

Das RITRODAT-LUNZ Konzept der Biologischen Station Lunz 1977–2003: Struktur und funktionelle Zusammenhänge im Ökosystem Bach

Maria LEICHTFRIED & Franz H. WAGNER

Das RITRODAT war 25 Jahre lang Schwerpunkt der Forschung der Biologischen Station Lunz. Sein Urheber, Gernot BRETSCHKO, veranschlagte das Ende dieser Ökosystemstudie mit Juli 2003, seiner geplanten Pensionierung. Leider erlebte der Leiter der Biologischen Station Lunz dieses Datum nicht mehr, er verstarb im März 2002 und hinterließ nicht nur eine menschliche, sondern auch eine große wissenschaftliche Lücke. Seinem Vorhaben, ein Buch über die RITRODAT-Zeit in Lunz zu schreiben, das er sich für seinen Ruhestand vorgenommen hatte, konnte er leider nicht mehr nachkommen. Das RITRODAT ist eine Ökosystemstudie mit dem Ziel, strukturelle und funktionelle Zusammenhänge im Ökosystem Fließgewässer zu erkennen und zu beschreiben. Dabei konzentrierte sich dieses Konzept auf einen 100 Meter langen Abschnitt eines Gebirgsbaches, des Oberen Seebaches, der der größte Zufluss des Lunzer Untersees ist. Es wurde versucht, diesen so vollständig wie möglich zu durchleuchten. Als Grundlage dafür dienen Langzeitdatenreihen – wichtige Kennwerte des Ökosystems, die kontinuierlich erfasst wurden. Darauf aufbauend beschäftigten sich diverse Einzelstudien, die Subprojekte, mit den verschiedenen Aspekten des Ökosystems. Das Hauptinteresse fokussierte dabei auf die abiotische Kompartimentierung, mit den zentralen Bestandteilen Oberflächenwasser – Sedimentoberfläche – Bettsedimente und deren Vernetzung, sowie auf den Energiefluss im System und die Biozönose als dessen Ergebnis. Die Synthese der Arbeiten am RITRODAT sind allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten, Grundprinzipien für das Funktionieren der ökologischen Abläufe und Zusammenhänge im Fließgewässer.

LEICHTFRIED M. & WAGNER F. H., 2008: The RITRODAT-LUNZ concept of the biological station Lunz 1977–2003: Structure and functional connections in stream ecosystems.

The research at the Biological Station Lunz focused on the concept RITRODAT-LUNZ for 25 years (1978–2003). Gernot BRETSCHKO, the originator and initiator of RITRODAT-LUNZ, planned it to encompass the period up to July 2003, his retirement date. Unfortunately, he was unable to experience this occasion due to his death in March 2002. He left a huge gap as a best friend and excellent scientist. We are very saddened that his intention to write a book after his retirement about the RITRODAT-LUNZ phase could not be realized.

RITRODAT-LUNZ is an ecosystem concept aiming to acknowledge and describe structural and functional relations in a running water ecosystem. For the RITRODAT studies, a 100 m stretch of an unpolluted and unregulated 2nd order mountain stream was chosen. Its name is “Oberer Seebach”, which is the largest tributary of the lake Lunzer Untersee. This stretch, the RITRODAT study site, was to be illuminated during these 25 years as much as possible. The basis for these investigations were long-term data – very important characteristic values for the stream ecosystem – which were collected continuously. This spawned many subprojects dealing with a range of interesting aspects in the framework of RITRODAT-LUNZ. The main interest on one hand was on abiotic compartments like bed sediments – sediment surface – surface water and their linkages, and on the other hand the energy flow in the system, yielding the biocoenosis. The synthesis results in the recognition of general principles for stream ecosystems and reveals underlying truths about the functioning of ecological processes in streams and their interdependencies.

Keywords: Gernot BRETSCHKO, mountain stream, ecosystem study, energy flow, organic matter, benthic fauna distributions, biofilms, hydrology, geomorphology, nutrients, bed sediments.

Einleitung

Die Biologische Station Lunz wurde 1906 von der vermögenden Familie KUPELWIESER gestiftet (Abb. 1). Sie wurde als Treffpunkt der damaligen naturwissenschaftlichen Elite und Platz für jegliche naturwissenschaftliche Forschung angedacht, was sie sicherlich auch geworden ist (siehe Gästebuch 1 der BSL).

Wissenschaftlicher Schwerpunkt der ersten 70 Jahre war das Studium der Seen in deren Struktur und funktionellen Zusammenhängen – die Limnologie der Seen. Die Biologische Station Lunz ist eine der Wiegen dieser damals neuen interdisziplinären und ökologischen Wissenschaft geworden. Wesentlich beigetragen dazu hat Franz RUTTNER, der an der Prager Universität studierte. Schon in den Anfängen der Biologischen Station kam er nach Lunz und war deren Leiter zwischen 1924 und 1957 (Abb. 2). Er schrieb das sehr anerkannte, später auch ins Englische übersetzte und einige male aufgelegte Lehrbuch „Grundriß der Limnologie“.

In dieser Zeit wurden auch wesentliche methodische Entwicklungen für die Seenuntersuchung getätigt. Das bekannteste Sammelgerät aus dieser Zeit, der Ruttner-Schöpfer, wird noch heute gebaut und verwendet.

Die erste tropische limnologische Expedition auf Sunda/Java Inseln fand in den Jahren 1928–1929 statt und wurde von den zwei Pionieren der Limnologie, Franz RUTTNER (Lunz), sowie August THIENEMANN (Plön), initiiert und durchgeführt.

Im Jahre 1977 wurde der an der Universität Innsbruck tätige Grazer Gernot BRETSCHKO als neuer Leiter nach Lunz berufen (Abb. 3). Er brachte ein neues Konzept und eine neue Forschungsausrichtung für die Biologische Station in Lunz – die Fließgewässeröko-



Abb. 1: Biologische Station Lunz, 1906 als Stiftung der Familie KUPELWIESER gegründet. Ansicht 1906 und 2003. – Fig. 1: Biological Station Lunz, established in 1906 as a foundation by the KUPELWIESER family. Views in 1906 and 2003.



Abb. 2: Franz RUTTNER, Pionier der Seenlimnologie, Stationsleiter 1924–1957. – Fig. 2: Franz RUTTNER, pioneer in lake studies, director of the station from 1924–1957.

systemforschung. Sieben Jahrzehnte später als bei Seen realisierte man nun, dass auch Bäche und Flüsse eigene Ökosysteme sind. Es war an der Zeit, die Strukturen und funktionellen Zusammenhänge dieser Ökosysteme kennenzulernen und zu studieren. Gernot BRETSCHKO hatte ein Konzept und Programm für die folgenden 25 Jahre Studium von Fließgewässerökosystemen erarbeitet, das auch in Lunz verwirklicht wurde – das RITRODAT-LUNZ Konzept (BRETSCHKO 1978).

Gernot BRETSCHKO verglich *sein* RITRODAT gerne mit einem Mosaik – die Langzeitdaten bilden die Grundlage, die wissenschaftlichen Arbeiten die einzelnen Steine. Durch die Beiträge vieler Kollegen entwickelte sich innerhalb von 25 Jahren ein Bild von Struktur und Funktion im Ökosystem Fließgewässer. Natürlich wurde



Abb. 3: Gernot BRETSCHKO, Pionier der Fließgewässerlimnologie, Stationsleiter 1977–2002. – Fig. 3: Gernot BRETSCHKO, pioneer of running water ecology, director of the station from 1977–2002.

dieses Bild nicht nur in RITRODAT gezeichnet, aber dieses Konzept lieferte einen wesentlichen Beitrag zum Verständnis der Limnologie von Bächen und Flüssen. Dies zu vermitteln ist die Aufgabe des hier vorliegenden Berichtes, es sollen aber auch die Bedeutung und die Möglichkeiten dieser Forschung für die Zukunft aufgezeigt werden. Es wird versucht, die wissenschaftlichen Inhalte verständlich darzustellen, dies soll jedoch nicht über den zum Teil hohen Komplexitätsgrad der Ergebnisse hinwegtäuschen. Nicht alle Aspekte der Langzeitstudie können ausführlich dargestellt werden, sondern dieser Bericht stellt eher eine zusammenfassende Übersicht dar. Mehr Information kann dem RITRODAT-Endbericht (WAGNER & LEICHTFRIED 2003) entnommen werden.

RITRODAT-LUNZ-Konzept

„*RITRODAT*“ setzt sich zusammen aus dem Fachbegriff für die schotterdominierten Oberläufe von Fließgewässersystemen, „*Rhithron*“ (griechisch „rheithron“ = Bach) sowie „*Datenaufsammlung*“, und bezeichnet das Arbeitskonzept der Biologischen Station der letzten 25 Jahre.

Die grundlegende Idee war, anstelle von Einzelstudien aus diversen Themenkreisen an verschiedenen Fließgewässern, die gesamte Kapazität des Institutes auf einen nur hundert Meter langen Bachabschnitt zu konzentrieren. Dadurch konnten die Einzelergebnisse voneinander unabhängiger Studien miteinander in Zusammenhang gebracht werden, und dieser Teilbereich eines Baches wurde möglichst „vollständig“ erforscht. Das gewünschte Endergebnis ist ein tieferes Verständnis der *ökologischen Funktionsweise eines Fließgewässers*.

Das RITRODAT-LUNZ war daher kein „Projekt“ im modernen Verständnis mit einer komplett durchstrukturierten Planung und sichergestellten Finanzierung, sondern ein langfristiges Forschungsprogramm für die Biologische Station Lunz. Es sollte einerseits die Kontinuität und Zielrichtung der Forschung für 25 Jahre festlegen, andererseits aber auch genügend Spielraum für Modifikationen entsprechend neuer Erkenntnisse zulassen. Der Eigenname „RITRODAT-LUNZ“ wurde entwickelt, um dem Forschungskonzept eine Identität zu geben und Einzelstudien eindeutig der langfristigen Konzeption zuzuordnen zu können, ähnlich einer „*Trademark*“.

Einzugsraum
Luftraum über der Untersuchungsstrecke
Wasserkörper
Sedimentoberfläche
Bettsediment
Grundwasserraum

Abb. 4: Räumliche Aufteilung des Ökosystems Fließgewässer nach BRETSCHKO (1978). – Fig. 4: Spatial compartments of running water ecosystems according to BRETSCHKO (1978).

Um die Ökosystemstudie überschaubar zu organisieren, teilte BRETSCHKO das Ökosystem Fließgewässer in *räumliche Kompartimente* ein (Abb. 4), welche jeweils in allen Teilaspekten, wie Topographie, Hydrologie, Sedimentologie, Chemie und Biologie, sowie betreffend ihrer Interaktionen studiert werden sollten. Ein zweiter Schwerpunkt lag auf der Verfolgung des *Energieflusses* und der Erforschung der *Biozönose* als dessen wichtigen Teil. Um diese Ziele erreichen zu können, mussten zuerst geeignete *Methoden* entwickelt werden, besonders für die abiotische und biologische Untersuchung der hyporheischen Sedimente.

Langzeitdatenreihen. Einerseits wurden mehrere Variablen kontinuierlich, zum Teil seit 1897 und zum Teil automatisch erfasst (z. B. *meteorologische Variablen*, *Wasseranschlagslinie*, *Temperatur*, *Insekten-Emergenz*) und bilden somit eine, den Bach über längere Zeiträume charakterisierende Grundlage, auf welche bei einzelnen Studien zurückgegriffen werden kann. Diese Daten sind im RITRODAT-Archiv verfügbar.

Sub-Projekte. Voneinander unabhängige Untersuchungen griffen verschiedenste Themen auf und wurden von den Mitarbeitern der Station, wissenschaftlichen Gästen, Kollegen und Studenten durchgeführt.

Die Biologische Station Lunz selbst konzentrierte sich auf drei Hauptaufgaben. Es war dies die *Schaffung und Erhaltung der Infrastruktur* – im Institutsgebäude stehen Labors und wissenschaftliche Instrumente zur Verfügung, und im Freiland wurde ein „Versuchsgelände“ eingerichtet. Die *eigene wissenschaftliche Arbeit* der Mitarbeiter der Station konzentrierte sich auf die Untersuchung der Bett- und Sedimente und Entwicklung von Methoden. Weiters oblag es der Biologischen Station für die *Vergabe und Kontrolle von weiteren Projekten* zu sorgen und damit Kontinuität und Kompatibilität der Forschung zu garantieren.



Abb. 5: RITRODAT-Versuchsareal am Oberen Seebach. Blick auf die Messbrücke gegen die Strömungsrichtung. – Fig. 5: RITRODAT experimental site at the stream Oberer Seebach. Upstream view of the measuring bridge.

RITRODAT-LUNZ- Versuchsgelände

Das untersuchte Fließgewässer, der *Obere Seebach*, liegt im Gemeindegebiet von Lunz am See in Niederösterreich, in den nördlichen Kalkalpen auf einer Seehöhe von 605 Metern (47°15'N, 15°04'O), 100 km Luftlinie südwestlich von Wien. Er verbindet den grundwassergespeisten Mittersee mit dem Lunzer Untersee und ist ein typisch sommerkalter Bach zweiter Ordnungszahl. Das 20 km² umfassende Einzugsgebiet ist stark verkarstet, dicht bewaldet (vor allem mit *Picea abies*, *Fagus sylvatica* und *Larix decidua*), nicht permanent bewohnt und wird nur forst-, nicht aber landwirtschaftlich genutzt. Der Zustand des Fließgewässers kann daher als sehr gering beeinflusst eingestuft werden.

Eine 100 Meter lange Strecke, 320 Meter vor der Einmündung des Oberen Seebachs in den

Untersee und 500 Meter von der Biologischen Station Lunz entfernt, wurde als Freilandlabor ausgebaut, das „RITRODAT-LUNZ-Versuchsareal“ (Abb. 5).

Bedingt durch das verkarstete Einzugsgebiet schwankt das Abflussgeschehen sehr stark, die meteorologischen Kennwerte entsprechen der geographischen Lage (Tab. 1). Die chemische Zusammensetzung des Bachwassers reflektiert die Geologie des von Kalken dominierten Einzugsgebietes: es ist gut gepuffert und zeigt keinerlei saisonale oder langfristige Veränderungen.

Dieser Abschnitt des Oberen Seebachs erschien aus zwei Gründen ideal für die beabsichtigte Grundlagenforschung:

Einerseits repräsentiert das Versuchsareal das Rhithral eines Fließgewässers in naturnahem, vom Menschen fast unbeeinflussten Zustand und eignet sich damit hervorragend für die Untersuchung der dynamischen Prozesse und funktionellen Zusammenhänge des Ökosystems in seiner ursprünglichsten Form.

Andererseits gab es einen praktischen Grund: Das Versuchsareal ist nur wenige hundert Meter vom Institutsgebäude entfernt und mit diesem durch einen Fahrweg verbun-

Tab.1: Kennwerte des RITRODAT-LUNZ-Versuchsgeländes im Oberen Seebach. Daten sind langjährige Durchschnittswerte aus BRETSCHKO (1998). – Table 1: Identification values of the RITRODAT-LUNZ test area in Oberer Seebach. Data are long-term average values from BRETSCHKO (1998).

Einzugsgebiet	Kennwerte
<i>Lufttemperatur:</i>	
Jahresmittel	6.6 °C ± 0.4 °C
mittleres Minimum	-23.0 °C ± 5.0 °C
mittleres Maximum	32.8 °C ± 1.6 °C
<i>Niederschlag:</i>	
Jahresmittel	1515 mm ± 66 mm
mittlerer Tageshöchstwert	62 mm
Ritrodat-Lunz Versuchsareal	Kennwerte
<i>mittleres Gefälle</i>	0.41 cm/m ± 0.003 cm/m
<i>mittlere Breite</i>	14 m ± 1.6 m
<i>Wassertemperaturen:</i>	
absolutes Minimum	1.0 °C (Februar 1986)
absolutes Maximum	11.8 °C (August 1990)
Jahresamplitude	6.5 °C (1989) – 10.5°C (1986)
<i>Oberflächenabfluss:</i>	
Jahresmittel	0.82 m ³ /s ± 0.20 m ³ /s
mittleres Minimum	0.28 m ³ /s ± 0.16 m ³ /s
mittleres Maximum	15.13 m ³ /s ± 12.12 m ³ /s
<i>Sedimentanalyse:</i>	
1. Quartil: Q ₂₅	10.6 mm ± 1.2 mm
2. Quartil: Median	23.1 mm ± 2.0 mm
3. Quartil: Q ₇₅	47.6 mm ± 1.6 mm
Sortierungskoeffizient	2.31 ± 0.31
Anteil kleiner als 1.0 mm	6.44 % ± 2.47 %
Porenvolumen	24.0 % ± 2.2 %

den. Diese räumliche Nähe ermöglichte auch den Einsatz von schwerem Gerät, sowie eine Stromversorgung direkt im Freiland, sowie die Verlegung einer Datenleitung zum Hauptgebäude.

Review – 25 Jahre Arbeit am RITRODAT

Räumliche Kompartimente

Im Konzept des RITRODAT (BRETSCHKO 1978 und 1979) wurde das Gesamtökosystem Fließgewässer in räumliche Kompartimente unterteilt (Abb. 4). „Diese Gliederung erfolgte sowohl nach methodisch bedingten Gesichtspunkten als auch nach dem zu erwartenden Verhalten der systembildenden Biozönose“ (BRETSCHKO 1978). Im Zentrum der Betrachtung steht der „eigentliche Bach“, bestehend aus dem Oberflächenwasser und den bettbildenden Sedimenten. Eine der Aufgaben des RITRODAT bestand darin, die Grenzen dieses Systems zu definieren und die Interaktionen zu den benachbarten Lebensräumen zu studieren.

In der Umsetzung des Konzeptes zeigte sich, dass die Bedeutung der räumlichen Grenzen, aufgrund des hohen Vernetzungsgrades der Kompartimente untereinander, hinter die Funktion der Interaktionen zurücktritt. Die Funktionalität des Ökosystems ist in hohem Ausmaß von übergreifenden Austauschprozessen bestimmt.

Topographie

Die Dimension und Verteilung topographischer Strukturen steuert die räumliche und zeitliche Dynamik der hydraulischen Bedingungen und ist dadurch für die *Heterogenität des Habitats* verantwortlich.

Sedimentoberfläche. Die topographische Untersuchung der Sedimentoberfläche basierte auf der Verwendung des permanenten Grids im Versuchsareal, mit dessen Hilfe regelmäßig der Verlauf der Wasseranschlagslinie aufgezeichnet wurde. Diese Daten geben bereits Aufschluss über Veränderungen des Bachbettes, vor allem über laterale Erosion. Gemeinsam mit den Daten der Stromsohlennivellierung, die in Abständen von einem Jahr durchgeführt wurde, geben diese Informationen Aufschluss über die Veränderung der Topographie des Bachbettes über die Zeit (BRETSCHKO 1995a, 1998; Abb. 6).

Auf der orographisch linken Seite bildete sich zunächst eine Schotterinsel aus, welche von beiden Seiten umströmt wurde, später verlagerte sich der Bach gänzlich auf die rechte Seite (Abb. 6). Welche Bedeutung haben diese Ergebnisse für die ökologischen Prozesse in Fließgewässern? Sie führen zu einer **Diversifikation** der abiotischen Eigenschaften im Fließgewässer, d. h. es bilden sich Bereiche mit unterschiedlicher Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit, was in der Folge auch Auswirkungen auf die Sedimentzusammensetzung hat. Dadurch wird die Habitatheterogenität erhöht und die Besiedlung mit sehr unterschiedlichen Tiergruppen ermöglicht (WINKLER 1990). Die natürlichen und dynamischen topographischen Prozesse tragen damit zur ökologischen Funktionalität des Lebensraumes bei (BRETSCHKO 1998) und sind Grundlage für weitere **biotische Interaktionen**, wie sie z. B. die „*intermediate disturbance theory*“ voraussagt (CONNEL 1978). Durch Erosion und Deposition von Sediment entstehen tiefere, langsam fließende Bereiche, die Kolke oder „Pools“, und seichtere, schnell fließende Bereiche, die Furten oder „Riffles“. Ihre sequenzielle Abfolge ist für die essenziellen vertikalen **hydrologischen Austauschprozesse** verantwortlich.

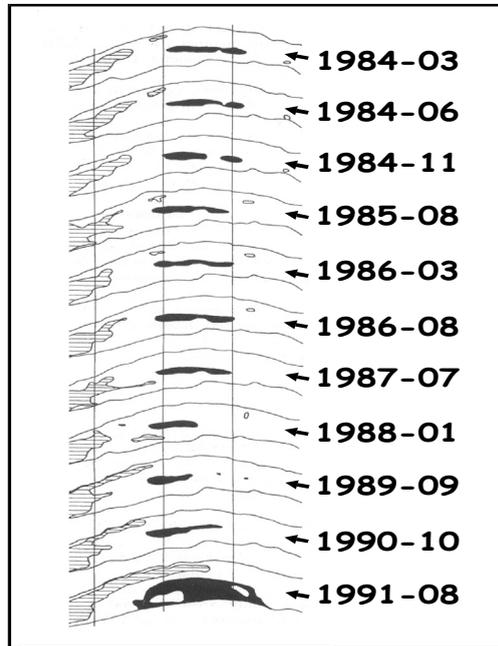


Abb. 6: Topographie des Bachbettes innerhalb von 7 Jahren. Schraffierte Bereiche tiefer als 25 cm, schwarze Bereiche höher als 25 cm, relativ zum Niveau des Brückenpegels. – Fig. 6: Topography of the stream bed over a 7-year period. Hatched areas deeper than 25 cm, black areas shallower than 25 cm relative to the river gauge at the bridge.

Uferstrukturen. Der natürlichen Strukturierung der Ufer kommt im Ökosystem eine besondere Bedeutung zu. Durch die oben erwähnten topographischen Prozesse bilden sich Uferstrukturen wie Schotterbänke und selten überströmte Bereiche, die Retentionsfunktion für organisches Material wie Blätter und Äste haben (BRETSCHKO 1990a, c, 1995a, BRETSCHKO & DUDGEON 1995, BRETSCHKO & MOSER 1993, LEICHTFRIED 2000). Die Topographie der Uferhänge ist außerdem entscheidend für den oberflächigen Eintrag von partikulärem organischem Material im Wege des Uferablaufes. Von überragender Bedeutung sind vor allem die Hangneigung der Uferböschung und die Dichte der Ufervegetation (MOSER 1991, 1992, 1994).

Sedimentologie

Sedimenteigenschaften. Das bachbettbildende Sediment ist der Lebensraum der meisten aquatischen Organismen, daher kommt ihm und seinen physikalischen Eigenschaften eine wichtige Bedeutung zu (BRETSCHKO 1994, LEICHTFRIED 1986, 1995).

Im Rahmen des RITRODAT wurden diese Sedimenteigenschaften intensiv nach der Methodik von MÜLLER (1964) untersucht. Für die Entnahme des Sedimentes erwiesen sich aus der Seenlimnologie bekannte Methoden, wie z. B. Bodengreifer, als ungeeignet. Für diesen Zweck wurde die Freeze Core Methode adaptiert, bei der Sedimente *in situ* mit flüssigem Stickstoff (-196°C) an einem unten geschlossenen Stahlrohr angefroren werden (LEICHTFRIED 1986, 1995). Die Sedimente des RITRODAT-Versuchsareals sind schlecht sortiert, das heißt der Streuungsgrad der Korngrößen ist groß, und es gibt stets

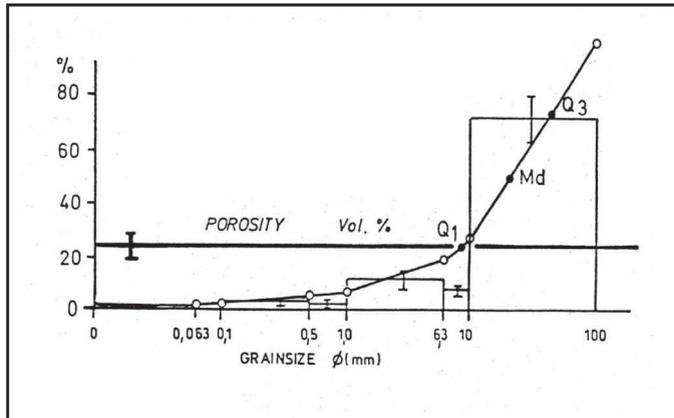


Abb. 7: Korngrößenanalyse im Oberen Seebach, RITRODAT-Areal, Jahresmittelwerte, $n = 108$ (LEICHTFRIED 1986). – Fig. 7: Grain size analysis at the stream Oberer Seebach, RITRODAT site, yearly means, $n = 108$ (LEICHTFRIED 1986).

mehrere, sehr unterschiedliche Korngrößenklassen. Dominierende Korngrößenklassen sind immer größer als 10 mm im Durchmesser, die feine Korngrößenklasse (<1mm) ist stets mit weniger als 10 % vertreten (Abb. 7), obwohl gerade diese bis zu 90 % aller Nährstoffe der Bettsedimente beinhaltet.

Die von 0 bis 60 cm Sedimenttiefe gemittelte Korngröße (Median, Quartil 2, Q_2 , Q_{25}) beträgt 23.1 ± 2.0 mm. Dieser Wert zeigte sich bei langjährigen Messungen ziemlich konstant (BRETSCHKO 1998). Horizontal sind die Sedimente sehr uniform verteilt, selbst zwischen Riffles und Pools zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Auch die vertikale Verteilung der Korngrößen ist relativ gleichförmig, allerdings ist der Anteil der kleinen Partikel an der Oberfläche aufgrund des Strömungseinflusses geringer und nimmt mit der Tiefe zu (Tab. 2, BRETSCHKO 1998, LEICHTFRIED 1986, 1995).

Sedimenttransport. Der Transport von Schotter, Sand und Feinsediment ist von den hydraulischen Schleppkräften abhängig, welche sich mit der Wasserführung verändern. Für diesen Geschiebetransport kann mittels verschiedener mathematischer Modelle der Grenzdurchfluss errechnet werden, über dem der Geschiebetrieb kontinuierlich zunimmt; unter diesem Wert ist die Stromsohle stabil. CAPEK (1981, 1982) errechnete für

Tab. 2: Vertikale Verteilung der wichtigsten Sedimentparameter, Jahresmittel, $n = 216$ (BRETSCHKO 1998, LEICHTFRIED 1986). – Table 2: Vertical distribution of key sediment parameters, yearly means, $n = 216$ (BRETSCHKO 1998, LEICHTFRIED 1986).

Sed. Tiefe:	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Sedimentparameter:			
Q_{25} = Quartil 1 = Q_1 (mm)	12.5 ± 2.6	9.8 ± 1.4	9.0 ± 2.3
Md = Median = Q_2 (mm)	26.7 ± 5.5	21.8 ± 1.2	20.8 ± 2.4
Q_{75} = Quartil 3 = Q_3 (mm)	50.2 ± 3.1	47.3 ± 1.9	45.2 ± 3.1
Sed. < 1 mm (%)	4.5 ± 3.1	9.3 ± 3.4	9.1 ± 1.4
Porosität (%)	23.9 ± 4.6	22.3 ± 2.3	25.8 ± 6.3

das Versuchsareal einen Grenzdurchfluss von ca. 2.5 m³/s, was einer Wassertiefe von 40 cm entspricht.

Hydrographie und Hydrologie

Pegel und Wasserführung. Das unidirektional fließende Oberflächenwasser ist das Hauptcharakteristikum eines Fließgewässers und bestimmt wesentliche physikalische Eigenschaften und funktionelle Zusammenhänge im Ökosystem. Deshalb war die permanente Messung des Wasserstandes an verschiedenen Positionen ein wesentlicher Bestandteil des RITRODAT. Auf diese Weise entstanden Langzeitdatenreihen, die in Form einer Tages-, Monats- und Jahresstatistik ausgewertet und in den *Jahresberichten der Biologischen Station Lunz* veröffentlicht wurden.

Das Abflussregime im Oberen Seebach ist sehr komplex, wird von Regen und Schneeschmelze bestimmt und ist durch die starke Verkarstung des von Kalken dominierten Einzugsgebietes kompliziert. Die relativ gleichmäßige Wasserführung wird immer wieder von den Spitzen der höheren Wasserstände und von Hochwasser unterbrochen (flashy stream). Diese Hochwässer sind nicht vorhersagbar und spielen eine wichtige Rolle in der Strukturierung der Biozönose und des Nährstoffangebotes im natürlichen Fließgewässer (z. B. LEICHTFRIED 1986, WAGNER & LEICHTFRIED 2003).

Interstitialwasserströmung. Der Schotterkörper im Versuchsareal ist bis zu zwei Meter tief und aufgrund der hohen Porosität von ca. 25% permeabel für Wasserströmung bis in tiefe Bereiche. Die quantitative Messung dieses interstitiellen Durchflusses bereitet jedoch methodische Schwierigkeiten – an diese Aufgabe wurde im RITRODAT mit unterschiedlichen Ansätzen herangegangen:

- a) indirekt über Messung der **Farbverdünnung** in einer Sonde (PETER 1984, 1985).
- b) indirekt über den Gewichtsverlust von exponierten **Gipskugeln** (PANEK 1986, 1987, 1991a, 1991b).
- c) direkt mittels Injektion eines Tracers (NaCl) in das Bettsediment (WAGNER 2002, WAGNER & BRETSCHKO 2002). Alle drei Methoden ergaben vergleichbare Werte, wobei die Schwerpunktsetzung auf räumliche oder zeitliche Integration der Messwerte je nach Methode verschieden ist:

Die mittlere Fließgeschwindigkeit des Interstitialwassers beträgt zwischen 0.2 cm/s (WAGNER & BRETSCHKO 2002) und 0.4 cm/s (PANEK 1991b) und ist damit etwa 250 bis 500 mal geringer als die der Oberflächenwasserströmung. Weiters zeigte sich, dass das Interstitialwasser in den Bettsedimenten in einem Netz von räumlich begrenzten Fließwegen mit einem Durchmesser von einem Meter und weniger fließt. Es gibt auch Sedimentbereiche mit höherer hydraulischer Durchlässigkeit im Vergleich zum umgebenden Sediment, weshalb in ihnen das Interstitialwasser relativ hohe Fließgeschwindigkeiten erreicht (WAGNER & BRETSCHKO 2002).

Laterale Austauschprozesse. Bedingt durch die Lage des Versuchsareals am orographisch linken Talhang fließt auf der linken Seite ufernahes Grundwasser unterirdisch in den Bach und auf der rechten Seite Hyporhealwasser in den Grundwasserraum (BATTIN 1999, 2000, BERGER 1977, 1978). Insgesamt ist das RITRODAT Areal ein effluenter Abschnitt des Oberen Seebachs (LETTL 1990). Die kleinräumige Messung dieser Ströme gestaltete sich aufgrund der hohen zeitlichen und räumlichen Dynamik der Austauschprozesse schwierig, es zeigte sich, dass sogar die Evapotranspiration der Ufervegetation die unterirdischen Wasserströmungen erheblich beeinflussen kann (WAGNER & BRETSCHKO 2003). Eine Bilanzierung des Wasserhaushaltes und damit auch eine quantitative Be-

urteilung des damit einhergehenden unterirdischen Stoffeintrages gestaltet sich daher schwierig – ein Hinweis darauf, dass derartige Berechnungen in ähnlichen Systemen mit Vorsicht zu betrachten sind (WAGNER & LEICHTFRIED 2003).

Vertikale Austauschprozesse. Die topographischen Veränderungen werden durch Sedimentbewegungen verursacht – Bachschotter und Feinsediment werden an einigen Stellen erodiert und an anderen Stellen deponiert. Im Bachbett selbst entstehen dadurch in regelmäßiger Abfolge Furten und Kolke. Da das Oberflächenwasser daher zwischen tiefen Bereichen mit langsamer Strömung und seichten Bereichen mit schneller Strömung wechselt, werden an den Übergangsbereichen Druckunterschiede aufgebaut. Dadurch wird Oberflächenwasser am Übergang von einem Kolk zu einer Furt in das Sediment gedrückt, fließt dann im Interstitial, um am Übergang von der Furt zu einem Kolk wieder an die Oberfläche zu treten (BRETSCHKO 1980a). Dies hat einerseits zur Folge, dass die tatsächliche Wasserführung des Oberen Seebachs nur schwer exakt bestimmt werden kann und die messbare, oberflächige Schüttung sich in kurzen Abständen entlang des Fließgewässers ändert (CAPEK 1981, 1982). Andererseits wird dadurch das Oberflächenwasser ständig filtriert, was aufgrund der enormen Oberfläche des Sedimentes im Hyporheal für die ökologische Funktionsfähigkeit eines Fließgewässers von immanenter Bedeutung ist.

Temperatur

Neben dem fließenden Wasser ist die Temperatur ein maßgeblicher ökologischer Faktor im Bach und daher auch ein zentraler Bestandteil der Langzeitdatenreihen im RITRODAT. An mehreren, zum Teil über die Jahre wechselnden Stellen an der Bachoberfläche und in den Sedimenten, wurden Temperaturen gemessen. Auswertungen sind auch in den *Jahresberichten der Biologischen Station Lunz* publiziert. Der Obere Seebach ist ein sommerkaltes Fließgewässer, bedingt durch die Herkunft seines Wassers vom Mittersee, welcher durch unterirdische Quellen gespeist wird und daher starken Grundwassereinfluss zeigt (BERGER 1986). Im Versuchsareal RITRODAT ist die Wassertemperatur daher im Sommer kalt und im Winter, verglichen mit der Lufttemperatur, relativ warm – die jahreszeitlichen Schwankungen sind gering und liegen zwischen 1 und 10 °C. Auch tageszeitliche Schwankungen sind gering und bewegen sich im Bereich bis 1.5 °C.

Die vertikale Verteilung der Wassertemperatur zeigt die hohe Permeabilität des Sedimentes und die intensiven Austauschprozesse zwischen Oberflächenwasser und tieferen Sedimentschichten: Selbst in 70 cm Sedimenttiefe ist noch ein deutlicher Tagesgang zu erkennen, im Sediment ist die Amplitude des Tagesgangs abgepuffert und verzögert (WAGNER & LEICHTFRIED 2003).

Chemie

Die chemische Zusammensetzung des Wassers im Oberen Seebach wird weitgehend von der Geologie des Einzugsgebietes (GÖTZINGER 1910, RUTTNER 1948, THENIUS 1974) bestimmt – aufgrund des hohen Karbonatgehaltes ist es gut gepuffert und weist, mit Ausnahme der Schneeschmelze im Frühjahr, keine jahreszeitlichen Schwankungen auf (BRETSCHKO 1980a, 1991a, 1991b 1998). Aufgrund der intensiven Austauschprozesse besteht kein signifikanter Unterschied im Gehalt an gelösten Ionen zwischen Oberflächen- und Interstitialwasser tiefer Sedimentschichten (BRETSCHKO 1980a, 1980b).

Innerhalb der ökologischen Fragestellungen ist der Stoffumsatz im System ebenfalls von Interesse. Dabei wird der Eintrag in das Versuchsareal RITRODAT mit dem Export verglichen. Der Import ins Fließgewässer geschieht zu einem Teil oberflächlich über

Oberflächenwasser, Lufteintrag und Uferablauf. Exportiert werden die Stoffe wieder zum Teil über das Oberflächenwasser. Diese Verfrachtungswege sind auch methodisch relativ einfach zu erfassen.

Im Gegensatz dazu bereitet die Messung der unterirdischen Importe und Exporte durch Austauschprozesse mit dem Grundwasser größere Probleme. Derartige Bilanzen wurden für Stickstoff und Phosphor (BRETSCHKO & MOSER 1993) und für Kohlenstoff (BATTIN 1999) erstellt. Sie zeigen generell die Bedeutung der unterirdischen Eintragswege auf. Diese subterranean Austausch-Prozesse sind aber räumlich und zeitlich derartig komplex, dass sie bisher zu unzureichend erfasst werden konnten, um quantitative Aussagen zu ermöglichen (WAGNER & BRETSCHKO 2003, WAGNER 2002). Die Untersuchungen zeigten aber die enorme Bedeutung der natürlichen Anbindung von Fließgewässersystemen an das Grundwasser (WAGNER & LEICHTFRIED 2003).

POM – partikuläres organisches Material

Einer der Schwerpunkte im RITRODAT Programm lag auf der Erforschung des **Partikulären Organischen Materials**, des **POM** (BRETSCHKO 1979), das eine der wichtigen Energiequellen in Fließgewässern niederer Ordnungszahlen (STRAHLER 1957) ist. Der Begriff „POM – particulate organic matter“ wurde von der Gruppe um Ken CUMMINS (USA) ausschließlich nach der Partikelgröße, nicht nach Herkunft oder Qualität definiert (BOLING et al. 1975). Damit wurde der auf vielerlei unterschiedliche Weise definierte Begriff „Detritus“ gut ersetzbar. Die im BERRIES (1976) Energieflussschema für Fließgewässer klar präsentierten Zusammenhänge wurden lediglich dahingehend modifiziert, dass die herausragende Bedeutung des allochthonen organischen Materials als Energiequelle und die unabdingbare Aufgabe der Biofilme als Drehscheibe des Systemmetabolismus verdeutlicht wurde (Abb. 8).

Geeignete Methoden für die Untersuchung von Eintrag und Verteilung des organischen Materials wurden entwickelt, für die quantitative und qualitative Erfassung des POM wurden gesamter organischer Kohlenstoff, Stickstoff und Proteine im Oberflächen- und Interstitialwasser sowie in den Bettsedimenten analysiert (LEICHTFRIED 1986, 1995). Die Futterqualität wurde indirekt über das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff ermittelt: relativ mehr organischer Stickstoff (niedrigere C/N Verhältniszahlen) weist auf Futter mit mehr Proteingehalt und somit besserer Qualität für die Konsumentenfauna hin (HYNE 1978, LEICHTFRIED 1988, 1992, 1999).

Allochthoner Eintrag. In Fließgewässern niederer Ordnungszahlen, wie dem Oberen Seebach, ist die Primärproduktion durch die Beschattung von der Ufervegetation und den hohen Grad der mechanischen Störung durch hydraulische Kräfte limitiert (VANNOTE et al. 1980). Die Primärproduktion reicht für den Energiehaushalt des Ökosystems nicht aus. Die Nahrungsgrundlage für heterotrophe Organismen bildet die **allochthone** organische Substanz, welche aus dem terrestrischen Bereich stammt und partikulär oder gelöst in das System eintritt (LEICHTFRIED 1985, 1991a, 1991b).

Die Untersuchung des oberflächigen Eintrages im Vergleich zu den Gesamtmengen von organischer Substanz im System hat einerseits gezeigt, dass nur ein Teil des allochthonen organischen Materials partikulär und oberflächlich in das System (z. B. Blätter, Zweige = CPOM – Coarse Particulate Organic Matter) eintritt, und ein anderer Teil, meist fein oder gelöst (FPOM – Fine Particulate Organic Matter, und DOM – Dissolved Organic Matter) über unterirdische Wege in das System importiert wird. Andererseits wurde bei

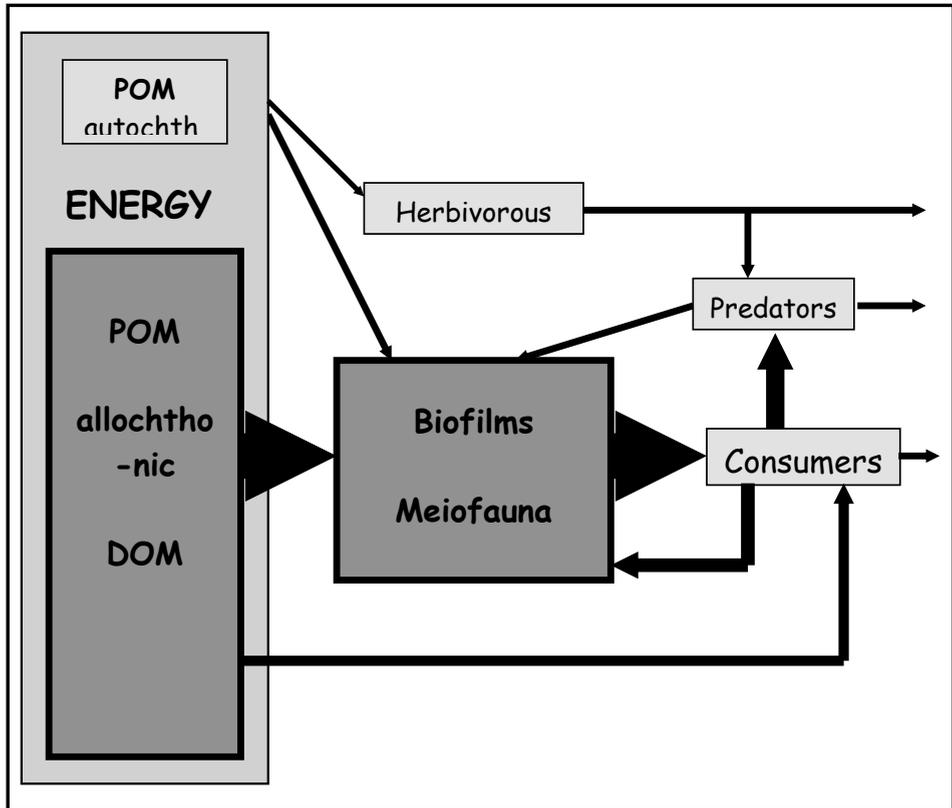


Abb. 8: Energiefluss-Schema im Ökosystem Fließgewässer, nach BERRIE (1976), modifiziert. Die Zusammenhänge sind nicht neu, die herausragende Bedeutung des allochthonen POM als Energiequelle und der Biofilme als Drehscheibe des Systemmetabolismus wurde erst später erkannt. – Fig. 8: Energy flow diagram for running water ecosystems, modified after BERRIE (1976). The interrelationships are not new. The vital role of allochthonous POM as an energy source and the function of biofilms as the focal point of the system's metabolism were recognized only later.

diesen Untersuchungen die überragende Bedeutung der Uferzone (*riparian zone*) und ihrer Strukturierung erkannt (BRETSCHKO & MOSER 1993, MOSER 1991, 1994).

Das partikuläre organische Material ist kaum für die Konsumentenfauna verwertbar, nachdem es in das Bachökosystem eingetreten ist. Es muß zerkleinert, abgebaut, prozessiert werden, was sowohl auf mechanischem als auch biologischem Wege passiert. Dabei spielen die Biofilme eine wichtige Rolle – sie verwerten die organischen Substanzen und setzen sie in körpereigene Substanzen und ihre Ausscheidungsprodukte um, wodurch das allochthone POM erst für die Organismen verwertbar werden kann.

Der Gehalt des organischen Materials in den Bettsedimenten steigt signifikant mit der Tiefe an, dem Verteilungsmuster der feinen Korngrößenklasse (< 1 mm) folgend (LEICHTFRIED 1988, 1995, Abb. 9).

Die Nahrungsqualität ist in den oberen Sedimentschichten höher (kleinere C/N Verhältniszahlen) als in den tieferen Zonen, die horizontale Verteilung des POM ist zeitlich

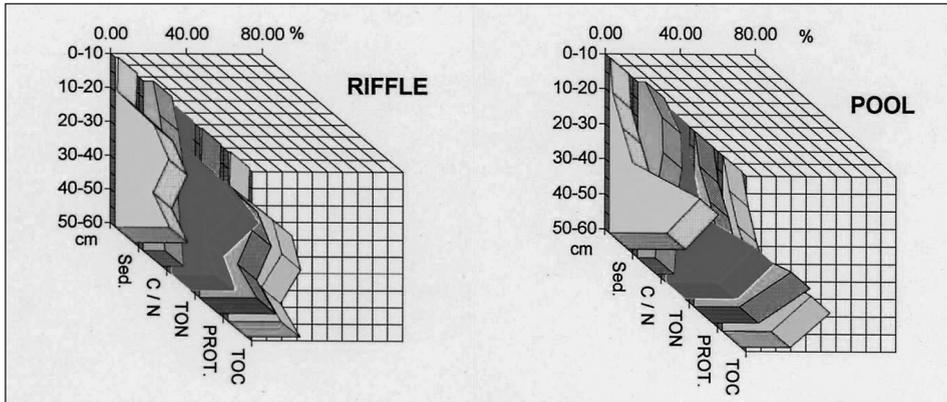


Abb. 9: Relative Vertikalverteilungen von TOC, TON und Proteingehalten, sowie von C/N Verhältnissen und der Sedimentkorngrößenklasse kleiner als 1 mm im Durchmesser in Bettsedimenten von einem Riffle und einem Pool im Oberen Seebach. Jahresmittelwerte, $n = 144$. – Fig. 9: Relative vertical distributions of TOC, TON and protein content, along with the C/N ratio and the sediment grain size classes < 1 mm in diameter in bed sediments from a riffle and pool at the stream Oberer Seebach. Yearly means, $n = 144$.

stabil, mit niedrigeren Mengen von TOC (Total Organic Carbon), TON (Total Organic Nitrogen) und niedrigeren C/N Verhältnissen im Hauptkanal (typische Riffle – Strecke) als in allen anderen Bereichen (LEICHTFRIED 1995).

Die *zeitliche Dynamik* der POM-Verteilung in den Bettsedimenten wird von der zeitlichen Verteilung des allochthonen Eintrages und von hydrologischen Einflussfaktoren bestimmt: 80 % des CPOM Eintrages erfolgt im Herbst zur Zeit des Laubfalles (MOSER 1991, 1994), dies spiegelt sich erst im Winter im Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Bettsedimente wieder. Eine zweite Spitze dieser Werte wird im Sommer erreicht, wenn Hochwässer gelöstes und feinputikuläres organisches Material in die Sedimente einwaschen (LEICHTFRIED 1986, 1991a, 1991b, 1995, 1997, Abb. 10).

Letztendlich entstehen im Abbau des allochthonen POM *gelöste organische Substanzen (Dissolved Organic Carbon, DOC)*, die als kleinste Bestandteile ebenfalls von den Mikroorganismen des Biofilms verwertet werden können. Aber auch allochthones DOC aus terrestrischen Abbauprozessen kommt über unterirdische Eintragswege in das Fließgewässer und stellt einen großen Teil des gesamten Kohlenstoffeintrages in das Ökosystem (BATTIN 1999, BATTIN et al. 1999, WAGNER 2002).

Retention. Die Zerkleinerung der partikulären organischen Substanzen sowie ihr Umbau und Abbau benötigen mehr Zeit, als während des Transportes im Oberflächenwasser des Baches zur Verfügung steht. Es bedarf daher mehrerer *Retentionsmechanismen*, um das Material für längere Zeit im Ökosystem zu halten und den Ablauf dieser Prozesse zu ermöglichen.

Diese Funktion wird einerseits durch *Totholzdamme* erfüllt, sogenannte *debris dams*, die Hindernisse im Bachbett bilden, an welchen sich Blätter und Äste anlagern können (BRETSCHKO 1990a, 1990c, CASAS 1996, 1997, WINKLER 1991). Andererseits stellt die *natürliche Topographie des Bachbetts* wichtige Retentionsräume in Form von nur zeitweise überströmten Bereichen zur Verfügung – Augebiete, Schotterbänke und Seicht-

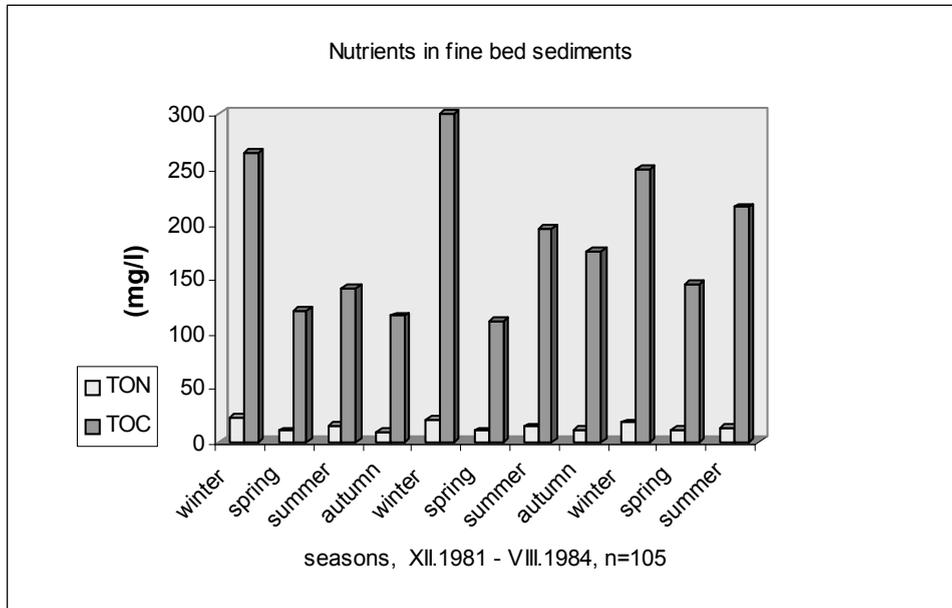


Abb. 10: Zeitliche Verteilung von TOC und TON Gehalt in den interstitiellen Sedimenten (< 1 mm, Sedimenttiefe 0 – 60 cm) in den Jahren 1982 - 1984; saisonale Mittelwerte, n = 105, Winter: XII, I, II; Frühling: III, IV, V; Sommer: VI, VII, VIII; Herbst: IX, X, XI. – Fig 10: Temporal distribution of TOC and TON content in the interstitial sediments (< 1 mm, sediment depth 0-60 cm) from 1982-1984; seasonal means, n = 105, winter: XII, I, II; spring: III, IV, V; summer: VI, VII, VIII; autumn: IX, X, XI.

wasserzonen (BRETSCHKO 1990, BRETSCHKO & MOSER 1993, BRETSCHKO & DUDGEON 1995, LEICHTFRIED 2000, UVIRA et al. 2000). Ihre Retentionskapazität ist abhängig von der Überflutungsfrequenz und der Ausprägung der terrestrischen Vegetation (BRETSCHKO & MOSER 1993). Die Abbauprozesse des POM sind daher in bedeutendem Maße von der Strukturierung des Bachbetts abhängig. Dies zeigt die engen Zusammenhänge zwischen Struktur und Funktionalität im Ökosystem auf.

Biologie

Algen: Die untergeordnete Rolle der Primärproduktion

In kleinen Fließgewässern mit niedriger Ordnungszahl, wie dem Oberen Seebach, ist die autochthone Primärproduktion aufgrund der Beschattung durch die natürliche Ufervegetation begrenzt (VANNOTE et al. 1980). Weiters ist durch die Instabilität der Bachsedimente, bedingt durch das Gefälle und die schwankende Schüttung, das Pflanzenwachstum im Flussbett auf Aufwuchsalgen und wenige Moose beschränkt (BRETSCHKO 1995b). Außerdem sind die autotrophen Pflanzen natürlich auf die oberste Deckschicht der Sedimente bis zur Lichtdiskontinuität limitiert (SCHWOERBEL 1964) – im Versuchsareal liegt diese Grenze bei etwa 10 cm Sedimenttiefe (MÜLLNER 1998).

Aufgrund dieser Beschränkungen in Licht- und Raumangebot ist der Beitrag der Primärproduktion für die abundante zoobenthische Biozönose unzureichend – die Energiebasis für das Ökosystem wird daher von allochthonem POM gestellt (LEICHTFRIED 1995, 1999). Im Rahmen des RITRODAT erfolgte eine Untersuchung der Vertikalverteilung

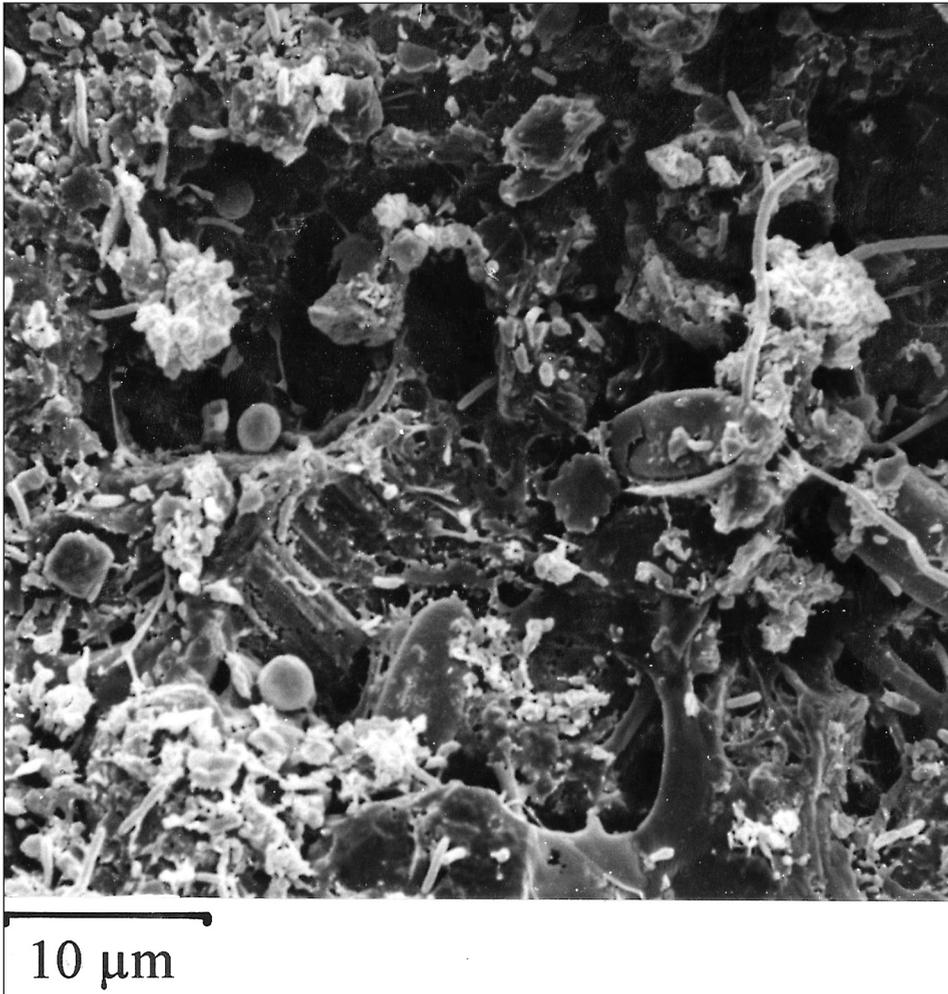


Abb. 11: Elektronenmikroskopische Aufnahme von Biofilm auf Bettседimentpartikel (aus LEICHTFRIED 1991b). – Fig. 11: Electron microscope images of biofilms on bed sediments particles (from LEICHTFRIED 1991b).

der Algen (MÜLLNER 1998). Im Zeitraum von 1922 bis 1997 wurden insgesamt 253 Arten beschrieben (MÜLLNER 1999).

Biofilme: Die schmackhafte Pastete am trockenen Brot

Mikroorganismen (Pilze, Bakterien, Protozoa usw.) bilden gemeinsam mit ihren Ausscheidungsprodukten, den extrazellulären Polymeren, einen schleimigen, alle Oberflächen überziehenden „*Biofilm*“ (Abb. 11, MARSHALL 1984). Diese Biofilme besiedeln organische Partikel und verwerten sie zu körpereigener Substanz, kolonisieren aber auch anorganisches Bachsediment und nehmen gelöste organische Substanzen und fein partikuläres organisches Material auf (CHARACKLIS & MARSHALL 1989). Im Wasser gelöste Stoffe werden dabei nicht nur von lebenden Zellen aufgenommen, sondern auch an der

Matrix (extrazelluläre Polymere) adhäsiv gebunden, wodurch den Biofilmen eine wichtige **Retentionsfunktion** zukommt (LEICHTFRIED 1992).

Im Gegensatz zu den Biofilmen sind die meisten meio- und makrozoobenthischen Bachbewohner nicht in der Lage, das allochthon eingetragene POM direkt zu verwerten. Biofilme nehmen hier eine wichtige Schlüsselrolle ein: sie können organische Substanzen verwerten und werden damit zu einer wichtigen **Nahrungsgrundlage** für die zoobenthische Meio- und Makrofauna (IVERSEN 1973, 1974, LEICHTFRIED 1998). In den mikrobiologischen Studien des RITRODAT-Programms wurde gezeigt, dass ein Großteil (bis zu 92%) der Bakterien im Fließgewässer nicht frei im Oberflächen- und Porenwasser, sondern an Substrat gebunden existiert (KASIMIR 1990, 1991a, b). Die mikrobielle Aktivität ist also an die Struktur der Biofilme gekoppelt. Diese quantitative Bedeutung wurde durch eine weitere Untersuchung der chemischen Bestandteile untermauert: Biofilme enthalten mehr als zwei Drittel des gesamten organisch gebundenen Kohlenstoffs und Stickstoffs im Bach (LEICHTFRIED 1991a, b, 1992, 1994, 1995, 1998).

Selbstreinigungskraft. Der Zusammenhang zwischen allochthonem POM, Biofilmen, Meio- und Makrofauna beschreibt gleichzeitig die Selbstreinigungskraft von Fließgewä-

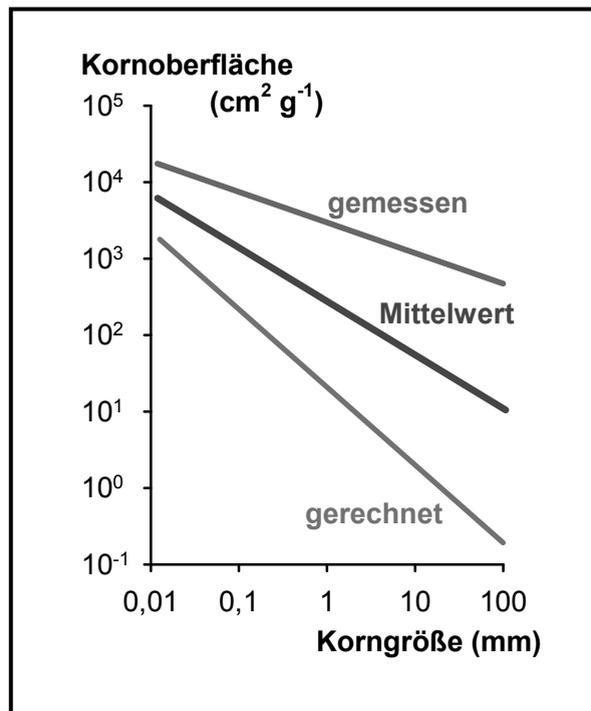


Abb. 12: Beziehung Korngröße – Kornoberfläche, gemessen im Areameter ($n = 13$, $R^2 = 0.892$, $y = 4.846x - 0.301$; monomolekulare N_2 -liquid Beschichtung, TU Wien) und gerechnet unter der Annahme, dass Partikel Kugeln bei regelmäßiger Packung sind ($n = 23$, $R^2 = 1.000$, $y = 22.473x - 1.00015$) (LEICHTFRIED 1985). – Fig. 12: Correlation grain size and grain surface area, measured in an Areameter ($n = 13$, $R^2 = 0.892$, $y = 4.846x - 0.301$; monomolecular N_2 -liquid coating, TU Wien) and calculated under the assumption that particles represent spheres when regularly packed ($n = 23$, $R^2 = 1.000$, $y = 22.473x - 1.00015$) (LEICHTFRIED 1985).

sern. Die meisten anthropogenen Verunreinigungen sind organischer Natur, können daher von den Biofilmen aufgenommen, umgesetzt und auf diese Weise abgebaut werden.

Das Studium der Biofilme zeigte einmal mehr den engen Zusammenhang zwischen *räumlicher Struktur und ökologischer Funktionalität* des Systems: Zwischen Kornoberfläche und Korndurchmesser besteht ein negativ exponentieller Zusammenhang – kleine Korngrößen bieten daher pro Volumen exponentiell mehr Fläche für die Besiedelung (Abb. 12, LEICHTFRIED 1985, 1988). Dieser Zusammenhang wird auch durch die negative Korrelation von Korngröße und Bakterienanzahl offenkundig (STÜWE 1983).

Die **Kapazität der Selbstreinigungskraft** eines Baches hängt daher stark von seiner räumlichen Strukturierung ab. Einerseits ist ein Anteil an kleinen Korngrößen notwendig, um die erforderliche Kolonisationsfläche zu bieten, andererseits darf dieser Anteil nicht überwiegen, da es ansonsten zur Verstopfung des Porenraumes und zu Kolmationseffekten kommt, womit die Durchlässigkeit und damit die Filterwirkung des Sedimentkörpers nicht mehr gegeben ist (LEICHTFRIED 1995, 1999). Weitere Studien bestätigten die Bedeutung hydrodynamischer Prozesse für die mikrobielle Aktivität und die große Retentions- und Umsatzkapazität der Biofilme (BATTIN 1999, 2000, BATTIN et al. 1999).

Fauna. Die ersten brennenden Fragen im RITRODAT waren für uns, wie viele und welche wirbellose Tiere zu finden sind und wie sie im System verteilt sind. Gibt es die vertikale Verteilung in den Bettsedimenten, wie sie HYNES (1974) in Bear Brook, Canada, gefunden hatte, auch im Oberen Seebach? Die Antworten auf diese Fragen übertrafen damals alle unsere Erwartungen.

Um diese Fragen beantworten zu können, mußten allerdings geeignete Methoden gefunden, entwickelt oder modifiziert werden. Als geeignete Standardmethoden erwiesen sich für die Sedimentoberfläche der *Lunz-Sampler* (modif. *Hess-Sampler*) und für tiefere Sedimentschichten verschiedene Typen von *Sonden* und die *Freeze Core-Methode*. In der Entwicklung der Methodik lag die Haupttätigkeit der Anfangsjahre (WAGNER & LEICHTFRIED 2003).

Nun zu den Antworten:

Es wurden im Versuchsgelände **575 aquatische Tierarten** erfasst, davon nur 6 Fischarten, der Rest Invertebraten. Eine ausgezeichnete Zusammenstellung findet sich in der Arbeit von SCHMID-ARAYA & SCHMID (1995a). Die zoobenthischen Invertebraten werden nach Körperlänge in die Gruppen **Mikrofauna** (< 50 µm), **Meiofauna** (50–500 µm) und **Makrofauna** (> 500 µm) eingeteilt (SCHMID-ARAYA & SCHMID 1995b). Diese Klassifikation ist allerdings nur methodisch bedingt. Ebenfalls zu bedenken ist, dass die Anzahl der Arten natürlich auch von der Intensität der Erforschung der einzelnen Taxa abhängt – in einigen Tiergruppen, vor allem bei der Meiofauna, ist ein weitaus größeres Arteninventar zu erwarten. Schätzungen belaufen sich auf 1000 und mehr Spezies!

Die **mittlere Individuendichte** beträgt 100 000 Tiere mit einer Körpergröße über 100 µm unter einer Fläche von einem Quadratmeter, die Maximalwerte erreichen an einzelnen Probenstellen 300 000 Individuen pro Quadratmeter (BRETSCHKO 1991a, 1995b, BRETSCHKO & KLEMENS 1986, KLEMENS 1985, 1991). Bei Miteinbeziehung von Mikro- und Meiofauna würden sich erheblich höhere Werte ergeben (vgl. KOWARC 1990, 1991, SCHMID-ARAYA 1994a, 1994b, 1997, 1998), jedoch sind hier keine zusammenfassenden Zahlen bekannt.

Horizontale Verteilung. Räumlich ist das Zoobenthos stark überverteilt, das heißt die einzelnen Taxa treten in *patches* (Stellen mit hohen Individuendichten) auf, zwischen

denen die Besiedelungsdichte gering ist (CLAUSS 1992, 1993). Die *patches* erreichen dabei eine räumliche Ausdehnung zwischen wenigen Quadratdezimetern und einigen Quadratmetern (CLAUSS 1992). Der Grund für diese Verteilungsform ist die Überverteilung der Ressourcen, wie sie in der Natur überall zu finden ist. Kausale Zusammenhänge zwischen biotischen und abiotischen Variablen und der Organismenverteilung sind auf dieser kleinräumigen Skalierungsebene aufgrund des Zusammenspiels einer Vielzahl von Faktoren noch nicht bekannt, oft wird auch eine *random patch* vermutet (SCHMID 1991, 1992, 1993, 1994, 1997).

Durch die große Anzahl an zoobenthischen Arten und ihre unterschiedlichen, räumlich überlappenden Verteilungen ergibt sich theoretisch als Besiedlungsmuster ein komplexes Mosaik auf der Bachoberfläche, das in weiterer Folge auch dreidimensional in den Sedimentkörper hinein zu projizieren ist. Tatsächlich ist darüber in der Literatur wenig bekannt. Der Grund dafür, dies sei hier kritisch angemerkt, ist wohl der notwendige Probenahmeaufwand und die damit verbundenen Kosten.

Vertikale Verteilung. Epigäische, also oberflächengebundene Taxa wurden bis zu einer Sedimenttiefe von einem Meter gefunden. Heterotope Insekten erreichen meist die maximale Abundanz in der obersten Sedimentschicht von 20 cm, mit steigender Tiefe nehmen die Individuendichten dann ab (Abb. 13, BRETSCHKO 1981, 1992, 1998). Die Meiofauna, wie Cyclopiden und Harpacticiden, wie *Bythinella* oder *Niphargus*, erreicht ihre maximale Abundanz in tieferen Zonen (Abb. 13 und 14, KOWARC 1991, 1992, SCHMID-ARAYA 1994a, 1994b, 1997).

Im Gegensatz zu den horizontalen Mustern ist diese Tiefenverteilung zeitlich und räumlich stabil (BRETSCHKO 1991b, 1994). Aufgrund der Bedeutung dieser Sedimentschicht für das Gesamtökosystem definierte BRETSCHKO diese von epigäischen Faunenelementen

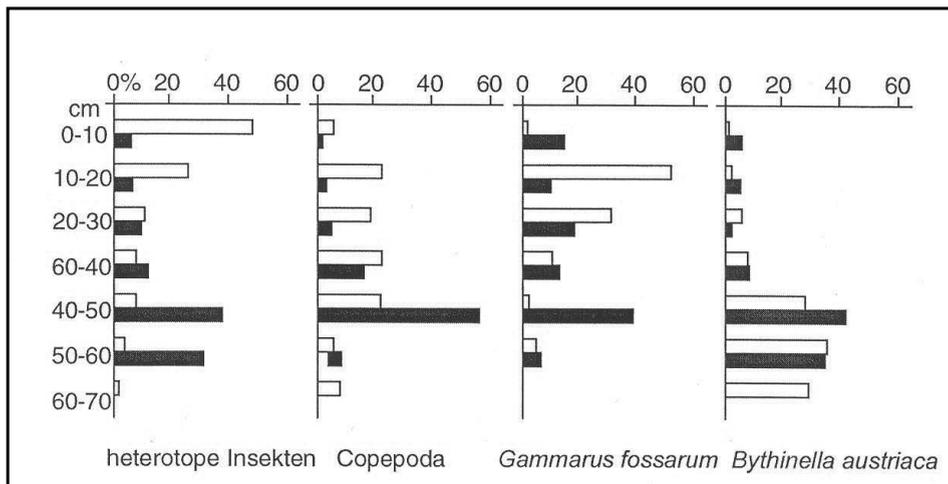


Abb. 13: Relative Tiefenverteilung verschiedener Taxa im Oberen Seebach, RITRODAT-Areal (BRETSCHKO 1998). Weiße Balken: Freeze-Core mit in situ Elektropositionierung (entspricht der Abundanz). Schwarze Balken: „Standpipe Traps“ (entspricht Abundanz x Mobilität). – Fig. 13: Relative vertical distribution of various taxa in the stream Oberer Seebach, RITRODAT site (BRETSCHKO 1998). White bars: freeze core with in situ electropositioning (corresponds to abundance). Black bars: standpipe traps (corresponds to abundance x mobility).

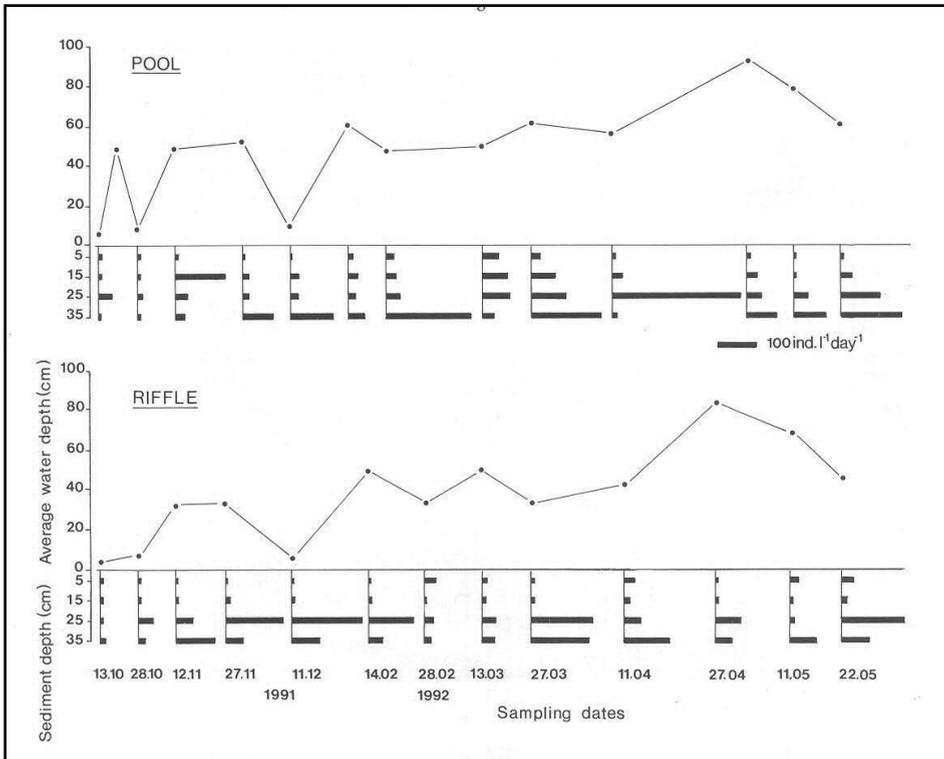


Abb. 14: Tiefenverteilung von Rotatorienabundanz (Mittelwerte) in Pool- und Riffle-Sedimenten des Oberen Seebachs (RITRODAT-Areal) sowie die mittlere Wassertiefe in den Jahren 1991 – 1992 (SCHMID-ARAYA 1994). – Fig. 14: Vertical distribution of rotatorian abundance (means) in pool and riffle sediments of the stream Oberer Seebach (RITRODAT site) as well as mean water depth from 1991-1992 (SCHMID-ARAYA 1994).

dominierte obere Schicht des Hyporheals als „*Bettsedimente*“ (engl. „*bedsediments*“) (BRETSCHKO 1994, BRETSCHKO & KLEMENS 1986, BRETSCHKO & LEICHTFRIED 1988). Die *Bettsedimente* sind ein essenzieller Bestandteil eines Fließgewässers – dies steht im Widerspruch zu der klassischen Sichtweise von Fließgewässern und Grundwasser (siehe dazu Literatur in BRETSCHKO 1995b, 1998).

Drift. Die organismische Drift im Oberflächenwasser ist ein wichtiger Verbreitungsmechanismus und essenziell für die rasche Kolonisation im Fließgewässer. Die Drift erfüllt für die Invertebraten gleichsam die Funktion einer Autobahn, mittels derer sie weite Strecken in kurzer Zeit zurücklegen können. Im Rahmen des RITRODAT-Programms wurden zeitliche Muster der Drift – die aus der Literatur bekannte diurnale Rhythmik der Driftdichte – und die Abhängigkeit der Drift von der Schüttung untersucht (TÖCKNER & WARINGER 1997, WAGNER 1999, 2000, WARINGER 1992). Ein weiterer Aspekt dieser Studien war die Kompensation der abdriftenden Organismen. Die Unabhängigkeit der Driftdichte von der benthischen Besiedelungsdichte wurde festgestellt (WARINGER 1984).

Gezeigt wurde auch, dass die Invertebraten die Drift als aktives Fortbewegungsmittel benutzen und nicht nur passiv verfrachtet werden. Die Driftstrecken unterscheiden sich

deutlich von partikulären organischen Partikeln ähnlicher Größe und Dichte, und ältere Larvalstadien erwiesen sich als aktivere Schwimmer in der Drift als Junglarven (WAGNER 1996).

Emergenz. Die als Larven lebenden Insekten der Bachfauna schlüpfen am Ende ihres juvenilen Entwicklungszyklus, leben dann terrestrisch und dienen der Fortpflanzung und Verbreitung. Aufgrund dieser Bedeutung im ökologischen Gefüge war das Studium der Emergenz seit Beginn des RITRODAT ein Fixpunkt im Programm, und es besteht eine Probensammlung von der kontinuierlichen Besammlung der Emergenzfallen aus den letzten 25 Jahren. Einige Serien sind bereits ausgearbeitet (PETER 1992, SCHMID 1987, STUMMER 1980, 1982, WARINGER 1984, 1986), eine Gesamtanalyse war aber bisher aus personellen und finanziellen Gründen jedoch nicht möglich.

Strukturelle und funktionelle Zusammenhänge: Ökologie

Ein Ziel der Ökosystemstudie RITRODAT war die Formulierung *allgemeingültiger Gesetzmäßigkeiten*, welche die Funktionsweise eines Fließgewässers erklären. Diese Resultate werden nun in einen größeren Zusammenhang gebracht und in Form von Kernaussagen dargestellt:

I. Räumliche Strukturen bedingen ökologische Funktionalität

Die natürliche räumliche Strukturierung in einem Fließgewässer ist essenziell für die Aufrechterhaltung der ökologischen Funktionsfähigkeit. Jeder Eingriff in die Morphologie, wie Begradigung, Stauhaltung oder Uferbefestigung hat daher zwangsläufig eine Beeinflussung biologischer Prozesse zur Folge (BRETSCHKO 1983, 1990c, BRETSCHKO & LEICHTFRIED 1985, 1986).

I a. Die natürliche Topographie ermöglicht Retentionsmechanismen

Fließgewässer im Grundzustand sind vom terrestrischen Lebensraum der Uferbegleitlandschaft nicht durch starre Grenzen getrennt, sondern verfügen über gelegentlich überströmte Flächen. Innerhalb des eigentlichen Bachbetts (innerhalb *bankfull*) sind dies Schotterbänke, außerhalb davon sind es Auwälder. Diese Flächen sind wichtige Retentionsräume für allochthones organisches Material (BRETSCHKO 1990a, BRETSCHKO & MOSER 1993, WINKLER 1991).

I b. Die Morphologie des Baches ermöglicht Austauschprozesse

Aufgrund des natürlichen topographischen Verlaufes gestaltet sich die Morphologie des Bachbetts heterogen – in Folge von Erosion und Deposition von Sediment wechseln Bereiche verschiedener Tiefe und hydraulischer Bedingungen einander ab. Durch die dadurch bedingten Druckunterschiede entstehen Austauschprozesse zwischen Oberflächen- und Interstitialwasser – das Hyporheal wird dadurch zu einem enormen Filtersystem. Ohne diese Prozesse wäre die Effektivität und Kapazität der „Selbstreinigung“ durch Biofilme nicht gegeben (BATTIN 1999, 2000, BRETSCHKO 1980a, CAPEK 1981, 1982).

I c. Die Sedimentzusammensetzung beeinflusst Biofilmquantität

Das riesige Filtersystem „*Bettsedimente*“ entsteht erst durch eine geeignete Zusammensetzung des Sedimentes aus verschiedenen Korngrößen. Im Idealfall erhalten große Steine die Permeabilität bis in große Tiefe und Feinsediment stellt Besiedelungsfläche zur Verfügung. Bei einem Ungleichgewicht, verursacht etwa durch Veränderung der Schüttung, kommt es entweder zur Verringerung der zur Verfügung stehenden Fläche oder zur

Verstopfung der Lückenräume (BRETSCHKO 1994, BRETSCHKO & CHRISTIAN 1989, LEICHTFRIED 1988, 1995, 1997).

II. Biodiversität braucht Habitatheterogenität

Der Grund für die überaus hohe Biodiversität im Versuchsareal RITRODAT (828 beschriebene Arten – Algen und Tiere – auf 100 Meter Fließstrecke) liegt in der heterogenen Habitatstrukturierung. Die verschiedenartigsten Lebensbedingungen erfüllen die Bedürfnisse einer großen Anzahl von Arten mit diversen ökologischen Ansprüchen (SCHMID-ARAYA & SCHMID 1995a, SCHMID & SCHMID-ARAYA 2000). Dieses Ausmaß an Habitatheterogenität kann erst durch die in Punkt I beschriebene natürliche Strukturierung und die damit verbundenen Prozesse entstehen.

III. Die Karten werden ständig neu gemischt

Die zeitlich hochvariable Wasserführung ist einer der stärksten Faktoren im Ökosystem Gebirgsbach und stellt eine immer wiederkehrende Störung dar. Diese Störungen sind jedoch für das Funktionieren des Ökosystems essenziell, da dadurch die Altersstruktur der Habitate divers gehalten und populationsökologische Entwicklungsprozesse unterbrochen werden. Die ständige Veränderung abiotischer Strukturen und Lebensbedingungen sind für die Lebewesen von hervorragender Bedeutung; biologische Interaktionen, wie Räuber-Beute-Beziehungen oder Konkurrenzphänomene treten in den Hintergrund. Daher können Arten mit ähnlichen ökologischen Ansprüchen nebeneinander existieren – ein weiterer Grund für die hohe Biodiversität. Ökosysteme, welche von ständig unterbrochener Sukzession bestimmt sind, werden auch als „*disturbance mediated ecosystems*“ bezeichnet (SCHMID-ARAYA 1995, SCHMID-ARAYA & SCHMID 1995a, SCHMID & SCHMID-ARAYA 2000).

IV. Bettsedimente sind zentraler Bestandteil des Ökosystems

Die vorhergegangenen Grundprinzipien zeigen die zentrale Rolle der **Bettsedimente** im Fließgewässersystem auf (BRETSCHKO 1995b, 1998, LEICHTFRIED 1995, 1997):

- Subterrane hydrologisches Interface mit dem Umland
- Physikalisch-biologisches Filtersystem
- Träger der Retention und des Umsatzes von organischem Material
- Struktureller Lebensraum der Biozönose
- Rückzugsraum für Invertebraten bei Störungsereignissen

V. Biofilme sind die notwendige Drehscheibe im Energiefluss

Die mikrobielle Zönose (Bakterien und Pilze) im Biofilm fungiert als Vermittler zwischen organischem Material und der Invertebratenfauna. Dieser Aufgabe als essenzielles Verbindungsglied im Energiefluss wurde im RITRODAT-Programm besondere Aufmerksamkeit gewidmet (Abb. 8). Allochthones POM wird von Biofilmen besiedelt und dadurch erst für die Fauna verwertbar gemacht. Gelöste organische Moleküle werden von Biofilmen adsorptiv gebunden und in körpereigene Substanzen umgewandelt (LEICHTFRIED 1985, 1988, 1991a, 1995). Um diese Aufgaben in der erforderlichen Kapazität erfüllen zu können, benötigen die Biofilme ausreichende Besiedlungsfläche, welche erst durch die natürliche Strukturierung der Bettsedimente gegeben ist.

RITRODAT und Fließgewässertheorie

Die beschriebenen basalen *Gesetzmäßigkeiten* im Ökosystem Fließgewässer, welche im Rahmen des RITRODAT-Programms durchleuchtet wurden, veranlassten Gernot

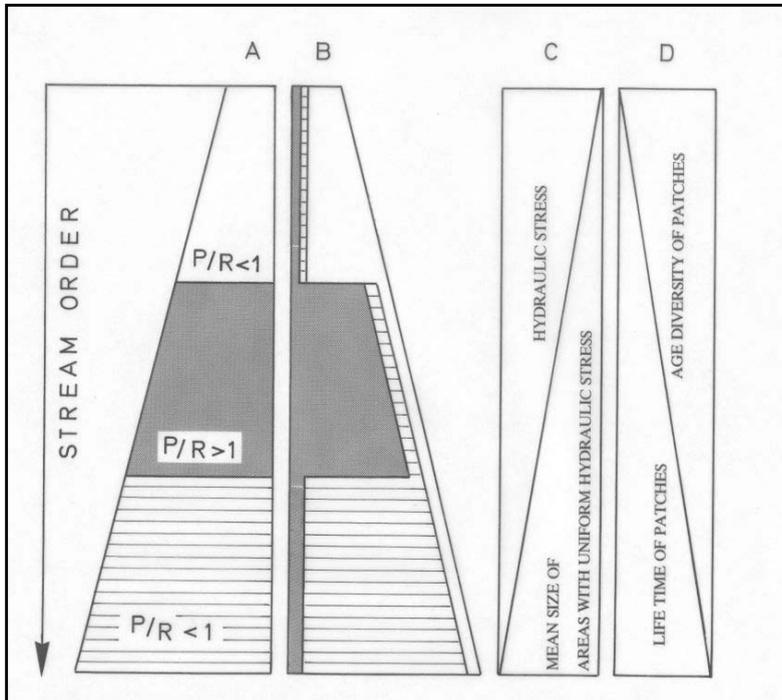


Abb. 15: Modifikation des „River Continuum Concepts“ nach BRETSCHKO (1995a). Links: Klassisches RCC (A) gegenübergestellt dem RCC mit integriertem „patch dynamics concept“ (B). Rechts: Zusammenhänge zwischen hydraulischen Variablen und Eigenschaften der „patches“ (C, D). – Fig. 15: Modification of the “River Continuum Concept” after BRETSCHKO (1995a). Left: Classic RCC (A) juxtaposed to a RCC with integrated “patch dynamics concept” (B). Right: Relationships between hydraulic variables and patch features (C, D).

BRETSCHKO zu einer Modifikation der aktuellen Konzepte der Fließgewässerökologie, um diesen Erkenntnissen Rechnung zu tragen. Er verband die Vorschläge aus dem *River Continuum Concept* (RCC, VANNOTE et al. 1980) mit den beschriebenen Aspekten der räumlichen Strukturierung und der Habitatheterogenität, dem *patch dynamics concept* (PRINGLE et al. 1988).

In dieser Betrachtungsweise von Fließgewässern erklärt die räumliche und zeitliche Dynamik der hydraulischen Prozesse die Variabilität von Größe und Alter der *patches* (Bereiche mit einheitlichen Umweltbedingungen) entlang des Fließgewässerskontinuums (Abb. 15 C und D). Diese *patch dynamics* werden in weiterer Folge herangezogen, um kleinräumige Abweichungen innerhalb der vom RCC vorhergesagten Zonen zu erklären (Abb. 15 A und B).

Schlussbemerkung

RITRODAT-LUNZ mit Gernot BRETSCHKO, das waren 25 faszinierende Jahre der Forschungs- und Arbeitsfreude am Oberen Seebach für alle, die daran teilnahmen – Freundschaft, Hilfsbereitschaft, Teamwork und viel mehr. Wir wünschen allen jungen Forschern ähnliche Chancen, obwohl diese immer weniger gesät werden.

Literatur

- BATTIN T.J., 1999: Hydrologic flow paths control dissolved organic carbon fluxes and metabolism in an Alpine Stream hyporheic zone. *Water Resource Res.* 35, 3159–3169.
- BATTIN T.J., 2000: Hydrodynamics is a major determinant of streambed biofilm activity: from the sediment to the reach scale. *Limnology and Oceanography* 45, 1308–1319.
- BATTIN T.J., BUTTURINI A. & SABATER F., 1999: Immobilization and metabolism of dissolved organic carbon by natural sediment biofilms in a Mediterranean and a temperate stream. *Aquat. Microb. Ecol.* 19, 207–305.
- BERGER F., 1977: Grundwasser und Thermik im Seebachbett. *Jber. Biol. Stn. Lunz* 1, 60–62.
- BERGER F., 1978: Das Grundwasser im Seebachbett. *Jber. Biol. Stn. Lunz* 2, 51–52.
- BERGER F., 1986: Natürliche Sehenswürdigkeiten des Lunzer Seetales. Ein Exkursionsführer. *Jber. Biol. Stn. Lunz* 10, 30–38.
- BERRY A. D., 1976: Detritus, microorganisms and animals in fresh water. – The role of terrestrial and aquatic organisms in decomposition processes. In: ANDERSON J. M. & MACFADYEN A., The 17th Symposium of The British Ecological Society 15–18 April 1975.
- BOLING R.H., GOODMAN E.D., VAN SICKLE J.A., ZIMMER J.O., CUMMINS K.W., PETERSEN R.C. & REICE S.R., 1975: Toward a model of detritus processing in a woodland stream. *Ecology* 56, 141–151.
- BRETSCHKO G., 1978: Ökosystemforschung Gebirgsbach, Ritrodat-Lunz. *Jber. Biol. Stn. Lunz* 1, 1–16.
- BRETSCHKO G., 1979: The new research concept of the Biological Station Lunz of the Austrian Academy of Sciences. *Stygo News* 2, 9–10.
- BRETSCHKO G., 1980a: Austauschprozesse zwischen Oberflächenwasser und Bettsedimentwasser. *Jber. Biol. Stn. Lunz* 4, 35–80.
- BRETSCHKO G., 1980b: Temperatur und Chemie des Bach- und Bettsedimentwassers. *Jber. Biol. Stn. Lunz* 4, 25–34.
- BRETSCHKO G., 1981: Vertical distribution of zoobenthos in an alpine brook of the Ritrodat-Lunz study area. *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 21, 873–876.
- BRETSCHKO G., 1983: Die Biozönosen der Bettsedimente von Fließgewässern – ein Beitrag der Limnologie zur naturnahen Gewässerregulierung. 164pp. BM f. Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- BRETSCHKO G., 1990a: The dynamic aspect of coarse particulate organic matter (CPOM) on the sediment surface of a second order stream free of debris dams (Ritrodat-Lunz study area). *Hydrobiologia* 203, 15–28.
- BRETSCHKO G., 1990b: The effect of escape reactions on the quantitative sampling of gravel stream fauna. *Arch. Hydrobiol.* 120, 41–49.
- BRETSCHKO G., 1990c: Die ökologische Bedeutung von Uferstrukturen. *Limnologische Berichte der 28. Tagung der IAD, Varna*, 272–275.
- BRETSCHKO G., 1991a: The limnology of a low order alpine gravel stream (Ritrodat-Lunz study area, Austria). *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 24, 1908–1912.
- BRETSCHKO G., 1991b: Bed sediments, groundwater and stream limnology. *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 24, 1957–1960.
- BRETSCHKO G., 1992: Differentiation between epigeic and hypogeic fauna in gravel streams. *Regulated Rivers. Research & Management* 7, 17–22.
- BRETSCHKO G., 1994: Bedsediment extension, grain shape and size distribution. *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 25, 1631–1635.
- BRETSCHKO G., 1995a: River/land ecotones: scales and patterns. *Hydrobiologia* 303, 83–91.

- BRETSCHKO G., 1995b: The ecological importance of stream bedsediments, regardless of whether or not they are inundated. *Folia Fac. Sci. Nat. Univ. Masarykianae Brunensis, Biologia* 91, 5–17.
- BRETSCHKO G., 1998: The river bottom in gravel streams. In: BRETSCHKO G. & HELEŠIĆ J. (eds.), *Advances in River Bottom Ecology*. Backhuys Publ., Leiden, NL, 1–11.
- BRETSCHKO G. & CHRISTIAN E., 1989: Collembola in the bedsediments of an alpine gravel stream (Ritrodat-Lunz study area, Austria). *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 74(5), 491–498.
- BRETSCHKO G. & DUDGEON D., 1995: Land-water interactions and stream ecology: Comparison of tropical Asia and temperate Europe. *Tropical Limnology* 1, 69–108.
- BRETSCHKO G. & KLEMENS W. E., 1986: Quantitative methods and aspects in the study of the interstitial fauna of running waters. *Stylogia* 2(4), 297–316.
- BRETSCHKO G. & LEICHTFRIED M., 1985: Erkenntnisse der Fließgewässerlimnologie und ihre Bedeutung für die Problemkreise Dotationswassermenge und Schwemmgut. *Schriftenreihe des Österr. Vereins zur Förderung von Kleinkraftwerken* 5, 1–25.
- BRETSCHKO G. & LEICHTFRIED M., 1986: Auswirkungen von Wasserableitungen auf Bergbäche. HEISIG-GUNKEL G., RIPL W., SCHUBERT M. (eds.), *Beiträge zur Limnologie: Landschaftsentwicklung und Umweltforschung*, Schriftenreihe d. Fachbereichs Landschaftsentw. d. TU Berlin 40, 501–503.
- BRETSCHKO G. & LEICHTFRIED M., 1988: Distribution of organic matter and fauna in a second order, alpine gravel stream (Ritrodat-Lunz study area, Austria). *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 23, 1330–1339.
- BRETSCHKO G. & MOSER H., 1993: Transport and retention of matter in riparian ecotones. *Hydrobiologia* 251, 95–101.
- CAPEK R., 1981: Hydraulische und hydrologische Analysen im Ritrodat-Areal. *Jber. Biol. Stn. Lunz* 5, 105–110.
- CAPEK R., 1982: Hydraulische und hydrologische Aspekte eines kleinen alpinen Flußabschnittes. *Diplomarbeit*. 109pp. Univ. für Bodenkultur, Wien.
- CASAS J. J., 1996: Environmental patchiness and processing of maple leaf litter in a backwater of a mountain stream: riffle areas vs. debris dams. *Arch. Hydrobiol.* 136, 489–508.
- CASAS J. J., 1997: Invertebrate assemblages associated with plant debris in a backwater of a mountain stream: natural leaf packs vs. debris dam. *J. Freshw. Ecol.* 12, 39–49.
- CHARACKLIS W. G. & MARSHALL K. C., 1989: *Biofilms*. 796pp. John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- CLAUSS K., 1992: Horizontale "patch"-Verteilung in der Schotterfauna eines alpinen Baches 2. Ordnung. 96pp. *Diplomarbeit Univ. Regensburg*.
- CLAUSS L., 1993: Horizontal patch-distribution in the gravel fauna of a second order alpine stream. *Jber. Biol. Stn. Lunz* 14, 113–115.
- CONNEL H. J., 1978: Diversity in tropical rainforests and coral reefs. *Science* 199, 1302–1310.
- GÖTZINGER G., 1910: Die Lunzer Seen, 1. Teil: Physik. A. Geomorphologie der Lunzer Seen und ihres Gebietes. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 3, 1–154.
- HYNE N. J., 1978: The distribution and source of organic matter in reservoir sediments. *Environm. Geol.* 2, 279–285.
- HYNES H. B. N., 1974: Further studies on the distribution of stream animals within the substratum. *Limnol. & Oceanography*, 19(1), 92–99.
- IVERSEN T. M., 1973: Decomposition of Autumn-shed Beech Leaves in a Springbrook and its Significance for the Fauna. *Arch. Hydrobiol.* 72(3), 305–312.

- IVERSEN T. M., 1974: Ingestion and growth in *Sericostoma personatum* in relation to the nitrogen content of ingested leaves. *Oikos*, 25, 278–282.
- KASIMIR G., 1990: Mikrobiologische Untersuchungen im Lunzer Seebach. *Jber. Biol. Stn. Lunz* 12, 55–70.
- KASIMIR G. D., 1991a: Die mikrobielle Biozönose eines alpinen Baches: Kompartimentierung, Biomassen und Aktivität. 56pp. Abschlußbericht FWF Projekt P6995-Bio.
- KASIMIR G. D., 1991b: Bakterielle Biomassen eines Kalkalpenbaches. DGL (Deutsche Gesellschaft für Limnologie E.V.); Erweiterte Zusammenfassungen d. Jahrestagung 30.9.–6.10.1991 in Mondsee, 329–333.
- KLEMENS W. E., 1985: Zur Problematik quantitativer Probennahmen in den Bettsedimenten von Schotterbächen unter besonderer Berücksichtigung der Makro- und Meio-Invertebraten. Diplomarbeit FU-Berlin.
- KLEMENS W. E., 1991: Quantitative sampling of bed sediments (Ritrodat-Lunz study area, Austria). *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 24, 1926–1929.
- KOWARC V. A., 1990: Production of a harpacticoid copepod from the meiofaunal community of a second order mountain stream. *Stygologia* 5(1), 25–32.
- KOWARC V. A., 1991: Distribution of harpacticoids in a second order mountain stream (Ritrodat-Lunz study area, Austria). *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 24, 1930–1933.
- KOWARC V. A., 1992: Depth distribution and mobility of a harpacticoid copepod within the bed sediment of an alpine brook. *Regulated Rivers: Research & Management* 7, 57–63.
- LEICHTFRIED M., 1985: Organic matter in gravel-streams. *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 22, 2058–2062.
- LEICHTFRIED M., 1986: Räumliche und zeitliche Verteilung von partikulärer organischer Substanz (POM-Particulate Organic Matter) in einem Gebirgsbach als Energiebasis der Biozönose. 360pp. Dissertation Univ. Wien.
- LEICHTFRIED M., 1988: Bacterial substrates in gravel beds of a second order alpine stream (Project Ritrodat-Lunz, Austria). *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 23, 1325–1332.
- LEICHTFRIED M., 1991a: POM in bed sediments of a gravel stream (Ritrodat-Lunz study area, Austria). *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 24, 1921–1925.
- LEICHTFRIED M., 1991b: Organische Substanz in Bettsedimenten des Oberen Seebaches in Lunz/See, Niederösterreich. *Mitt. öst. geol. Ges.* 83, 229–241.
- LEICHTFRIED M., 1992: Formen organischer Substanz in Bettsedimenten eines Schotterbaches 2. Ordnung (Projekt Ritrodat-Lunz, Österreich). DGL, Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 5.–9. 10. 1992 in Konstanz, 379–380.
- LEICHTFRIED M., 1994: Protein measurements in bedsediments, an important compartment of POM in a 2nd order gravel stream (Project Ritrodat-Lunz, Austria, Europe). *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 25, 1636–1640.
- LEICHTFRIED M., 1995: Organic matter in bedsediments – an energy source for lotic ecosystems (a compilation of a long term study). *Folia Fac. Sci. Nat. Univ. Masarykianae Brunensis, Biologia* 91, 77–93.
- LEICHTFRIED M., 1997: Bedsediments: protein and POM content (Ritrodat-Lunz study area, Austria). In: GIBERT, J., MATHIEU, J., FOURNIER, F. (eds.), *Groundwater/Surface Water Ecotones: Biological and Hydrological Interactions and Management Options*, 75–81. Cambridge Univ. Press.
- LEICHTFRIED M., 1998: Proteins: a very important fraction of particulate organic matter in river-bed sediments. In: BRETSCHKO G. & HELEŠIĆ J. (eds.), *Advances in River Bottom Ecology*. Backhuys Publ., Leiden, NL, 65–76.

- LEICHTFRIED M., 1999: Biofilme in Oberflächengewässern. Schriftenreihe d. österr. Wasser- und Abfallwirtschaftsverband 127, 101–112.
- LEICHTFRIED M., 2000: Gravel bars in low-order streams: (A) distribution of organic matter (Ritrodat-Lunz study area). Verh. Intern. Verein. Limnol. 27, 1611–1615.
- LEITL W., 1990: Zusammenhang zwischen Niederschlag, Abfluß und Grundwasser im Bereich des Ritrodat. 52pp. Diplomarbeit Univ. für BOKU Wien.
- MARSHALL K. E., (ed.), 1984: Microbial adhesion and aggregation. Life Sciences Research Report 31, Springer Verlag.
- MOSER H., 1991: Input of organic matter (OM) in a low order stream (Ritrodat-Lunz study area, Austria). Verh. Intern. Verein. Limnol. 24, 1913–1916.
- MOSER H., 1992: Oberflächeneintragung und Verfrachtung organischer Substanz bei einem Gebirgsbach. 137pp. Dissertation Univ. Wien.
- MOSER H., 1994: Factors influencing the surface input of organic matter into an alpine woodland stream. Verh. Intern. Verein. Limnol. 25, 1641–1645.
- MÜLLER G., 1964: Sediment-Petrologie I. 303pp. Methoden der Sedimentuntersuchung. Schweizerbart.
- MÜLLNER A. N., 1998: Vertikal- und Horizontalverteilung des Phytobenthos in einem Kalkschotter-Gebirgsbach (Ritrodat-Lunz, Österreich). 106pp. Diplomarbeit Univ. Wien.
- MÜLLNER A. N.: The Algal Species of a Gravel Stream „Oberer Seebach“, Lunz. Jber. Biol. Stn. Lunz 16, 41–50.
- PANEK K., 1986: Studien zur Migration dominanter Faunenelemente in den Bettsedimenten des Lunzer Seebaches unter besonderer Berücksichtigung tiefen- und richtungsvergleichender Aspekte. Jber. Biol. Stn. Lunz 10, 83–100.
- PANEK K., 1987: Studien zur Migration dominanter Faunenelemente in den Bettsedimenten des Lunzer Seebaches unter besonderer Berücksichtigung tiefen- und richtungsvergleichender Aspekte. Jber. Biol. Stn. Lunz 11, 81–90.
- PANEK K. L. J., 1991a: Migrations of the macrozoobenthos within the bed sediments of a gravel stream (Ritrodat-Lunz study area, Austria). Verh. Intern. Verein. Limnol. 24, 1944–1947.
- PANEK K. L. J., 1991b: Dispersionsdynamik des Zoobenthos in den Bettsedimenten eines Gebirgsbaches. 190pp. Dissertation Universität Wien.
- PETER B., 1984: Sedimentwasserströmungen und Sedimentfauna. Jber. Biol. Stn. Lunz 8,38.
- PETER B., 1985: Sedimentwasserströmungen und Bettsedimentfauna. 135pp. Diplomarbeit Univ. Freiburg.
- PETER I., 1992: Der Einfluss hydrologischer Parameter auf die Emergenz. 185pp. Diplomarbeit Univ. Regensburg.
- PRINGLE C. M., NAIMAN R. J., BRETSCCHKO G., KARR J., OSWOOD M., WEBSTER J., WELCOMME R. & WINTERBOURN M. J., 1988: Patch dynamics in lotic systems: The stream as a mosaic. J. N. Am. Benthol. Soc. 7, 503–524.
- RUTTNER A., 1948: Querfaltung im Gebiet des oberen Ybbs- u. Erlauftales/NÖ. Kalkalpen. Jb. geol. Bundesanstalt 93, 99–129.
- SCHMID P. E., 1987: Die zeitliche und räumliche Dynamik der Chironomiden in einem Gebirgsbach. 396 pp. Dissertation Univ. Wien,
- SCHMID P. E., 1991: Spatial and temporal population dynamics of larval Chironomidae in a mountain brook (Ritrodat-Lunz experimental area, Austria). Verh. Intern. Verein. Limnol. 24, 1934–1940.

- SCHMID P. E., 1992: Habitat preferences as patch selection of larval and emerging chironomidae (Diptera) in a gravel brook. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 26, 419–429.
- SCHMID P. E., 1993: Random patch dynamics of larval Chironomidae (Diptera) in the bed sediments of a gravel stream. *Freshwater Biology* 30, 239–255.
- SCHMID P. E., 1994: Is prey selectivity by predatory Chironomidae a random process? *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 25, 1656–1660.
- SCHMID P. E., 1997: Stochasticity in resource utilization by a larval Chironomidae (Diptera) community in the bed sediments of a gravel stream. In GIBERT J., MATHIEU J. & FOURNIER F. (eds.): *Groundwater/Surface Water Ecotones: Biological and Hydrological Interactions and Management Options*, 21–28. Cambridge Univ. Press.
- SCHMID P.E. & SCHMID-ARAYA J. M., 2000: Invertebrate assemblages of low-order British and Austrian streams. *Jber. Biol. Stn. Lunz* 16, 51–72.
- SCHMID-ARAYA J. M., 1994a: Temporal and spatial distribution of benthic microfauna in sediments of a gravel streambed. *Limnology and Oceanography* 39(8), 1813–1821.
- SCHMID-ARAYA J. M., 1994b: Spatial and temporal distribution of micro-meiofaunal groups in an alpine gravel stream. *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 25, 1649–1655.
- SCHMID-ARAYA J. M., 1995: Disturbance and population dynamics of rotifers in bed sediments. *Hydrobiologia* 313/314, 279–290.
- SCHMID-ARAYA J. M., 1997: Temporal and spatial dynamics of meiofaunal assemblages in the hyporheic interstitial of a gravel stream. In: GIBERT J., MATHIEU & J. FOURNIER F. (eds.), *Groundwater/Surface Water Ecotones: Biological and Hydrological Interactions and Management Options*, 29–36. Cambridge Univ. Press.
- SCHMID-ARAYA J. M., 1998: Small-sized invertebrates in a gravel stream: community structure and variability of benthic rotifers. *Freshwater Biology* 39, 25–39.
- SCHMID-ARAYA J. M. & SCHMID P. E., 1995a: The invertebrate species of a gravel stream. *Jber. Biol. Stn. Lunz* 15, 11– 22.
- SCHMID-ARAYA J. M. & SCHMID P. E., 1995b: Preliminary results on diet of stream invertebrate species: the meiofaunal assemblages. *Jber. Biol. Stn. Lunz* 15, 23–32.
- SCHWOERBEL J., 1964: Die Bedeutung des Hyporheals für die benthische Lebensgemeinschaft der Fließgewässer. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 15, 215–226.
- STUMMER C., 1980: Beiträge zur Methodik der Plecopterenemergenz und der Untersuchung von Bachsedimenten. *Jber. Biol. Stn. Lunz* 3, 81–86.
- STUMMER C., 1982: Emergenzuntersuchungen im “Ritrodat”-Areal (Abundanz, Verteilung und Dynamik von Plecopterenpopulationen). *Jber. Biol. Stn. Lunz* 5, 77–98.
- STRAHLER A. N., 1957: Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Am. Geophys. Union Trans.* 38, 913–920.
- STÜWE B., 1983: Bakteriologische Bestandsaufnahme (Oligocarbophile – Zymogene) im Wasser und Sediment des Lunzer Seebachs. 65pp.Diplomarbeit Univ. BOKU Wien.
- THENIUS E., 1974: Geologie der österreichischen Bundesländer, Niederösterreich. 2.Auflage. *Verh. Geol. Bundesversuchsanstalt* 280, 1974.
- TOCKNER K. & WARINGER J. A., 1997: Measuring drift during a receding flood: results from an Austrian mountain brook (Ritrodat-Lunz). *Int. Revue Hydrobiol.* 82, 1–13.
- UVÍRA V., BRETSCHKO G. & WAITZBAUER W., 2000: Gravel bars in low-order streams: (B) lotic and terrestrial fauna (Ritrodat-Lunz study area). *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 27, 1616–1621.
- VANNOTE R. L., MINSHALL G. W., CUMMINS K. W., SEDELL J. R. & CUSHING C. E., 1980: The River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37, 130–137.

- WAGNER F. H., 1996: Horizontale Verteilung der Drift von *Baetis* spp. (Baetidae, Ephemeroptera) und partikulärem organischen Material. 120pp. Diplomarbeit Univ. Wien.
- WAGNER F. H., 1999: Drift in kleinen Fließgewässern: Einfluß von Schüttung und Fließgeschwindigkeit. DGL Tagungsbericht 1998, 808–811.
- WAGNER F. H., 2000: Spatial drift distributions and their ecological importance. Verh. Intern. Verein. Limnol. 27, 1631–1634.
- WAGNER F. H., 2002: Sickerwassereinträge und Sedimentfauna in einem Gebirgsbach. 118pp. Dissertation Univ. Wien.
- WAGNER F. H. & BRETSCHEK G., 2002: Interstitial flow through preferential flow paths in the hyporheic zone of the Oberer Seebach, Austria. Aquatic Sciences 64, 307–316.
- WAGNER F. H. & BRETSCHEK G., 2003: Riparian trees and flow paths between the hyporheic zone and groundwater in the Oberer Seebach, Austria. Int. Revue Hydrobiol. 88, 129–138.
- WAGNER F. H. & LEICHTFRIED M., 2003: RITRODAT 1977–2003, Struktur und funktionelle Zusammenhänge im Ökosystem Bach. 132pp. Endbericht.
- WARINGER J. A., 1984: Vorläufige Ergebnisse einer Untersuchung zur Trichopteren-Emergenz im Ritrodat-Areal des Lunzer Seebaches (NÖ). Jber. Biol. Stn. Lunz 7, 83–106.
- WARINGER J. A., 1986: The abundance and distribution of caddisflies (Insecta: Trichoptera) caught by emergence traps in the „Ritrodat“ research area of the Lunzer Seebach (Lower Austria) from 1980 to 1982. Freshwater Biology 16, 49–59.
- WARINGER J. A., 1992: The drifting of invertebrates and particular organic matter in an Austrian mountain brook. Freshwater Biology 27, 367–378.
- WINKLER G., 1990: Besiedlung und Struktur von „Debris Dams“ (organische Dämme in Fließgewässern) und deren kleinräumige Wirkung auf einen Gebirgsbach. 184pp. Diplomarbeit Univ. Graz.
- WINKLER G., 1991: Debris dams and retention in a low order stream (a backwater of Oberer Seebach – Ritrodat-Lunz study area, Austria). Verh. Intern. Verein. Limnol. 24, 1917–1920.

Anschrift:

OR Dr. Maria LEICHTFRIED, Institut für Limnologie der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Mondseestr. 9, A-5310 Mondsee. E-Mail: maria.leichtfried@oeaw.ac.at.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 2008

Band/Volume: [142_146](#)

Autor(en)/Author(s): Leichtfried Maria, Wagner Franz H.

Artikel/Article: [Das RITRODAT-LUNZ Konzept der Biol.Station Lunz 1977-2003: Struktur undfunktionelle Zusammenhänge im Ökosystem Bach. \(In memoriam Univ.-Prof.Dr. Gernot Bretschko Symposium, 22.1.2003\) 133-161](#)