

## Kapitel 8 | Aquatische Lebensräume

Leopold Füreder

### **Hochalpine Flusslandschaft Rotmoos**

Seite 181 bis 198

Eugen Rott, Doris Gesierich, Nico Binder

### **Lebensraumtypen und Diversitätsgradienten lotischer Algen in einem Gletschereinzugsgebiet**

Seite 199 bis 208

## Hochalpine Flusslandschaft Rotmoos

Leopold Füreder

### ***Zusammenfassung***

Die Ökosysteme der Hochgebirge gelten als Extremökosysteme, beurteilt man sie nach der Ausprägung und Wirkung der klimatischen, meteorologischen und physikalischen Faktoren. Die Lebewelt solcher Regionen findet man durch unterschiedlichste Strategien und Strukturen an diese spezielle Situation angepasst. Oft werden die Land- und Gewässersysteme wegen ihrer Artenarmut als nur bedingt wertvoll bezeichnet, so dass deren Nutzung gerechtfertigt oder weniger dramatisch erscheint. Wegen der bereits in manchen Ländern weit fortgeschrittenen Einbeziehung der aquatischen und terrestrischen Lebensräume in gewinnorientierte Wirtschaftsinteressen, sei hier der Gletscherbach im Rotmoostal als eines dieser Extremökosysteme genauer betrachtet, und einige faszinierende abiotische und biotische Besonderheiten dargestellt. Die Lebewelt – obwohl artenarm im Vergleich zu tiefer liegenden und weniger dynamischen Fließgewässern – ist reich an Spezialisten mit zahlreichen, unterschiedlichsten Anpassungen an die vorherrschenden extremen Umweltbedingungen. Die vorliegenden Ergebnisse der strukturellen und funktionellen Organisation der Gewässerfauna aus einer Reihe von unterschiedlichen Gewässerlebensräumen des Rotmoostales können für die Vorhersagen und

Analyse der Auswirkungen von Umweltveränderungen und des Klimawandels verwendet werden.

### ***Abstract***

Alpine river systems are fed by glacial ice-melt, snowmelt and groundwater. They share common features (e.g., steep gradients, high flow velocities and dynamics) but each source and local conditions produce a characteristic discharge regime and a distinctive suite of physical and chemical characteristics. The distribution of snow, ice and groundwater springs varies spatially from stream-reach to catchment scale, resulting in stream segments with characteristics, reflecting the different runoff sources. The freshwater ecosystems – although species poorer compared with freshwaters at lower elevations – are rich in specialists which are strongly adapted to the extreme environmental parameters. In various investigations in the Rotmoos Valley we have been focusing on the variety of natural freshwater ecosystems and, based on hydromorphological conditions at catchment and reach scale, we defined specific habitat types and their invertebrate assemblages. In analysing their temporal and spatial patterns we defined a conceptual model to be used for the scenarios

of environmental and climate change effects on the abiotic factors and, consequently, on the structure and function of aquatic biocenoses in alpine streams.

## Einleitung

Flusslandschaften im Hochgebirge sind Landschaften der besonderen Art. Neben dem Neuland an der Gletscherfront, die besonders von der Macht des Eises und des Wassers geprägt sind, tragen aber auch die daran anschließenden hochdynamischen, erosiven oft verzweigten Umlagerungsstrecken zur Faszination alpiner Landschaften bei. Fließgewässer, insbesondere Gletscherflüsse, sind da besonders auffällige und wesentliche Bestandteile alpiner Landschaften, denen als verbindende Lebensadern zwischen einerseits hochalpinen Eis- und Schneemassen sowie alpinen Graslandschaften und andererseits den natürlichen, meist aber menschlich-geprägten Lebensräumen in tieferen Lagen große Bedeutung zukommt. Der Gletscherbach ist nur eine von vielen Besonderheiten des Hochgebirges und der Gebirgslandschaften, welche die Einmaligkeit und daher auch die touristische Attraktion dieses Raumes

ausmachen. Die zunehmende Rarität ungenutzter und in ihrer Gesamtheit ökologisch intakter Gletscherbäche soll zum Nachdenken über den Verbrauch alpiner Beispiellandschaften anregen. Ihr ökologischer und ökonomischer Wert als eine der letzten Ressourcen unverschmutzten Wassers für die Zukunft wurde vielfach erkannt. Das öffentliche Interesse ist auch durch die breitere Kenntnis von Umweltproblemen verursacht durch menschliche Aktivitäten auf lokaler, regionaler (z.B. Wasserkraftnutzung, Gewässerverbauung, Tourismus, Kunstschneeerzeugung) und globaler Ebene (z.B. Klimawandel, saurer Regen) gestiegen. Mehrfach wurde gezeigt, dass diese Beeinträchtigungen und Veränderungen besonders in den sensiblen Landschaften in hohen Lagen und geografischen Breiten wirken. Die Flusslandschaften des Hochgebirges sind Extremökosysteme, die besonders empfindlich auf organische Verschmutzung, Tourismus, sauren Regen und Klimaveränderungen reagieren. Sie beherbergen aber auch eine Vielfalt an pflanzlichen und tierischen Organismen, die mit einer Reihe von Anpassungen ausgestattet die großteils extremen Umweltbedingungen überleben und stabile Populationen aufbauen können.

## Die Rotmoosache – ein typischer Gletscherbach

Fließgewässer stellen keine einheitlichen Lebensräume von ihrer Quelle bis zur Mündung dar. Die maßgeblichen Umweltfaktoren und die Zusammensetzung der vorkommenden Lebensgemeinschaften ändern sich deutlich im Längsverlauf. Klima (sowohl regionales Klima als auch lokale Witterungsverhältnisse), Häufigkeit, Menge und Saisonalität des Niederschlags, Geologie, Pflanzendecke des Einzugsgebiets und Ufervegetation beeinflussen die Hydrologie und Temperaturverhältnisse im Gewässer und bestimmen mit der Substratzusammensetzung, Bachmorphologie und Wasserchemie die wesentlichen Systemeigenschaften von Fließgewässern. In alpinen Gebieten jedoch kann der Ursprung des Gewässers und der größeren Zuflüsse die Fließgewässercharakteristik entscheidend prägen. So werden entsprechend der Herkunft des Wassers (Grundwasser, Regen, Schnee, Gletscher) und des Gletschereinflusses vier grundsätzliche Typen alpiner Fließgewässer unterschieden (Abb. 1; detailliert dargestellt in FÜREDER 1999): Gletscherbach (KRYAL), Quellbach (KRENAL), regen- bzw. schneebeeinflusster Bach (RHITHRAL) und Bachabschnitte, wo der Gletschereinfluss noch immer entscheidend die Lebensbedingungen prägt (GLACIO-RHITHRAL). Alpine Fließgewässerlandschaften können auch ein

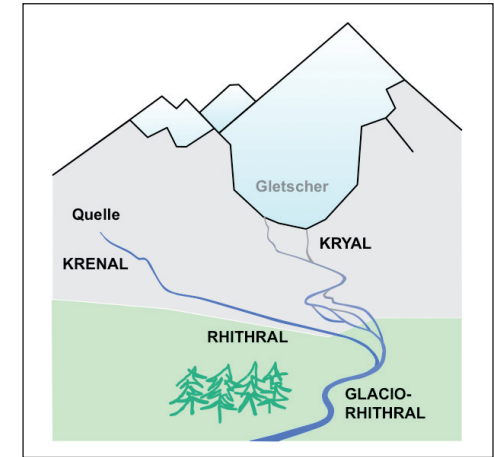


Abb. 1:  
Die typischen Fließgewässerabschnitte der kalten Regionen, wie sie aufgrund der wesentlichen Umweltfaktoren und der darin vorkommenden Organismengemeinschaften eingeteilt werden. Entscheidend dabei ist die Herkunft des Wassers.

komplexes Netzwerk von gletscher- und grundwasserbeeinflussten Bachläufen bilden, das sich in seiner Zusammensetzung besonders in Bezug auf den Einfluß der einzelnen Komponenten sowohl im Längsverlauf als auch im Jahresverlauf stark ändern kann.

Diese alpinen Flusstypen sind analog zur Verbreitung der alpinen Vegetationszone weltweit zu finden, wo Vergletscherung, eine relativ lange Dauer der Schneedeckung und andere meist damit zusammenhängende extreme Umweltfaktoren ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften prägen (Füreder 1999, Brittain & Milner 2001). Kurzum – es handelt sich um Fließgewässerökosysteme der kalten Regionen.

Abflussdynamik, Temperatur, Chemismus und Trübstoffführung gelten als jene Umweltfaktoren, die einen Gletscherbach und einen gletscherbeeinflussten Fluss prägen und am deutlichsten von übrigen Gebirgsbächen der alpinen und subalpinen Region abgrenzen lassen. Das charakteristische Abflussverhalten, mit maximaler Wasserführung im Sommer und Abflussspitzen am Nachmittag und in den Abendstunden sowie Niederwasser über die lange Winterperiode gehören zu den Besonderheiten des Gletscherbaches (Abb. 2). Übers Jahr herrschen meist niedrige Temperaturen vor, die mit zunehmendem Abstand zum Gletscher deutlich saisonal schwanken können. Ein oft in Quellbächen ausgeprägter Temperaturanstieg im Sommer ist im Gletscherbach durch das Abschmelzen des Gletschers eingeschränkt oder verhindert.

Bei einem Vergleich physikalisch-chemischer Parameter, gemessen in der Rotmoosache (Abb. 3) und dem unvergletscherten Königsbach, werden die gewässertypische Dynamik und die diesbezügliche Extremsituation eines Gletscherbaches besonders deutlich (Abb. 4). Die Wassertemperatur ist über die Wintermonate sehr niedrig und zeigt keine Tagesunterschiede. Im Sommer erreicht sie in beiden Bächen ihre höchsten Werte, die über den Tag deutlich schwanken. In Zeiten stärkster Gletscherablation sind die Temperaturen der Rotmoosache deutlich niedriger als im Königsbach. Jahreszeitliche und tageszeitliche Muster des Abflussgesche-

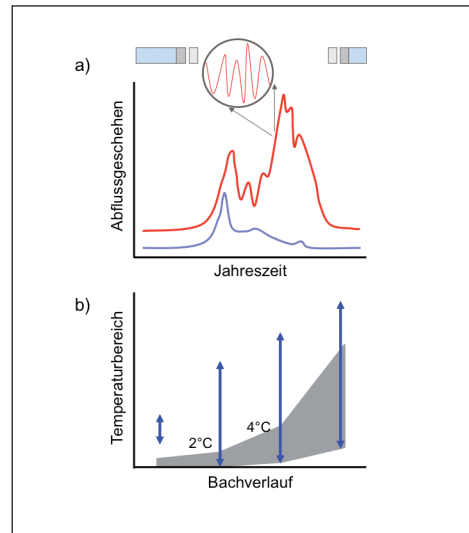


Abb. 2:

- Abflussgeschehen in einem Gletscherbach (rot) und einem Quellbach (blau). Die erste deutliche Erhöhung des Abflusses ist in beiden Bächen zur Zeit der Schneeschmelze festzustellen. Im Gletscherbach erfolgt im Verlauf des Sommers eine deutliche Steigerung der Schüttung, bedingt durch das Schmelzen des Gletschers. Im erhöhten Sommerabfluss ist eine charakteristische Tagesdynamik festzustellen (Kreis). Der Balken über dem Diagramm zeigt die Dauer der Schneebedeckung, die Schneeschmelze im Frühjahr, die in beiden Gewässertypen zur Abflusserhöhung führt, und die erneute Schneebedeckung im Herbst an.
- Typischer Längsverlauf der Schwankungen der Wassertemperaturen in einem Gletscherbach (grau) und einem Quellbach (blaue Pfeile) mit zunehmendem Abstand vom Ursprung (Gletschertor, Quellaustritt). Die sommerlichen Höchstwerte in den oberen Abschnitten eines Gletscherbaches liegen zwischen 0 und 4 °C. Mit zunehmendem Abstand wird der Bach zwar wärmer, wegen des Einflusses des Schmelzwassers im Sommer erwärmt er sich aber weniger als ein Quellbach in vergleichbarer Lage und Größe.



Abb. 3:

Die Rotmoosache – ein typischer Gletscherbach (Foto: L. Füreder)

hens und der Trübstoffkonzentration unterscheiden sich ebenfalls deutlich. Der sommerliche Abfluss ist im Gletscherbach deutlich erhöht und zeigt ausgeprägte Tagesschwankungen, während im Quellbach fast keine Dynamik festzustellen ist. Ähnliche Muster ergeben sich für den Trübstoffgehalt. An einigen Parametern wird besonders der Anteil des Grundwassers und des Gletscherschmelzwassers im abfließenden Wasser deutlich. Im Winter, wo im Gletscherbach der Grundwasser-

anteil am höchsten ist, erreicht auch die von der Geologie des Einzugsgebietes abhängige Leitfähigkeit die höchsten Werte. Im Sommer bewirkt der erhöhte Anteil des Gletscherschmelzwassers eine deutliche Abnahme der Leitfähigkeit. Im Königsbach, wo im Einzugsgebiet keine kalkhaltigen Gesteine vorkommen, ist sie übers ganze Jahr gering.



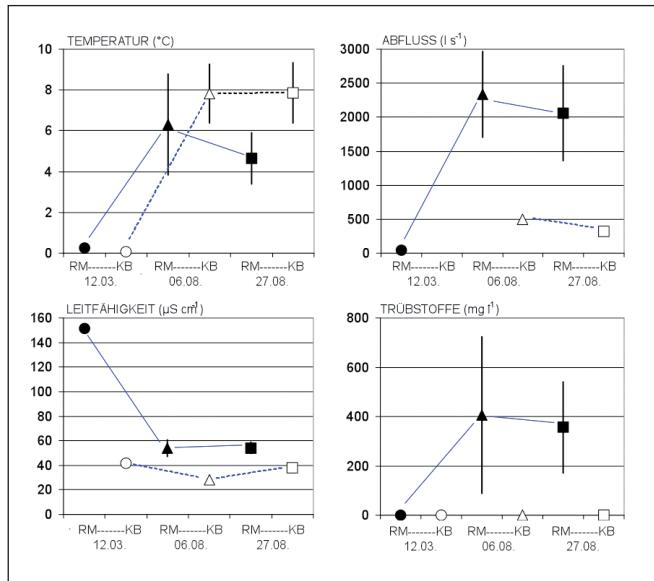


Abb. 4: Veränderungen von Temperatur, Abfluss, Leitfähigkeit und Trübstoffgehalt im Gletscherbach Rotmoosache (RM, dunkle Symbole) im Vergleich zum Quellbach Königsbach (KB, helle Symbole). Gemessen wurden diese Parameter in zweistündigen Abständen (6:00 bis 20:00 Uhr) während der Schneebedeckung (12. 03.) und im Sommer zu Beginn der Gletscherschmelze (06. 08.) sowie zum Maximum der Gletscherschmelze (27. 08.). Die Symbole sind die Mittelwerte aus den über den Tag verteilten Einzelmessungen, die vertikalen Balken zeigen als die jeweilige Standardabweichung die Tagesdynamik an den Untersuchungsterminen.

### Die Fauna der Gletscherbäche

Gletscherbäche erfahren durch die Wirkung des schmelzenden Eises genau in den Zeiten, in denen in gletscherunbeeinflussten Bächen stabilere Bedingungen herrschen, eine zusätzliche Dimension der abiotischen Bedingungen. Die Schmelzwässer und deren große Schwan-

kungen sind die stärkste und für den Lebensraum bedeutendste Komponente; sie prägen die ökologischen Verhältnisse im Gletscherbach. Bei maximaler Gletscherablation (Schmelzwasserbildung), die normalerweise in den Nachmittagsstunden eines warmen Sommertages eintritt, erhöhen sich Strömungsgeschwindigkeit, Abfluss, Trübstoffgehalt und Substratlagerung des Baches dramatisch. Die Folge sind deutliche Störungen für das Leben im Gletscherbach.

Für die Tiere der Gletscherbäche und gletscherbeeinflussten Flüsse sind dabei zwei Faktorenkomplexe von besonderer Bedeutung; zum einen sind es die instabilen und extremen physikalischen

Verhältnisse, zum anderen die geringe Nährstoffkonzentration und Nahrungsverfügbarkeit, die als Folge der geringen Temperaturen vor allem aber der Störungshäufigkeit zu sehen sind. Dennoch finden sich Mikroorganismen, Kieselalgen und zu bestimmten Jahreszeiten andere Algen (wie z.B. die zottigen Kolonien der Goldalge *Hydrurus foetidus*), die den wirbellosen Organismen zumindest

periodisch Nahrung und/oder nährstoffreiches Substrat bieten (Rott et al. 2006, vgl. Kap. 8, Rott).

Wie in anderen Gebirgsbächen zählen auch in Gletscherbächen die wasserlebenden Larven der Insektenordnungen Eintagsfliegen (Ephemeroptera), Steinfliegen (Plecoptera), Köcherfliegen (Trichoptera) und innerhalb der Zweiflügler (Diptera) besonders die Vertreter der Zuckmücken (Chironomidae) zu den wirbellosen Wasserbewohnern. Weltweit, von den arktischen Regionen über die Alpen, Pyrenäen, Kaukasus bis sogar in die tropischen Hochgebirge wurden charakteristische Gesetzmäßigkeiten und Eigenheiten der Lebewelt, wie eine generelle Artenarmut mit einer geringen Besiedlungsdichte so-

wie eine ganz typische Faunenabfolge, in Gletscherbächen festgestellt (Milner & Petts 1994, Ward 1994, Füreder 1999, Brittain & Milner 2001). Je näher man zum Gletscher kommt, desto geringer werden Artenzahl und Individuendichte der Artengemeinschaft, wenige tausend Meter entfernt dominieren die Zuckmücken, fast ausschließlich mit der Gattung *Diamesa*. Unmittelbar am Gletschertor bei einem Temperaturbereich von 0 bis 1 °C übers Jahr kommt meist nur mehr 1 Art vor, nämlich die Gletscherbachzuckmücke *Diamesa steinboeckii*. Je nach Grundwasser- bzw. Quelleinfluß können sich einige andere Arten dazu gesellen. Mit zunehmender Entfernung vom Gletschertor steigt durch Zuflüsse, Quellaustritte und Hang-

wässer der Anteil gletscherunbeeinflussten Wassers. Entsprechend ist auch die Fauna artenreicher und in größeren Besiedlungsdichten vorhanden (Abb. 5, Abb. 6).

Um den extremen Bedingungen standzuhalten, sind diese Organismen mit einer Reihe von besonderen morphologischen Strukturen und Anpassungen in ihrer Lebensweise ausgestattet. Die hochspezialisierten Larven der Gletscherbachzuckmücken haben „überflüssige“

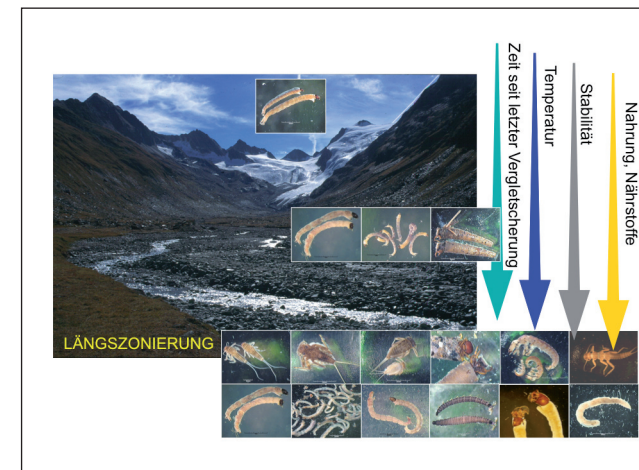


Abb. 5: Schema der typischen Längszonierung der Gewässerzönose eines Gletscherbaches am Beispiel Rotmoosache. Als Schlüsselfaktoren für die Entwicklungsmöglichkeit der Gewässerzönose an einer bestimmten Stelle im Längsverlauf gelten: Zeitraum seit der letzten Vergletscherung, Wassertemperatur, Stabilität und Nährstoffverfügbarkeit

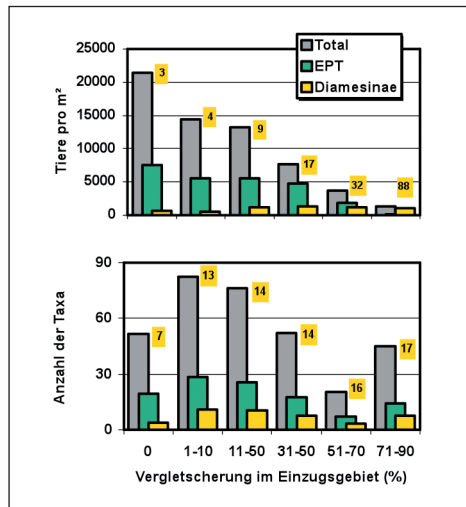


Abb. 6: Besiedlungsdichte und Taxazahl in einem Gletscherbach sind in besonderem Maße vom Vergletscherungsgrad des Einzugsgebietes abhängig. Eine faunistische Auswertung zahlreicher Untersuchungen in Gletscherbächen der österreichischen Zentralalpen (60 Gewässerabschnitte zwischen 1000 und 2500 m ü.M.) lässt ein deutliches Bild der Wirkung der Vergletscherung erkennen. In wenig vergletscherten Bereichen kommen durchschnittlich mehr als 20.000 Tiere pro m<sup>2</sup> Gewässersohle vor. Eine Dichte, die dann mit zunehmender Vergletscherung rasch abnimmt. Bei größerem Gletschereinfluss wird die Gesellschaft immer deutlicher von Insekten, bei starker Vergletscherung nur mehr von Arten der Diamesinae (eine Unterfamilie der Zuckmücken) dominiert. Die Anzahl der vorkommenden Arten nimmt ebenso stark ab, die Diamesinae können aber ihre Artenzahl beibehalten. Es handelt sich dabei aber um andere Arten als in Gewässern mit geringerer Vergletscherung. „Graue“ Säulen zeigen alle wirbellosen Tiere, „grün“ sind Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen zusammengefasst, und „gelb“ sind die Zuckmücken Diamesinae. Das obere Diagramm zeigt die Individuendichten und das untere die Anzahl der verschiedenen taxonomischen Einheiten (Taxa, Arten).

Körperanhänge reduziert, kräftige Stummelbeine mit großen Krallen (Abb. 7a) gewährleisten selbst bei extremen Strömungsverhältnissen ein gutes Festhalten der Larven auf den Steinen. Analog dieser Einrichtungen haben Eintagsfliegen der Gattung *Rhithrogena* ihre seitlichen Abdominalkiemen zu einer ventralen Haftplatte angeordnet (Abb. 7b). Zudem ermöglicht ihr abgeflachter Körperbau ein relativ gutes Beharrungsvermögen in der Strömungsgrenzschicht auf den Steinen. Andere Eintagsfliegen-Arten wiederum (z.B. Gattung *Baetis*) sind aus strömungsdynamischen Gründen seitlich zusammengedrückt und stromlinienförmig gebaut (Abb. 7c). Neben kräftigen Extremitäten und Haftvorrichtungen gewährleisten oft eine schlanke, wurmförmige Gestalt oder die winzige Körpergröße die Existenz bestimmter Arten in den strömungsoptimalen Gesteinszwischenräumen und im Schotterlückenraum.

Arten, die im Gletscherbach vorkommen, haben auch ihren Entwicklungszyklus den hydrologischen Verhältnissen angepasst. Ihre Bestandsmaxima bilden die Gletscherbacharten in der winterlichen Niederwasserperiode aus, das Minimum ist zur Zeit der hochsommerlichen Schmelzwasserabflüsse festzustellen. Bereits im Frühjahr und Frühsommer schlüpfen viele als geschlechtsreife Fluginsekten; dennoch ist bei zahlreichen Arten die Emergenz über die Sommermonate festzustellen (Füreder et al. 2005). Eine Reihe weiterer Besonderheiten können



Abb. 7: Das Tierleben in einem Gletscherbach. Die vorkommenden Arten sind in Lebensweise, Stoffwechselleistung und Körpergestalt an die extremen Umweltfaktoren angepasst.

- a) Die Larven der Gattung *Diamesa* sind die typischen Bewohner der Gletscherbäche.
- b) Eintagsfliegen der Gattung *Rhithrogena* sind durch die Abflachung des Körpers und der Anordnung der seitlichen Hinterleibskiemen zu einer Haftscheibe gekennzeichnet.
- c) Andere Arten, wie zum Beispiel die Eintagsfliege *Baetis alpinus*, sind seitlich schmaler und stromlinienförmig in ihrer Gestalt.

auch hinsichtlich der tiefen Temperaturen und der geringen Nährstoffverfügbarkeit realisiert sein, wie zum Beispiel die Verlängerung der Generationszyklen (von einem bis mehrere Jahre), kleinere Körpergröße, weniger und/oder kleinere Nachkommen (Füreder 1999).

Die morphologischen Anpassungen, strukturellen Einrichtungen und Besonderheiten in Lebensweise und Stoffumsatz ermöglichen den Arten eine dauerhafte Besiedlung und die Ausbildung stabiler Populationen in Gletscherbächen bis in die extremsten Bereiche. Diese Aus-

stattungen wurden über Jahrmillionen entwickelt. Zahlreichen anderen wasserlebenden Wirbellosen ist dies aber nicht gelungen, ihr Vorkommen ist dann auf Bachregionen beschränkt, wo die Umweltfaktoren weniger extrem ausgebildet sind. Wenn die limitierende Faktoren an Intensität abnehmen, werden die Arten der Extremgemeinschaft allmählich von anderen Arten abgelöst und es gesellen sich weitere dazu. So gelten als Schlüsselfaktoren für die Entwicklungsmöglichkeit der Lebensgemeinschaft an einer bestimmten Stelle im Längsverlauf eines Gletscherbaches vor allem der Zeitraum seit der letzten Vergletscherung, die Wassertemperatur, die Stabilität und die Nährstoffverfügbarkeit (Abb. 8). Gerade diese für Struktur und Funktion der Gletscherbachzönosen maßgeblichen Faktoren erlangen besonders in der Diskussion globaler Klimaänderungen und deren Auswirkungen auf natürliche Ökosysteme an Bedeutung.

Räumliche Muster der Gewässerfauna im Rotmoostal

Die Flusslandschaft des Rotmoostales ist als Gletschervorfeld mit einer abschließenden Endmoräne, einer davon ausgehenden Schotterfläche und dem Gletscherbach in der Ausprägung eines verzweigten Flusses mit glazialen und fluvioglazialen

Sedimenten reich gegliedert. Der Rotmoosferner im Talschluss reicht von 3400 m Meereshöhe bis etwa 2500 m und bedeckt derzeit eine Fläche von beinahe 3 km². Zusammen mit anderen kleineren Gletschern, von denen kleinere Nebenbäche orographisch links in die Rotmoosache münden, beträgt die Vergletscherung des Einzugsgebietes etwa 4 %. Wie fast alle Alpengletscher zeigt der Rotmoosferner einen Massen- und Flächenverlust seit der letzten Hochstandsperiode um die Mitte des 19. Jhts. und hinterlässt in seinem Rückzugsgebiet Moränen- und Schotterflächen, die allmählich von Pioniervegetation besiedelt werden. Im äußeren, flachen Bereich des Rotmoostales kam es durch Ablagerung und Auflandung zur Entstehung des Rotmooses, das aus mehreren Lagen aufgebaut ist, wo deutliche Wechsel zwischen schluffig-sandigen Sedimenten und Torfschichten festzustellen sind. Dieses Mosaik an unterschiedlichen Landschaftselementen hat auch die Ausbildung zahlreicher Vegetationseinheiten und Lebensräume zur Folge. Auch die Gewässer sind vielfältig gestaltet: das Spektrum reicht vom dominierenden Gletscherbach über Quellbäche, kleineren Rinnsälen, Quellen und diffusen Grundwasseraustritten bis zu Überflutungstümpeln im flachen Bereichen. Die strukturelle und funktionelle Organisation dieser Lebensräume ist wegen der vorherrschenden extremen Bedingungen des Hochgebirges meist artenarm im Vergleich zu tiefer liegenden Ökosystemen, zeichnet sich

aber durch das Vorkommen von vielen Spezialisten aus. In einer Biodiversitätsstudie wurden an vier Untersuchungsstellen im Rotmoostal (Tab. 1, Psenner et al. 2003), die entlang eines Gradienten vom Gletscherbach (Umweltbedingungen extrem) über einen Quellbach (moderat) bis zu einem quellspeisten Bach mit Überflutungstümpel (gemäßigt) liegen, faunistische Aufnahmen vorgenommen. In 60 Einzelproben wurden fast 20000 Individuen an Chironomiden gesammelt (Anhang). Insgesamt wurden 43 Chironomidentaxa identifiziert, die eine mittlere Besiedlungsdichte

von 7065 Individuen pro m² und eine relative Häufigkeit von 58,1 % in allen aquatischen Gruppen und 81 % in den aquatischen Insekten innehatten. Trotz saisonaler und habitatspezifischer Schwankungen, hatten die Larven und Puppen der Chironomiden die höchsten relativen Besiedlungsdichten in den meisten Lebensräumen. Das galt vor allem in der gletscher gespeisten Rotmoosache, wo alle Kleinstlebensräume von Chironomiden dominiert wurden. In den Quellbächen waren sie in den meisten Kleinstlebensräumen auch über 50 %. Nur im Quellrinnsal mit dem Überflutungs-

Rotmoosache	
Koordinaten	46° 49' N, 11° 03' E
Höchster Gipfel im Einzugsgebiet [m ü.NN.]	3472
Größe des Einzugsgebietes (EZ) am Talausgang [km²]	10,4
Vergletscherung [km²]	4,1
Status der Gletscher	Rückzug
Baumgrenze [m ü.NN.]	~2000
Höhenbereich der untersuchten Strecke [m ü.NN.]	2250-2450
Durchschnittliches Gefälle [%]	7.2
Vergletscherung des EZ [%] an niedrigster Stelle	40
Anzahl der Stellen / Proben / Individuen Chironomiden	4 / 60 / 18649
Chironomiden: Taxazahl / Mittlere Abundanz [Ind m <sup>-2</sup> ]	43 / 7065
Anteil Chironomiden in aquatischen Invertebraten [%]	58.1
Anteil Chironomiden in aquatischen Insekten [%]	81.0

Tab. 1: Kenngrößen Einzugsgebiet Rotmoosache und Übersicht über die im Zuge des Biodiversitätsprojektes erfolgten Aufsammlungen



tümpel blieben ihre relativen Anteile unter 50 %.

Etwa die Hälfte der 43 Chironomidentaxa, die in allen Lebensräumen gefunden wurden, kam in den Schottersubstraten der Rotmoosache vor (23 Taxa). Häufige Taxa waren Larven der Unterfamilie Diamesinae, nämlich mehrere Arten der *Diamesa latitarsis*-Gruppe und *D. cinerella/zernyi*-Gruppe. Die andere für Hochgebirgsbäche typische, aber weniger dominante Chironomiden-Unterfamilie ist Orthoclaadiinae, die durch die Gattungen *Corynoneura*, *Eukiefferiella*, *Orthocladus*, *Parametriocnemus*, *Parorthocladus*, *Thienemanniella* und *Tvetenia* vertreten ist. Nur jeweils eine Gattung wurde in der Unterfamilie bzw. Tribus Prodiamesinae und Tanytarsini gefunden.

Die Faunengesellschaft der Quellbäche gleicht in mancher Hinsicht jener des Gletscherbaches, sie ist jedoch dominiert von Larven der Unterfamilie Orthoclaadiinae. Ein bis drei Taxa in der Gattung *Diamesa* und ein Taxon im Tribus Tanytarsini standen der höheren Taxazahl der Orthoclaadiinae gegenüber.

Als typischer aquatisch-terrestrischer Übergangsbereich wurde das Quellrinnsal mit dem Überflutungstümpel von einer völlig anderen Fauna besiedelt. Der augenscheinliche Unterschied zur Rotmoosache (in Substrat, Temperatur, Strömung) wurde durch das Vorkommen von Taxa bestätigt, die für gemäßigte Lebensbedingungen als typisch gelten. Neben einigen häufigen Orthoclaadiinae fanden sich

Vertreter der Triben Tanytarsini und Pentaneurini: *Micropsectra attrofasciata*-Gr., *Neozavrelia* sp., *Paratanytarsus* sp., *Tanytarsus lugens*-Gr., *Krenopelopia binotata*. Die meisten dieser Taxa kommen in Wassermoosen und Quelllebensräumen vor, andere wiederum gelten als hygropetrische Taxa (z.B. *Micropsectra hygropetricus*-Gr.). Die Nicht-Chironomidenfauna der Rotmoosache besteht aus wenigen Vertretern mehrerer Ordnungen, wobei die Ephemeroptera *Baetis alpinus* und *Rhithrogena loyolea* mit geringen Anteilen in den schottrigen Kleinstlebensräumen dominieren. Im Sandlebensraum (Psammal) fallen besonders die Kleinkrebse Harpacticoida auf.

Im Quellbereich dominiert der Alpenstrudelwurm *Crenobia alpina* die Nicht-Chironomiden Zönose. Im rascher fließenden Bereich dominieren wieder die Harpacticoida, in langsam fließenden Abschnitten gesellen sich zu diesen Würmer (Nematoda, Oligochaeta), Moostierchen und Ostracoda.

Im aquatisch-terrestrischen Übergangsbereich (Quellrinnsal und Überflutungstümpel) wird die Zönose besonders von Nicht-Insekten gestellt, das sind Würmer (Nematoda und Oligochaeta) und Kleinkrebse (Harpacticoida und Ostracoda). Im Quellbereich dominiert wieder *Crenobia alpina*. In den Kleinstlebensräumen, Algen und Detritus, überwiegen Harpacticoida, Ostracoda und Oribatida. Auch Wassermilben (Hydrachnellae) erreichen einen höheren Anteil.

### Die Gletscherbachfauna: Gletscherschwund und Gewässernutzung

Besonders in den Gebirgslandschaften sind die zeitlichen und räumlichen Heterogenitäten von Klima, Hydrologie und Geomorphologie zu sehen. Während der letzten Eiszeit haben Gletscher etwa 32 % der gesamten Landfläche bedeckt, woraus sich die enorme Bedeutung der Gletscherflüsse über Jahrhunderte hinweg ableiten lässt. Da heute weniger als 10 % der Landfläche mit Gletschern bedeckt sind, wurden viele Gletscherflüsse von Flüssen abgelöst, die heute von Schneeschmelze vor allem aber von Niederschlägen in ihrem Abflussverhalten übers Jahr beeinflusst sind. Daraus ist zu schließen, dass der Anteil der gletschergeprägten Fließgewässer über die letzten Jahrtausende stark abgenommen hat.

Dieser Tatbestand und auch jüngere Beobachtungen verdeutlichen, dass der Klimawandel ständige Realität ist. Seit dem letzten Hochstand der Vergletscherung um 1850 konnte ein kontinuierlicher Rückgang der Gletscher in vielen Teilen der Erde beobachtet werden. Auch Beispiele aus den europäischen Alpen verdeutlichen, daß das letzte Jahrhundert von einem signifikanten Rückzug der Talgletscher charakterisiert ist.

Moderne Klimamodelle prognostizieren eine Reihe von Veränderungen, die deutliche Auswirkungen auf den Wasserkreislauf und damit auf Fließgewässer haben

werden. So sind durch die zeitliche Verschiebung der Niederschlagshäufigkeit und -mengen, vermehrte Starkniederschläge, weniger Niederschläge in Form von Schnee, der Anstieg der Schneegrenze, das Abschmelzen eines Großteils der Gletscher und durch die Veränderung des Abflußregimes ein deutlicher Einfluß auf die Fließgewässerökosysteme zu erwarten.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die alpinen Fließgewässerökosysteme sind zwar vielerorts als äußerst komplex diskutiert worden, dennoch lassen sich von eigenen Untersuchungen in den Ostalpen einige grundsätzliche Tendenzen voraussagen, die in alpinen Fließgewässern zu erwarten sind – zumindest was das ökosystemare Niveau betrifft.

Durch den prognostizierten Klimawandel und den fortschreitenden Rückgang der Vergletscherung kommt es zu einer Veränderung der Schlüsselprozesse in Gletscherbächen (Abb. 8). Betrachtet man Gebirgsbäche entlang einer Umweltextreme-Diversität-Kurve, so kommen Gletscherbäche am unteren Ende des absteigenden Astes zu liegen. Neben dem Rückgang der Vergletscherung des Einzugsgebietes sowie der Abnahme der Dauer der Schneebedeckung werden sich besonders Temperaturhaushalt, Menge und chemische Zusammensetzung des Wassers auf den Gewässertyp auswirken. Die durch extreme Umweltfaktoren charakterisierten Gletscherbäche werden allmählich in KRENAL- und/oder



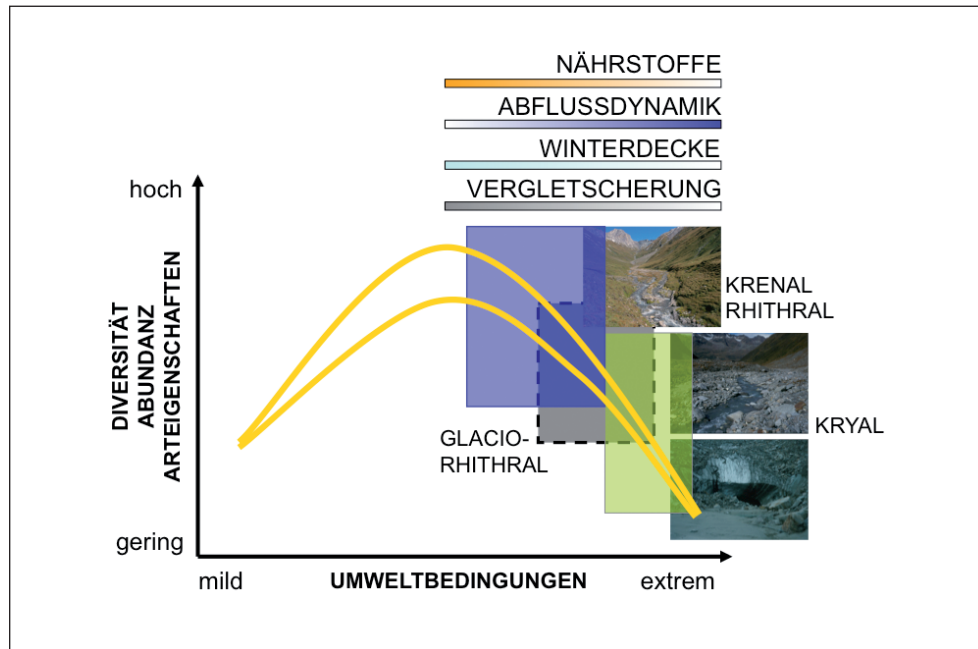


Abb. 8:

Szenario der Auswirkung des Klimawandels auf Umweltfaktoren und damit Struktur und Funktion der Lebensgemeinschaften (hier als Diversität ausgedrückt) von Gletscherbächen. Die alpinen Bäche liegen entlang einer Diversität-Extremfaktoren-Kurve in der rechten Hälfte. Gletscherbäche (KRYAL) kommen wegen der extremen Ausprägung der Umweltfaktoren (Abflussdynamik, Temperatur, Nährstoffverfügbarkeit) und der wenigen, aber best angepassten Arten am äußeren Ende der Kurve zu liegen. In Quellbächen (KRENAL) und in durch Schneeschmelze und Regen geprägten Bächen (RHITHRAL) ist wegen der moderaten Umweltbedingungen die Existenz vieler Organismen möglich, wodurch dort die höchste Diversität zu erwarten ist. Bei äußerst gemäßigten Umweltfaktoren werden die Gewässer sehr produktiv, es kommt zu höheren Temperaturen, einer erhöhten Produktion von Bakterien und niederen Pflanzen und damit zu einem Überangebot an Nährstoffen. Es wird das Vorkommen bestimmter Arten gefördert, die dann zahlenmäßig dominieren und für andere Arten eine große Konkurrenz darstellen. Folglich sinkt die Diversität in diesen Gewässern. Die Auswirkungen des Klimawandels würden die Gegebenheiten in den Gletscherbächen folgendermaßen ändern: Durch den Gletscherschwund geht die Vergletscherung des Einzugsgebietes stark zurück, folglich sinkt auch die Tages- und Jahresdynamik im Abflussgeschehen. Die Dauer der Schneebedeckung nimmt wegen des Temperaturanstiegs ab. All diese Faktoren begünstigen die Produktion im Einzugsgebiet sowie im Gewässer selbst, sodass die Nährstoffverfügbarkeit generell erhöht wird. Der „Gewässerzustand“ folgt dann der Kurve nach links.

RHITHRAL-Gewässer übergehen. Bei Abnahme der Extremfaktoren positionieren sich die Gewässerabschnitte in günstigeren Lagen, d.h. sie bewegen sich zum Optimum der Kurve.

Mit der Abnahme oder dem völligen Rückgang der Vergletscherung in den Einzugsgebieten nimmt auch der extreme Charakter der Lebensräume ab und die Lebensbedingungen in alpinen Fließgewässern werden sich ähnlicher. Die durch wenige aber hochspezialisierte Arten gekennzeichnete Gletscherbachzönose wird durch eine abgelöst, welche durch mehrere (viele) Arten charakterisiert ist, die hinsichtlich Temperatur und Nahrungsanspruch weniger oder kaum spezialisiert sind. Spezielle Indikatorarten oder glaziale Arten werden sukzessive verschwinden. Abgesehen von den Veränderungen auf ökosystemaren Niveau gibt es möglicherweise noch eine Vielzahl von weiteren Auswirkungen des Klimawandels auf Fließgewässersysteme. Im Gegensatz zum Verlust der Gletscherbach-Arten, die an die extremen Umweltfaktoren optimal angepasst sind und von anderen Besiedlern verdrängt werden, ist ein verändertes Abflussgeschehen mit häufigen Hochwasserereignissen zuerst ein viel auffälligeres Zeugnis von Klimaveränderungen. Zusammen mit veränderter Niederschlagsaktivität destabilisieren sie möglicherweise alpine Vegetation und Waldgesellschaften. Alldiese Faktoren werden die Fließgewässer innerhalb aber auch ausserhalb der

Alpen in mannigfacher Weise direkt oder indirekt beeinträchtigen.

Neben dieser „natürlichen“ Veränderung durch Gletscherschwund, sind die Gletscherbäche aber auch einer weiteren Gefahr ausgesetzt. Eine große Zahl von Gletscherbächen wird genutzt. Unzählige Beispiele belegen die Veränderungen von Flora und Fauna, die eine Nutzung von Gletscherbächen bewirkt:

1) *Veränderung des Bachcharakters:*

Die schmelzwasserbeeinflusste Fließstrecke oberhalb einer Wasserfassung wird durch diese vom Unterlauf isoliert, so daß die Durchgängigkeit des Fließgewässers unterbrochen wird. Natürliche Verhaltensmuster der Wasserinsekten wie Drift und Aufwärtswanderungen (es handelt sich dabei um willkürliche und unwillkürliche Ortsveränderungen) sind dadurch erheblich gestört. Bereiche unterhalb der Wasserfassung werden durch den nun größeren Anteil von Hang-, Quell- und/oder Grundwasser in ein Fließgewässer anderen Charakters umgewandelt. Die limitierenden abiotischen Umweltfaktoren werden entschärft, das Gewässer wird wärmer, klarer und besitzt eine stabilere Sohle. Kurz – der Quellbachcharakter überwiegt.

2) *Verschwinden von gletscherbachtypischen Spezialisten:*

Da durch die veränderten hydrologischen und abiotischen Faktoren der

Gletscherbachcharakter weitgehend verloren geht, verschwinden die gletscherbachtypischen Spezialisten. Die hochspezialisierten und seltenen Gletscherbachzuckmücken *Diamesa steinböcki* und andere Arten der Diamesinae sowie die nur in Gletscherbächen vorkommende *Rhithrogena nivalis* verschwinden und werden durch euryöke Arten (ertragen breites Spektrum an abiotischen Bedingungen) abgelöst oder verdrängt.

### 3) Fauna:

Generell gesehen entspricht die Fauna unterhalb einer Wasserfassung der eines Quellbaches, was dem Fließgewässertyp des Gletscherbaches nicht mehr entspricht. In mehreren Arbeiten wurde gezeigt, dass den von Schneeschmelze und Regenereignissen geprägten Fließgewässern selbst in grossen Höhenlagen ein breites Artenspektrum an aquatischen Insekten eigen ist. Durch die Dämpfung der Extremfaktoren steigt die Höhenverbreitung vieler Arten aus tiefergelegenen Regionen deutlich an. Spezialisten, wie sie in Gletscherbächen vorkommen, sind kaum mehr vertreten. Durch die Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit ist auch die Substratzusammensetzung eine andere, teilweise überwiegen feinkörnige bis sandige Strukturen, so dass auch dies eine Verschiebung der Grossgruppen und Artendominanz bedingt. Typische

Feinsedimentbewohner, die ebenfalls für tiefer liegende Fließgewässerabschnitte charakteristisch sind, können dann überwiegen. Strömungsliebende, an turbulente Verhältnisse angepasste Gebirgsbacharten sind in der Minderzahl. Die reichhaltigen Zoobenthosgemeinschaften in Entnahmestrecken, insbesondere in Gletscherbächen entsprechen nicht den natürlichen Verhältnissen. Man könnte in diesem Zusammenhang von einer starken Vereinheitlichung der Bodenzönose mit vielen Arten und Individuen sprechen.

Durch die prognostierten Veränderungen des Klimas wird das Abflussverhalten der alpinen Bäche und insbesondere durch die zurückweichenden Gletscher das hydrologische Regime der Gletscherbäche signifikant verändert werden (McGregor et al. 1995). Sich verändernde Intensität und Dynamik von klimatischen Schlüsselfaktoren, die das Verhalten von Gletschern beeinflussen, werden maßgeblich die hydromorphologischen und thermischen Bedingungen in glazial geprägten Fließgewässern beeinflussen. Für das Rotmoostal haben wir die aquatische Fauna, ihre Artenzusammensetzung und Diversität in verschiedenen Fließgewässertypen charakterisiert und die Bedeutung der physikalisch-chemischen Gegebenheiten für die zeitlichen und räumlichen Muster analysiert. Das Makrozoobenthos wird weltweit zur ökologischen Bewertung

von Gewässern und zur Berechnung der Gewässergüte als Ergebnis anthropogener Beeinträchtigungen, insbesondere organischer und toxischer Verunreinigung sowie Versauerung herangezogen (Rosenberg & Resh 1993, Jackson & Füreder 2006). Die vorliegenden Ergebnisse der strukturellen und funktionellen Organisation der Gewässerfauna aus einer Reihe von unterschiedlichen Gewässerlebensräumen des Rotmoostales können für die Vorhersagen und Analyse der Auswirkungen von Umweltveränderungen und des Klimawandels verwendet werden. Die Gewässer samt den vorkommenden Organismen sind einerseits Indikatoren für die hydrologischen, thermischen und biotischen Gegebenheiten in der Flusslandschaft und können andererseits auch als Zeiger für die Veränderungen im Gewässer und seinem Umland sowie auch im Einzugsgebiet verwendet werden.

## Literatur

- Burger R. (1999) Die Chironomidenemergenz zweier Hochgebirgsbäche im Raum Obergurgl (Rotmoosache, Königsbach; Tirol). Diplomarbeit, Universität Innsbruck: 101 S.
- Brittain J.E. & Milner A.E. (2001) Glacier-fed rivers – unique lotic ecosystems. Special Issue, Freshwater Biology 46.

- Füreder L. (2007) Life at the edge: habitat conditions and bottom fauna of alpine running waters. *Internat.Rev.Hydrobiol.* 92: 491-513.
- Füreder, L. (1999) High Alpine Streams: Cold Habitat for Insect Larvae. S. 181 – 196. In: Cold Adapted Organisms. Margesin, R. & F. Schinner (eds). Ecology, Physiology, Enzymology and Molecular Biology. Springer Verlag, Berlin.
- Füreder L., Schütz C., Wallinger M. & R. Burger (2001) Physico-chemistry and aquatic insects of a glacier-fed and a spring-fed alpine stream. *Freshwater Biology* 46: 1573-1690.
- Füreder L., Vacha C., Amprosi K., Bühler S., Hansen C.M.E. & C. Moritz (2002) Reference conditions of alpine streams: Physical habitat and ecology. *Water, Air & Soil Pollution, Focus* 2: 275-294.
- Füreder L., Welter C. & Jackson J.K. (2003a) Dietary and stable isotope ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) analyses in alpine stream insects. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 88: 314-331.
- Füreder L., Welter C. & Jackson J.K. (2003b) Dietary and stable isotope ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) analyses in alpine Ephemeroptera and Plecoptera. Mayflies and Stoneflies, Proceedings of the International Symposium held in Perugia, August 2001: 39-46.
- Füreder, L., Wallinger M. & Burger R. (2005) Longitudinal and seasonal pattern of insect emergence in alpine streams. *Aquatic Ecology* 39: 67-78.
- Jackson, J. K. & L. Füreder (2006) Long-term studies of freshwater macroinvertebrates: a review of the frequency, duration and

- ecological significance. *Freshw. Biol.* 51: 591-603.
- 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: Marine and Freshwater Ecosystems*, 5, 233-247.
- Milner, A. M. & G. E. Petts (1994) Glacial rivers: physical habitat and ecology. *Freshw. Biol.* 32: 295-307.
- Psenner, R., Füreder L., Rott, E., Schütz C., Sonntag B., Waldhuber S. & Wille A. (2003) Biodiversity of an alpine catchment. An integrated approach to assess microbial, botanical and faunistic diversity of terrestrial and aquatic habitats in the Rotmoos Valley, Tyrol. Part II. *Aquatic Biodiversity. Final Report Project Biodiversity of alpine landscapes*. Österr. Akademie Wiss. Wien.
- Rott E, Cantonati M., Füreder L. & Pfister P. (2006) Benthic algae in high altitude streams of the Alps – a neglected component of aquatic biota. In: *Ecology of high altitude aquatic systems in the Alps*. Lami, A., Boggero A. (eds) *Hydrobiol.* 562: 195-216.
- Schütz C. (1999) The benthic fauna of high Alpine streams. Dissertation, Universität Innsbruck: 95 S.
- Schütz, C., M. Wallinger, R. Burger & L. Füreder (2001) Effects of snow cover on the benthic fauna in high alpine streams. *Freshw. Biol.* 46: 1691-1704.
- Wallinger M. (1999) Die Emergenz von Ephemeropteren, Plekopteren und Trichopteren in zwei Hochgebirgsbächen (Königsbach, Rotmoosbach, Ötztal, Tirol). Die Chironomidenemergenz zweier Hochgebirgsbäche (Rotmoosache, Königsbach) im Raum Obergurgl, Tirol. Diplomarbeit, Universität Innsbruck: 100 S.
- Ward, J. V., (1994): The Ecology of Alpine streams. *Freshwater Biology* 32: 277-294.

#### Verzeichnis des Autors

Leopold Füreder  
Universität Innsbruck  
Institut für Ökologie  
Technikerstr. 25, 6020 Innsbruck, Österreich  
Leopold.Fuereder@uibk.ac.at

## Lebensraumtypen und Diversitätsgradienten lotischer Algen in einem Gletschereinzugsgebiet

Eugen Rott, Doris Gesierich, Nico Binder

### Zusammenfassung

In alpinen Gletscherrückzugsgebieten findet man insbesondere Gletscherbäche (Kryal) und grundwassergespeiste Quellbäche (Krenal). Im Einzugsgebiet des Rotmoosferners (RM) wurden insgesamt 11 aquatische Habitate – ein Sickerquellkomplex mit humösen Moortümpeln, 4 klare Quellbäche und 6 sommertrübe Gletscherbäche – auf Algenzusammensetzung und -dominanz untersucht. Die Gletscherbäche wiesen im Vergleich zu Quellbächen einen geringeren Artenreichtum auf. Diatomeenzahlen scheinen einen deutlichen inversen Zusammenhang mit der Entfernung vom Hauptgletscher, also der Entstehungszeit der Gewässer, zu zeigen. Die Artenzahlen der epilithischen Cyanobakterien sind in den seitlich einmündenden Gletscherbächen stark reduziert. Der Hauptbach, die Rotmoosache, wies in frühzeitig schneefreien Abschnitten trotz mäßiger Nährstoffgehalte (niedere Gesamtphosphor Gehalte, mittlere Stickstoffgehalte) alljährlich ein massives Wachstum der Goldalge *Hydrurus foetidus* in einem engen zeitlich-räumlichen Fenster im Frühjahr auf. Die dabei entstehenden gallertigen Algenmassen waren Habitat und Nahrungsgrundlage für hohe Zahlen spezifischer Bakterien, Ciliaten und benthischer Insektenlarven

(Zuckmücken). Ephemere Feuchtstandorte (z.B. feuchte Felsen) sowie die seit dem Jahr 2000 neu entstandenen Gletscherbäche sind vielversprechende Standorte zur Testung der Auswirkungen des klimatischen Wandels auf die Biodiversität innerhalb zukünftiger Untersuchungen.

### Abstract

Lotic aquatic environments of glacial retreat areas are mainly characterized by glacier fed (kryal) streams and by ground water fed (krenal) spring streams. Within the glacial retreat area of the Rotmoos (RM) glacier we studied the algal richness and dominance within 11 different aquatic habitats including one seepage spring complex with small humic peat bogs, 4 clear spring streams and 6 small glacier streams of variable size characterized by high turbidity in summer. The glacier streams showed generally a lower species richness than the spring streams. The number of diatoms showed an inverse relationship to the distance from the central glacier, in other words seemed to be related to the age of the streams. The species numbers of epilithic cyanobacteria were highly reduced especially in the glacial tributaries. In the central glacier stream (Rot-



moosache) we found the Golden alga *Hydrurus foetidus* to cause massive blooms within a distinct spatio-temporal window in spring in spite of low nutrient concentrations (low total phosphors, moderate total dissolved nitrogen values). The mucilage masses of this alga were evidently a suitable habitat, food and shelter for high numbers of specific bacteria, ciliates and benthic insect larvae (chironomids). Underexplored habitats for future studies of the effects of climatic change on biodiversity are mostly ephemeral wet places (wet rocks) and the glacier streams formed within the last few years.

## Einleitung

In vergletscherten Einzugsgebieten der Alpen gibt es zwar oft eine Vielfalt von unterschiedlichen ephemeren (nicht dauerhaften) Feuchtstandorten an denen sich Algen entwickeln können, die höchste Diversität wird aber in permanenten lotischen Habitaten (Fließquellen, Bächen) bzw. in ausdauernden oder zumindest langfristig wasserführenden Tümpeln erreicht (Ettl 1968). In Gletschervorfeldern sind insbesondere die von Schmelzwasser gespeisten (kryalen) Gletscherbäche (Abb. 1a, b) und die aus Grundwasser gespeisten Quellbäche (Abb. 1c, d) von Bedeutung. Die Bedingungen zwischen diesen beiden Bachtypen unterscheiden sich wesentlich: Gletscherbäche sind im Hochsommer

während der Abschmelzperiode der Gletscher von Gletschermilch (suspendierter Schluff) getrübt und weisen sehr hohe aber auch tageszeitlich stark schwankende Abflüsse (bis zu 15-fache Menge) auf, während Quellbäche meist klares Wasser mit wesentlich geringeren allenfalls durch Schneeschmelze und Regenereignisse variable Abflussmengen aufweisen (vgl. Kap. 8, Füreder). Der Algenaufwuchs wird durch die starken Abflussschwankungen im Gletscherbach und den mechanischen Abrieb durch die mitgeführte anorganische Fracht (von Ton bis Kies) insbesondere im Hochsommer stark verringert. Perioden für optimales Wachstum sind in diesem Bachtyp dann im Frühherbst vor Wintereinbruch bzw. im Frühjahr zu Beginn der Schneeschmelze nach Öffnung der Winterdecke, wobei zu dieser Zeit klares Wasser vorhanden ist (Abb. 1a). Die zeitlich-räumlichen Fenster scheinen für Gletscherbäche der Alpen ganz besonders charakteristisch zu sein (Rott et al. 2006, 2006a, Uehlinger et al. 2009). In der alpinen Zone weisen Quellbäche durch fehlenden Baum- und Strauchbestand oft fast keine Beschattung auf, d.h. dass diese je nach Sonnenexposition und Hangorientierung hoher bis sehr hoher Strahlungsintensität (sichtbares Licht, UVA, UVB) ausgesetzt sind, die zu einer deutlichen Erwärmung des Wassers führen kann. In Quellbächen entwickeln sich daher bevorzugt stark pigmentierte Formen (oxygene coccale und fädige Cyanobakterien mit dunklen Scheidenpigmenten, aber auch

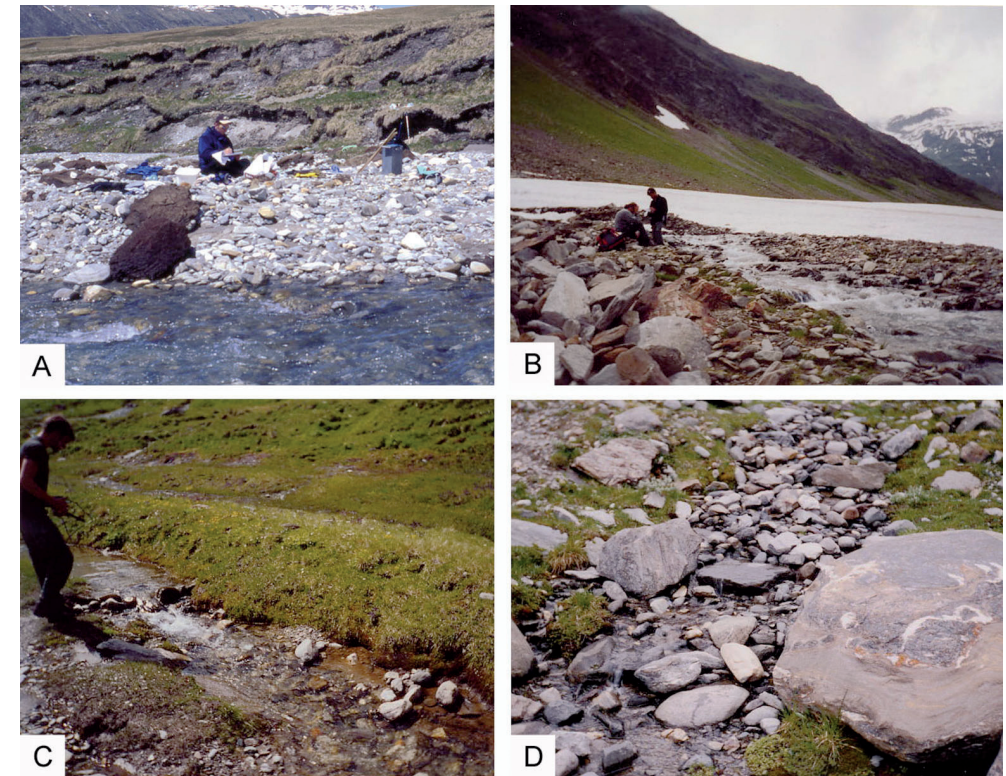


Abb. 1:  
Gletscherbäche und Quellbäche zu unterschiedlichen Jahreszeiten:  
1a) Rotmoosache im Juni 2003 bei kaltem Wetter mit klarem Wasser (Hypokryal / Glaciorhithral)  
1b) Eiskögelebach im Juli (Kryal)  
1c) Schönwiesbach  
1d) Schneebergzugbach um Juli 2003 (Krenal)  
(Fotos: E. Rott)

nicht sichtbaren UV-Schutzpigmenten wie Scytonemin – Garcia-Pichel und Castenholz 1991) die in Konkurrenz mit den Wasserflechten und Wassermoosen (vgl. Kap. 6, Gärnter) um den wasserbenetzten Lebensraum stehen. Trotz nährstoffarmer Bedingungen und mäßiger Temperaturen kann es auch in Hochgebirgsbächen zu zeitlich begrenz-

ten Massentwicklungen von Algen kommen. Ob diese durch „Airborne pollution“ in den letzten Jahren häufiger geworden sind – insbesondere durch Stickstoffanreicherung, aber teilweise auch durch Versauerung – ist für die Alpen mit Ausnahme der paläoökologischen Ansätze noch wenig untersucht. Bisherige Ergebnisse deuten an, dass der Gletschereinfluss



den Artenreichtum verschiedener Algengruppen bzw. die Wuchsformtypen unterschiedlich stark beeinträchtigt. Besonders deutliche Unterschiede wurden zwischen oxygenen Cyanobakterien und Kieselalgen festgestellt (Rott et al. 2006). Diese Diversitätsgradienten von Mikroalgen im Spannungsfeld zwischen Gletscherbeeinflussung und Grundwasserverfügbarkeit in Quellbächen in Zusammenhang mit dem Klimawandel und der atmosphärischen Nährstoffbelastung sind bisher nur wenig erforscht.

### Forschungsgeschichte

Trotz einzelner Aufnahmen der Algenflora, insbesondere von Moortümpelpflanzen aus dem Rotmoostal bei der Schönwieshütte (Ettl 1968), war die Diversität der verschiedenen aquatischen Lebensräume im Gletschervorfeld des Rotmoosgletschers bis vor kurzem noch weitgehend unbekannt (Gesierich und Rott 2004, Tab. 4 im Anhang). Neuere Untersuchungen erfolgten bisher in den Jahren 2001 bis 2003 innerhalb eines umfassenden Pilotprojekts „ALP-2000 Biodiversity of an Alpine Catchment: an integrated approach to assess microbial, botanical and faunistic diversity of terrestrial and aqua-

tic habitats of the Rotmoos Valley, Tirol 2001-2003 (Psenner et al 2003). Wesentliche Zielsetzungen waren die Entwicklung geeigneter, reproduzierbarer Methoden und Protokolle (Sonntag 2002) um möglichst alle Arten zu erfassen, ohne dabei besonders hohe Ansprüche an die Erhebung quantitativer Maßzahlen und der Quantifizierung der Steuerungsmechanismen und deren Regulation zu haben. Bei dieser Vorgangsweise diesem Ansatz wurde besonderer Wert auf die taxonomische Expertise und Ausarbeitung von Ansätzen für die Vernetzung der Untersuchungen aquatischer und terrestrischer Lebensräume gelegt. Die erzielten Artenlisten wurden im Rahmen einer Dissertation veröffentlicht (Gesierich und Rott 2004), wobei auch die Algengemeinschaften, funktionale Artengruppen und deren Standortsfaktoren diskutiert wurden. Innerhalb der Methodenentwicklung war bei den aquatischen Expertisen eine möglichst hohe Vergleichbarkeit der Besammlungsstrategien, der Zeitpunkte und der Mikrohabitate angestrebt worden, die dann auch erste Vergleiche der Ergebnisse mit terrestrischen Aufnahmen ermöglichten. Diese wurden in einem Abschlußbericht (Psenner et al. 2003) und in einer kleinen mikrohabitatbezogenen Arbeit (Rott et al. 2006a) veröffentlicht.

### Stand der Forschungsarbeit und offene Fragen

Die Rückzugsgebiete von größeren Gletschern in den Alpen, die in den letzten 150 Jahren entstanden sind, weisen durch die Vielfalt der Habitate einen beachtlichen Artenreichtum an aquatischen Lebensräumen auf, in denen neben Wasserflechten und Moosen (siehe Kap. 6, Gärtner) insbesondere Algen (inkl. Cyanobakterien) eine wesentliche Rolle spielen. Besonders habitat- und artenreich sind breite

moränengefüllte Täler durch das vielfältige Ein- und Ausströmen von Grundwasserströmen und das Vorhandensein von Gletscherseen wie Untersuchungen im Val Roseg, Schweiz (Bürgi et al. 2003) zeigen. Im oberen Rotmoostal spielen die Grundwasseraustritte im Talboden durch die Enge des Talgrundes eine wesentlich geringere Rolle als im Val Roseg, dafür sind aber einige Hangquellaustritte (Abb. 1c, d) sowie eine größere Anzahl an kleinen seitlichen Gletscherbächen (z.B. Abb. 1b) mit unterschiedlichen Gletscheranteilen vorhanden (Gesierich & Rott 2004).



Abb. 2:  
Unterer Abschnitt des Rotmoostales mit Furkationszone der Rotmoosache (Blickrichtung Schönwieshütte). Die Pfeile zeigen von links nach rechts die Probenstellen am Eiskögelebach (EKS, Kryal), Schönwiesbach (SWS, Krenal), Rotmoosache (RM, Hypokryal), Mutbach (MUS, Krenal) und Sickerquellkomplex am oberen Randes des Rotmooses (FEN), Juli 2003. (Foto: E. Rott)



Diese spezifische Situation erlaubte es Diversitätsgradienten auf kleinstem Raum zu ermitteln, die in ähnlicher Weise über einen weiteren Abschnitt des Längsverlaufes eines größeren Gletscherbaches verteilt sind (Isel in Osttirol, vgl. Rott et al. 2006). Die Verteilung der Artenzahlen an den einzelnen Sammelstellen im Rotmoostal (Abb. 2) lässt deutliche Unterschiede in der Verteilung der beiden häufigsten Algengruppen erkennen (Abb. 3a-c), wobei aber neben dem Gletschereinfluss aus dem Haupttal (Orientierung von rechts unten nach links oben in Abb. 3) auch seitliche Gletscher insbesondere von SW (links unten) und unterschiedlichen Kalkgehalte (dargestellt durch die Leitfähigkeitswerte in Abb. 3d) die Verteilung beeinflussen. Die Diatomeen-Artenzahlen zeigten einen negativen (statistisch signifikanten  $r = 0,619$ ,  $p = 0,042$ ) Zusammenhang mit der Entfernung der Sammelstelle vom Hauptgletscher. Ähnliche Resultate hatten wir in einem ähnlich kleinen Gletschereinzugsgebiet der Coast Range in British Columbia, Kanada, ermittelt (unpubl. Daten). Cyanobakterien scheinen insbesondere in den Gletscherbächen stark reduziert zu sein, da deren Artenzahlen einen hochsignifikanten negativen Zusammenhang mit der Vergletscherung im Einzugsgebiet zeigen ( $r = 0,264$ ,  $p = 0,006$ ). Cyanobakterien werden möglicherweise durch die bessere Kohlenstoffverfügbarkeit in den Quellbächen des Schneebergzuges mit höherer Leitfähigkeit gefördert (Abb. 3b, d).

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand aus morphologisch-floristischen Algenuntersuchungen und ausstehenden molekularbiologisch-biogeographischen Studien ist keine eigene, scharf abgrenzbare Algenflora des Hochgebirges festzustellen. Es sieht vielmehr so aus, als wäre die Anpassung der Arten bzw. deren Resilienz gegen die extremen Bedingungen des Hochgebirges (UV, Temperatur, Nährstoffarmut, kurze Vegetationsperiode, Versauerungsschübe bei Schneeschmelze) wesentliche Voraussetzung für ihr Vorkommen. Das bedeutet eigentlich eine negative Selektion, welche bewirkt, dass Tieflandarten bzw. typische Algentaxa der Alpenflüsse (z.B. *Ulothrix*, *Cladophora*, *Bangia*) oder schattiger Quellbäche (*Batrachospermum*) im Hochgebirge fehlen. In den überwiegend nährstoffarmen, alpinen lotischen Habitaten sind oligotrophente Arten (Rote-Liste Arten der Diatomeen, seltene Cyanobakterien mit denen für diese Situation typischen funktionalen Gruppen wie  $N_2$ -Fixierer, z.B. *Tolypothrix* oder typische Bergbachformen der Chrysophyceen wie *Hydrurus foetidus*) oft mit höheren Anteilen vertreten als in subalpinen Bereichen. Für lentische Gewässer (Tümpel) mag diese negative Selektion in geringerem Ausmaß zutreffen. Insbesondere die Tümpel im subalpinen Zirbenwald am Ochsenkopf nördlich von Obergurgl sind über nahezu 40 Jahre sehr artenreich geblieben (vgl. Ettl 1968 mit Rott 2007) und auch Stillgewässer-Fliessgewässer-Netze der alpinen Regionen der Schweiz (Ber-

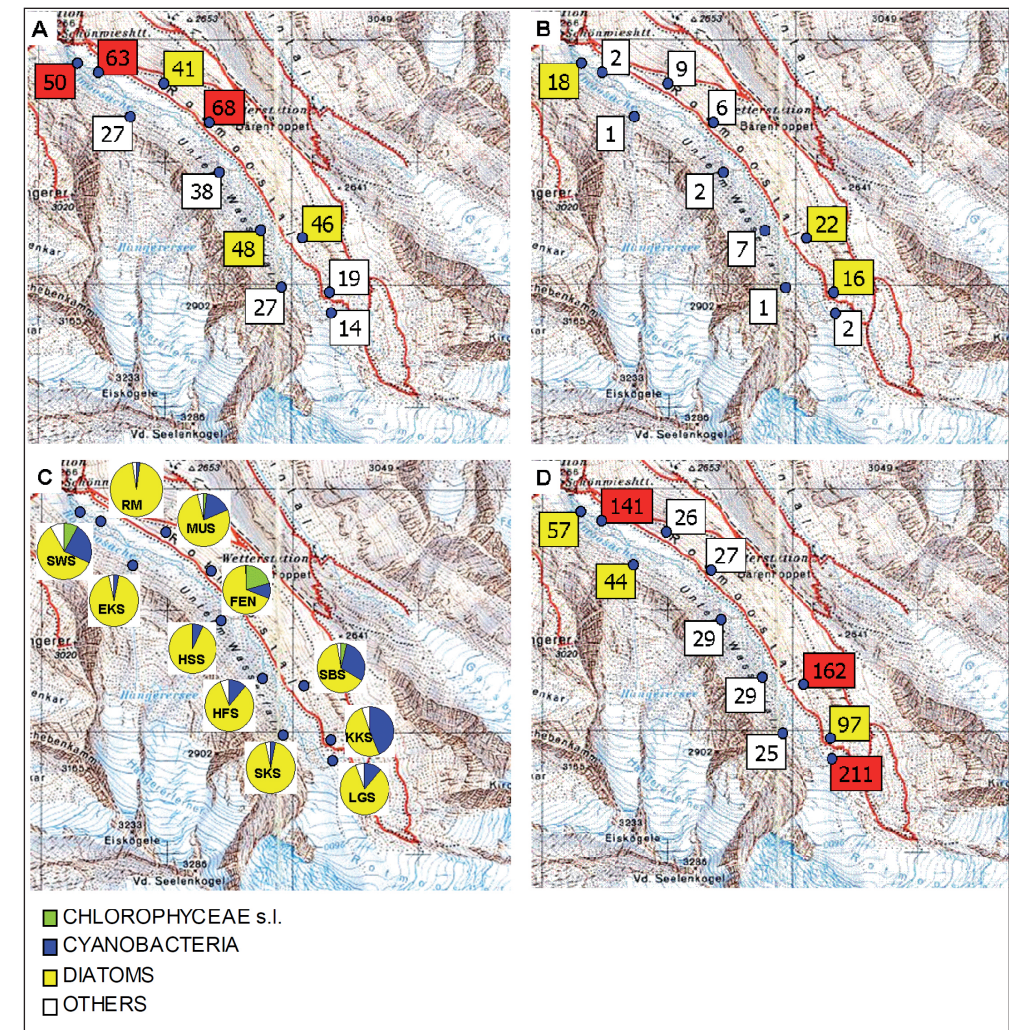


Abb. 3:

Topographische Karte (ÖAV) vom Rotmoostal mit folgenden Werten an den Sammelpunkten:

3A) Anzahl der Kieselalgen (gelb: > 40; rot: > 50)

3B) Anzahl der Cyanobakterien (gelb: > 20)

3C) Anteil der Algen-Grossgruppen an der Gesamtartenzahl

3D) Elektrische Leitfähigkeit in µS (gelb: > 50; rot: > 100)

Abkürzungen siehe Abb. 2, zusätzlich: Hangendersee Bach (HSS, Kryal), Hangender Ferner Bach (HFS, Kryal), Schneebergbach (SBS, Krenal), Kirchkogelbach (KKS, Krenal), Seelenkogelbach (SKS, Kryal), Liebener Bach (LGS, Kryal)

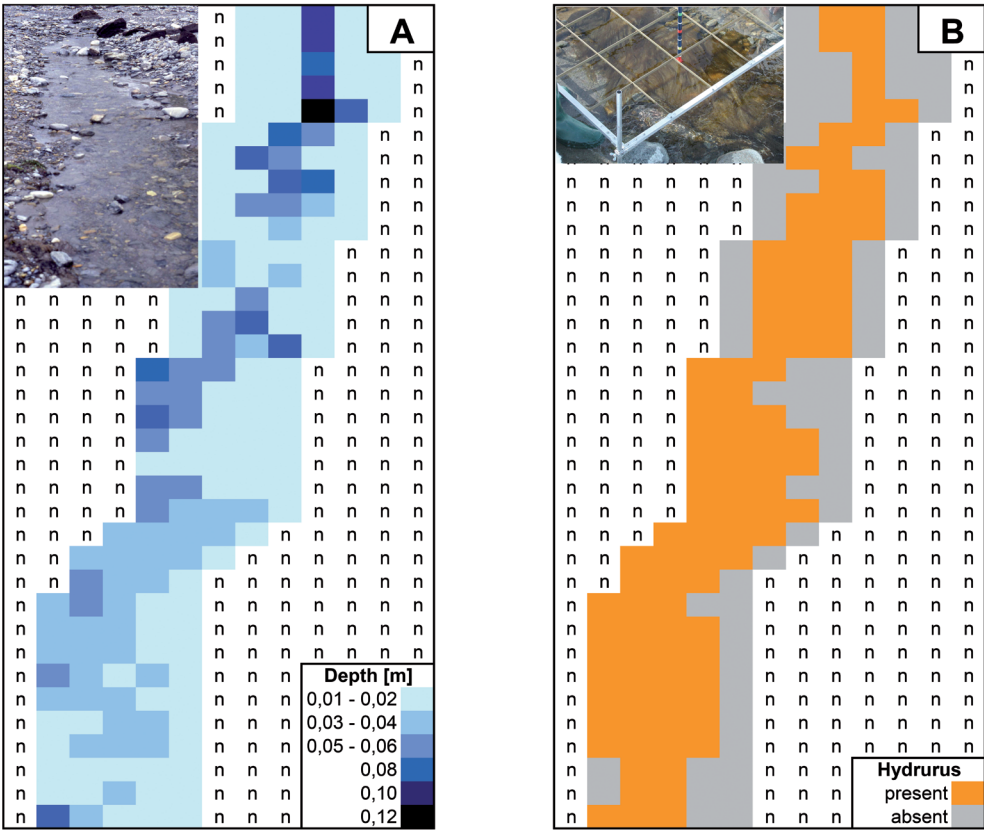


Abb. 4:  
Verteilungsmuster der Wassertiefe (A) und der makroskopisch sichtbaren Algenwatten von *Hydrurus foetidus* (B) in einem Seitenarm der Rotmoosache, 14. April 2002.

nina) weisen heute noch einen erstaunlich hohen Artenreichtum auf (Robinson und Kawecka 2005). Die klare Abgrenzbarkeit von Nischen (wie z.B. *Hydrurus foetidus* im Gletscherbach) in hochalpinen Bächen (Abb. 4 a, b) lässt die Untersuchung von organismischen Interaktionen (von kompetitiver Konkurrenz bis zu Synergismen zwischen Bakterien, Algen, Ciliaten und Grazern) vielversprechend erscheinen. Welche Zusammenhänge zwischen

der lotischen Algenflora, insbesondere in den neu entstandenen Bächen, mit der Algenflora des Kryokonit und des Schnees bestehen (vgl. Kap. 10, Sattler et al.) ist noch unerforscht. Wir wissen heute noch zu wenig darüber, wie sich „Airborne Pollution“ (insbesondere die Zunahme der Stickstoffkomponenten in den Alpen) zu Zeiten des Klimawandels auf die Algendiversität und vor allem auf das Vorhandensein

bestimmter funktionaler Algengruppen (z.B. N<sub>2</sub>-Fixierer) auswirken wird. Es ist möglich, dass vor allem N<sub>2</sub>-fixierende Taxa (fädige Cyanobakterien wie *Tolypothrix* und *Scytonematopsis*, vgl. Rott & Pernegger 1996) durch die Zunahme von fädigen Zygnemalen verdrängt werden und potentiell toxische Arten auch im alpinen Bereich weiter zunehmen (Mez et al. 1998). Ob diese Veränderungen – vor allem ein zu erwartender Rückgang oligotropher, seltener Arten (Rote-Listen Taxa) – dann generell einen höheren oder niederen Artenreichtum zur Folge haben werden, bleibt offen.

Literatur

Bürgi, H.R., P. Burgherr & Uehlinger, U. (2003) Aquatic flora. In: Ecology of a glacial floodplain, Ward J.V. & Uehlinger U. (eds) Kluwer Academic Press, 139-151.

Ertl, H. (1968) Ein Beitrag zur Kenntnis der Algenflora Tirols. Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck 56: 177-354.

Garcia-Pichel, F. & Castenholz, R. (1991) Characterization and biological implications of scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment. J. Phycol. 27: 395-409.

Gesierich, D. & E. Rott (2004) Benthic algae and mosses from aquatic habitats in the catchment of a glacial stream (Rotmoos,

Ötztal, Austria). Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck 91: 7-42.

Mez, K., Hanselmann, K. & Preisig H.R. (1998) Environmental conditions in high mountain lakes containing toxic benthic cyanobacteria. Hydrobiol. 368: 1-15.

Psenner, R., Füreder L., Rott, E., Schütz C., Sonntag B., Walzhuber S. & Wille A. (2003) Biodiversity of an alpine catchment. An integrated approach to assess microbial, botanical and faunistic diversity of terrestrial and aquatic habitats in the Rotmoos Valley, Tyrol. Part II. Aquatic Biodiversity. Final Report. Project Biodiversity of alpine landscapes. Österr. Akademie Wiss. Wien

Robinson C.T. & Kawecka, B. (2005) Benthic diatoms of an Alpine stream/lake network in Switzerland. Aquat. Scs 67: 492-506.

Rott E. (2007) Algen (inkl. Blaualgen / Cyanobakterien) A) Aquatische Formen. In: Tag der Artenvielfalt 2007 in Tirol. – Erhebungen im Ötztal. Pagitz, K. (eds) Veröff. Landesmus. Ferdinand. Innsbruck 87: 114-119.

Rott E. & Pernegger L. (1994) Epilithic cyanophytes from soft-water mountain lakes in the Central Alps (Austria) and in the Pirin mountains (Bulgaria) with special reference to taxonomy and vertical zonation. Arch. Hydrobiol., Algol. Stud. 75: 249-264.

Rott E., Gesierich D. & Binder N. (2002) Phytobenthos. In: Kleines Handbuch



- zur methodischen Erfassung der Biodiversität Alpiner Lebensräume. ALP-2000. Biodiversity of an alpine catchment. Sonntag B. (eds). 2-3
- Rott E., Gesierich D. & Binder N. (2003) Phytobenthos. In: Biodiversity of an alpine catchment. An integrated approach to assess microbial, botanical and faunistic diversity of terrestrial and aquatic habitats in the Rotmoos Valley, Tyrol. Part II. Aquatic Biodiversity. Psenner R et al (eds). 311-348 + Databank.
- Rott E, Cantonati M., Füreder L. & Pfister P. (2006) Benthic algae in high altitude streams of the Alps – a neglected component of aquatic biota. In: Ecology of high altitude aquatic systems in the Alps. Lami A., Boggero A. (eds.) Hydrobiol. 562: 195-216.
- Rott, E., Füreder L., Schütz C., Sonntag B. & Wille A. (2006a) A conceptual model for niche separation of biota within an extreme stream microhabitat. Verh. Internat. Verein. Limnol. 29: 2321-2323.
- Sonntag, B. (2002) (eds) Kleines Handbuch zur methodischen Erfassung der Biodiversität Alpiner Lebensräume. ALP-2000. Biodiversity of an alpine catchment. Projektbericht Österr. Akad. Wiss., Wien: Methodenhandbuch 1-10.
- Uehlinger U., Robinson C.T., Hieber M. & Zah R. (2009) The physico-chemical habitat template of periphyton in glacial streams of the Alps. Hydrobiol. DOI 10.1007/s10750-009-9963-x

## Verzeichnis der AutorInnen

---

Eugen Rott  
Universität Innsbruck  
Institut für Botanik,  
Sternwartestr. 15, 6020 Innsbruck, Österreich  
Eugen.Rott@uibk.ac.at

Doris Gesierich  
Universität Innsbruck  
Institut für Botanik,  
Sternwartestr. 15, 6020 Innsbruck, Österreich  
Doris.Gesierich@uibk.ac.at

Nico Binder  
Schieferrollstr. 12, 6250 Kundl, Österreich