

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 humosen 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 Gesamtposphorgehalte, 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 Massenentwicklungen 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 Algen-
gruppen bzw. die Wuchsformtypen unter-
schiedlich stark beeinträchtigt. Besonders
deutliche Unterschiede wurden zwischen
oxygenen Cyanobakterien und Kieselal-
gen festgestellt (Rott et al. 2006). Diese
Diversitätsgradienten von Mikroalgen im
Spannungsfeld zwischen Gletscherbeein-
flussung und Grundwasserverfügbarkeit
in Quellbächen in Zusammenhang mit
dem Klimawandel und der atmosphäri-
schen Nährstoffbelastung sind bisher nur
wenig erforscht.

Forschungsgeschichte

Trotz einzelner Aufnahmen der Algenflora,
insbesondere von Moortümpelproben aus
dem Rotmoostal bei der Schönwieshütte
(Ettl 1968), war die Diversität der ver-
schiedenen aquatischen Lebensräume im
Gletschervorfeld des Rotmoosgletschers
bis vor Kurzem noch weitgehend unbe-
kannt (Gesierich und Rott 2004, Tab.
A1 im Anhang). Neuere Untersuchun-
gen erfolgten bisher in den Jahren 2001
bis 2003 innerhalb eines umfassenden
Pilotprojekts „ALP-2000 Biodiversity of
an Alpine Catchment: an integrated ap-
proach to assess microbial, botanical and
faunistic diversity of terrestrial and aqua-

tic habitats of the Rotmoos Valley, Tirol
2001-2003 (Psenner et al 2003). Wesent-
liche Zielsetzungen waren die Entwick-
lung geeigneter, reproduzierbarer Metho-
den und Protokolle (Sonntag 2002), um
möglichst alle Arten zu erfassen, ohne da-
bei besonders hohe Ansprüche an die Er-
hebung quantitativer Maßzahlen und der
Quantifizierung der Steuerungsmecha-
nismen und deren Regulation zu haben.
Bei dieser Vorgangsweise wurde besonde-
rer Wert auf die taxonomische Expertise
und Ausarbeitung von Ansätzen für die
Vernetzung der Untersuchungen aqua-
tischer und terrestrischer Lebensräume
gelegt. Die erzielten Artenlisten wurden
im Rahmen einer Dissertation veröffent-
licht (Gesierich und Rott 2004), wobei
auch die Algengemeinschaften, funktio-
nale Artengruppen und deren Standorts-
faktoren diskutiert wurden. Innerhalb der
Methodenentwicklung war bei den aqua-
tischen Expertisen eine möglichst hohe
Vergleichbarkeit der Besammelungsstra-
tegien, der Zeitpunkte und der Mikro-
habitate 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 mo-

ränengefüllte Täler durch das vielfältige Ein- und Ausströmen von Grundwasserströmen und das Vorhandensein von Gletschenseen, 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 und



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)

Rott 2004). Diese spezifische Situation erlaubte es Diversitätsgradienten auf kleinstem Raum zu ermitteln, die in ähnlicher Weise über einen weiteren Abschnitt des Längsverlaufs 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 unterschiedliche 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 Algntaxa 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 (Bernina)

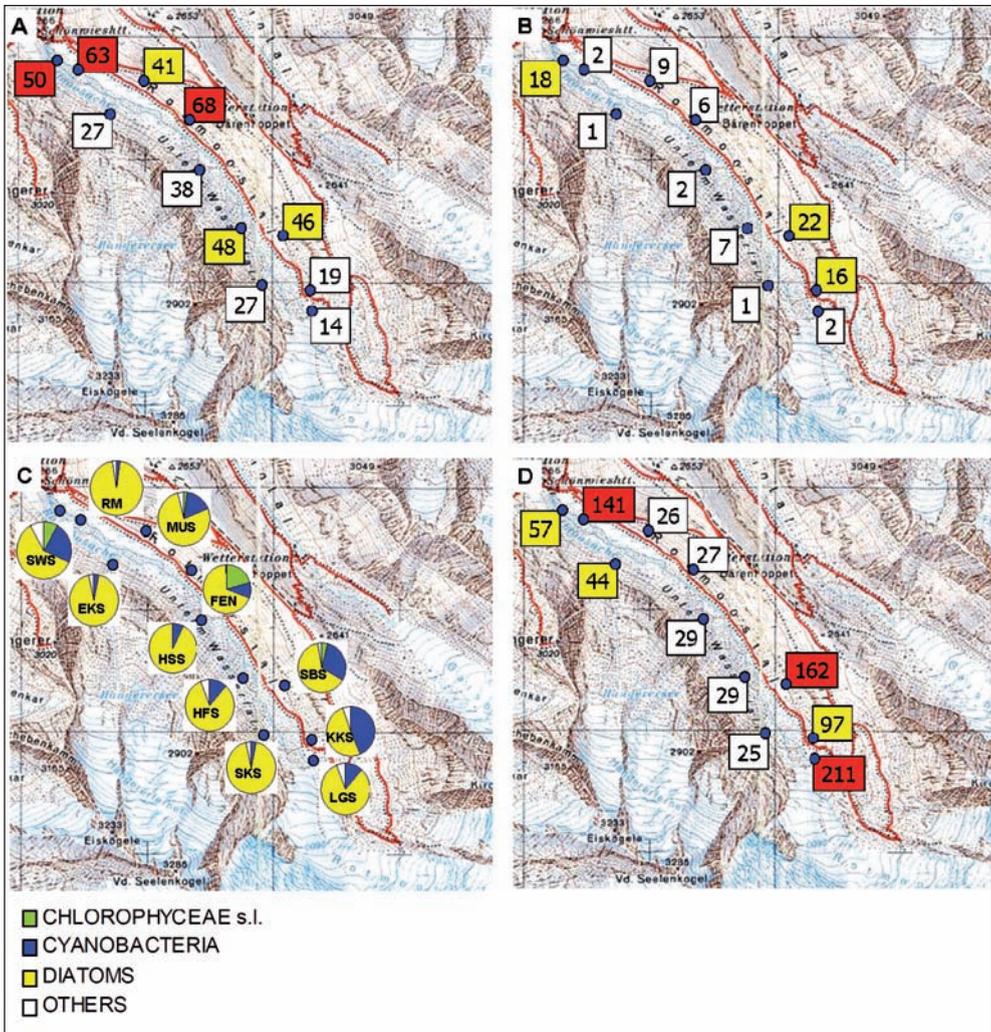


Abb. 3:

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)

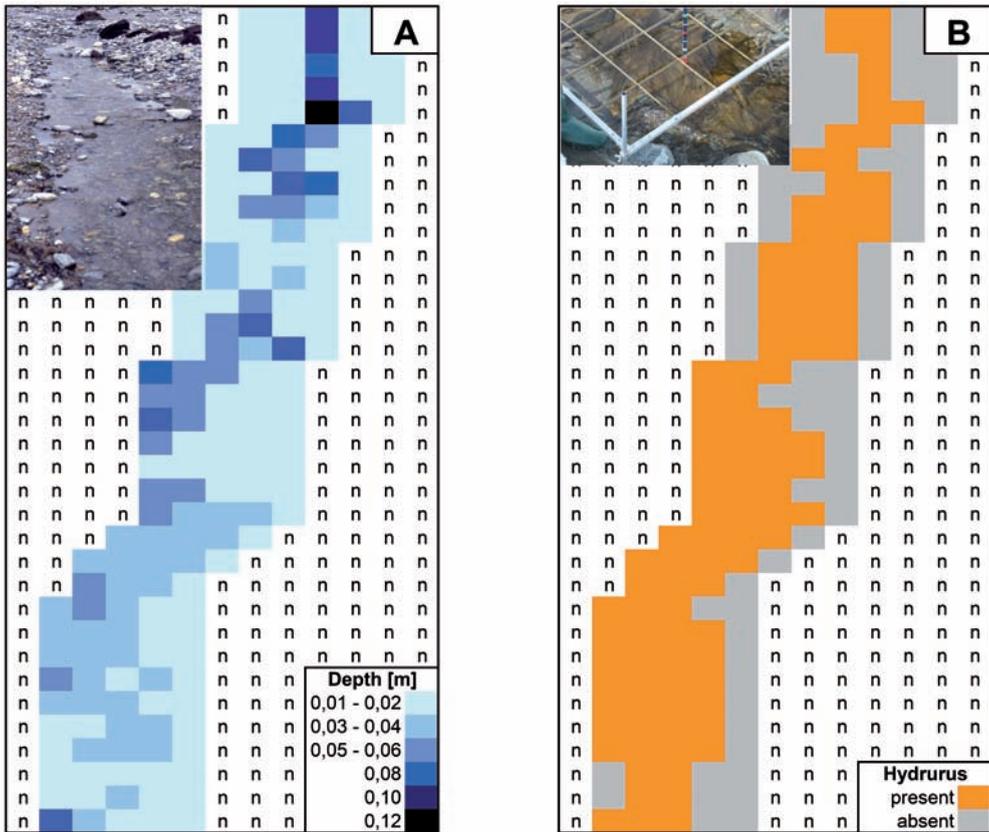


Abb. 4:
Verteilungsmuster der Wassertiefe (A) und der makroskopisch sichtbaren Algenwatten von *Hydrurus foetidus* (B) in einem Seitenarm der Rotmoosache, 14. April 2002.

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. N₂-Fixierer) auswirken wird. Es ist möglich, dass vor allem N₂-fixierende Taxa (fädige Cyanobakterien wie *Tolythrix* und *Scytonematopsis*, vgl. Rott und 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., Burgherr, P. & Uehlinger, U. (2003) Aquatic flora. In: Ecology of a glacial floodplain, Ward J.V. & Uehlinger U. (eds) Kluwer Academic Press, 139-151.
- Ettl, 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. & Rott, E. (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., 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.
- 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