

Die Ökologie alpiner Fließgewässer

Die raue Schönheit alpiner Lebensräume ist auf allen Kontinenten zu finden und fasziniert Geografen und Naturforscher seit jeher. Wissenschaftliche Arbeiten über alpine Tundren beschäftigten sich überwiegend mit Fragen zur Glaziologie, Hydrologie, terrestrischen Ökologie und Klimatologie, dagegen erhielt die Ökologie alpiner Fließgewässer erstaunlich wenig Aufmerksamkeit. Deshalb initiierte die EAWAG eine umfassende Studie zur Ökologie alpiner Fließgewässer mit Probenahmen über den gesamten Jahreszyklus. Unsere Ergebnisse zeigen, dass alpine Ökosysteme ein viel grösseres Mass an Heterogenität aufweisen als bisher angenommen, und dass die Dynamik der Auen und des Grundwassers eine wichtige Rolle für die Strukturierung der Lebensräume spielt. Optimale Bedingungen für die biologische Aktivität herrschen in Gletscherbächen vom Spätherbst bis in den Frühwinter.

Alpine Fließgewässer sind eine unserer wertvollsten Wasserressourcen. Anthropogene Einflüsse beeinträchtigen auch diese faszinierenden aquatischen Systeme, wenngleich in weit geringerem Ausmass als Bäche und Flüsse des Tieflandes. Deshalb haben alpine Einzugsgebiete einen grossen ästhetischen und wissenschaftlichen Wert und gelten als empfindliche Indikatoren für Umweltveränderungen [1]. Trotzdem gehören sie zu den am wenigsten untersuchten Ökosystemen der Welt [2]. Dies war Ansporn für die Abteilung Limnologie der EAWAG, sich im Rahmen umfangreicher Forschungsprojekte mit der Ökologie alpiner Fließgewässer zu befassen und so mitzuhelfen, diese Wissenslücke zu schliessen.

Der vorliegende Artikel gibt eine allgemeine Einführung und die folgenden Artikel stellen die wichtigsten Forschungsergebnisse aus verschiedenen Teilprojekten vor, die in Fließgewässern nahe oder oberhalb der Baumgrenze in den Schweizer Alpen durchgeführt wurden.

Was ist ein alpiner Bach?

Der Begriff «alpin» hat zwei recht unterschiedliche Bedeutungen. Einerseits sind alpine Bäche solche, die in den Alpen liegen und zwar unabhängig von der Höhenlage. Andererseits kommen alpine Bäche überall in der Welt in der alpinen Zone vor. Unter

der alpinen Zone versteht man den Bereich zwischen der Baumgrenze und der permanenten Schneegrenze. Wir beziehen uns in diesem und in den folgenden Beiträgen nur auf die zweite Bedeutung, also auf Fließgewässer, die in der alpinen Zone liegen.

Weltweite Verteilung alpiner Fließgewässer

Alpine Lebensräume sind auf allen Kontinenten zu finden. Jedoch steigt die Baumgrenze von nahe Meereshöhe in Polnähe auf etwa 4000 m ü.M. in tropischen Gebirgen (Abb. 1). Die alpine Tundra bedeckt ungefähr 4 Millionen km² oder 3% der totalen Landfläche [4]. Davon entfallen 16% auf tropische oder subtropische Regionen, 21% liegen in Breitengraden oberhalb 60° und 63% in mittleren Breitengraden (Abb. 2). Die Gesamtfläche alpiner Zonen einschliesslich der vegetationslosen Gebiete beträgt knapp 6 Millionen km².

Ragen Gebirge über die permanente Schneegrenze hinaus, können alpine Fließgewässer direkt durch Gletscherschmelzwasser gespeist werden. Die Höhe der permanenten Schneegrenze ist vor allem eine Funktion der geografischen Breite und wird zusätzlich durch die kontinentale Lage, die

U. Jehliński, EAWAG



Alpiner Bach im Val Muragl.

Eigenschaft	Bäche in alpiner Tundra	Bewaldete Bergbäche
Kronendach	offen	geschlossen
Ufervegetation	nicht vorhanden/Kräuter und kleine Sträucher	Kräuter, Sträucher, Bäume
Grosse Holzteile	nicht vorhanden	wichtiger Lebensraum
Schneedecke	ungleichmässig	tief
Rückhalt organischer Substanz	gering	hoch
Fallaub	gering/fehlend	wichtige Energiequelle
Autotrophe Produktion	limitiert durch Temperatur/Nährstoffe	limitiert durch Licht
Trophischer Zustand	autotroph	heterotroph

Tab. 1: Einige Unterschiede zwischen Fließgewässern oberhalb und unterhalb der Baumgrenze.

Exposition (Himmelsrichtung) und den Niederschlag beeinflusst. So liegt die Schneegrenze in den Tropen auf über 5000 m ü.M. und sinkt in Polnähe auf Meereshöhe. Der Lewisgletscher am Mount Kenya in Äquatornähe ist mit nur 0,25 km² der grösste Gletscher auf dem afrikanischen Kontinent. Während der letzten Eiszeit im Pleistozän waren noch 32% der globalen Landfläche mit Eis bedeckt, heute sind es nur mehr 10% [1]. In der so genannten kleinen Eiszeit von ca. 1550 bis 1850 stiessen die Talgletscher der Alpen vor. Das 20. Jahrhundert dagegen ist durch einen markanten Gletscherrückzug charakterisiert. Gletscher haben einen enormen Einfluss auf das Abflussregime und die Sedimentfracht, zwei Faktoren, welche die Gewässermorphologie [5] beeinflussen und, gemeinsam mit der Temperatur, die Struktur der aquatischen Lebensgemeinschaften in alpinen Fließgewässern [6] bestimmen.

Allgemeine Eigenschaften alpiner Bäche

Alpine Bäche unterscheiden sich deutlich von tiefer gelegenen Bergbächen in bewaldeten Einzugsgebieten (Tab. 1). Im Gegensatz zur dichten Ufervegetation (Wald) fin-

det sich in der Uferzone alpiner Bäche meist nur Fels und Geröll. Unter günstigen Bedingungen entwickelt sich eine Vegetation, bestehend aus einer Krautschicht und niedrigen Sträuchern. Angeschwemmte Baumstämme und Äste, die den Lebensraum strukturieren und an denen Feststoffe zurückgehalten werden, fehlen weitgehend. Ebenso spielt Falllaub, eine wichtige Quelle organischer Substanz in Bächen bewaldeter Einzugsgebiete, kaum eine Rolle im Stoff- und Energiehaushalt alpiner Bäche. Während die autotrophe Produktion in stark bewaldeten Einzugsgebieten normalerweise durch Licht beschränkt ist, sind Temperatur und Nährstoffe die limitierenden Faktoren in alpinen Bächen.

Typen alpiner Bäche

Drei Fließgewässertypen mit unterschiedlichen Lebensraumbedingungen fließen durch alpine Landschaften: **kryale** Bäche werden von Gletscherschmelzwasser gespeist, **krenale** Bäche von Grundwasser und **rhithrale** Bäche sind abhängig von Regenwasser und Schneeschmelze [6]. Die charakteristischen Eigenschaften kryaler und krenaler Bäche verändern sich jedoch schnell bachabwärts. Mit zunehmendem

Abstand von der Quelle nehmen diese Bäche einen eher rhithralen Charakter an.

Kryale Bäche besitzen eine sehr charakteristische Fauna und sie verändern sich dramatisch mit zunehmender Distanz vom Gletscher. Die Schmelzwasserrinnen in und auf dem Gletscher in der so genannten eukryalen Zone sind durch heterotrophe mikrobielle und autotrophe Organismen besiedelt. Die heterotrophen Organismen leben von organischen Partikeln, die während der Eisschmelze befreit werden. Die autotrophen, hauptsächlich Grünalgen und Cyanobakterien, kolonisieren die Wände der Schmelzwasserrinnen. Es gibt sogar Untersuchungen, die von aquatischen Invertebraten in der eukryalen Zone berichten [7]. Die metakryale Zone ist der Bachabschnitt zwischen dem Gletschertor und dem Punkt, wo die Wasserhöchsttemperaturen 2 °C erreichen. Sie ist durch grosse Schwankung des täglichen Abflusses im Sommer, durch eine normalerweise starke Trübung und eine extrem kurze Wachstumsperiode charakterisiert. Fische und höhere Wasserpflanzen fehlen. Die makroskopische, filamentöse Alge *Hydrurus foetidus*, eine Art, die man nur in kalten Bächen findet, kommt in allen Gletscherbächen der Holarktis vor. Nach-

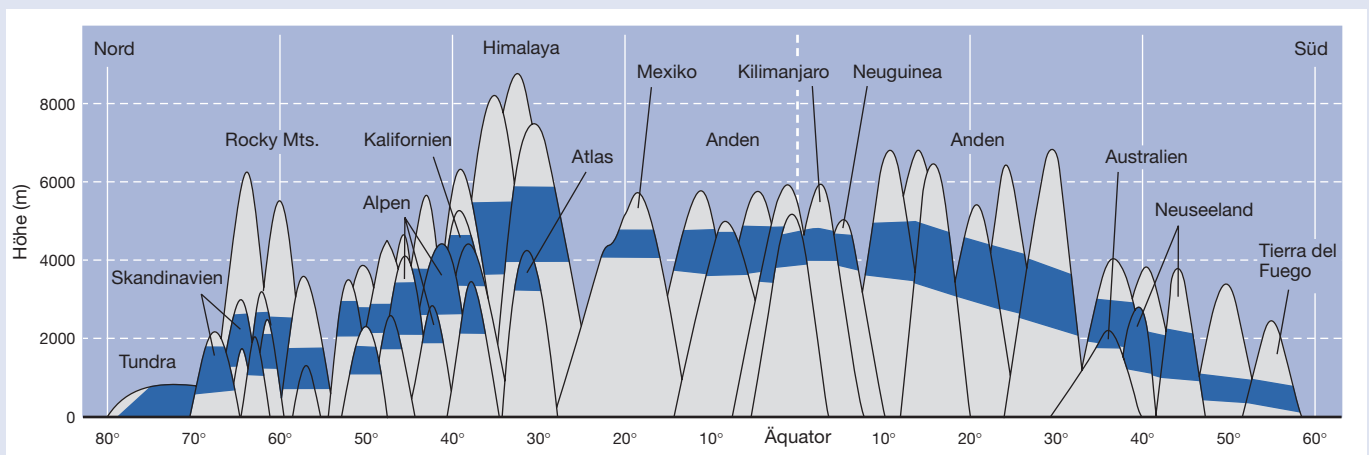


Abb. 1: Die Höhenlage der alpinen Zone als Funktion des Breitengrades [aus 3].

weislich ist das Zoobenthos auf eine einzige Zuckmückengattung (*Diamesa*) beschränkt. *Diamesa* spp. dominiert die metakryalen Lebensgemeinschaften in den Alpen, in Skandinavien, in der Tatra, im Balkan, im Kaukasus, in den Rocky Mountains, im Himalaya, und sogar in tropischen Gebirgen. *Diamesa*-Larven bewohnen Vertiefungen in Felsoberflächen, über die sie ein Netz spinnen. Damit schützen sie sich davor, verfrachtet oder zerdrückt zu werden, sollte der Fels in Bewegung geraten. Weiter bachabwärts, in der hypokryalen Zone, erreichen die Temperaturen im Sommer für eine kurze Zeitspanne Werte von über 2 °C. Hier kommen auch Dipteren (Zweiflügler) und Oligochaeten (Würmer, Wenigborster) vor. Noch weiter bachabwärts, wo die Temperatur 4 °C überschreitet, findet der Übergang zur rhithralen Zone statt und die Diversität des Zoobenthos nimmt mit dem Auftauchen von Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen weiter zu.

Rhithrale Oberläufe findet man auch in nicht vergletscherten Einzugsgebieten. Sie werden durch Schneeschmelzwasser gespeist oder haben ihren Ursprung als Ausflüsse von Seen. Rhithrale Lebensräume haben Sommertemperaturen von 5–10 °C. Im Gegensatz zu kryalen Bächen weisen sie weniger ausgeprägte Schwankungen im täglichen Abfluss, ein stabileres Flussbett, klareres Wasser und ein grösseres Nährstoffangebot auf. Man findet Fische und auch Moose, Flechten sowie eine relativ diverse Algengemeinschaft. Das Zoobenthos besteht aus einigen Spezialisten, die nur an Oberläufen vorkommen. Charakteristisch für das Zoobenthos in rhithralen Bächen sind aber Arten, die sich an kalte Bergbäche adaptiert haben. Sie können ein weites Spektrum von Höhenlagen besiedeln, gelangen jedoch in der alpinen Zone an ihre Höhengrenze.

Krenale Bäche werden von Grundwasser gespeist und kommen in allen Höhenlagen vor. Diejenigen, die in der alpinen Tundra

entspringen, weisen insbesondere im Vergleich zu kryalen Bächen relativ konstante und milde Bedingungen auf. Sie haben recht warmes und klares Wasser und ein stabiles Bachbett. Krenale Gerinne entstehen dort, wo Grundwasser entweder aus dem unterliegenden Grundwasserleiter, dem Alluvium (alluviale Quellen), oder aus Talhängen (Talhangquellen) austritt. Die Quellen bieten aquatischen Organismen Schutz in der rauen alpinen Umgebung. Häufig besteht die alpine Landschaft aus einem Mosaik von kryalen, krenalen und rhithralen Lebensräumen und bietet deshalb eine grosse Diversität an Umweltbedingungen für die aquatische Flora und Fauna.

Was haben wir bisher gelernt?

Obwohl, besonders in Europa, seit langem Interesse an Hochgebirgsbächen besteht [8], ergab eine umfangreiche Literatursuche im Jahr 1994, dass das Wissen zur Ökologie alpiner Bäche sehr beschränkt war [6]. Dies stand im Gegensatz zur umfangreichen Datenlage bezüglich Klima, Glaziologie, Hydrologie und terrestrischer Ökologie in alpinen Gebieten [2, 4]. Die damalige ökologische Forschung an alpinen Bächen war auf relativ enge Bereiche und typischerweise auf die kurze Sommerperiode beschränkt. Deshalb startete die Abteilung Limnologie der EAWAG im Jahr 1996 ein umfassendes Forschungsprojekt, wobei sich die Untersuchungen über den gesamten Jahreszyklus erstreckten. Die wichtigsten Ergebnisse dieses Projekts, das das wissenschaftliche Verständnis für die ökologischen Muster und Prozesse in alpinen Bächen erweiterte, sind in den folgenden Artikeln zusammengefasst. Hinzu kommen

M. Hieber, EAWAG



Die Guglia am Julierpass.

einige ökologische Studien, die von anderen europäischen Forschungsgruppen in den letzten Jahren durchgeführt wurden [9, 10].

Die Oberläufe der vier grossen europäischen Flüsse – Rhone, Rhein, Po und Donau – liegen in der Schweiz und sind durch Gletscher beeinflusst. Der Artikel von C.T. Robinson und U. Uehlinger auf Seite 7 charakterisiert verschiedene Schweizer Gletscherbäche. Viele alpine Bäche entspringen aus Bergseen. M. Hieber und Koautoren

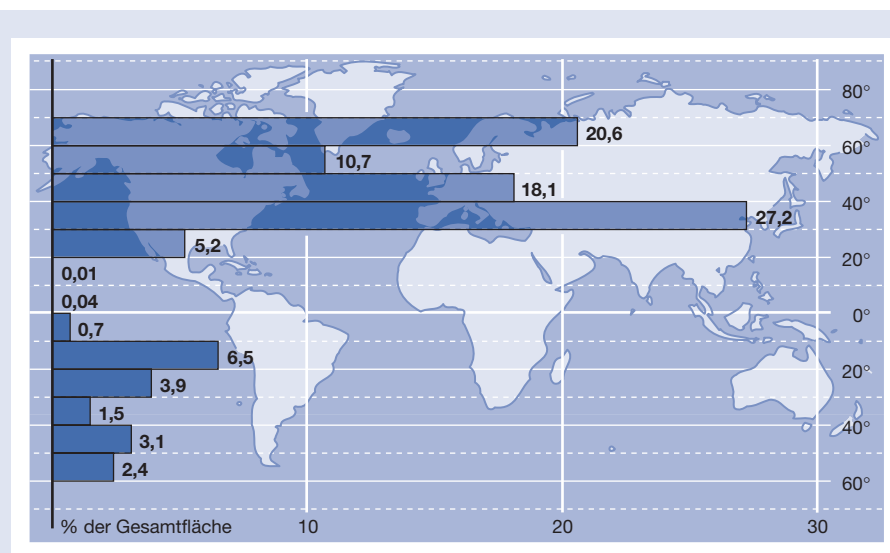


Abb. 2: Der relative Anteil der Fläche pro 10 Breitengrade, die weltweit mit alpiner Vegetation bedeckt ist. Verändert aus C. Koerner's Kapitel «Alpine plant diversity: A global survey and functional interpretations», in [4].



M. Heber, EAWAG

Die Moesa am San Bernardinopass.

berichten auf Seite 10 über ihre Untersuchung von Seeausflüssen und insbesondere über die ökologischen Unterschiede im Vergleich zu anderen alpinen Fließgewässern. Der Artikel von U. Uehlinger auf Seite 13 stellt das Val Roseg vor, eine Schwemmebene, die von 2 Talgletschern beeinflusst wird und die intensiv durch die EAWAG untersucht wurde. Das Val Roseg ist im Fokus mehrerer Artikel dieses Heftes. K. Tockner und Koautoren untersuchten die räumliche und zeitliche Heterogenität in der Schwemmebene des Val Roseg und stellen den heute umfassendsten Datensatz zur Habitatdynamik alpiner Fließgewässer vor (Seite 16). Die Dynamik organischen Materials in der Schwemmebene des Val Roseg ist Thema des Artikel von U. Uehlinger und Koautoren auf Seite 19. Darin geht es sowohl um die räumliche Modellierung von Stoffflüssen in der Schwemmebene als auch um Fragen zum Abbau künstlich exponierter Blattpakete. Auf Seite 22 beschreiben U. Uehlinger und Koautoren, dass sich günstige Abfluss-, Licht-, Temperatur- und Nährstoffbedingungen für die aquatischen Lebensgemeinschaften in Gletscherbächen auf zwei relativ kurze Perioden vor und nach der sommerlichen Schmelzphase beschränken. Die hier vorgestellten Ergebnisse unterstreichen, wie wichtig Probenahmen während des ganzen Jahres für

das Verständnis alpiner Ökosysteme ist. Der Artikel von F. Malard auf Seite 24 beschäftigt sich mit der hyporheischen Fauna, das sind die Tiere, die im wassergefüllten Lückenraum des Bachbetts leben. Die Verteilung der hyporheischen Fauna in Gletscherbächen verändert sich mit zunehmendem Abstand vom Gletscher. P. Burgherr und Koautoren untersuchten die Biodiversität der Fauna in verschiedenen alpinen Bachtypen. Ihre Ergebnisse auf Seite 26 illustrieren, wie stark die Heterogenität des Lebensraums mit der Diversität der Fauna verknüpft ist. Hindernisse wie natürliche und künstliche (Stau-)Seen können alpine Fließgewässer fragmentieren. Auf Seite 28 zeigen M. Monaghan und Koautoren auf, dass solche Barrieren die genetische Vielfalt von Fließwasserinsekten beeinflussen. Dabei scheint es auf das Alter der Seen und Stauseen anzukommen. Im letzten Artikel auf Seite 31 berichten C.T. Robinson und U. Uehlinger über die Auswirkungen künstlicher Hochwasser in einer Restwasserstrecke im Schweizerischen Nationalpark. Das dort praktizierte Vorgehen ist ein viel versprechender Ansatz zur ökologischen Aufwertung regulierter Fließgewässer. Aus unserer Forschung über alpine Fließgewässer ergeben sich einige z.T. unerwartete Erkenntnisse: (1) die Ökologie alpiner Fließgewässer ist wesentlich komplexer als ursprünglich erwartet; (2) alpine Fließgewässer können räumlich und zeitlich sehr heterogen sein, vor allem dann, wenn sie eine Schwemmebene mit komplexer Gerinnestruktur umfassen; (3) die zyklische Veränderung des Lebensraums (Ausdehnung/Verkleinerung) beeinflusst die Lebensraumbedingungen und auch die Lebensgemeinschaften; (4) die biologische Aktivität in Gletscherbächen ist im Spätherbst/Frühwinter am höchsten und nicht wie bisher angenommen im Sommer; (5) Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser haben einen starken Einfluss auf Umweltbedingungen und die Lebensgemeinschaft; (6) die Fragmentierung von Lebensräumen verändert den Austausch

von genetischer Information auf Artniveau und spiegelt die Geschichte der Vergletscherung auf der Ebene des Einzugsgebiets wieder.



J.V. Ward war Professor für aquatische Ökologie an der ETH Zürich und Leiter der Abteilung Limnologie an der EAWAG. Er ging im Herbst 2002 in den Ruhestand.

- [1] McGregor G., Petts G.E., Gurnell A.M., Milner A.M. (1995): Sensitivity of alpine stream ecosystems to climate change and human impacts. *Aquatic Conservation* 5, 233–247.
- [2] Bowman W.D., Seastedt T.R. (Eds.) (2001): *Structure and function of an alpine ecosystem – Niwot Ridge, Colorado*. Oxford University Press, Oxford, 337 p.
- [3] Koerner C. (1999): *Alpine plant life*. Springer-Verlag, Berlin, 338 p.
- [4] Chapin F.S., Koerner C. (Eds.) (1995): *Arctic and alpine biodiversity*. Springer-Verlag, Berlin, 332 p.
- [5] Gurnell A.M., Edwards P.J., Petts G.E., Ward J.V. (1999): A conceptual model for alpine proglacial river channel evolution under changing climatic conditions. *Catena* 38, 223–242.
- [6] Ward J.V. (1994): Ecology of alpine streams. *Freshwater Biology* 32, 277–294.
- [7] Kohshima S. (1984): A novel cold-tolerant insect found in a Himalayan glacier. *Nature* 310, 225–227.
- [8] Steinmann P. (1907): *Die Tierwelt der Gebirgsbäche. Eine faunistischbiologische Studie*. *Annales de Biologie lacustre* 2, 30–150.
- [9] Brittain J.E., Milner A.M. (Eds.) (2001): Glacier-fed rivers – unique lotic ecosystems. *Freshwater Biology* 46, 1571–1847.
- [10] Sommaruga R., Psenner R. (Eds.) (2001): High-mountain lakes and streams: indicators of a changing world. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 33, 383–492.