Quellen und ihren Lebensgemeinschaften in den Berner Alpen

Autor(en): **Wigger, Fabian / Fumetti, Stefanie von**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern**

Band (Jahr): **70 (2013)**

PDF erstellt am: **26.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-389803

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Fabian Wigger[1] und Stefanie von Fumetti[1]

Quellen und ihren Lebensgemeinschaften in den Berner Alpen

1. Einleitung

Alpine Quellen sind Ökotone postglazialen Ursprunges, d.h. Übergangshabitate an der Schnittstelle zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser (Cantonati et al. 2006, Gerecke & Franz 2006). In der Schweiz wurden erstmals durch Nadig (1942) alpine Quellen im Schweizerischen Nationalpark untersucht. Weitere Untersuchungen alpiner Quellen wurden im Nationalpark Berchtesgaden (Gerecke & Franz 2006), in den Julischen Alpen in Slowenien (Mori & Brancelj 2006) und im Nationalpark Gesäuse in Österreich (Gerecke et al. 2012) durchgeführt. Eine allgemeine Publikation zu alpinen Quellen liegt von Cantonati et al. (2006) vor. Verglichen mit Untersuchungen von Gletschervorfeldern oder Bergbächen (z.B. Füreder 2001) sind Quellen in den Alpen, insbesondere in der Schweiz, relativ schlecht untersuchte Biotope.

Alpine Quellen stehen seit jeher unter einem starken Nutzungsdruck. Viele Quellen wurden gefasst, um Alphütten oder Viehtränken mit Wasser zu versorgen oder schlicht, um vernässte Wiesen trockenzulegen. Natürliche, unbeeinflusste Quellen sind auch im Alpenraum kaum mehr vorhanden (Zollhöfer 1997).

Aufgrund ihrer Temperaturstabilität sind Quellen besonders geeignete Indikatoren, um die Auswirkungen des Klimawandels zu untersuchen (Gerecke & Franz 2006). Durch ihre kleinräumige Struktur und isolierte Lage sowie durch die hohe Anfälligkeit auf Störungen jeglicher Art sind Quellen wertvolle Biotope und bedürfen deshalb eines besonderen Schutzes. Jedoch sind naturnahe Quellen in der Schweiz nach geltendem Recht in keiner Weise geschützt (Zollhöfer 1997).

In der vorliegenden Arbeit wurde eine allgemeine Feldaufnahme alpiner Quellen im Berner Oberland hinsichtlich der Quellfauna und Quellmorphologie durchgeführt. Dabei wurde versucht, die Quellen hinsichtlich der Störungsintensität und der Störungsfrequenz durch den Menschen und das Vieh zu analysieren. Zudem wurde die Rolle der Schüttung und deren Stabilität bezüglich deren Beeinflussung der Quellfauna untersucht. Als Untersuchungsobjekt wurde eine extensiv genutzte Hochebene westlich des Giessbachtals ausgewählt.

[1] Departement Umweltwissenschaften der Universität Basel, Forschungsgruppe Biogeographie, St. Johanns-Vorstadt 10, CH-4056 Basel; Korrespondenz: f.wigger@unibas.ch, stefanie.vonfumetti@unibas.ch

2. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt südlich des Brienzersees und nördlich der Faulhorngruppe im Berner Oberland auf dem Gemeindegebiet von Iseltwald. Abgegrenzt wird das Untersuchungsgebiet durch die Fangisalp, Schönegg, Blättenalpburg, Litschgiburg und Harzisboden *(Abb. 1)*. Die untersuchte Fläche hat eine relativ hohe Quelldichte und liegt auf einer Hochebene auf 1850–2100 m ü.M. Insgesamt wurden 13 unterschiedliche Quellen für die Untersuchung ausgeschieden.

Das Untersuchungsgebiet liegt in der tektonischen Einheit der Helvetischen Decken, welche den nördlichen Rand der Alpen bilden. Das Untersuchungsgebiet liegt in der Axendecke, einer Untereinheit der Helvetischen Decken. Die aufgeschlossenen Schichtfolgen im Gebiet stammen einerseits aus der Kreide, und werden durch den Valangienkalk (heute Betlis-Kalk) und den Valangienmergel (heute Vitznau-Mergel) repräsentiert (Seeber 1911), und andererseits aus dem Jura. Die deutlich härteren und verwitterungsbeständigeren Schichten des Valangienkalkes bilden die markante Wandflue *(Abb. 2)*. Die weicheren Valangienmergel sind deutlich zurückgewittert und umschliessen die Wandflue. Bedingt durch den hohen Tonanteil sind diese Schichten grundwasserstauend. Aus diesem Grund

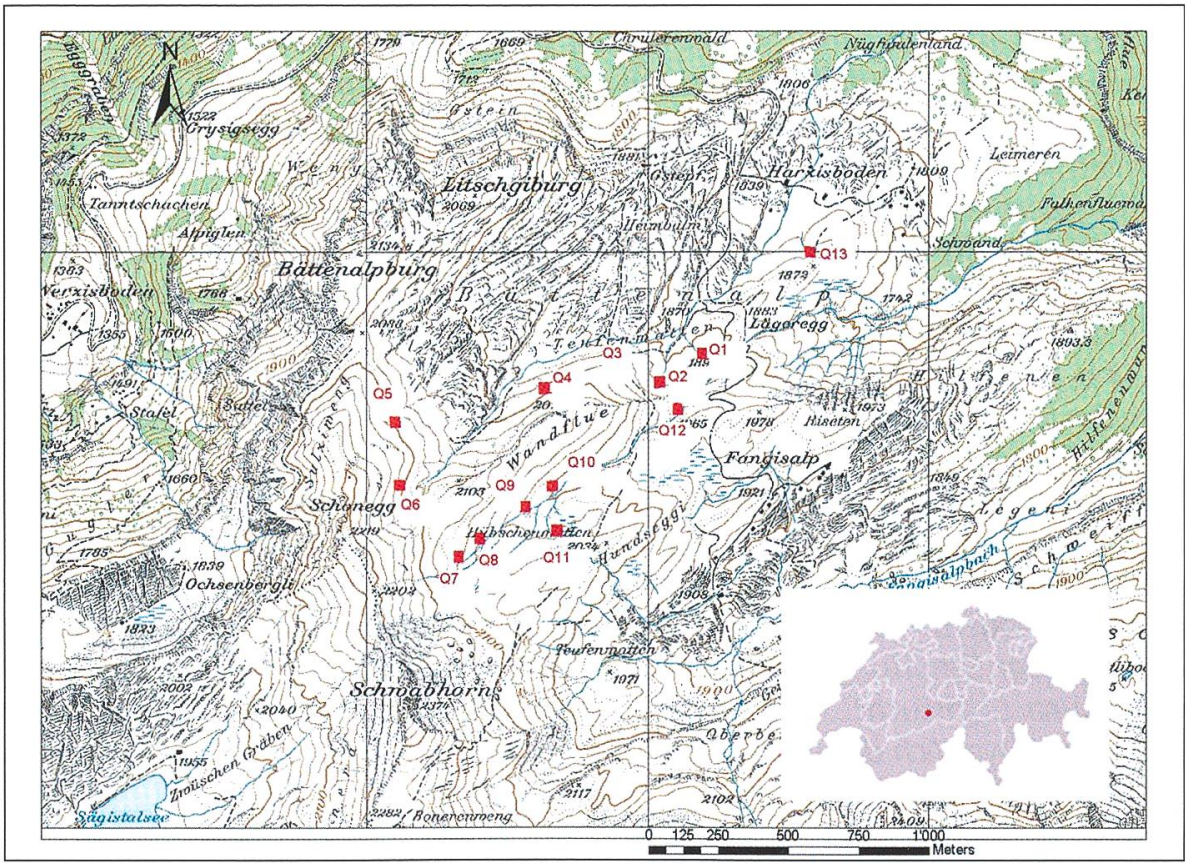


Abbildung 1: Topographische Karte des Untersuchungsgebietes mit den untersuchten Quellen im Massstab 1:25000 (Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA13023).

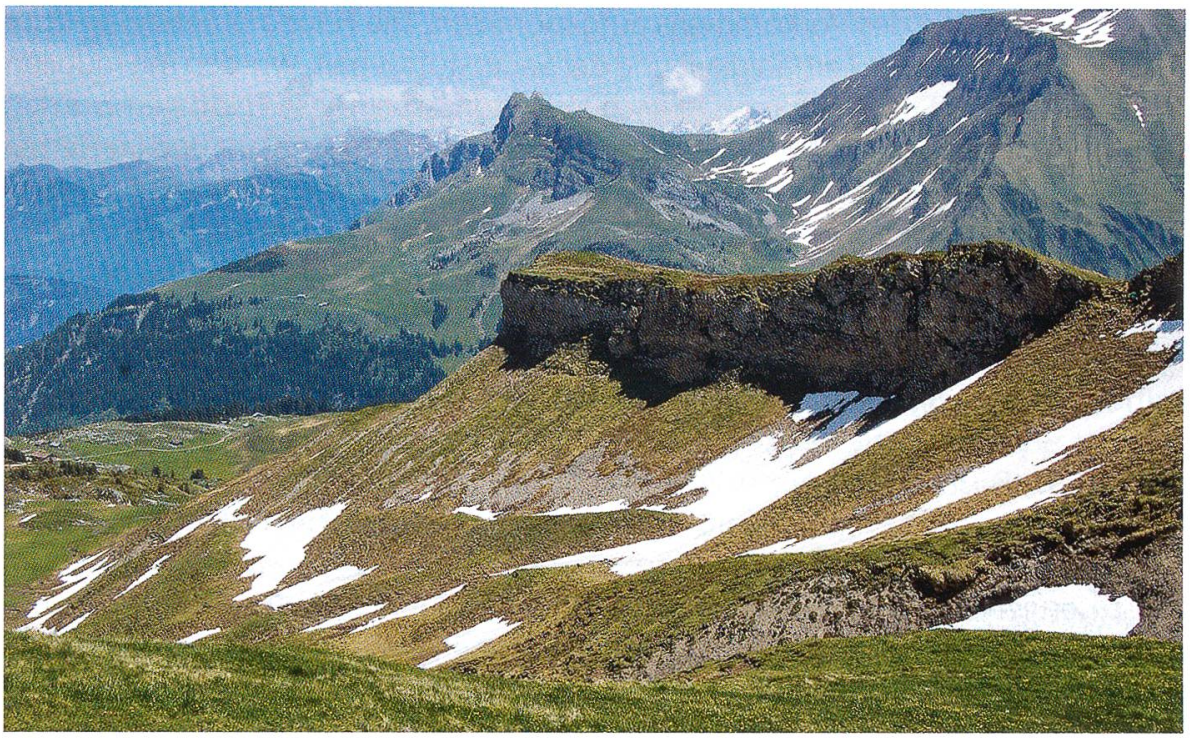


Abbildung 2: Die Valangienkalke der Wandflue, die Schichtgrenze befindet sich in der Bildmitte unter der Felswand.

sind die meisten Quellen auch an der Schichtgrenze zwischen den Kalken und dem Mergel zu finden und können als Schichtquellen bezeichnet werden.

Das harsche Klima des Untersuchungsgebietes bestimmt im Wesentlichen die kurze Vegetationsperiode. Die Schneebedeckung hält im Mittel sechs Monate lang an. Die Jahresmitteltemperatur beträgt –2,2 °C bei einer jährlichen mittleren Niederschlagssumme von 2100 mm, wobei der Grossteil des Niederschlages im Winterhalbjahr als Schnee anfällt. Eine Begehung des Untersuchungsgebietes im Winter hat gezeigt, dass die untersuchten Quellen vollständig durch Schnee bedeckt waren *(Abb. 6)*. Die komplett schneefreie Zeit dauert daher nur rund drei Monate. Das jährliche Niederschlagsminimum im Spätsommer führt zu einem Schüttungsminimum oder gar Trockenfallen von Quellen (intermittierende Quellen). Dies konnte in der Voruntersuchung sowie auch in der Untersuchungsperiode beobachtet werden.

3. Material und Methoden

Die Quell- und Umfeldkartierung wurde mit dem Bayerischen Quellerfassungsbogen (BayQEB 2004) durchgeführt. Der Kartierbogen erfasst die verschiedenen Substrattypen, die Quellschüttung sowie die chemischen und physikalischen Faktoren. Die abiotischen (Steine, Kies, Sand, Ton) und biotischen Substrate (v.a. Moose und feines partikuläres organisches Material) wurden visuell durch prozen-

tuales Abschätzen des Vorkommens aufgenommen. Die Feldparameter, wie zum Beispiel die elektrische Leitfähigkeit und der Sauerstoffgehalt, wurden mit mobilen Messgeräten (WTW, Weilheim, Deutschland) gemessen. Diese Felddaten wurden jeweils unmittelbar nach der faunistischen Probenahme im Frühjahr und im Herbst 2009 erhoben. Zusätzlich wurde im Frühjahr 2009 von jeder Quelle eine Wasserprobe entnommen, um die Nährstoffverhältnisse der Quellen zu untersuchen. Diese wurden durch das Analytische Zentrallabor für Umwelt- und Geochemie (AZUG) des Departements Umweltwissenschaften der Universität Basel analysiert.

Die Schüttung wurde mit Hilfe eines Plastiksackes und eines Messzylinders ermittelt. Dabei wurde das Wasser mit dem Plastiksack über fünf Sekunden abgeschöpft und die Menge anschliessend mit dem Messzylinder abgemessen (Zollhöfer 1997, Fumetti von & Nagel 2012).

Die faunistischen Probennahmen fanden im Frühjahr und im Herbst 2009 statt. Im Herbst 2008 wurde eine Voruntersuchung durchgeführt, um geeignete Quellen zu eruieren. Für die quantitative Beprobung wurde ein Surber-Sampler mit einer Grundfläche von 10x10 cm und einer Maschenweite von 500 µm eingesetzt. Es wurden in jeder Quelle jeweils vier Proben im Frühjahr und Herbst genommen, um die verschiedenen Substrattypen der Quellen berücksichtigen zu können. Zusätzlich wurde eine qualitative Probennahme im Herbst 2009 durchgeführt. Sowohl die qualitative als auch die quantitativen Beprobungen wurden vom unteren Quellbereich zum Quellmund hin durchgeführt, um Trübungen durch aufgewirbeltes Substrat zu vermeiden. Als Definition des Quellbereiches wurde die Klassifikation nach Fumetti von et al. (2007) verwendet. Als Quelle werden dabei nur die ersten fünf Meter nach dem Quellaustritt bezeichnet.

Die Abschätzung der Störungsintensität einer Quelle wurde indirekt über die Aufnahme der Störungsintensität des Quellumfeldes erhoben. Dabei wird vorausgesetzt, dass das Quellumfeld und die Quelle derselben Störung durch das Vieh oder den Menschen ausgesetzt sind. Quellen mit geringer Störung werden bei dieser Untersuchung meist von mesophilen subalpinen Zwergstrauchheiden begleitet. Steigt die Störungsintensität, wird das Quellumfeld von mit Viehgangeln dominierten alpinen Magerrasen durchzogen. Eine hohe Störungsintensität zeigt sich durch das Auftreten von Fettwiesen oder vegetationslosen Böden (Delarze & Gonseth 2008).

Die statistische Auswertung wurde mit Primer V 6.1.6 (Clarke & Gorley 2006) und Statistica (StatSoft 2008) gerechnet. Als Datengrundlage wurden die Artenlisten der beiden quantitativen Feldaufnahmen und der qualitativen Beprobung summiert und mit presence/absence kodiert. Dies hat den Vorteil, dass die kombinierte Taxaliste aus den beiden quantitativen und der qualitativen Taxalisten auf drei Beprobungen fundiert und die Wahrscheinlichkeit zunimmt, die tatsächliche Artenzusammensetzung der einzelnen Quellen zu repräsentieren.

Die abiotischen, beziehungsweise nicht faunistischen Daten wurden in drei Intensitätsstufen klassifiziert. Dabei gilt 1 als schwache und 3 als starke Ausprägung des jeweiligen Merkmales.

4. Ergebnisse

Die Analyse der morphologischen Ausprägung ermöglicht eine Quelltypologie nach Steimann (1915) und Thienemann (1924). Quellen mit einem hohen Anteil an organischer Substanz im Substrat, geringer Neigung und flächiger Ausprägung können als Helokrene bezeichnet werden. Gute Beispiele dieses Quelltyps sind die Quellen 1 und 10 *(Abb.5)*. Eine eher von Steinen dominierte Quelle mit länglicher Ausprägung und starker Neigung wird als Rheokrene beschrieben. Quelle 4 und 10 sind typische Rheokrenen. Es lassen sich aber längst nicht alle Quellen mit dieser Quelltypisierung ausreichend charakterisieren. Bei den untersuchten Quellen handelt es sich vielmehr um Übergangsformen einzelner Quelltypen.

Die mittlere Wassertemperatur betrug im Frühling 4,4 °C und im Herbst 5,8 °C. Der Temperaturunterschied der zwei Beprobungen betrug also 1,6 °C. Die grösste saisonale Temperaturamplitude wurde in der Quelle 11 mit 5,6 °C gemessen.

Die Schüttung der untersuchten Quellen reichte von 0,25 l/sec bis 4 l/sec. Im Frühjahr war die Schüttung bei allen Quellen höher als im Herbst. Drei Quellen (Q7, Q8, Q9) sind im Herbst 2009 gänzlich ausgetrocknet.

Der pH erreichte im Frühjahr Werte von 7,5 bis 8,4 und im Herbst von 5,7 bis 7,6, er war im Herbst wesentlich tiefer als im Frühjahr. Die Leitfähigkeit wies im Frühjahr und im Herbst erhebliche Schwankungen auf (Frühjahr: 199–1992 µS/cm; Herbst: 298–1960 µS/cm).

Der Sauerstoffgehalt betrug im Frühjahr im Mittel 9 mg/l (89,62%). Der höchste Wert wurde in der Quelle 4 mit 13,4 mg/l (127%), der niedrigste Wert in der Quelle 12 mit 5,8 mg/l (55%) gemessen *(Tab. 1)*.

Insgesamt konnten 43 Taxa nachgewiesen werden *(Tab. 2)*. Bei der quantitativen Beprobung wurden 22 Taxa im Frühjahr und 18 Taxa im Herbst gezählt. Die qualitative Untersuchung ergab 26 verschiedene Taxa. Im Folgenden werden die wichtigsten Taxa näher beschrieben.

Turbellaria (Strudelwürmer): *Crenobia alpina* wurde in allen untersuchten Quellen in hohen Abundanzen nachgewiesen. Diese Art ist quelltypisch und zeigt eine alpine Verbreitung.

Im Gegensatz dazu war *Dendrocoelum hercynicum* nur in der Quellfassung der Quelle 10 zu finden. Diese Art ist an dunkle, kalte Lebensräume wie Brunnenschächte angepasst. Beide Arten ernähren sich wie alle Strudelwürmer räuberisch.

Acari (Wassermilben): Mit acht Arten sind die Süsswassermilben recht zahlreich vertreten. *Lebertia maculosa*, *Sperchon mutilus* und *Sperchon squamosus* sind krenobionte Arten, haben also ihren Verbreitungsschwerpunkt in Quellen (Sambugar et al. 2006). Das Vorkommen von Süsswassermilben ist ein Indikator für stetig schüttende Quellen (Gerecke & Franz 2006).

		Laborwerte					Frühling						Herbst					
Quelle	Höhe ü.A.	DOC mg/l	NH_4 mg/l	NO_3 mg/l	Cl mg/l	SO_4 mg/l	Wassertemperatur (°C)	pH-Wert	Leitfähigkeit (µS/cm)	Sauerstoffgehalt (mg/l)	Sauerstoffsättigungsindex (%)	Schüttung (l/sec)	Wassertemperatur (°C)	pH-Wert	Leitfähigkeit (µS/cm)	Sauerstoffgehalt (mg/l)	Sauerstoffsättigungsindex (%)	Schüttung (l/sec)
Q1	1906	0.467	0	0.229	0.673	3.444	3.4	7.94	285	6.5	62	1	5.3	5.74	298	1.75	18	0.25
Q2	1921	0.464	0	0.315	0.196	4.5	3	7.92	199	8.8	85	1	4.7	7.57	1960	3.11	31	0.25
Q3	1972	0.815	0.07	0.559	0.453	6.163	7	7.93	816	10.6	115	1	6.2	5.82	325	2.51	26.4	0.25
Q4	1970	–	–	–	–	–	2.7	8.3	1314	13.4	127	0.5	5.7	6.76	301	3.1	32.1	0.5
Q5	2044	0.403	0.059	0.371	0.142	5.353	3	8.04	1451	13	123	2	7.5	6.01	314	2.53	27	0.5
Q6	2100	0.456	0	0.16	0.115	4.941	4.9	7.55	285	7.2	72	0.5	6.2	6.72	340	3.5	37	0.25
Q7	2055	0.375	0.058	0.237	0.623	4.875	3.5	7.77	273	8	79	4	–	–	–	–	–	–
Q8	2051	0.441	0.032	0.418	0.16	3.146	3.5	7.6	335	7.2	70	1	–	–	–	–	–	–
Q9	2019	0.471	0.015	0.407	0.695	3.733	4	7.52	285	6.8	67	1	–	–	–	–	–	–
Q10	2007	0.679	0.03	5.678	0.511	9.323	3.8	7.54	1992	10.5	104	2	4.4	7.27	397	3	29.7	1
Q11	2011	0.465	0.032	0.206	0.58	8.538	11.7	8.37	204	10.2	119	3	6.1	7.48	397	3.46	36.9	0.5
Q12	1912	0.662	0.015	0.18	0.469	6.931	3.1	7.45	381	5.8	55	1	4.5	7.57	455	4	41	0.5
Q13	1820	1.27	0.059	<0.1	0.534	3.473	4	8.15	267	9.5	87	0.5	7.4	7.31	354	1.94	20.7	0.5
Mittelw.	**1983.69**	**0.58**	**0.03**	**0.73**	**0.43**	**5.37**	**4.43**	**7.85**	**622.08**	**9.04**	**89.62**	**1.42**	**5.80**	**6.83**	**514.10**	**2.89**	**29.98**	**0.45**

Tabelle 1: Physikochemische Analyse im Frühjahr und Herbst mit den gemessenen Laborwerten.

Abbildung 3: Eine Ansammlung von Köcherfliegen in Strömungsrichtung ausgerichtet.

Coleoptera (Wasserkäfer): Es wurden fünf verschiedene Wasserkäferarten nachgewiesen. *Agabus biguttatus* und *Helophorus* spp. waren dabei relativ häufig und wurden in gut der Hälfte der Quellen aufgefunden. Ein einziges Exemplar eines *Agabus bipustulatus* und eines *Hydroporus nigrita* wurde in der Quelle 1 nachgewiesen. Bei allen Arten handelt es sich um typische Räuber in Quellen.

Plecoptera (Steinfliegen): Insgesamt konnten vier Taxa bestimmt werden: Perlodidae, *Nemurella pictetii, Nemoura mortoni* und *Leuctra* spp. Bis auf die Quelle 7 konnte in jeder Quelle mindestens eine Art nachgewiesen werden. Mit Ausnahme der *Perlodidae* sind alle nachgewiesenen Steinfliegen krenophil. *Neumoura mortoni* ist besonders in höheren Lagen zu finden und weist eine alpine Verbreitung auf (GERECKE & FRANZ 2006).

Trichoptera (Köcherfliegen): Es konnten vier verschiedene Arten nachgewiesen werden. Es handelt sich um *Pseudopsilopteryx zimmeri, Limnephilus coenosus, Brachycentrus montanus* und *Limnephilus hirsutus. Pseudopsilopteryx zimmeri* und *Limnephilus hirsutus* sind quelltypische Taxa, wobei *P. zimmeri* zudem eine alpine Verbreitung aufweist *(Abb. 3)*.

Taxa		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13
Turbellaria (Strudelwürmer)	*Crenobia alpina* (Dana, 1766)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Dendrocoelum hercynicum (Flossner, 1959)										1			
Moluska (Mollusken)	*Radix* spp. Montfort, 1810	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1
	Valvata piscinalis alpestris (Kuester, 1853)			1		1					1			
	Pisidium spp. C. Pfeiffer, 1821	1	1	1							1	1	1	1
Oligochaeta (Wenigborster)	Oligochaeta	1	1	1			1		1		1			
Acari (Wassermilben)	*Hydrovolzia placophora* (Monti, 1905)										1			
	Hygrobates norvegicus (Thor, 1897)		1								1			
	Lebertia elsteri Schwoerbel, 1957													1
	Lebertia maculosa Koenike, 1902												1	
	Lebertia schechteli Thor, 1913										1		1	
	Sperchon mutilus Koenike, 1895			1	1						1			
	Sperchon squamosus Kramer, 1879		1				1							1
	Sperchon (s.str.) sp. Kramer, 1877											1		
Crustacea (Krebstiere)	Ostracoda	1	1	1	1	1					1	1	1	1
	Copepoda										1			
	Gammarus fossarum Koch, 1835	1												
	Niphargus spp. Schioedte, 1849								1	1	1			
	Asellus aquaticus Racovitza, 1919		1	1	1						1			
Ephemeroptera (Eintagsfliegen)	*Ecdyonurus* spp. Eaton, 1868				1		1				1	1		
	Baetis alpinus (Pictet, 1843)		1		1	1	1				1	1		1

Plecoptera (Steinfliegen)	Perlodidae	1	1											
	Nemurella pictetii Klapalek, 1900	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1
	Nemoura mortoni Ris, 1902		1	1	1							1		1
	Leuctra spp. Stephens, 1836			1	1		1							
Coleoptera (Käfer)	*Agabus biguttatus* (Olivier, 1795)	1	1	1			1				1	1	1	1
	Agabus bipustulatus (Linnaeus, 1767)	1												
	Dytiscidae	1												
	Helophorus spp. Fabricius, 1775	1		1			1			1	1	1		1
	Hydroporus nigrita (Fabricius, 1792)	1												
Trichoptera (Köcherfliege)	*Brachycentidae*		1									1		
	Limnephilus coenosus Curtis, 1834					1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Limnephilus hirsutus (Pictet, 1834)	1	1											
	Pseudopsilopteryx zimmeri (McLachlan, 1876)				1		1		1			1		
	Limnephilidae	1		1	1	1					1	1	1	
Diptera (Zweiflügler)	Ceratopogonidae		1											
	Chironomidae	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Empididae					1	1						1	1
	Limoniidae			1	1				1	1	1	1		
	Pedicia spp. Latreille, 1809	1	1	1		1					1	1		1
	Psychodidae gen sp.		1	1	1	1	1				1	1	1	
	Simulium spp. Latreille, 1802	1	1	1	1		1		1	1	1		1	1
	Oxycera spp. Meigen, 1803					1	1		1					
	Tipulidae					1					1			

Tabelle 2: Artenliste aus den zwei quantitativen und der qualitativen Beprobung. 1 = vorhanden

Diptera (Zweiflügler): Die Bestimmung der Larven konnte jeweils nur auf Familienniveau vorgenommen werden. Die Dipteren sind mit elf Taxa die Grossgruppe mit den meisten nachgewiesenen Familien der Untersuchung. Eine hohe Individuendichte und eine hohe Artenzahl sind typisch für Quellen (Zollhöfer 1997).

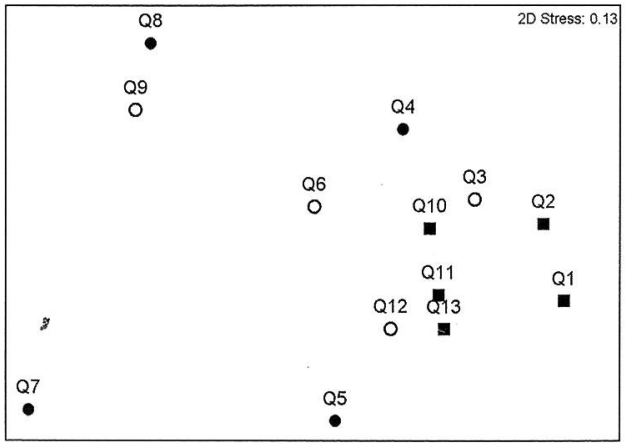
Zu Beginn der Analyse wurde eine Hauptkomponentenanalyse (PCA) durchgeführt. Dabei sollen die abiotischen Faktoren, welche einen grossen Einfluss auf die Fauna haben könnten, herausgefiltert werden. Die beiden Faktoren Substratdiversität und organisches Substrat werden dabei in erster Linie als dominierend ausgeschieden. Ausserdem sind der Isolationsgrad und der Viehtritt sowie die anthropogene Störung zu erwähnen.

Ein anschliessende Rangkorrelationsanalyse (BioENV) zeigte, dass die Schüttungsstabilität, der Viehtritt und die anthropogene Störung, die Schüttung sowie der Sauerstoffgehalt einen starken Einfluss auf die Zusammensetzung der Fauna haben (σ=0,621 und p=0,01). Anschliessend wurde eine nMDS (nichtmetrische Multidimensionale Skalierung) mit der Taxaliste als Datengrundlage durchgeführt und getestet, welche der als wichtig eruierten abiotischen Faktoren aus der PCA und der BioENV eine Gruppierung der Quellen erklären.

Der Faktor Schüttungsstabilität zeigt, dass die stark schüttenden, perennierenden Quellen 1, 2, 10, 11 und 13 untereinander eine hohe Ähnlichkeit aufweisen *(Abb. 4)*. Die intermittierenden und im Herbst trockengefallenen Quellen zeigen unter sich den stärksten Unterschied. Die dazugehörige Ähnlichkeitsanalyse (ANOSIM) zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den Quellgruppen mit unterschiedlicher Schüttungsstabilität (R:0,53; p:0.002) *(Abb. 4)*.

Zudem haben die Viehtrittintensität (R=0,59), die Störung durch Mensch und Vieh (R=0,30), der Anteil an organischem Substrat (R=0,62) und die Substratdiversität (R=0,50) einen signifikanten Einfluss auf die Zusammensetzung der Quellfauna (p=0,001).

Eine Varianzanalyse (ANOVA) mit Fischers LSD-Test mit der Taxaliste und dem Faktor Viehtrittintensität ergab einen signifikanten Unterschied von p=0,0112 (F=7,2705; df=2).



Schüttungstabilität
● = 1
○ = 2
■ = 3

Abbildung 4: nMDS mit Schüttungsstabilität als Faktor und der Taxaliste als Datengrundlage (1 = schwache, intermittierende Schüttung, 2 = schwache perennierende Schüttung, 3 = starke perennierende Schüttung).

5. Diskussion

Die Quellen im Berner Oberland sind starken saisonalen Abflussschwankungen unterworfen und unterliegen einem nivalen Abflussregime. Dabei spielt die Schneeschmelze im Frühsommer eine zentrale Rolle. Die Schüttung erreicht dann ihr jährliches Maximum. Das jährliche Niederschlagsminimum hingegen ist im Spätsommer oder im Herbst. Im Herbst kann es daher zu einer Austrocknung von einzelnen Quellen kommen. Im Jahresgang sind Schwankungen der Schüttung um den Faktor 5 bis 30 möglich (Zollhöfer 1999).

In unserer Untersuchung wurde die stärkste Schüttung im Juli, während der Schneeschmelze beobachtet. Der Oberboden war dabei noch teilweise gefroren und es war ein direktes Einfliessen des Schmelzwassers in die Quelle zu beobachten *(Abb. 5)*. Aufgrund der meist muldenförmigen Ausprägung der Quellen war ausserdem zu beobachten, dass gerade im Bereich des Quellaustrittes der Schnee am längsten überdauert hat.

Die Schneeschmelze ist starken täglichen Schwankungen unterworfen, was mit den Temperaturschwankungen im Tagesverlauf und der Sonnenscheindauer zusammenhängt. Die Schüttung der Quellen ist im Frühjahr somit sehr variabel und besteht zu einem grossen Teil aus meteorischem Wasser. Eine Quelle weist während der Schneeschmelze somit einen ähnlichen Tagesgang wie ein Gletscherfluss im Gletschervorfeld auf. Dieser Einfluss des kalten Schmelzwassers ist auch ein

Abbildung 5: Helokrene mit Schmelzwasserbeeinflussung.

Hauptgrund für die starken Temperaturschwankungen des Quellwassers. Im Winter sind die Quellen mehr als sechs Monate durch eine geschlossene Schneedecke bedeckt *(Abb. 6)*. Während dieser Zeit bewegen sich die Temperaturen des Quellwassers um den Gefrierpunkt.

Loggermessungen und direktes Beproben haben zudem eine minimale Schüttung zu dieser Zeit gemessen. Die Temperaturschwankungen der Quellen variierten im Mittel um 1,5 °C. Einzelne Quellen zeigen aber eine wesentlich höhere Temperaturamplitude. Quellen werden als sehr konstant bezüglich ihrer Wassertemperatur und Schüttung beschrieben (Steinmann 1915), für alpine Quellen trifft dies aber offensichtlich nur bedingt zu. Gräsle & Beierkuhnlein (1999) und Fumetti von & Nagel (2012) dokumentieren grosse Temperaturschwankungen aber auch in Quellen im Frankenwald bzw. im Schweizer Jura. Möglicherweise steigt die Temperaturamplitude der Quellen mit zunehmender Höhe, da die saisonalen und täglichen Lufttemperaturunterschiede und die unterschiedliche Besonnung im Winter und Sommer extremer werden und der Einfluss der Schneeschmelze zunimmt.

Das Minimum der Schüttung, die damit verbundene geringe Fliessgeschwindigkeit und das Lufttemperaturmaximum fallen im Spätsommer zusammen. Dies äussert sich in einer erhöhten Wassertemperatur im Herbst. Das Risiko für das Austrocknen der Quellen ist somit sehr hoch. Unsere Untersuchung konnte nachweisen, dass ein starker Zusammenhang zwischen einer stabilen Schüttung und der Biodiversität besteht. Wasserentnahmen im Quellbereich für Viehtränken im

Abbildung 6: Schneehöhenmessung im Winter.

Sommer haben daher einen stark negativen Einfluss auf die Fauna. Quellen mit perennierender Schüttung weisen eine höhere Abundanz und Diversität auf als intermittierende.

Im Frühjahr konnte eine höhere Nährstoffzulieferung im Zusammenhang mit der Schneeschmelze festgestellt werden, was auch bei Quellen in Berchtesgaden beobachtet wurde (Gerecke & Franz 2006). Eine Untersuchung im Alptal hat gezeigt, dass im Schnee viele Nährstoffe gebunden werden (Waldner et al. 2000). Diese können im Frühjahr in die Quelle eingewaschen werden. Alpines Quellwasser ist normalerweise sehr nährstoffarm, somit ist auch eine Saisonalität der Nährstoffverfügung zu verzeichnen.

Die Quellfauna wird neben der Konstanz der Wassertemperatur auch durch den Eintrag von Falllaub beeinflusst (Smith et al. 2003). Die Diversität der Habitatstrukturen und die Substratzusammensetzung beeinflussen die Quellfauna direkt. Je grösser die Diversität von Kleinstlebensräumen, desto grösser ist die Biodiversität. Auch in dieser Untersuchung konnte ein starker Einfluss der Substratdiversität nachgewiesen werden. Ilmonen & Paasivirta (2009) zeigen zudem, dass in Moos dominierten Helokrenen die höchste Taxazahl und Abundanz auftritt. Als Ursache werden die mosaikartige Struktur der Moospolster und deren Schutzwirkung, die vertikale Zonierung und das vielseitige Nahrungsspektrum genannt. Jedoch werden nur gering gestörte Quellen von Moosen dominiert.

Grundsätzlich weisen ungestörte Quellen mit einer stetigen Schüttung und einer vielfältigen Habitatstruktur die grösste Biodiversität auf. Gerade diese Standorte jedoch sind sehr selten geworden. Quellfassungen oder Drainagen zerstören die natürlichen Habitatstrukturen oder setzen die Schüttungsstabilität herab. Die verbliebenen Quellen werden gleichzeitig stärker durch Wildtiere und das Vieh frequentiert. In der Regel werden gefasste, aber nicht mehr verwendete Quellfassungen nicht rückgebaut.

Wissenschaftliche Prognosen für die Schweiz zeigen für die nächsten Jahrzehnte einen Anstieg der Sommertemperaturen und einen gleichzeitigen Rückgang des Niederschlags im Sommer. Dies bedeutet für die Quellen ein erhöhtes Risiko, auszutrocknen (Qinquai et al. 2005). Quellen, welche nicht austrocknen, laufen Gefahr, einer erhöhten Störung durch das Vieh zu unterliegen, da diese möglicherweise häufiger aufgesucht werden. Zudem werden die Winterniederschläge zunehmen, was für alpine Regionen über 1500 m ü.M. zu einer erhöhten Schneemenge führen kann (OcCC-Report 2007). Die Schneeschmelzeereignisse im Frühling werden somit intensiver und über einen längeren Zeitraum ablaufen. Die Quellen werden auch dadurch einer erhöhten Störung unterliegen. Die Bedeutung des Quellschutzes wird deshalb umso wichtiger, um negative anthropogene Eingriffe möglichst zu minimieren und die Quellen als wertvolle Biotope nicht zusätzlich zu beeinträchtigen. Renaturierungen von Quellen sowie das Auszäunen von Quellen oder das Freilegen gefasster und ungenutzter Quellen könnten helfen, die Biodiversität dieser kaum bekannten Biotope zu erhalten. Weitere Langzeitstudien im Giessbachtal sollen helfen, Ansätze für den zukünftigen Umgang mit

Quellen zu finden. Die Untersuchung von Quellen auf unterschiedlicher Höhe und des Winteraspekts sind dabei von zentraler Bedeutung.

6. Zusammenfassung

Alpine Quellen sind in der Schweiz noch sehr schlecht untersuchte Biotope. Der Nutzungsdruck durch den Menschen und die Beweidung sowie die Klimaänderung wirken sich negativ auf diese kleinräumigen, isolierten Lebensräume aus. Viele Quellen sind durch den Menschen bereits stark zerstört oder verschwunden. Naturnahe Quellen unterliegen in der Schweiz keinerlei gesetzlichem Schutz.
Im Rahmen dieser Untersuchung wurden im Frühjahr und Herbst 2009 13 Quellen mit unterschiedlichem Nutzungsdruck und somit unterschiedlichem Störungsregime faunistisch und strukturell untersucht. Parallel dazu wurden alle relevanten abiotischen Parameter der Quellen und die Vegetationsstrukturen sowie die geologischen Verhältnisse des Quellumlandes aufgenommen. In den Jahren 2011 und 2012 wurden die Untersuchungen an weiteren Quellen fortgeführt.

Insgesamt konnten bisher 43 Taxa nachgewiesen werden. Die einzelnen Quellen weisen eine sehr heterogene Taxazahl auf. Quellen mit hohem organischem Anteil und stetiger mässiger Schüttung sowie einer hohen Substratdiversität weisen die höchste Biodiversität auf. Die Schüttung und Wassertemperatur alpiner Quellen ist variabler als in Quellen in Mittelgebirgen und wird durch die Schneebedeckung und Schneeschmelze beeinflusst.

Die halbjährliche Schneebedeckung und die damit verbundene fehlende Solarstrahlung, das Wegfallen von organischen Einträgen im Winter, die starke Schüttung durch die Schneeschmelze im Frühling und die sehr geringe Schüttung während der herbstlichen Trockenheit stellen extreme Bedingungen dar, welche auf die Quellfauna einwirken. Aus diesen Gründen unterscheiden sich alpine Quellen bezüglich Temperaturverlauf und Schüttung stark von Quellen im Flachland und in Mittelgebirgen.

Klimaprognosen gehen von einer verstärkten Sommertrockenheit und einem erhöhten Niederschlag im Winter aus. Für die Quellen bedeutet dies ein erhöhtes Austrocknungsrisiko im Herbst und eine verstärkte Beeinflussung durch Schmelzwasser. Beides kann die Biodiversität negativ beeinflussen. Auch eine rückläufige Bewirtschaftung der Alpweiden und eine Verschiebung der Waldgrenze stellen künftige Herausforderungen für die äusserst sensiblen Quellorganismen dar.

Verdankungen

Wir bedanken uns bei Prof. Dr. Peter Nagel für die infrastrukturelle Unterstützung. Dank gebührt ausserdem Dr. Peter Martin und Dr. Reinhard Gerecke für das Bestimmen der Milben. Finanziell wurde das Projekt durch die Wolfermann-Nägeli-

Stiftung, die Freiwillige Akademische Gesellschaft Basel und von Coca-Cola HBC Schweiz unterstützt, wofür wir uns herzlich bedanken.

Literaturverzeichnis

BayQEB (2004). Bayrisches Landesamt für Umwelt. Quellkartierungsbogen. München.

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

Clarke, K.R. & Gorley R.N. (2006). Primer v6. PRIMER-E, Plymouth. URL: http://www.primer-e.com/

Delarze, R. & Gonseth, Y. (2008). Lebensräume der Schweiz. Bern, Ott Verlag.

Von Fumetti, S. & Nagel, P. & Baltes, B. (2007). Where a springhead becomes a springbrook – a regional zonation of springs. Fundamental and Applied Limnologie 169/1: 37–48.

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

Füreder, L. (2001). Physico-chemistry and aquatic insects of a glacier-fed and a spring-fed alpine stream. Freshwater Biology 46: 1673–1690.

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

Gerecke, R., Haseke, H., Klauber, J. & Maringer, A. (Red.) 2012. Quellen. Schriften des Nationalparks Gesäuse, Band 7, Weng im Gesäuse. 391 S.

Gräsle, W. & Beierkuhnlein, C. (1999). Temperaturen und Strahlungshaushalt von Waldquellen. Ökologie silikatischer Waldquellen in Mitteleuropa. Bayreuther Forum Ökologie Band 71: 77–85.

Ilmonen, J., Paasivirta, L., Virtanen, R. & Muotka, T. (2009). Regional and local drivers of macroinvertebrate assemblages in boreal springs. Journal of Biogeography 36: 822–834.

Mori, N. & Branceli, A. (2006). Macroinvertebrate communities of karst springs of two river catchments in the Southern Limestone Alps (the Julian Alps, NW Slovenia). Aquatic Ecology 40: 69–83.

Nadig, A. (1942). Hydrobiologische Untersuchungen in Quellen des Schweizerischen Nationalparkes im Engadin. H. R. Sauerländer & Co. Aarau, Schweiz.

OcCC/ProClim- (Editor), 2007. Climate Change and Switzerland 2050. Expected Impacts on Environment, Society and Economy. Bern.

Qinghai, G., Wang, Y., Teng, M. & Luxiu, L. (2005). Variation of karst spring discharge in the recent five decades as an indicator of global climate change. A case study at shanxi, northern China. Science in China series D Earth Sciences 48: 2001–2010.

Sambugar, B., Dessi, G., Sapelza, A., Stenico, A., Thaler, B. & Veneri, A. (2006). Südtiroler Quellfauna. Autonome Provinz Bozen. Landesagentur für Umwelt.

Seeber, H. (1911). Beiträge zur Geologie der Faulhorn-Gruppe (Westlicher Teil) und der Männlichen-Gruppe. Diss. Universität Bern, Bern: 143.

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

StatSoft. (2008). Statistica Quick Reference. Tulsa (USA). URL: http://www.statsoft.com/#

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

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

Waldner, P., Schneebeli, M., Wunderli, H. (2000). Nährstoffaustrag aus einer schmelzenden Schneedecke im Alptal (SZ) am Beispiel von Nitrat. Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen 6: 198–204.

Zollhöfer, J. M. (1997). Quellen: die unbekannten Biotope im Schweizer Jura und Mittelland: erfassen, bewerten, schützen. Bristol-Stiftung, Zürich.

Zollhöfer, J. M. (1999). Spring biotopes in Northern Switzerland: Habitat Heterogeneity, zoobentic communities and colonization dynamics. PhD Thesis, Swiss Federal Institute of science and Technology, Zürich.