpenraum.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel dieser Masterarbeit war es, eine umfassende Charakterisierung der Quellen und ihrer Fauna im Schweizer Nationalpark zu erstellen. Dazu wurden 20 Standorte untersucht. Insgesamt wurden 70 Taxa nachgewiesen, wobei 46 davon bis auf Artniveau bestimmt werden konnten. Die Ordnungen Diptera, Trichoptera und Plecoptera sind am häufigsten vertreten. Die Quellen haben allgemein eine ähnliche Quellfauna. Die Zusammensetzung variiert zwar in den verschiedenen Teilgebieten, es ist jedoch keine klare Strukturierung erkennbar. Viele Arten in den untersuchten Quellen sind selten und konnten zum Teil nur an einem einzigen Standort gefunden werden. Zudem stehen einige davon auf der Roten Liste der Schweiz und werden als verletzlich oder sogar stark gefährdet bewertet. Diese Ergebnisse gelten auch für die Quellen auf der Alp Buffalora, die sich ausserhalb des Schweizer Nationalparks befinden. Die Funde unterstreichen, dass Quellen besondere Lebensräume für spezialisierte Arten sind. In Anbetracht dieser Ergebnisse spielt der Schweizer Nationalpark als Schutzgebiet eine wichtige Rolle, da die Quellen nur wenig von anthropogenen Einwirkungen betroffen sind. Das Schützen der Quellen auf der Alp Buffalora wäre deshalb auch erwünscht.

Die Frage nach abiotischen Faktoren, welche die Zusammensetzung des Makrozoobenthos beeinflussen, ergab keine statistisch signifikanten Ergebnisse. Einen entscheidenden Einfluss scheinen die Leitfähigkeit und der Sauerstoffgehalt der Quellen zu haben. Der Sauerstoffgehalt ist in den meisten Quellen sehr hoch, wie es für Rheokrenen üblich ist. Die Auswirkungen der Leitfähigkeit sind schwierig zu beurteilen, da ihr Einfluss auf die Quellfauna allgemein noch wenig verstanden ist.

Um die Artenvielfalt in Quellen besser zu schützen, sind weitere Studien und Inventare notwendig, da diese als Grundlage für den Quellschutz dienen. Die Individualität von Quellen erschwert dabei die Erstellung einer einheitlichen Schutzstrategie.

Diese Masterarbeit gibt einen vertieften Einblick in die alpine Quellfauna des Schweizer Nationalparks. Dieser ist ein wichtiges Untersuchungsgebiet, um alpine Arten und ihre Verbreitung besser zu verstehen. Die meisten Quellen im Schweizer Nationalpark sind naturnah und ungestört. Die Masterarbeit ist eine Grundlage und soll motivieren, die Quellforschung im Schweizer Nationalpark weiter zu verfolgen. Als Vorbilder können alpine Nationalparks in Deutschland und Österreich dienen, bei welchen bereits Projekte für das Langzeitmonitoring von Quellen bestehen. Die Zusammenarbeit zwischen den Nationalparks im Alpenraum sowie zwischen den Fachspezialisten sollte vertieft werden.

# Literaturverzeichnis

## Literaturangaben

AUBERT, J. (1965). Les Plécoptères du Parc National Suisse. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark. Band 10. Nr. 55. Lüdin AG, Liestal. S. 223-271.

BADER, C. (1977). Die Wassermilben. 3. Populationsdynamische Untersuchungen zweier Quellen. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark. Band 15. Nr. 76. Lüdin AG, Liestal. 127 S.

BONTA, S. (2012). Natural Characterization of Springs and their Biocenosis in the Canton Ticino (Southern Swiss Alps). Master thesis, University of Basel. 77 S.

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

BREITENMOSER- WÜRSTEN, C. & SARTORI, M. (1995). Distribution, diversity, life cycle and growth of a mayfly community in a prealpine stream system (Insecta, Ephemeroptera). *Hydrobiologia*, 308. S. 85-101.

BÜTIKOFER, E. (1920). Die Molluskenfauna des Schweizerischen Nationalparks. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark. Band 55. Nr. 1. Fretz, Zürich. 132 S.

CANTONATI, M. & ORTLER, K. (1998). Using spring biota of pristine mountain areas for long term monitoring. *Hydrology, Water Resources and Ecology in Headwaters (Proceedings of the Headwater'98 Conference held at Merano /Meran, Italy, April 1998)*. IAHS Publication, 248. S. 379-385.

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. S. 59-96.

CANTONATI, M., FÜREDER, L., GERECKE, R., JÜTTNER, I. & COX, E. (2012). Crenic habitats, hotspots for freshwater biodiversity conservation: Toward an understanding of their ecology. *Freshwater Science*, 31(2). S. 463-480.

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

DÖRING, M. (2002). Ecological Assessment of Springs and Spring Brooks in the Swiss National Park: Combining Fieldwork with Geodesy (GPS/Tachymetry) and GIS. Diploma Thesis, Eawag Zürich. 116 S.

EUROPARC & IUCN (2000). Richtlinien für Managementkategorien von Schutzgebieten - Interpretation und Anwendung der Management Kategorien in Europa. EUROPARC und WCPA, Grafenau. 48 S.

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

- GERECKE, H., HASEKE, H., KLAUBER, J. & MARINGER, A. (Red.) (2012). Quellen. Schriften des Nationalparks Gesäuse. Band 7. Weng im Gesäuse. 391 S.
- HAHN, H.J. (2000). Studies on Classifying of Undisturbed Springs in Southwestern Germany by Macrobenthic Communities. *Limnologica*, 30. S. 247-259.
- HALLER, H. (2006). Der erste Nationalpark in Mitteleuropa. In: Europa und aussereuropäische Länder. Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege, 19. S. 2-13.
- HODKINSON, I.D. & JACKSON, J.K. (2005). Terrestrial and Aquatic Invertebrates as Bioindicators for Environmental Monitoring, with Particular Reference to Mountain Ecosystems. *Environmental Management*. Vol. 35. Nr. 5. S. 649-666.
- KARAGOUNIS, K. (1962). Zur Geologie der Berge zwischen Ofenpass, Spöltal und Val del Gallo im Schweizerischen Nationalpark (Graubünden). Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark. Lüdin AG, Liestal. 79 S.
- KETTERER, C. & HALLER, R. (2009). 200 Jahre Wetter, Witterung und Klima im Gebiet des Schweizer Nationalparks auf regionalen Klimasimulationen. Rückblick und Szenarien. Praktikumsarbeit Schweizer Nationalpark. 112 S.
- KUBIKOVA, L., PROKOP, O.S., TICHA, K., DOUDA, K., MACIAK, M. & BILY, M. (2012). The influence of mesoscale habitat conditions on the macroinvertebrate composition of springs in a geologically homogeneous area. *Freshwater Science*, 31 (2). S. 668-679.
- LENCIONI, V., MARZIALI, L. & ROSSARO, B. (2011). Diversity and distribution of chironomids (Diptera, Chironomidae) in pristine Alpine and pre-Alpine springs (Northern Italy). *Journal of Limnology*, 70. S. 106-121.
- LENCIONI, V., MARZIALI, L. & ROSSARO, B. (2012). Chironomids as bioindicators of environmental quality in mountain springs. *Freshwater Science*, 31 (2). S. 525-541.
- LEYER, I. & WESCHE, K. (2007). *Multivariate Statistik in der Ökologie. Eine Einführung*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg. 221 S.
- LUBINI, V., STUCKI, P. & VICENTINI, H. (2009). *Ökologische Bewertung von Quellen*. BAFU, Sektion Arten- und Biotopschutz, Abteilung Natur, Bern. 23 S.
- LUBINI, V., KNISPEL, S., SATORI, M., VICENTINI, H. & WAGNER, A. (2012). *Rote Listen Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010*. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug. Nr. 1212. 111 S.
- MALICKY, H. (2004). *Atlas of European Trichoptera*. Springer, Dordrecht. 359 S.
- MOOG, O. (1995). *Fauna Aquatica Austriaca*. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- MÜRLE, U. & ORTLEPP, J. (2012). *Fliessgewässermonitoring im Schweizerischen Nationalpark*. In: Schanz, F., Scheurer, T. & Steiner, B. (Hrsg.) (2012). *Ergebnisse aus 70 Jahren Gewässerforschung im Schweizerischen Nationalpark*. Nationalpark-Forschung Schweiz. Nr. 98. 120 S.

NADIG, A. (1942). Hydrobiologische Untersuchungen in Quellen des Schweizerischen Nationalparkes 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.

NOLD, H. & SCHMASSMANN, H. (1954). Chemische Untersuchungen in der Ova da Val Ftur im Schweizerischen Nationalpark. Beitrag zur Kenntnis des Stoffhaushaltes der Hochgebirgsbäche. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark. Band 4. Nr. 31. Lüdin AG, Liestal. S. 298-315.

OERTLI, B., INDERMUEHLE, N., ANGÉLIBERT, S., HINDEN, H. & STOLL, A. (2008). Macroinvertebrate assemblages in 25 high alpine ponds of the Swiss National Park (Cirque of Macun) and relation to environmental variables. *Hydrobiologia*, 597. S. 29-41.

ROBINSON, C.T., HIEBER, M., WENZELIDES, V. & LODS-CROZET, B. (2007). Macroinvertebrate assemblages of a high elevation stream/lake network with an emphasis on the Chironomidae. *Fundamental and Applied Limnology. Archiv für Hydrobiologie*. Vol. 169/1. S. 25-36.

ROZKOSNY, R. (2000). Insecta: Diptera: Stratiomyidae. In: Süsswasserfauna von Mitteleuropa. Band 21. 18. Stratiomyidae von Rudolf Rozkosny. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, Berlin. 110 S.

RÜETSCHI J., STUCKI P., MÜLLER P., VICENTINI H. & CLAUDE F. (2012). Rote Liste Weichtiere (Schnecken und Muscheln). Gefährdete Arten der Schweiz. Stand 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Schweizer Zentrum für die Kartografie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug. Nr. 1216. 148 S.

SARTORI, M. & LANDOLT, P. (1999). Atlas de Distribution des Ephemeres de Suisse (Insecta, Ephemeroptera). *Fauna Helvetica*. Band 3. Centre suisse de cartographie de la faune und Schweizerische Entomologische Gesellschaft. 214 S.

SCHANZ F., SCHEURER, T. & STEINER, B. (HRSG) (2012). Ergebnisse aus 70 Jahren Gewässerforschung im Schweizerischen Nationalpark. *Nationalpark Forschung Schweiz* Nr. 98. Lüdin AG, Liestal. 120 S.

SCHEURER, T. (2003). Gewässerforschung im Schweizerischen Nationalpark. In: *Eawag News*. Nr. 54. S. 34-35.

SCHLAEPFER, D. (1960). Der Bergbau am Ofenpass (Pass dal Fuorn). Eine wirtschaftsgeographische Untersuchung im Unterengadin und seinen Nachbartälern. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark. Band 7. Nr. 43. Lüdin AG, Liestal. 159 S.

SMITH, H. & WOOD, P.J. (2002). Flow permanence and macroinvertebrate community variability in limestone spring systems. *Hydrobiologia*, 487. S. 45-58.

SOMM, A. (1965). Zur Geologie der westlichen Quattervals-Gruppe im Schweizerischen Nationalpark. Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark. Band 10. Nr. 52.

SPITALE, D., LEIRA, M., ANGELI, N. & CANTONATI, M. (2012). Environmental classification of springs in Italian Alps and its consistency across multiple taxonomic groups. *Freshwater Science*, 31 (2). S. 563-574.

- STAUDACHER, K. & FÜREDER, L. (2007). Habitat Complexity and Invertebrates in Selected Alpine Springs (Schütt, Carinthia, Austria). *International Review of Hydrobiology*, 92. S. 465-479.
- STEINER, B. (2005). Hydrogeologie und -geochemie von ausgewählten Quellen im Schweizerischen Nationalpark. Teil 1. Diplomarbeit, Universität Bern. 83 S.
- STEINMANN, P. (1915). Praktikum der Süßwasserbiologie, 1. Teil. Die Organismen des fließenden Wassers. Bornträger, Berlin. 184 S.
- SUNDERMANN, A. & LOHSE, S. (2004). Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Zweiflügler (Diptera) in Anlehnung an die Operatrationelle Taxaliste für Fließgewässer in Deutschland. Forschungsinstitut Senckenberg. 20 S.
- THIENEMANN, A. (1924). Hydrobiologische Untersuchungen an Quellen. *Archiv für Hydrobiologie*, 14. S. 151-190.
- TRÜMPY, R., SCHMID, S.M., CONTI, P. & FROITZHEIM, N. (1997). Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:50'000 des Schweizerischen Nationalparks. Geologische Spezialkarte Nr. 122. Nationalpark-Forschung in der Schweiz. Nr. 87. Zernez. 50 S.
- TURNER, H., KUIPER, J.G.J., THEW, N., BERNASCONI, R., RÜETSCHI, J., WÜTHRICH, M. & GOSTELI, M. (1998). Mollusca. Atlas der Mollusken der Schweiz und Liechtensteins. *Fauna Helvetica*. Band 2. Centre suisse de la cartographie de la faune, Neuchâtel. 527 S.
- VAN DER KAMP, G. (1995). The hydrogeology of springs in relation to the biodiversity of spring fauna: A Review. *Journal of the Kansas Entomological Society*. Vol. 68. No. 4. S. 4-17.
- VITTOZ, P., CHERIX, D., GONSETZ, Y., LUBINI, V., MAGGINI, R., ZBINDEN, N. & ZUMBACH, S. (2013). Climate change impacts on biodiversity in Switzerland: A review. *Journal for Nature Conservation*, 21. S. 154-162.
- 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.
- 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*. Vol. 169 (1). S. 37-48.
- VON FUMETTI, S. (2008). Distribution, discharge and disturbance: new insights into faunal spring ecology. Dissertation, Universität Basel. 89 S.
- VON FUMETTI, S. & NAGEL, P. (2011). A first approach to a faunistic crenon typology based on functional feeding groups. *Journal of Limnology*, 70. S. 147-154.
- VON FUMETTI, S. & NAGEL, P. (2012). Discharge variability and its effect on faunistic assemblages in springs. *Freshwater Science*, 31 (2). S. 647-656.
- WARINGER, J., GRAF, W., PAULS, S. & LUBINI, V. (2007b). The Larva of *Drusus nigrescens* Meyer-Dür, 1875 (Trichoptera: Linephillidae: Drusinae) with notes on its ecology, genetic differentiation and systematic position. *Annual Limnology Journal*, 43 (3). S. 161-166.

- WARINGER, J., GRAF W., PAULS, S. U., VICENTINI, H. & LUBINI, V. (2008). DNA based association and description of the larval stage of *Drusus melanchaetes* Mc Lachlan, 1876 (Trichoptera: Limnephilidae: Drusinae) with notes on ecology and zoogeography. *Limnologica*, 28. S. 34-42.
- WARINGER, J. & GRAF, W. (2011). Atlas der österreichischen Köcherfliegen unter Einschluss der angrenzenden Gebiete. Erik Mauch, Dinkelscherben. 468 S.
- WEBER, M. (2006). Erfassung, Bewertung und strukturelle Typisierung naturnaher Quellen im Schweizer Alpenraum. Diplomarbeit, Fachhochschule Eberswalde. 149 S.
- WEIGAND, E. (1998). Biodiversität in alpinen Karstquellsystemen (Nationalpark Kalkalpen, Österreich). Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL). Tagungsbericht 1998. Band 1. Hubert & Co, Göttingen. S. 149-153.
- WEIGAND, E. & GRAF, W. (2004). Hydrobiologische Erstcharakterisierung bedeutender Karstquellen der Sulzkaralm (Nationalpark Gesäuse). Pilotprojekt Sulzkaralm, unveröffentlicht. Bericht der Nationalpark Gesäuse GmbH. 44 S.
- WIGGER, F. (2010) Quellen im Berner Oberland. Masterarbeit, Universität Basel. 67 S.
- 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.

## Internetquellen

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich.

URL: [http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima\\_schweiz/klimadiagramme.html](http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_schweiz/klimadiagramme.html)

MeteoSchweiz (2013). Klimanormwerte Buffalora.

[Stand: 08.05.2013]

Der Schweizerische Nationalpark im Engadin, Zernez.

URL: [www.nationalpark.ch](http://www.nationalpark.ch)

[Stand: 08.05.2013]

Nationalpark O. ö. Kalkalpen, Molln.

URL: [www.kalkalpen.at](http://www.kalkalpen.at)

Pröll, E., Weigand, E. & Haseke, H. (2011). Karstquellen-Monitoring.

[Stand: 08.05.2013]

Swisstopo. Das Geoportal des Bundes. BAFU, Bern.

URL: <http://map.geo.admin.ch/>

[Stand: 08.05.2013]

## **Bestimmungsliteratur**

BÄHRMANN, R. (Hrsg.) (2005). Bestimmung wirbelloser Tiere. Bildtafeln für zoologische Bestimmungsübungen und Exkursionen. Spektrum Verlag, Heidelberg. 4. Auflage. 390 S.

NAGEL, P. (1989). Bildbestimmungsschlüssel der Saprobien, Makrozoobenthon. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 183 S.

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

## **Diptera**

ROZKOSNY, R. (2000). Insecta: Diptera: Stratiomyidae. In: Süßwasserfauna von Mitteleuropa. Band 21. 18. Stratiomyidae von Rudolf Rozkosny. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, Berlin. 110 S.

SUNDERMANN, A. & LOHSE, S. (2004). Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Zweiflügler (Diptera) in Anlehnung an die Operationelle Taxaliste für Fließgewässer in Deutschland. Forschungsinstitut Senckenberg. 20 S.

## **Ephemeroptera**

EISELER, B. (2005). Identification key to the mayfly larvae of the German Highlands and Lowlands. Lauterbornia, Dinkelscherben. 112 S.

SARTORI, M. & LANDOLT, P. (1999). Atlas de Distribution des Ephémères de Suisse (Insecta, Ephemeroptera). Fauna Helvetica. Band 3. Centre suisse de cartographie de la faune & Schweizerische Entomologische Gesellschaft. 214 S.

STUDEMANN, D., LANDOLT, P., SARTORI, M., HEFTI, & D., TOMKA, I. (1992). Ephemeroptera. Insecta Helvetica Fauna 9. Schweizerische Entomologische Gesellschaft SEG (Hrsg.). 173 S.

## **Gastropoda**

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

TURNER, H., KUIPER, J.G.J., THEW, N., BERNASCONI, R., RÜETSCHI, J., WÜTHRICH, M. & GOSTELI, M. (1998). Mollusca. Atlas der Mollusken der Schweiz und Liechtensteins. Fauna Helvetica. Band 2. Centre suisse de la cartographie de la faune, Neuchâtel. 527 S.

## **Plecoptera**

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

ZWICK, P. (2004). Key to the West Palearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. Limnologica, 34. S. 315-348.

## **Trichoptera**

WARINGER, J. & GRAF, W. (2011). Atlas der österreichischen Köcherfliegen unter Einschluss der angrenzenden Gebiete. Erik Mauch, Dinkelscherben. 468 S.

## **Anhang**

A1	Tabelle Artenliste	43
A2	Datenblatt PCA	44
A3	Datenblatt ANOSIM	45
A4	Datenblatt BEST	46
A5	Kartierbogen Vorlage	47
A6	Redlichkeitserklärung	48

## A1 Artenlisten-Tabelle

## A2 Datenblatt PCA

PCA  
Principal Component Analysis

Data worksheet  
Name: Data3  
Data type: Other  
Sample selection: All  
Variable selection: All

Eigenvalues				
PC	Eigenvalues	%Variation	Cum.%Variation	
1	2.38	34.0	34.0	
2	1.46	20.9	54.9	
3	1.24	17.7	72.6	
4	0.873	12.5	85.1	
5	0.552	7.9	93.0	

Eigenvectors					
(Coefficients in the linear combinations of variables making up PC's)					
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Höhe (m)	-0.254	0.177	-0.677	0.152	0.519
pH	-0.389	-0.089	0.406	-0.424	0.666
E (µS/cm)	0.584	-0.014	0.198	0.088	0.376
O2 (mg/l)	-0.595	-0.214	-0.066	0.021	-0.292
S (l/min)	-0.207	-0.345	0.403	0.746	0.136
dT	-0.101	0.675	0.068	0.448	0.094
Anz Subs	-0.192	0.583	0.408	-0.178	-0.183

Principal Component Scores					
Sample	SCORE1	SCORE2	SCORE3	SCORE4	SCORE5
Q1	0.264	-0.845	-8.88E-2	-0.511	-0.633
Q2	0.658	0.722	-0.454	6.54E-2	-1.43
Q3	4.43E-2	-0.214	-0.467	-0.496	-0.487
Q4	6.45E-2	-1.29	-0.317	-0.727	0.366
Q5	-0.446	-0.811	0.808	-0.177	-0.85
FiW	1.16	-6.41E-2	-0.407	0.521	-1.01
VCh1	-1.33	0.579	0.536	-0.302	0.277
VCh2	-1.08	-0.299	0.388	-1.16	0.839
VCh3	-1.34	-1.36	1.72	2.7	0.337
GF1	0.28	1.25	1.72	-1.02	0.346
GF2	0.337	1.93	1.57	-0.693	0.222
GF3	0.143	-0.948	8.42E-2	-0.895	-0.55
Lim	5.33	-0.658	0.166	0.583	1.05
Buf1	-9.13E-2	-0.377	-1.96	0.267	-0.142
Buf2	-0.486	1.49	-1.6	0.771	-9.7E-2
Buf3	-1.51	-1.16	-1.77	-0.435	1.42
Buf4	-0.5	2.83	-0.781	1.01	0.545
OFb2	-1.51	-0.779	0.851	0.506	-0.193

Outputs  
Plot: Graph3

# A Datenblatt ANOSIM

ANOSIM  
Analysis of Similarities

One-Way Analysis

Resemblance worksheet  
Name: Resem1  
Data type: Similarity  
Selection: All

Factor Values  
Factor: Area  
Val Ftur  
Val Chavagl  
God dal Fuorn  
Buffalora

Factor Groups  
Sample Area  
Q1 Val Ftur  
Q2 Val Ftur  
Q3 Val Ftur  
Q4 Val Ftur  
Q5 Val Ftur  
FIW Val Ftur  
VCh1 Val Chavagl  
VCh2 Val Chavagl  
VCh3 Val Chavagl  
GF1 God dal Fuorn  
GF2 God dal Fuorn  
GF3 God dal Fuorn  
LIM God dal Fuorn  
OFb2 Buffalora  
BUF1 Buffalora  
BUF2 Buffalora  
BUF3 Buffalora  
BUF4 Buffalora

Global Test  
Sample statistic (Global R): 0.294  
Significance level of sample statistic: 1.2%  
Number of permutations: 999 (Random sample from 514594080)  
Number of permuted statistics greater than or equal to Global R: 11

Pairwise Tests

Groups	Statistic	R	Significance Level %	Possible Permutations	Actual Permutations	Number $\geq$ Observed
Val Ftur, Val Chavagl	0.512	0.512	1.2	84	84	1
Val Ftur, God dal Fuorn	0.282	0.282	5.7	210	210	12
Val Ftur, Buffalora	0.139	0.139	12.6	462	462	58
Val Chavagl, God dal Fuorn	0.87	0.87	2.9	35	35	1
Val Chavagl, Buffalora	0.097	0.097	28.6	56	56	16
God dal Fuorn, Buffalora	0.144	0.144	11.1	126	126	14

Outputs  
Plot: Graph3

## A4 Datenblatt BEST

BEST

Biota and/or Environment matching

Data worksheet

Name: Data1

Data type: Other

Sample selection: All

Variable selection: All

Resemblance worksheet

Name: Resem1

Data type: Similarity

Selection: All

Parameters

Rank correlation method: Spearman

Method: BIOENV

Maximum number of variables: 5

Resemblance:

Analyse between: Samples

Resemblance measure: D1 Euclidean distance

Variables

1 Höhe (m)

2 pH

3 E ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

4 O<sub>2</sub> (mg/l)

5 O<sub>2</sub> (%)

6 S (l/min)

7 dT

8 Anz Subs

Best results

No.Vars	Corr.	Selections
2	0.390	3;4
1	0.383	4
3	0.382	3-5
2	0.372	4;5
2	0.372	1;4

# A5 Kartierbogen Vorlage

## Quellen : Bewertungsbogen zur Naturnähe von Struktur und Umfeld (nach Schindler 2004)

Bearbeiter(in) : \_\_\_\_\_ Datum : \_\_\_\_\_ Foto : \_\_\_\_\_ Kanton : \_\_\_\_\_  
 Gemeinde : \_\_\_\_\_ Quelle : \_\_\_\_\_ Leitfähigkeit : \_\_\_\_\_  
 KoordXY-CH : \_\_\_\_\_ Schutzstatus : \_\_\_\_\_ Wasser T°C : \_\_\_\_\_  
 Quelle nicht bewertbar:  Quelle zerstört /  Quelle definitiv ausgetrocknet /  Quelle temporär ausgetrocknet (Kartierung später wiederholen)

### Morphologie (nicht bewertet nur Infos) ! Skizze / Bemerkungen / Gefährdung / Massnahmen => auf der Rückseite (wird gescannt) !

Austrittsform: fliegend-stürzend (Sturzquelle) / linear (Wanderquelle) / flächig-sickernd (Sickerquelle) / Y im Quelltopf (Tümpelquelle) / künstlich  
 Hanglage: Oberhang Mittelhang Hangfuss Tallage Abflussrichtung: N NO O SO S SW W NW  
 Vernetzung: Einzelquelle Quellkomplex Anz. Austritte: \_\_\_\_\_ Grösse (10m L.): Quellbereich (m2): \_\_\_\_\_  
 Quellbachlänge (m): \_\_\_\_\_ Dist. zur Nachbarquelle (m): \_\_\_\_\_ Quellschüttung: ganzjährig periodisch temporär Menge(l/s): \_\_\_\_\_  
 Geländeneigung: schroff stark mässig schwach mittl. Fließgesch. sehr schnell schnell mässig langsam stehend

Bewertung Teil A : Beeinträchtigung				
<b>Einträge/Verbau</b>				
Fassung	neu	alt	verfallen	
Brunnenstube mit Überlauf	5	4/3	3	
Rohr und Becken	5	4	2	
nur Rohr/Rinne	3	2	1	
nein	1			
Wasserentnahme	>60%	30-59%	<30% / unbekannt	
	4	3	2	
Bemerkung / Zweck : _____				
<b>Verlegung</b>				
	10-100m	<10m	unbekannt	
alt	3	2	3	
neu	5	5	5	
nein	1			
Länge (m): _____				
Aufstau	nach <10m	nach>=10-49m	nach >50m	
Hauptschluss, 1-5m2	4	3	2	
Hauptschluss, >5m2	5	4	3	
Nebenschluss	3	2	3	
nein	1			
künstlicher Absturz	nein	Gesamtabfluss		Teilabfluss
	1	4		3
Verbau (Ufer, Sohle)	stark:	mittel:	gering:	
Quelle und erste	Holz	4	3	2
Fließmesser	Steinschüttung	4	3	2
	wilder Verbau	4	3	2
	Naturstein	5	3	2
	Beton	5	4	3
	Verrohrung	5	4	3
nein	1			
erhalt/Trittschäden	nein	gering	mässig	stark
(mechan. Schädigung)	1	2	3	5
Verursacher : _____				
Infrastruktur	Zuwegung	Bänke/Parkplatz	Trittschritte	Überdachung
	Viehtränke	Wildfütterstelle	Feuerstelle	Sonstiges
	Sonstiges :	Anzahl:		
	Anzahl=1	Anzahl=2	Anzahl=3	Anzahl>3
	2	3	4	5
nein	1			
Ablagerung	vollständig	teilweise	vereinzelt	
Haus-/ Gewerbemüll	5	4	3	
Holzabfall	5	3	2	
Pflanzenabfall	5	4	3	
Erdaushub/ Bauschutt	5	4	3	
org. Reste/ Faulschlamm	5	3	2	
nein	1			
Einleitungen	nach (m) :	nein		1
	Oberfläche/ Strasse	Drainage/Graben	unverdünnt	Rohr trocken
	3	3	5	4

**Wert A : Beeinträchtigung (höchster Wert)**

Allgemeine Bemerkungen : \_\_\_\_\_

Gesamteindruck als Bewertungsvergleich

1	2	3	4	5
naturnah	bedingt naturnah	mässig beeinträcht.	geschädigt	stark geschädigt
blau	grün	gelb	orange	rot

Bewertung Teil B : Vegetation / Nutzung / Struktur					
Vegetation/Nutzung	a	b	c	d	e
	Einzugsgebiet	Umfeld	Quellbereich	Quellufer	Quellbach
standortyp. Vegetation	-	1	1	1	1
standortfrem. Vegetation	-	2	3	3	2
Moosgesellschaften	-	1	1	1	1
Laubwald	1	1	1	1	1
Mischwald	2	2	2	2	2
Gebüsch/Einzelbäume	2	2	2	2	2
Nadelforst	3	4	5	5	4
extens. Grünland	2	3	3	4	3
intens. Grünland	3	4	5	5	4
Acker/ Sonderkultur	4	4	5	5	4
unbefestigter Weg	-	3	4	4	3
befestigter Weg/Strasse	-	4	5	5	4
künstl. Veg.-frei/Siedlung	4	4	5	5	4
<b>Mittelwerte a-e</b>					
Sommerbeschattung f	unbeschattet	schwach	mittel	stark	
	4	3	2	1	
stark & Überdachung oder Nadelforst					
	5	Wert f			
Struktur	Substrat g				
	Fels/Blöcke (>20 cm)	o	o	o	o
natürlich	Steine (6-20 cm)	o	o	o	o
	Kies/Schotter (0.2-6 cm)	o	o	o	o
	Sand (0.1 - 2 mm)	o	o	o	o
	Feinmaterial (<0.1 mm)	o	o	o	o
	Moospolster	o	o	o	o
	Wurzeln	o	o	o	o
	Totholz	o	o	o	o
	Pflanzen	o	o	o	o
	Fallaub	o	o	o	o
	Detritus/Org. Schlamm	o	o	o	o
	Kalksinter...*	o	o	o	o
Anzahl Substrate: 0					
=> Wert : 1-2 : 5 3-6 : - >6 : 1* Wert g					
verändert (nur Infos)					
	künstlich	o	o	o	o
	Fadenalgen	o	o	o	o
Strömungsdiversität h	Spritzwasser	glatt	fließend	überfließend	
	gerippt	plätschern	überstürzend	fallend	
Anzahl Strömungen: _____					
=> Wert : 1-2 : 5 3-5 : - >5 : 1* Wert h					
Wasser-Land-Verzähg i	gross	mittel	gering		
=> Wert : 1* - 5 Wert i					
Besondere Strukturen j	Laufverzweigung / Inselstrukturen / Fließhindernisse				
	gr. Tiefenvarianz / Kaskaden / Sandwirbel / natürliche Pools				
	Wasserfall / starke Quellflur / Wassermoose / gr. Lückensystem / Rieselflur				
Anzahl b. Strukturen: _____					
=> Wert : 0 : 5 1-4 : - >4 : 1* Wert j					
<b>Gewertete Strukturmerkmale X</b>					
Wert B : Vegetation/Nutzung/Struktur [a+b+c+d+e+f+g+h+i+j] / [6+X] <b>0.00</b>					
bei >2 Sternen* bei g - j wird der Wert der Quelle um 0,4 aufgewertet <b>Aufwertung</b>					
<b>Gesamtergebnis (A+B/2)</b> <b>0.00</b>					
Wert					
Bewertungsklassen	0.6 - 1.8	1.81 - 2.6	2.61 - 3.4	3.41 - 4.2	4.21 - 5.0
	1	2	3	4	5
Resultat	naturnah	bedingt naturnah	beeinträcht.	geschädigt	stark geschädigt
Farbe	blau	grün	gelb	orange	rot

## **A6 Redlichkeitserklärung**