

Alpine Seeausflüsse: aussergewöhnliche alpine Gewässertypen?

Fließgewässer, die aus Seen austreten, sind einzigartige aquatische Ökosysteme, die sowohl von See- als auch von Bachorganismen besiedelt werden. In alpinen Gebieten können Seeausflüsse entweder rhithralen (gespeist durch Schneeschmelzwasser) oder kryalen (gespeist durch Gletscherschmelzwasser) Ursprungs sein. Obwohl alpine Seeausflüsse ein wichtiges Element alpiner Landschaften sind, ist erstaunlich wenig zur Ökologie dieser charakteristischen Fließgewässersysteme bekannt. Untersuchungen der EAWAG haben gezeigt, dass sie sich wesentlich von Seeausflüssen tieferer Lagen und anderen alpinen Fließgewässern unterscheiden.

Seeausflüsse stellen die Übergangszonen zwischen den Lebensräumen See und Fließgewässer dar. Abhängig von der Grösse des Sees (Volumen) und der Aufenthaltszeit des Wassers wirken Seen in tieferen Lagen als Puffer für Schwankungen der Abflussmenge und der Wassertemperatur. Häufig werden aus diesen Seen auch grosse Mengen Plankton ausgeschwemmt, so dass sich in den Seeausflüssen bevorzugt wirbellose Filtrierer ansiedeln [1]. In tieferen Lagen sind Seeausflüsse eingehend untersucht worden, man weiss jedoch nur wenig über die Ökologie von Seeausflüssen in alpinen Gebieten. Aus diesem Grund lancierte die EAWAG ein Forschungsprojekt, um die Lebensraumbedingungen und die Lebensgemeinschaften alpiner Seeausflüsse genauer zu charakterisieren. Eine der Hauptfragestellungen war, ob sich die Aus-

flüsse alpiner Seen von anderen alpinen Fließgewässern und von Seeausflüssen in tieferen Lagen unterscheiden? Dazu untersuchten wir 2 kryale und 4 rhithrale Seeausflüsse sowie 2 kryale und 2 rhithrale Bäche in den Schweizer Alpen (Abb. 1; Definitionen siehe S. 4).

Charakteristische Lebensraumbedingungen alpiner Seeausflüsse

Trotz ihrer meist geringen Grösse haben alpine Seen einen deutlichen Einfluss auf ihre Abflüsse. Die Wassertemperatur ist ein wesentlicher Faktor, der die Lebensraumbedingungen und damit das Vorkommen aquatischer Organismen beeinflusst [2, 3]. Wir fanden, dass die sommerlichen Wassertemperaturen in alpinen Seeausflüssen um etwa 4 °C höher waren als in alpinen Fließgewässern, die nicht im Einflussbereich eines Sees liegen (Abb. 2, Tab. 1). Diese Tendenz zeigte sich auch, wenn man die jährlichen Gradtage (= Summe der täglichen Durchschnittstemperaturen, Tab. 1) miteinander vergleicht. Ausserdem wärmten sich alpine Seeausflüsse schneller auf und unterlagen geringeren Temperaturschwankungen im Verlauf eines Tages als andere Bergbäche [4]. Die Konzentration der Schwebstoffe ist ein weiterer wichtiger Faktor. Das Wasser der Gletscherbäche ist während der Eisschmelze im Sommer besonders trübe. In proglazialen Seen jedoch können die suspendierten Teilchen absedimentieren, so dass das Wasser in den untersuchten kryalen Seeausflüssen wesent-

lich klarer und der physikalische Stress durch Sedimentabrieb reduziert war (Tab. 1). Da alpine Gewässer über der Baumgrenze liegen, wird generell nur wenig organisches Material aus der terrestrischen Umgebung in diese Gewässer eingetragen. Ihr Energiehaushalt wird hauptsächlich durch Primärproduzenten wie z.B. Algen und Makrophyten angekurbelt (siehe auch S. 19). Die meisten alpinen Seen sind denn auch ex-

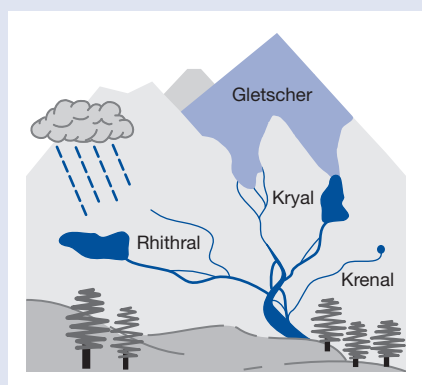


Abb. 1: Alpine Fließgewässertypen und ihr Wasserursprung [verändert nach 3, 5].

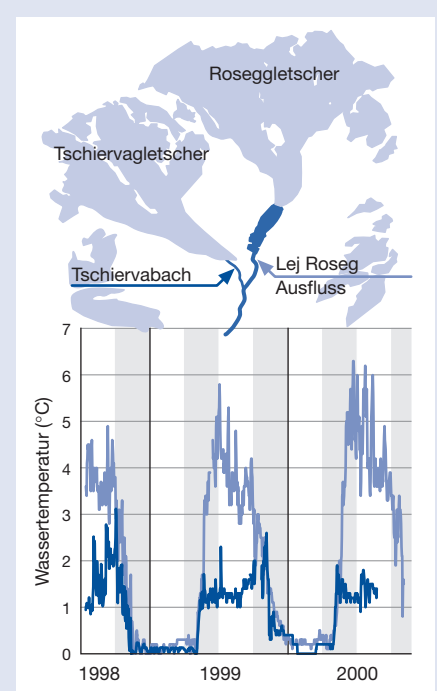


Abb. 2: Durchschnittliche tägliche Wassertemperatur eines kryalen Seeausflusses (Lej Roseg) und eines benachbarten kryalen Baches (Tschierwabach).



Fotos: M. Hieber, EAWAG

Der Ausfluss des rhithralen Lago Bianco.



Der Ausfluss des kryalen Steinsees.

trem oligotroph und gaben im Gegensatz zu Seeausflüssen tieferer Lagen nur sehr wenig organisches Material an ihre Ausflüsse ab. In kryalen Systemen waren die Konzentrationen organischen Materials im See und im Ausfluss ähnlich niedrig und zeigten dieselbe jahreszeitliche Dynamik mit Konzentrationsspitzen bei geringem Abfluss im Herbst und Frühling (siehe auch S. 22). In Ausflüssen rhithraler Seen dagegen war die interne Produktion organischen Materials recht hoch, was vermutlich auf eine höhere Stabilität des Flussbettes zurückzuführen ist.

Generell unterschieden sich die Lebensraumbedingungen alpiner Seeausflüsse, egal ob kryal oder rhithral, von den Bedingungen anderer alpiner Fließgewässer. Aber auch kryale und rhithrale Seeausflüsse sind stärker durch ihre vorgelagerten Seen geprägt als kryale Seeausflüsse. Die Gegenwart eines Gletschers und die damit verbundene sommerliche Gletscherschmelze scheint der bestimmende Faktor für die Lebensraumbedingungen kryaler Systeme zu sein.

Flora und Fauna alpiner Seeausflüsse

Flora und Fauna alpiner Fließgewässer sind weltweit relativ einheitlich [5]. Dennoch wurde die spezifische Struktur der Lebensgemeinschaft durch die jeweiligen Lebensraumbedingungen in den verschiedenen Gewässertypen bestimmt. Wir konnten zeigen, dass die Artendiversität in kryalen Seeausflüssen generell geringer war als in rhithralen und dass sich die Lebensgemeinschaften in den Seeausflüssen wesentlich von den Lebensgemeinschaften in den jeweiligen Fließgewässern ohne vorgelagerten See unterschieden (Tab. 1).

Die **aquatische Flora** war typischerweise von Kieselalgen, Blaualgen und der Goldalge *Hydrurus foetidus* dominiert. *Hydrurus* ist eine weitverbreitete Fadenalge, die normalerweise in kalten Gewässern anzutreffen ist. Im Vergleich der verschiedenen Gewässersysteme zeigte sich, dass die Algengemeinschaften in rhithralen Gewässern wesentlich vielfältiger sind als in kryalen Gewässern. In kryalen Fließgewässern waren sowohl die Artenvielfalt als auch die gebildete Biomasse von den starken jahreszeitlichen Schwankungen geprägt und wiesen ein charakteristisches Minimum während des starken Sommerabflusses auf. Kryale Seeausflüsse unterschieden sich durch eine höhere Artenvielfalt (insbesondere Kieselalgen) von kryalen Fließgewäs-

sern, während in rhithralen Seeausflüssen zudem Süßwassermoose vorkamen, die zeitweise grosse Biomassen erreichten und den wirbellosen Organismen einen wichtigen Lebensraum boten [6, 7].

Die **Gemeinschaften der wirbellosen Organismen** waren in rhithralen Gewässern ebenfalls vielfältiger als in kryalen Systemen. Gefunden wurden Larven der Ordnungen Eintagsfliegen (Ephemeroptera), Steinfliegen (Plecoptera), Köcherfliegen (Trichoptera) und Zweiflügler (Diptera, meist Zuckmücken) sowie Strudelwürmer (Turbellaria) und Wenigborster (Oligochaeta). Zuckmückenlarven der Unterfamilie Diamesinae dominierten die kryalen Systeme, allerdings waren bei Niedrigabfluss dort auch Eintags- und Steinfliegenlarven anzutreffen (siehe

| Parameter | Rhithral | | Kryal | |
|-----------------------------------|--|--|---|--|
| | Bach (n = 2) | Seeausfluss (n = 4) | Bach (n = 2) | Seeausfluss (n = 2) |
| Jährliche Grad-Tage | 900–1300 | 900–1500 | <300 | 500–700 |
| Jährlicher Temperaturbereich (°C) | 0–13 | 0–17 | 0–5 | 0–9 |
| Tägliche Temperaturschwankungen | Stark | Mässig | Mässig | Gering |
| Abflussregime | Starke saisonale Schwankungen | Mässige saisonale Schwankungen | Hohe saisonale und tägliche Schwankungen | Mässige saisonale und tägliche Schwankungen |
| Trübung (NTU) | Klar (0–3) | Klar (0–10) | Trüb (2– >1000) | Trüb (30–400) |
| Stabilität der Bachsohle | Wechselnd | Hoch | Gering | Wechselnd |
| Algen | Diverse Kieselalgen Blaualgen <i>Hydrurus foetidus</i> | Diverse Kieselalgen Blaualgen Moose | <i>Hydrurus foetidus</i> <i>Chamaesiphon</i> <i>Lyngbya</i> Vereinzelt Kieselalgen | <i>Hydrurus foetidus</i> <i>Chamaesiphon</i> <i>Lyngbya</i> Wenig Kieselalgen |
| Wirbellose | Verschiedene EPTD Nicht-Insekten | Nicht-Insekten: Oligochaeta Nematoda Chironomidae Wenige EPT | Diamesinae EP: Baetidae Heptageniidae Leuctridae | Diamesinae EP: Baetidae Heptageniidae Leuctridae |

Tab. 1: Abiotische und biotische Eigenschaften rhithraler und kryaler Fließgewässer [nach 5].
E = Ephemeroptera, P = Plecoptera, T = Trichoptera, D = Diptera, n = Zahl der Probenahmestellen, NTU = Nephelometrische Trübungseinheiten.

auch S. 7 und S. 26). Chironomiden und Nicht-Insekten wie z.B. Wenigborster, Fadenwürmer (Nematoda) und Ruderfusskrebse (Copepoda) kamen typischerweise in rhithralen Seeausflüssen vor und wurden in rhithralen Fließgewässern durch zahlreiche andere Insektenarten ergänzt. Im Gegensatz zu Seeausflüssen tieferer Lagen waren jedoch Filtrierer selten oder sogar abwesend.

Tabelle 1 liefert eine Zusammenfassung unserer Ergebnisse und erweitert die von Ward [5] zusammengestellten Daten zur allgemeinen Charakterisierung alpiner Fließgewässer.

Sind alpine Seeausflüsse einzigartige Lebensräume?

Unsere Ergebnisse zeigten, dass alpine Seeausflüsse spezifische Lebensräume darstellen, die charakteristische Lebensgemeinschaften aufweisen. Alpine Seeausflüsse können als Unterklassen rhithraler und kryaler Gewässer betrachtet werden. In diesem Sinne können die verschiedenen Typen alpiner Fließgewässer hierarchisch strukturiert werden, wobei verschiedene Umweltparameter wie beispielsweise Klima,

Wasserursprung und Gerinnetyp als hintereinander gereichte «Filter» wirken. Sie filtern bestimmte Arten aufgrund ihrer biologischen Eigenschaften aus dem potenziell verfügbaren regionalen Artenpool heraus und bestimmen so die Struktur der Lebensgemeinschaften (Abb. 3). Die hierarchische Struktur der beeinflussenden Umweltparameter zeigt jedoch auch, dass die Einzigartigkeit der Seeausflüsse mit steigender Höhe über dem Meer und zunehmendem Einfluss von Gletschern abnimmt. Eine erfolgreiche Bewirtschaftung alpiner Gewässer muss die individuellen ökologischen

Eigenschaften der verschiedenen Gewässertypen berücksichtigen. Nur unter dieser Voraussetzung kann die natürliche Biodiversität erhalten werden.



Mäggi Hieber erarbeitete ihre Doktorarbeit über alpine Bäche und Seeausflüsse in der Abteilung Limnologie der EAWAG. Seither ist sie als Projektleiterin beim Zentrum für angewandte Ökologie Schattweid tätig.

Koautoren:
C.T. Robinson, U. Uehlinger

- [1] Richardson J.S., Mackay R.J. (1991): Lake outlets and the distribution of filter feeders: an assessment of hypotheses. *Oikos* 62, 370–380.
- [2] Hieber M., Robinson C.T., Uehlinger U., Ward J.V. (2002): Are alpine lake outlets less harsh than other alpine streams? *Archiv für Hydrobiologie* 154, 199–223.
- [3] Ward J.V., Stanford J.A. (1982): Thermal responses in the evolutionary ecology of aquatic insects. *Annual Review of Entomology* 27, 97–117.
- [4] Füreder L. (1999): High alpine streams: cold habitats for insect larvae. In: Margesin R., Schinner F. (eds.) *Cold-Adapted Organisms – Ecology, Physiology, Enzymology and Molecular Biology*. Springer, Berlin, p. 181–196.
- [5] Ward J.V. (1994): Ecology of alpine streams. *Freshwater Biology* 32, 277–294.
- [6] Kawecka B. (1980): Sessile algae in European mountain streams. I. The ecological characteristics of communities. *Acta Hydrobiologica* 22, 361–420.
- [7] Hieber M., Robinson C.T., Rushforth S.R., Uehlinger U. (2001): Algal communities associated with different alpine stream types. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 33, 447–456.
- [8] Tonn W.M. (1990): Climate change and fish communities: a conceptual approach. *Transactions of the American Fisheries Society* 119, 337–352.
- [9] Poff N.L. (1997): Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society* 16, 391–409.

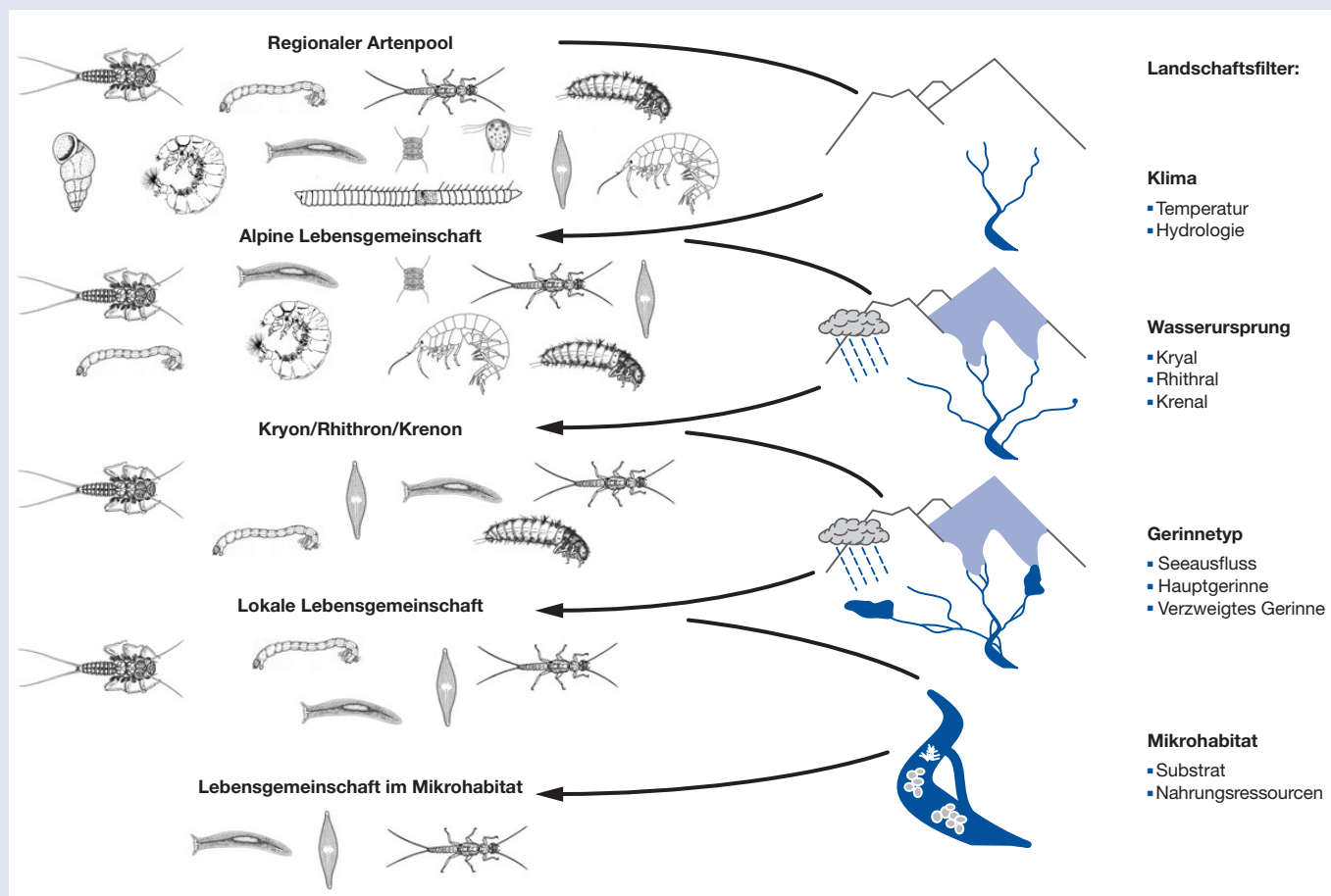


Abb. 3: Konzeptionelles Modell, das die Zusammensetzung der benthischen Lebensgemeinschaft in verschiedenen Typen alpiner Fließgewässer aufgrund so genannter Landschaftsfilter bestimmt [sensu 8, 9]. Die wichtigsten landschaftlichen Elemente oder Faktoren auf einem beliebigen hierarchischen Niveau bestimmen, wie sich die Lebensgemeinschaft auf der darunter liegenden Stufe zusammensetzt.