

Ökologische Zeitfenster in glazialen Fließgewässerökosystemen

In alpinen Gewässern und insbesondere Gletscherbächen herrschen fast während des ganzen Jahres harsche Umweltbedingungen. Nur kurze Zeit, nämlich nach Beginn und vor Ende der sommerlichen Gletscherschmelze, sind Abfluss-, Licht-, Temperatur- und Nährstoffbedingungen für benthische Lebensgemeinschaften relativ günstig.

Die Alpen, ein Gebirgsmassiv mit scharfer Topographie und steilen Hängen, zeichnen sich durch raue Umweltbedingungen aus. Mit zunehmender Höhe fällt ein wachsender Anteil des jährlichen Niederschlags als Schnee und oberhalb 3500 m ü.M. schneit es fast ausschliesslich [1]. Schnee und Eis bilden einen vorübergehenden Wasserspeicher und im Sommer wird ein Teil des gespeicherten Wassers aufgrund erhöhter Sonneneinstrahlung und Lufttemperaturen in Form einer charakteristischen Schmelzwasserwelle wieder freigesetzt. Diese Abflussspitze ist in Gletscherbächen besonders ausgeprägt (siehe Artikel S. 7). Sie ist ein wichtiger Faktor, der zusätzlich zu den klimatischen Gegebenheiten wie Schneebedeckung und Frost im Winter, die Umweltbedingungen für Algen und Wirbellose bestimmt. Bis vor kurzem gründete das Wissen über die Umweltbedingungen und deren Bedeutung für die benthische Le-

bensgemeinschaft in Gletscherbächen auf Untersuchungen, die typischerweise während der sommerlichen Gletscherschmelze durchgeführt wurden [2]. Der vorliegende Artikel fasst die Ergebnisse aus Ganzjahresstudien im Val Roseg und anderer vergletschertes Einzugsgebiete zusammen [3]; er stellt die in Gletscherbächen herrschenden physikalischen und chemischen Umweltbedingungen vor und diskutiert ihre Bedeutung für die dort vorkommenden benthischen Lebewesen.

Sommer und Winter: die ungünstigen Jahreszeiten

Der hohe Abfluss während der Gletscherschmelze im Sommer schafft lebensfeindliche Umweltbedingungen. Sie sind charakterisiert durch:

- hohe Sohlenschubspannung;
- starke Geschiebeführung, verbunden mit niedriger Gerinnestabilität, besonders bei

starkem Gefälle und hohem Sedimenteintrag (z.B. aus kürzlich eisfrei gewordenen Gletschervorfeldern);

- starke Trübung durch suspendierte mineralische Partikel, die das Lichtangebot an der Bachsohle einschränken und die dort festsetzenden Organismen abtragen;
- niedrige Konzentrationen gelösten Phosphors und organischen Kohlenstoffs [4];
- Wassertemperaturen von weniger als 2 °C in Gletschernähe.

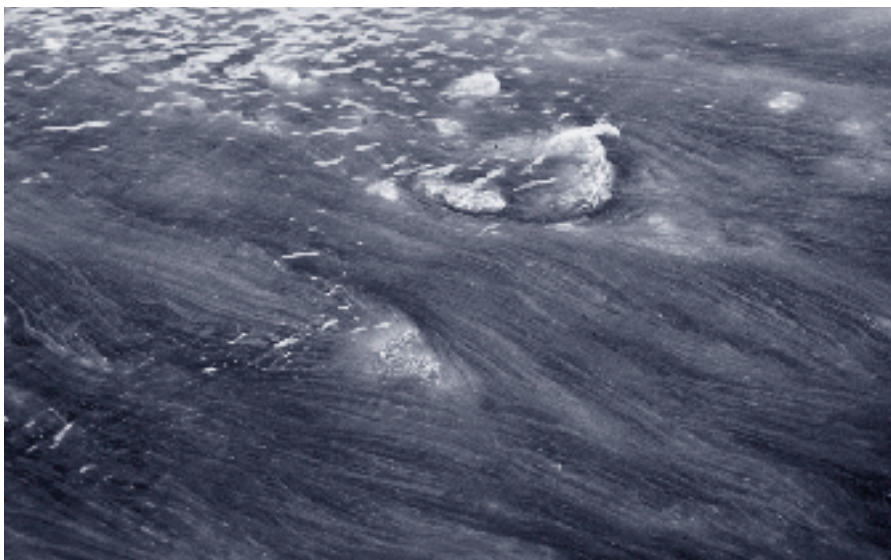
Allerdings können in Schwemmebenen wie beispielsweise im Val Roseg die negativen Auswirkungen der sommerlichen Abflussspitze abgemildert werden. Dies liegt daran, dass zahlreiche Gerinne in der Schwemmebene nicht oder nur wenig von Gletscherschmelzwasser beeinflusst werden (siehe Artikel S. 16).

Ebenfalls ungünstig sind die Umweltbedingungen vom Spätherbst bis Frühlingsanfang; sie unterscheiden sich aber wesentlich von den Verhältnissen im Sommer. Die Temperaturen liegen nahe bei 0 °C, der Abfluss ist gering und manche Bäche trocknen völlig aus oder gefrieren bis zum Grund. Sind die Gewässer schneebedeckt, wird nahezu das gesamte einfallende Licht von der Schneedecke absorbiert. Dagegen gibt es Bachabschnitte in der Schwemmebene des Val Roseg und in anderen Gletscherbächen, die durch das Austreten von Grundwasser auch bei niedrigen Lufttemperaturen nicht gefrieren [3, 5].

Für alpine Gewässer sind Perioden harsher Umweltbedingungen relativ gut vorhersagbar. Dies ist bei tiefer gelegenen Bächen und Flüssen wie beispielsweise den Fließgewässern der nördlichen Voralpen, deren Abflussregime durch das atlantische Klima geprägt ist, weniger gut möglich. In diesen Gewässern werden die benthischen Lebensgemeinschaften immer wieder durch zufällig auftretende Hochwasser gestört [6].

Günstige Zeitfenster

Das konzeptionelle Modell (Abb. 1) fasst das Zusammenspiel des regionalen Klimas, der Umweltbedingungen in alpinen Gewässern



EAWAG

Dichter Bestand der Goldalge *Hydrurus foetidus* im Hauptgerinne des Roseg im Januar 1998.

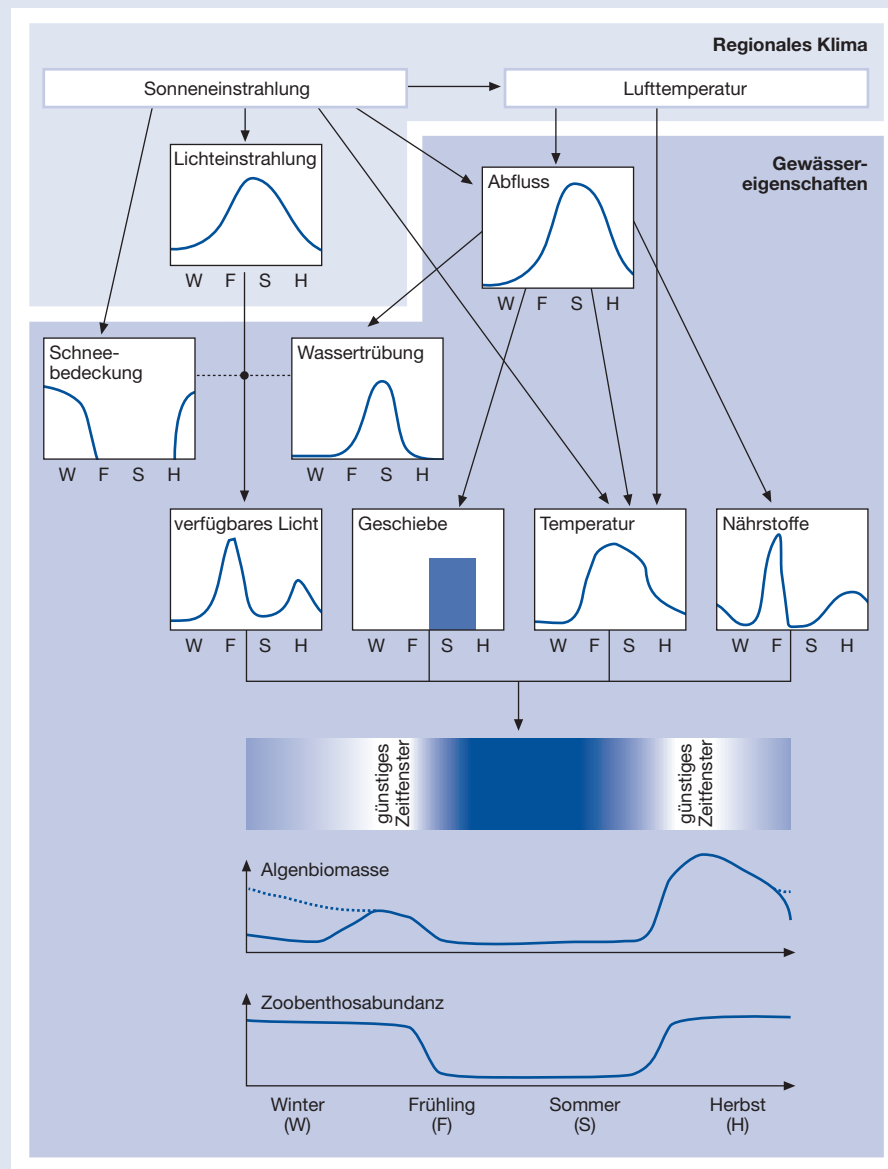


Abb. 1: Zeitfenster günstiger Umweltbedingungen für Organismen in Gletscherbächen (konzeptionelles Modell). Das regionale Klima, gekennzeichnet durch Sonneneinstrahlung und Lufttemperatur, bestimmt den Abfluss und die Lichteinstrahlung und beeinflusst die Wassertemperatur. Steigende Lufttemperaturen und intensivere Sonneneinstrahlung im Frühling bewirken eine erhöhte Freisetzung von kaltem Schmelzwasser, sodass der jahreszeitlich bedingte Anstieg der Wassertemperatur stoppt (siehe auch S. 14). Während der Eisschmelze ist die Wassertrübung maximal und in den Phasen mit starkem Abflusses nimmt der Geschiebetransport stark zu. Im Frühling, wenn der Schnee taut, werden grosse Mengen gelöster Stickstoffverbindungen, die aus atmosphärischen Depositionen stammen, freigesetzt; im Sommer werden die hohen Nährstoffkonzentrationen jedoch durch das Schmelzwasser wieder verdünnt. Die wichtigste Energiequelle benthischer Algen ist Licht. Die verfügbare Lichtmenge hängt sowohl von der jahreszeitlich variierenden Lichteinstrahlung ab als auch von der Lichtabschwächung durch Trübungsstoffe im Sommer oder Schneebedeckung im Winter (punktierte Linie = Algenbiomasse in Gewässern ohne Schneebedeckung im Winter). Im Gegensatz zum Frühling oder Herbst, sorgen im Sommer hohe Abflussmengen, Geschiebetransport, und Schwebstoffgehalte für ungünstige Bedingungen, die das Wachstum benthischer Organismen stark einschränken.

und die Reaktion der aquatischen Organismen zusammen. Danach ist im Sommer sowohl die Abundanz der Invertebraten als auch die Algenbiomasse gering. Die Tiere werden vor allem durch den starken sommerlichen Geschiebetransport beeinträchtigt [2, 3], während die Bildung von Algenaufwuchs zudem durch das geringe Nährstoff- und Lichtangebot eingeschränkt wird. Günstige Bedingungen herrschen dagegen im Frühjahr und im Herbst, wenn Abfluss und Trübung gering und die Temperaturen relativ hoch sind. Obwohl die Nährstoffkon-

zentrationen im Frühling kurz nach Beginn der Gletscherschmelze am höchsten sind, reagieren die Algen insbesondere im Herbst rasch auf die wieder günstigeren Bedingungen. Ausser in schneebedeckten Gerinnen bleibt die Algenbiomasse im Winter in schnee- und eisfreien Bachabschnitten sehr hoch (siehe Foto). Die Abundanz der Invertebraten und der Artenreichtum sind in der Zeitspanne zwischen Herbst und Frühling am höchsten [3, siehe auch Artikel S. 26]. Die winterlichen Umweltbedingungen sind für die benthischen Invertebraten weniger

beeinträchtigend als für Algen; manche Arten vollenden ihren Lebenszyklus unter Schnee und Eis.

Globale Klimaerwärmung betrifft alpine Gewässer

Unsere Ergebnisse zeigen, dass sich Untersuchungen alpiner Fließgewässer über alle Jahreszeiten erstrecken müssen, um ein umfassendes Bild der Struktur und Funktion dieser Ökosysteme zu gewinnen [3, 7]. In Gletscherbächen werden Perioden harter Umweltbedingungen von kurzen Phasen mit relativ milden Bedingungen unterbrochen. Dieses zeitliche Muster ist vorhersagbar und fällt mit entsprechenden Veränderungen der Abundanz und des Artenreichtums benthischer Organismen zusammen. Szenarien für zukünftige Klimaänderungen lassen einen Rückgang der von Eis- und Schneeschmelze dominierten Fließgewässer erwarten. Dagegen nimmt der Anteil von Gewässern zu, deren Abflussregime hauptsächlich durch Schneeschmelze und Regen geprägt ist. In diesen Systemen endet der jährliche Schmelzwasserabfluss schon im Frühsommer und die durch Regen verursachten Hochwasser werden an Häufigkeit zunehmen. Das weniger regelmässige Abflussregime und die ausgedehnte Periode günstiger Lebensbedingungen im Herbst werden die Struktur und die Dynamik benthischer Lebensgemeinschaften entsprechend verändern.

Urs Uehlinger (siehe Porträt S. 15)

Koautoren:
K. Tockner, F. Malard

- [1] Röthlisberger H., Lang H. (1987): Glacial Hydrology. In: Gurnell A.M., Clark M.J. (eds.) Glacio-fluvial sediment transfer. Wiley & Sons, Chichester p. 207–284.
- [2] Milner A.M., Petts G.E. (1994): Glacial rivers: physical habitat and ecology. *Freshwater Biology* 32, 295–307.
- [3] Robinson C.T., Uehlinger U., Hieber M. (2001): Spatio-temporal variation in macroinvertebrate assemblages of glacial streams in the Swiss Alps. *Freshwater Biology* 46, 1663–1672.
- [4] Tockner K., Malard F., Uehlinger U., Ward J.V. (2002): Nutrients and organic matter in a glacial river floodplain system (Val Roseg, Switzerland). *Limnology and Oceanography* 47, 266–277.
- [5] Tockner K., Malard F., Burgherr P., Robinson C.T., Uehlinger U., Zah R., Ward J.V. (1997): Physico-chemical characterization of channel types in a glacial floodplain ecosystem (Val Roseg, Switzerland). *Archiv für Hydrobiologie* 140, 433–463.
- [6] Uehlinger U. (2000): Resistance and resilience of ecosystem metabolism in a flood-prone river system. *Freshwater Biology* 45, 319–332.
- [7] Schütz C., Wallinger M., Burger R., Füreder L. (2001): Effects of snow cover on the benthic fauna in a glacier-fed stream. *Freshwater Biology* 46, 1961–1704.