

Gernot BRETSCHKO als Pionier, und aktuelle Bedeutung der Gletscherbachforschung

Leopold FÜREDER

Gernot BRETSCHKO konnte wichtige Schlüsselfaktoren für die faunistischen Gegebenheiten in Gletscherbächen aufdecken und leistete damit wertvolle Pionierarbeiten zum Verständnis der ökologischen Zusammenhänge in hochalpinen Gewässersystemen. Im Zuge der weiteren intensiven wissenschaftlichen Bearbeitung von Gletschergewässern auf europäischem Niveau konnten auf Basis BRETSCHKOS empirischer Befunde und konzeptioneller Ansätze die wesentlichen Systemeigenschaften hinsichtlich ihrer Wirkung auf die strukturellen und funktionellen Komponenten aufgedeckt werden. Als besonders wertvoll erweisen sich in neuerer Zeit limnische Systeme im Hochgebirge als Modelle, die aufgrund ihrer vergleichsweise einfachen Struktur auf Änderungen rascher reagieren und daher ermöglichen, Auswirkungen des globalen Klimawandels besser zu prognostizieren.

FÜREDER L., 2008: Gernot BRETSCHKO as a pioneer, and the current meaning of glacial stream research.

Gernot BRETSCHKO discovered key factors responsible for the faunistic composition in glacier brooks, thereby contributing valuable pioneer work towards a better understanding of the ecology of high alpine freshwater systems in general. Based on BRETSCHKO's empirical findings and theoretical concepts, the subsequent intensive scientific exploration of glacier waters on an European level revealed fundamental systemic attributes with respect to their effects on structural and functional components. Recently, high mountain freshwater ecosystems have turned out to be especially useful as indicators of climate change because they react more sensitively to disturbances due to their relative simple structure and to the high adaptability of their biota.

Keywords: Gernot BRETSCHKO, glacier brooks, high mountain freshwater ecosystems, climate change.

Einleitung

Angesichts der großen Variabilität und Vielfalt von Gewässerlebensräumen in höher gelegenen Regionen gab es eigentlich bis vor kurzer Zeit vergleichsweise wenige ökologische Daten aus diesen Gebieten. Die ersten Arbeiten über Hochgebirgsgewässer wurden bereits in den Achtziger-Jahren des 19. Jahrhunderts durchgeführt. Diese Pioniere der Hochgebirgslimnologie mussten besonders ehrgeizige Biologen und gute Alpinisten sein, um in den hochgelegenen und entlegenen Gewässern mit oft großem körperlichem Einsatz und primitiver Ausrüstung und Geräten ihre Untersuchungen durchzuführen.

Die ersten umfassenden Ergebnisse schweizer und französischer Limnologen finden sich bei ZSCHOKKE (1900) in der „Tierwelt der Hochgebirgsseen“. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts konzentrierten sich die Arbeiten auf die biologischen Eigenschaften der Hochgebirgsseen, mit einer Beschreibung der phyto- und zooplanktischen Organismen (z. B. ZSCHOKKE 1908, PESTA 1929). In Österreich begannen derartige Untersuchungen ebenfalls zu dieser Zeit, wobei besonders PESTA (1929) mit der Monographie „Der Hochgebirgssee der Alpen“ durch seine umfassende Darstellung dieser Ökosysteme zu erwähnen ist. Darauf folgten zahlreiche Untersuchungen, die jedoch wegen der begrenzten Erreichbarkeit und der Beschränkung auf leicht transportable Geräte in gewisser Weise als „limitiert“ angesehen werden müssen – begrenzt in Zeit und Umfang. Dennoch entstanden wichtige Arbeiten von berühmten Limnologen wie I. FINDENEGG, O. PESTA, O. STEINBÖCK und F. TURNOWSKY, die damit diesen Zweig der Wissenschaft begründeten.



Abb. 1: Gernot BRETSCHKO in den Tiroler Alpen (oben) und als junger Wissenschaftler im Jahre 1963 (unten). Fotos wurden dankenswerterweise von Roland PECHLANER zur Verfügung gestellt.
– Fig. 1: Gernot BRETSCHKO in the Tyrolian Alps (above) and as a young scientist in 1963 (below). Photos were kindly provided by Roland PECHLANER.

Erst die Errichtung eines limnologischen Feldlabors durch O. STEINBÖCK im Jahre 1959 ermöglichte den Übergang von oft qualitativen zu quantitativen limnologischen Untersuchungen. Vor der Überstauung der beiden Finstertaler Seen im Jahre 1979 wurden in der Limnologischen Station Kühtai grundlegende Arbeiten über die Umweltbedingungen in alpinen Seen durchgeführt, die einen wichtigen Beitrag für das Verstehen von kausalen Zusammenhängen in den Hochgebirgsökosystemen lieferten (PECHLANER et al. 1973).

Gernot BRETSCHKO (Abb. 1), der langjährige Leiter der Biologischen Station Lunz, war als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Österreichischen Akademie der Wissenschaften für das „Internationale Biologische Programm“ (IBP) an den Finstertaler Seen und das „Mensch und Biosphärenprogramm“ (MAB) am Gossenköllesee von 1967 bis 1977 verantwortlich. Er widmete sich neben der wissenschaftlichen Konzeption und Koordination dieser Programme vor allem dem Studium des Zoobenthos der Hochgebirgsseen. Wie BRETSCHKO (1995) in einem Aufsatz zur Würdigung Prof. Roland PECHLANER'S zu dessen 60stem Geburtstag schrieb, war es vor allem die Einfachheit dieser Systeme, die es einem erleichtern, ökologische Abhängigkeiten und Zusammenhänge zu verstehen.

Dies war vielleicht auch der Grund für BRETSCHKOS frühes Interesse für Gletscherbäche, das in den 1960iger Jahren zu zwei grundlegenden Arbeiten über die Ökologie dieser extremen Lebensräume führte (BRETSCHKO 1966, 1969). Diese Arbeiten fanden einerseits große Beachtung bei den damaligen Fachkollegen und erbrachten andererseits auch Ergebnisse, deren Gültigkeit erst viel später aufs Neue bestätigt wurde. Zu erwähnen sind hier die ganz typische Phosphatführung der Gletscherbäche (BRETSCHKO 1966), die charakteristische Faunenabfolge und das von BRETSCHKO (1969) andeutungsweise erwähnte typische saisonale Muster der tierischen Organismen der alpinen Gletscherbäche. Diese Aspekte konnten wir durch unsere Untersuchungen in Hochgebirgsbächen ab 1996 in den österreichischen Alpen im Raum Obergurgl und im Nationalpark Hohe Tauern verdeutlichen. Hier sind unsere Ergebnisse zusammengefasst, aber auch in besonderem Maße hinsichtlich der Aussagen Gernot BRETSCHKOS dargestellt. An dieser Stelle sei auch erwähnt, dass nicht zuletzt die oft gesellig-heiteren Diskussionen mit ihm zum Verständnis dieser Systeme beigetragen haben.

Typen alpiner Fließgewässer und ihre räumliche und zeitliche Dimension

Fließgewässer sind 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 (FÜREDER 2007a). 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, Kunstschneeherzeugung) und globaler Ebene (z. B. Klimawandel, saurer Regen) gestiegen. Mehrfach wurde gezeigt, dass die Veränderungen besonders die unberührten Landschaften in hohen Lagen und geografischen Breiten treffen, Ökosysteme, die besonders empfindlich auf organische Verschmutzung, Tourismus, sauren Regen und Klimaveränderungen reagieren.

Schon lange ist bekannt, dass Fließgewässer keine einheitlichen Lebensräume von ihrer Quelle bis zur Mündung darstellen, sondern dass die maßgeblichen Umweltfaktoren und die Zusammensetzung der vorkommenden Lebensgemeinschaften sich im Längsverlauf ändern (z. B. VANNOTE et al. 1980). Klima (sowohl regionales Klima als auch lokale Witterungsverhältnisse), Häufigkeit, Menge und Saisonalität des Niederschlags, Geologie und Pflanzendecke des Einzugsgebiets und Ufervegetation beeinflussen Hydrologie, Temperaturverhältnisse, Substratzusammensetzung, Bachmorphologie und Wasserchemie als die Systemeigenschaften von Fließgewässern. In alpinen Gebieten jedoch bestimmt der Ursprung des Gewässers und der größeren Zuflüsse die Fließgewässercharakteristik entscheidend. Man kann daher entsprechend der Herkunft des Wassers (Grundwasser, Regen, Schnee, Gletscher) und des Gletschereinflusses vier grundsätzliche Typen alpiner Fließgewässer unterscheiden (detailliert dargestellt in FÜREDER 1999): Gletscherbach („Kryal“), Quellbach („Krenal“), regen- bzw. schneebeeinflusster Bach („Rhithral“), und Bachabschnitte, wo der Gletschereinfluss noch entscheidend die Lebensbedingungen prägt („Glacio-Rhithral“). Oft bilden alpine Fließgewässerlandschaften ein komplexes Netzwerk von gletscher- und grundwasserbeeinflussten Bachläufen (Kryal-, Krenal-, Rhithral- und Glacio-Rhithral-Abschnitte), das sich in seiner Zusammensetzung besonders in Bezug auf den Einfluss der einzelnen Komponenten sowohl im Längsverlauf als auch im Jahresverlauf stark ändern kann.

Abiotische Faktoren und Gewässerfauna

Bereits BRETSCHKO (1966, 1969) gab an, dass Abflussdynamik, Temperatur, Chemismus und Trübstoffführung als jene abiotischen Schlüsselfaktoren gelten, die einen Gletscherbach und einen gletscherbeeinflussten Bach prägen und am deutlichsten von übrigen Gebirgsbächen der alpinen und subalpinen Region abgrenzen lassen und daher als die gewässertypspezifischen Umweltfaktoren anzusehen sind. In seiner Untersuchung

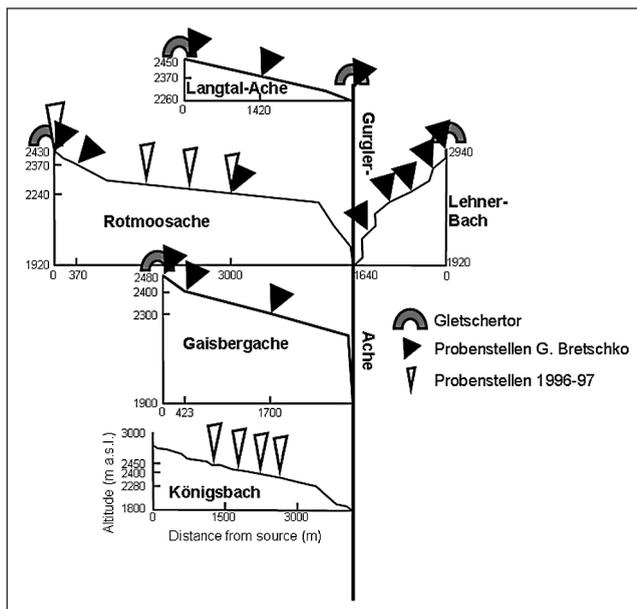


Abb. 2: Probenstellen an Hochgebirgsbächen aus BRETSCHKO (1969) und FÜREDER et al. (2001). - Fig. 2: Sampling plots at high mountain brooks; from BRETSCHKO (1969) and FÜREDER et al. (2001).

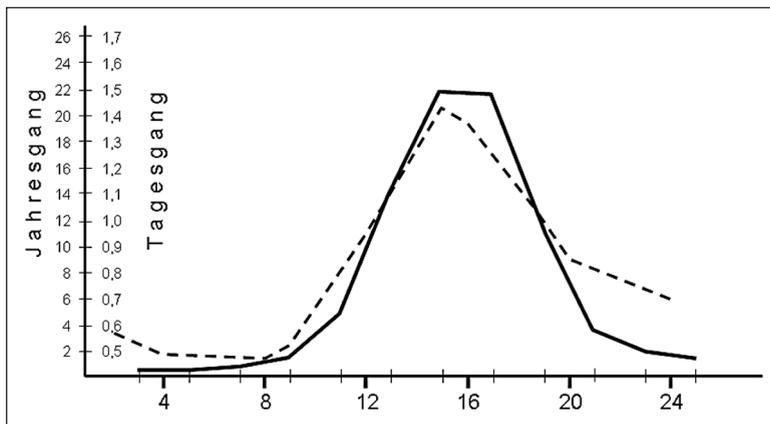
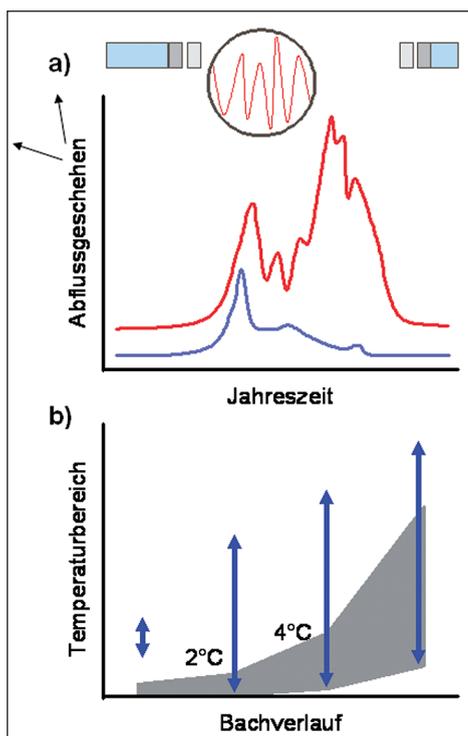


Abb. 3: Pegelkurven (aus BRETSCHKO 1969, verändert). Jahresgang (dicke Kurve): Mittel 1947 bis 1963, Venter Ache, Pegel Vent. Studienges. Westtirol G.m.b.H. Innsbruck. Tagesgang (strichlierte Kurve): Mittel 28.8. bis 6.9. 1955, Rotmoosache, Pegel Rotmoos (HOINKES und RUDOLPH, 1960). X-Achse: Zahlen und dicke Striche geben Tageszeit an, dünne Striche Monate I bis XII). – Fig. 3: Gauge curves (from BRETSCHKO 1969, modified). Yearly course (bold line): mean 1947 until 1963, Vent brook, Gauge Vent. „Studienges. Westtirol G.m.b.H.“ Innsbruck. Daily course (broken line): Mean august 28 until september 6, 1955, Rotmoos brook, Gauge Rotmoos (HOINKES & RUDOLPH, 1960). X-axis: numbers and bold lines indicate time of day, thin lines indicate months I to XII).



über die Biologie von Gletscherabflüssen (Abb. 2 zeigt die von Gernot BRETSCHKO untersuchten Bäche sowie jene Probenstellen im Ötztal, die wir etwa 30 Jahre später über 2 Jahre untersucht haben) wies er nach, dass das charakteristische Abflussverhalten, mit maximaler Wasserführung im Sommer und Abflussspitzen am Nachmittag (Abb. 3), sowie der Temperaturverlauf im Gletscherbach zu den charakteristischen Besonderheiten des Gletscherbaches gehören. Ein oft in Quellbächen ausgeprägter Temperaturanstieg im Sommer wird im Gletscherbach

Abb. 4: Hypothetische Abflussganglinien (rot Gletscherbach, blau Quellbach) und Verlauf der Temperaturgradienten entlang von Hochgebirgsbächen (grau Gletscherbach, blau Quellbach) (aus FÜREDER 1999, verändert). – Fig.4: Hypothetical discharge curves (red glacier brook, blue groundwater fed brook) and course of temperature gradients along high mountain brooks (grey glacier brook, blue groundwater fed brook) (from FÜREDER 1999, modified).

durch die Ablation des Gletschers nur eingeschränkt ermöglicht oder verhindert (die Wasserganglinien der Rotmoosache und im Königsbach sowie der hypothetische Verlauf der minimalen und maximalen Wassertemperatur entlang eines Gletscherbaches und eines Quellbaches sind in Abb. 4 dargestellt).

In einer über zwei Jahre erfolgten Dokumentation der hydrologischen und physikalisch-chemischen Umweltfaktoren des Gletscherbaches Rotmoosache und des gletscherunbeeinflussten Königsbaches im hinteren Ötztal (Tirol) und deren Einfluss auf die Gewässerzönose konnten wesentliche gewässertypspezifische Unterschiede festgestellt werden (FÜREDER et al. 2001). Die meisten physikalisch-chemischen Parameter, z. B. Konzentrationen wichtiger Anionen und Kationen, gelöster Kohlenstoff und Trübstoffe, zeigten dabei einen signifikanten Unterschied und demonstrierten vor allem im Gletscherbach

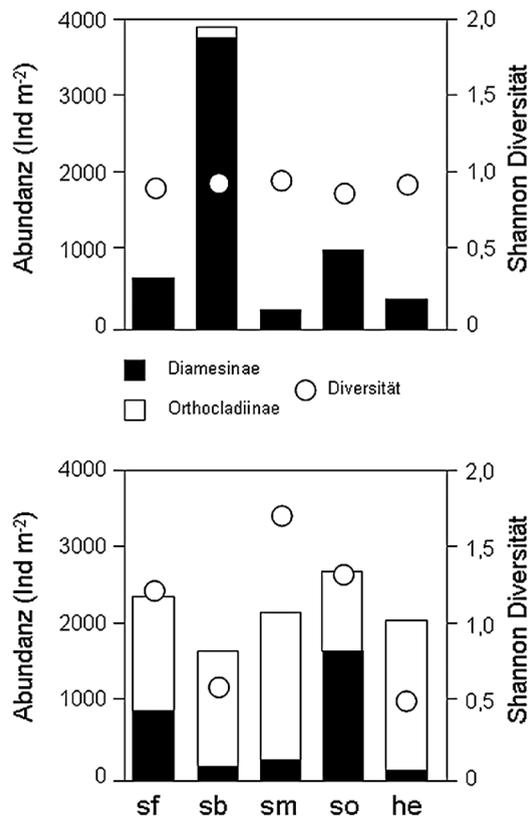


Abb. 5: Saisonale Muster der Chironomidenfauna in der Rotmoosache (oben) und im Königsbach (unten) nach monatlicher Probennahme. Dunkle Säulen zeigen die Individuendichten der Diamesinae, helle Säulen jene der Orthocladiinae, Kreise zeigen die Chironomiden-Diversität; sf schneefreier Zeitraum, sb schneebedeckter Zeitraum, sm Periode der Schneeschmelze (Frühjahr), so Sommer, he Herbst. – Fig. 5: Seasonal pattern of Chironomid fauna in the Rotmoos brook (above), and in the „Königsbach“ (below) according to monthly sampling. Dark colums show the individual density of Diamesinae, with colums the density of Orthocladiinae, circles show the Chironomid diversity; sf snow-free period, sb snow-covered period, sm snow melting period (spring), so sommer, he autumn.

den saisonalen Wechsel der dominierenden Wasserherkunft (Grundwasser, Gletscher, Schneeschmelze).

Deutliche Unterschiede in den Gebirgsbachzöosen (Artenzahl, Individuendichten, Zeigerarten) der untersuchten Bäche unterstreichen die speziellen gewässertypspezifischen Gegebenheiten und die auf faunistischen Erhebungen basierende Unterscheidung der alpinen Gewässertypen (FÜREDER et al. 2001). Die Dipterenfamilie Chironomidae, die durch ihr Anpassungspotenzial an eine Reihe extremer Lebensräume, darunter auch an jene mit extremen Temperaturen bis sogar unter den Gefrierpunkt (beeindruckende Beispiele finden sich in FÜREDER 1999), ausgezeichnet ist, dominiert die alpine Gebirgsbachfauna. Dies wird besonders durch die hohen Individuendichten und Artenzahlen der Chironomidae-Unterfamilien Orthocladiinae (dominieren in Quellbächen) und Diamesinae (dominieren in Gletscherbächen) ausgedrückt. Es ist auch ein ausgeprägtes saisonales Muster zu erkennen. Auffallend dabei ist die hohe Abundanz der Chironomiden im Winter (Abb. 5).

Wie auch BRETSCHKO (1969) zeigte, werden mit zunehmendem Abstand vom Gletscher die saisonalen und täglichen Schwankungen durch den steigenden Einfluss von Zubringern je nach Typ des zufließenden Gewässers entweder verstärkt (bei einmündenden Gletscherbächen) oder geglättet (bei vermehrtem Grundwasser- oder Quellbachzufluss). Dabei können deutliche räumliche und zeitliche Heterogenitäten innerhalb relativ kurzer Gewässerstrecken auftreten, wodurch dann kleinräumig ein komplexes System unterschiedlicher Gewässertypen entstehen kann (z. B. WARD et al. 1999, MALARD et al. 2000).

Basierend auf mehreren Untersuchungen in einer Reihe von Gletscherbachsystemen (BRITAIN & MILNER 2001) gelten als Schlüsselfaktoren für die Entwicklungsmöglichkeit der Gewässerzönose an einer bestimmten Stelle im Längsverlauf eines Gletscherbaches vor allem der Zeitraum seit der letzten Vergletscherung, die Wassertemperatur, die Stabilität und die Nährstoffverfügbarkeit. Diese für Struktur und Funktion der Bachzöosen maßgeblichen Faktoren erlangen heute in der Diskussion globaler Klimaveränderungen besondere Bedeutung.

Aktuelle Bedeutung: Klimawandel und Gletscherbäche

Bis heute zeigen besonders die Gebirgslandschaften die zeitlichen und räumlichen Heterogenitäten von Klima, Hydrologie und Geomorphologie. 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 ist, wurden viele Gletscherflüsse von Flüssen abgelöst, die heute in ihrem Abflussverhalten übers Jahr von Schneeschmelze, vor allem aber von Niederschlägen beeinflusst sind. Daraus ist zu schließen, dass der Anteil der gletschergeprägten Fließgewässer über die letzten Jahrtausende stark abgenommen hat.

Dieser Tatbestand sowie auch jüngere Beobachtungen verdeutlichen: der Klimawandel ist eine ständige Realität. Seit dem letzten Hochstand der Vergletscherung um 1850 konnte ein kontinuierlicher Rückgang der Gletscher in vielen Teilen der Erde beobachtet werden. Beispiele aus den europäischen Alpen illustrieren, dass besonders die letzten 150 Jahre durch einen dramatischen Rückzug der Talgletscher charakterisiert sind.

Moderne Klimamodelle prognostizieren eine Reihe von Veränderungen, die deutliche Auswirkungen auf den Wasserkreislauf und damit auf Fließgewässer haben werden. So ist durch die zeitliche Verschiebung der Niederschlagshäufigkeit und –mengen, vermehrte Starkniederschläge, weniger Niederschläge in Form von Schnee, Anstieg der Schneegrenze, Abschmelzen eines Großteils der Gletscher und die Veränderung des Abflussregimes ein deutlicher Einfluss auf die Fließgewässerökosysteme zu erwarten.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die alpinen Fließgewässerökosysteme sind vielerorts als äußerst komplex diskutiert worden (z. B. MCGREGOR et al. 1995), Untersuchungen dazu gibt es jedoch kaum. Von eigenen Untersuchungen im Gebiet von Obergurgl (Ötztal, Tirol) lassen sich jedoch 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. 6). 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 der Temperaturhaushalt sowie die Menge und chemische Zusammensetzung des Wassers auf den Gewässertyp auswirken. Die durch extreme Umweltfaktoren charakterisierten Kryal- und Glazio-Rhithralabschnitte werden allmählich in Krenal- oder Rhithralabschnitte übergehen. Bei Abnahme der Extremfaktoren positionieren sich die Gewässerabschnitte in günstigeren Lagen, d. h. sie bewegen sich zum Optimum der Kurve.

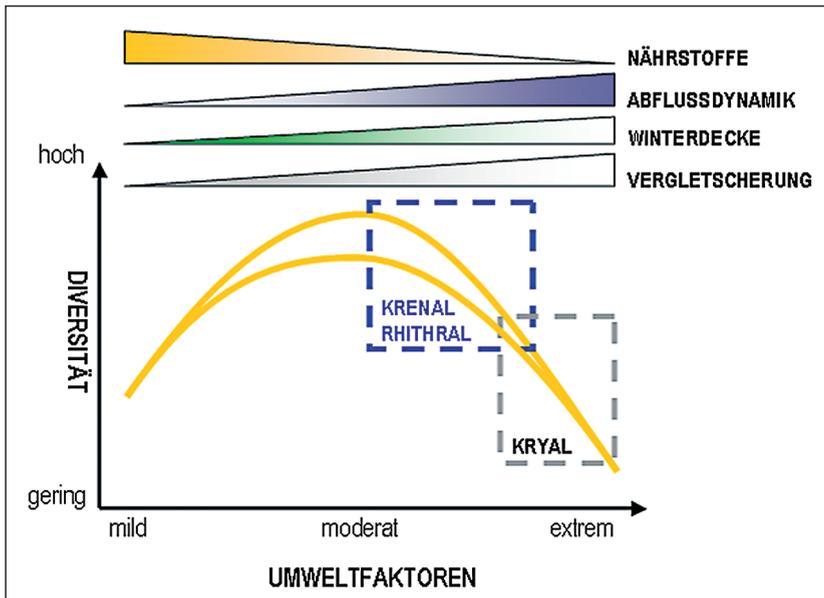


Abb. 6: Szenario der Auswirkung des Klimawandels auf Umweltfaktoren und damit Struktur und Funktion der Lebensgemeinschaften (hier als Diversität ausgedrückt) von Gletscherbächen. – Fig. 6: Scenario of the effect of climate change on environmental factors and as consequence on the structure and function of biocoenoses (expressed as diversity) in glacier brooks.

Die Extremstandorte verschwinden, und die Lebensbedingungen in alpinen Fließgewässern werden ähnlicher. Die durch wenige, aber hochspezialisierte Arten gekennzeichnete Gletscherbachzönose wird durch eine Lebensgemeinschaft abgelöst, die durch mehrere (viele) Arten charakterisiert ist, die hinsichtlich Temperatur und Nahrungsanspruch weniger oder kaum spezialisiert sind und einen größeren Toleranzbereich aufweisen. Spezielle Indikatorarten oder glaziale Arten werden sukzessive verschwinden.

Abgesehen von den Veränderungen auf ökosystemarem 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, euryöken Besiedlern verdrängt werden, ist ein verändertes Abflussgeschehen mit häufigen Hochwasserereignissen ein viel auffälligeres Zeugnis von Klimaveränderungen. Zusammen mit veränderter Niederschlagsaktivität destabilisieren sie möglicherweise alpine Vegetation und Waldgesellschaften und könnten dadurch Fließgewässer und Flusslandschaften innerhalb aber auch außerhalb der Alpen in mannigfacher Weise direkt oder indirekt beeinträchtigen.

Schlussbemerkung

Gernot BRETSCHKO hat in seinen Arbeiten im Hochgebirge bereits begonnen, die Schlüsselfaktoren für die faunistischen Gegebenheiten in Gletschergewässern herauszuarbeiten. Diese sind daher zu den grundlegenden Arbeiten zu zählen, die sich mit der Fauna von Gletscherbächen beschäftigten. Er definierte den Gletscherbach aufgrund seiner vorliegenden Ergebnisse als Gewässertyp „Krenon“. Dies ist aus heutiger Sicht zwar überholt (siehe z. B. FÜREDER 1999), dennoch nennt er die ganz charakteristischen Umweltbedingungen und faunistischen Gegebenheiten. Diese sind: „1) Die Faunenzusammensetzung ... 2) Das Einwandern zahlreicher Formen der Quellfauna in den Gletscherbach zu Zeiten günstiger Bedingungen (Winterhalbjahr). 3) Der allmähliche Übergang eines Gletscherbaches in einen normalen Hochgebirgsbach, sobald die gletscherbedingten Beeinflussungen auf das Gewässer gemildert werden. 4) Die weit unter 10°C betragende jährliche Temperaturamplitude.“ Mit dieser Charakterisierung nahm er zahlreiche Ergebnisse nachfolgender Untersuchungen vorweg.

Die heutige intensivere Beschäftigung mit Gletscherabflüssen auf europäischem Niveau (z. B. Freshwater Biology – Sonderband: BRITAIN & MILNER 2001, BROWN et al. 2003) sowie das Vorliegen von zahlreichen neueren Untersuchungen (FÜREDER et al. 2003, FÜREDER et al. 2005, FÜREDER 2007) erlauben es nun, die wesentlichen Systemeigenschaften hinsichtlich ihrer Wirkung auf die strukturellen und funktionellen Komponenten zu analysieren. Als nächster Schritt kann die prognostizierte Änderung der Umwelt- und Klimafaktoren an den Ökosystemen und deren Lebensgemeinschaften in Modellen getestet werden. Das komplexe Mosaik von Funktion und Diversität gilt es besonders in Bezug auf Störungen und deren Änderungen als die treibende Kraft in alpinen Fließgewässern zu verstehen. Dies kann – im Sinne von Gernot BRETSCHKO – am besten im Hochgebirge vorangetrieben werden, wo die Einfachheit dieser Systeme es uns erleichtern, ökologische Abhängigkeiten und Zusammenhänge zu verstehen.

Literatur

- BRETSCHKO G., 1966: Untersuchungen zur Phosphatführung zentralalpiner Gletscherabflüsse. Arch. Hydrobiol. 62, 327–331.
- BRETSCHKO G., 1968: Zur Hydrobiologie zentralalpiner Gletscherabflüsse. Verh. Dt. Zool. Ges. Innsbruck 1968, 741–750.
- BRETSCHKO G., 1975: Annual benthic biomass distribution in a high-mountain lake (Vorderer Finstertaler See, Tyrol, Austria). Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie 19, 1279–1285.
- BRETSCHKO G., 1995: Opportunities for high alpine research, the lake „Vorderer Finstertaler See“ as an example (Kühtai, Tirol, 2237 m a.s.l.). Limnologia 25, 105–108.
- BROWN L. E., HANNAH D. M., & MILNER A. M., 2003: Alpine stream habitat classification: An alternative approach incorporating the role of dynamic water source contributions. Arctic, Antarctic and Alpine Research 35, 313–322.
- BRITAIN J. E. & MILNER A. E., 2001: Glacier-fed rivers – unique lotic ecosystems. Freshwater Biology, Special Issue 46, 1571–1854.
- FÜREDER L., 1999: High Alpine Streams: Cold Habitat for Insect Larvae. In: MARGESIN, R. & F. SCHINNER (Hrsg.): Cold Adapted Organisms. Ecology, Physiology, Enzymology and Molecular Biology, p. 181–196. Springer Verlag, Berlin.
- FÜREDER L., SCHÜTZ C., WALLINGER M. & BURGER R., 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., & MORITZ, C., 2002: Reference conditions of alpine streams: Physical habitat and ecology. Water, Air, and Soil Pollution: Focus, 2, 275–294.
- FÜREDER L., WELTER C., JACKSON J. K., 2003: 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., 2005: Longitudinal and seasonal pattern of insect emergence in alpine streams. Aquatic Ecology 39, 67–78.
- FÜREDER L., 2007a: Gewässer. Wissenschaftliche Schriften, Nationalpark Hohe Tauern, Matrei, 1–248.
- FÜREDER L., 2007b: Life at the edge: habitat condition and bottom fauna of Alpine running waters. International Review of Hydrobiology 92, 492–513.
- KÖRNER C., 1995: Alpine plant diversity: A global survey and functional interpretation. In: CHAPIN F. S. & KÖRNER C. (eds.): Arctic and Alpine Biodiversity: Pattern, Causes and Ecosystem Consequences, p. 45–62. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg.
- MALARD F., TÖCKNER K. & WARD J. V., 1999: Shifting dominance of subcatchment water sources and flow paths in a glacial floodplain, Val Roseg, Switzerland. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 31, 135–150.
- PECHLANER, R., BRETSCHKO G., GOLLMANN P., PFEIFER H., TILZER M. & WEISSENBACH H. P., 1973: Ein Hochgebirgssee als Objekt der Ökosystemforschung. A. Das Ökosystem Vorderer Finstertaler See. In: ELLENBERG, H. (Hrsg.): Ökosystemforschung, p. 33–49. Springer Verlag, Berlin.
- PESTA O., 1929: Der Hochgebirgssee der Alpen. Die Binnengewässer 8, 1–156. Stuttgart.
- VANNOTE R. L., MINSHALL G. W., CUMMINS K. W., SEDELL J. R. & CUSHING C. E., 1980: The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 37, 130–137.
- WARD J. V., MALARD F., TÖCKNER K. & UEHLINGER U., 1999: Influence of ground water on surface water conditions in a glacial flood plain of the Swiss Alps. Hydrological Processes 13, 277–293.

ZSCHOKKE F., 1900: Die Tierwelt der Hochgebirgsseen. Neue Denkschriften der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft, 1–400.

ZSCHOKKE F., 1908: Die Resultate der zoologischen Erforschung hochalpiner Wasserbecken seit dem Jahre 1900. Internationale Review der Gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, 1–235. Werner Klinkhardt Verlag, Leipzig.

Anschrift:

Univ.-Prof. Dr. Leopold FÜREDER, Fließgewässerökologie und Biodiversität, Institut für Ökologie, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Technikerstr. 25, A-6020 Innsbruck. E-Mail: leopold.fuereder@uibk.ac.at.