

Die ökologische Funktion der Bach- bettsedimente in intermittierenden und perennierenden Karstgewässern

von
Gabriele Weigelhofer

Endbericht 1996, TP. 1603-9./96
Im Auftrag vom "Verein Nationalpark Kalkalpen" (Leonstein, OÖ)
Gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie

Studienkoordination Ökologie, Universität Wien, Althanstr. 14, A-1090 Wien

Danksagung

Diese Studie wurde vom "Verein Nationalpark Kalkalpen" (Leonstein, OÖ) in Auftrag gegeben und wird vom Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie finanziell gefördert.

Der "Verein Nationalpark Kalkalpen" stellte weiters seine Infrastruktur im Forschungszentrum in Molln und sein Personal zur Verfügung. Ein besonderer Dank gilt dabei Hrn. Ing. Elmar Pröll und Fr. Lotte Gärtner für die chemischen Analysen.

Die DOC-Analysen wurden vom Institut für Meeresbiologie der Universität Wien durchgeführt.

Für die Überlassung der Pegelraten des Pegelschreibers Rossleithen (Klammstein), sei dem Hydrographischen Dienst OÖ, insbesondere Hrn. Ing. Wimmer, gedankt.

Ein Großteil der Beprobungsgeräte wurde von der Studienkoordination Ökologie der Universität Wien zur Verfügung gestellt.

Folgenden Personen wird für die Mitarbeit im Freiland gedankt: Ursula Eisendle, Eva Moser, Karl Moser, Michaela Panzenböck, Johann Weigelhofer, Mag. Thomas Weigelhofer.

Ein besonderer Dank gilt dem Koordinator des Karstprojekts, Hrn. Dr. Harald Haseke, für die prompte Zusendung von Informationen und Daten anderer Projektteilnehmer.

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract.....	3
2	Zusammenfassung.....	3
3	Einleitung	5
3.1	Wissenschaftlicher Hintergrund	5
3.2	Problemstellung.....	6
4	Material und Methoden	6
4.1	Untersuchungsgebiet.....	6
4.2	Probennahmeprogramm	7
4.3	Hydrologie und Bachmorphologie.....	8
4.3.1	Durchfluß	8
4.3.2	Vertikaler Hydraulischer Gradient (VHG).....	8
4.3.3	Kartierung des Bachverlaufs und des Gefälles	9
4.4	Biotische Parameter	9
4.4.1	Hyporheos (=Sedimentfauna)	9
4.4.2	Benthos.....	10
4.4.3	Drift	10
4.5	Chemische Analysen	10
4.6	Hydrologie und Bachmorphologie.....	11
4.6.1	Hydrologie des Einzugsgebietes	11
4.6.2	Bachkartierung	12
4.6.3	Durchflußraten an den Probenstellen P2-P4	13
4.6.4	Vertikaler Hydraulischer Gradient (VHG).....	14
4.7	Chemische Analysen	15
4.7.1	Temperatur	15
4.7.2	Elektrische Leitfähigkeit	16
4.7.3	Sauerstoff	18
4.7.4	Anorganische Nährstoffe und DOC	19
4.8	Biotische Parameter	20
4.8.1	Benthos.....	20
4.8.2	Hyporheos	22
4.8.3	Drift	23
4.8.4	Benthos, Hyporheos und Drift in den intermittierenden und perennierenden Bachabschnitten: Zusammenhänge und ihre ökologische Bedeutung.....	24
5	Literatur.....	25

1. Abstract

Since 1991 the "Hinterer Rettenbach" (HRB) and the "Fischbach" (FB) in the nationalpark "Limestone Alps" (Upper Austria) have been investigated as to the ecology and the dynamics of natural intermittent karst streams. The present study focuses on the ecological significance of the hyporheic zone for the biocoenosis of these two streams during disturbances (floods, drying).

The HRB and the FB are characterised by a rapid change of unpredictable, sudden floods and more or less prolonged drying periods, in which reaches of the FB fall dry up to a sediment depth of at least 40 cm. In the upper part of the intermittent zone a large downwelling site can be registered where surface water is lost to the underlying karst body (negative vertical hydraulic gradient). The lower part of the intermittent reach is characterised by an upwelling of karst water through the sediments, which can be registered through a positive vertical hydraulic gradient, lower water temperatures and the existence of *Niphargus sp.* on the sediment surface. The interstitial water of the hyporheic zone of both, the upwelling and downwelling site, and of the perennial stream reaches shows similar values in conductivity, temperature and oxygen content, but slightly increased nutrient concentrations than the surface water.

Hyporheic and benthic density and distribution patterns of aquatic organisms are heterogeneous and dynamic, according to the discharge of the respective stream reach and the character of the water exchange between surface and subsurface water over the hyporheic zone. Especially the fact, whether a stream reach falls dry or not, is an important factor for the abundance and the composition of the fauna of different reaches. Perennial stream parts are characterised by high abundances of organisms on the sediment surface (5300 Ind./m²) and in the hyporheic zone (10-40 individuals/l interstitial water). Dominant groups are aquatic larvae of Ephemeroptera, Chironomidae and Plecoptera, with additional high quantities of Harpacticidae in the sediments. Intermittent stream reaches show low abundances on the sediment surface (1000-1200 ind./m²) and in the sediments (0-10 ind./l) and are dominated by Collembola, Chironomidae and Oligochaeta, especially during low water conditions.

Biological interactions between perennial and intermittent stream reaches in the FB are complicated and manifold. During floods the highest quantity of organisms in the hyporheic zone can be found at or below 30 cm depth in perennial reaches and at downwelling sites of intermittent stream parts, while upwelling sites show the highest abundances in the first ten centimetres of the sediments. Benthic densities of macrozoobenthic organisms decrease in all parts of the stream at floods. When the water level falls, population densities on the sediment surface increase in perennial stream reaches and decrease in intermittent reaches. Hyporheic organisms of intermittent reaches are mainly represented by Oligochaeta, Chironomidae and Collembola and can be found deep in the sediments. Recolonization of the sediment surface of those reaches occurs rapidly after rewetting and is, again, dominated by the above mentioned groups.

2. Zusammenfassung

Das vorliegende Projekt führt die seit 1991 durchgeführten limnologischen Untersuchungen am Hinteren Rettenbach-Fischbach-System im Nationalpark Kalkalpen zur Erforschung der Ökologie und Dynamik von natürlichen intermittierenden und perennierenden Karstgewässern fort. Ziel dieses Projektes ist die Untersuchung der ökologischen Bedeutung der Bachbettsedimente für die Lebensgemeinschaften dieser Gewässer sowie die Rolle der ober- und unterirdischen Vernetzung von intermittierenden und perennierenden Bachbereichen bei Extremereignissen, wie Hochwässer und Austrocknung.

* Das Gewässersystem Hinterer Rettenbach-Fischbach kennzeichnet sich durch ein stark fluktuierendes Abflußregime und den raschen Wechsel von stochastischen, kurzfristigen Hochwässern und längeren Trockenperioden aus. Aufgrund der komplexen heterogenen Beziehung der Oberflächengewässer zum unterirdischen Wasserkörper kommt es zur Entstehung intermittierender (aperiodisch austrocknender) und perennierender (ständig überströmter) Bachabschnitte.

* Die intermittierenden Bachabschnitte im Fischbach weisen einen um durchschnittlich 30-70% niedrigeren Abfluß als die perennierenden Bereiche bei Mittelwasser auf und können bei Niedrigwasser bis auf eine Sedimenttiefe von > 40 cm austrocknen. Nach der Dauer der Austrocknung können sie in eine mittlere Kernzone und einen oberen und unteren Randbereich gegliedert werden. Während an dem bachaufwärts gelegenen Randbereich ein großflächiger Wasserverlust in das Sediment auftritt (negativer vertikaler Wasserdruck im Sediment; "Wasseraustrittsstelle"), kommt es am unteren Ende des intermittierenden Bereiches zu einem neuerlichen Grund- und Sedimentwassereintritt in den Bach (positiver vertikaler Wasserdruck, Auftreten von Grundwasserorganismen an der Sedimentoberfläche; "Wassereintrittsstelle").

* Aufgrund eines unterschiedlichen Einzugsgebietes unterscheiden sich der Hintere Rettenbach und der Fischbach bezüglich Temperatur und Leitfähigkeit des Wassers deutlich voneinander. Innerhalb der einzelnen Gewässer können keine Unterschiede zwischen dem Bach- und dem Sedimentwasser gemessen werden. Die Sedimente weisen eine gute Sauerstoffversorgung bis in 40 cm Tiefe auf, und besitzen gegenüber dem Oberflächenwasser erhöhte Nährstoffgehalte. Sie übernehmen damit die Funktion eines Nährstoffproduzenten und -speichers für den Bach.

* Sowohl die Besiedlung der Sedimentoberfläche (Benthal) als auch die des Sediments (Hyporheal) in den untersuchten Karstgewässern weisen eine hohe Heterogenität und "patchiness" in der Verteilung und Dichte der Individuen auf. Dominante Einflußfaktoren sind das jeweilige hydrologische Regime des Fließgewässers sowie die Art und Richtung der hyporheischen Austauschprozesse zwischen Oberflächen- und Grundwasser. Die Dichte und Zusammensetzung der Fauna hängt zu einem Großteil vom Grad der Ungestörtheit des betrachteten Bachabschnittes, vor allem im Hinblick auf die Möglichkeit der Austrocknung, ab. Perennierende Bereiche kennzeichnen sich durch eine hohe Besiedlungsdichte des Benthals (5300 Ind/m²) und des Hyporheals (10-40 Ind/l Sedimentwasser) und durch die Dominanz aquatischer Insektenlarven aus den Gruppen Ephemeroptera, Chironomidae und Plecoptera. Die Fauna der intermittierenden Abschnitte weist geringe Individuendichten auf (1000-1200 Ind/m² im Benthal und 0-10 Ind/l im Hyporheal) und ist durch das Vorkommen von Collembolen, Chironomiden und Oligochaeten geprägt. Perennierende Pools innerhalb der trockengefallenen Bachbereiche weisen hohe Unterschiede in der Wasserchemie (Sauerstoffgehalte zwischen 50 und 90 % Sättigung, Leitfähigkeiten zwischen 240 und 400 µS/cm) und in der Individuendichte des Benthals (1100 - 6800 Ind/m²) auf.

* Die biologische Interaktion der perennierenden und intermittierenden Bereiche im Hinteren Rettenbach-Fischbach-System erweist sich als äußerst komplex und vielfältig. Bei Hochwässern kommt es bei gleichzeitiger Dichteabnahme auf der Sedimentoberfläche an der Wasseraustrittsstelle im intermittierenden Bereich und im perennierenden Abschnitt zu einer Verlagerung der Sedimentfauna in die Tiefe, während an der Wassereintrittsstelle die höchste Sedimentbesiedlung in den oberen Tiefenschichten beobachtet werden kann. In Trockenzeiten steigt die benthische Besiedlungsdichte in den perennierenden Bachbereichen an, während sie an den intermittierenden Stellen abnimmt. Weiters läßt sich eine Verlagerung der Sedimentfauna in die Tiefe beobachten. Die Rekolonisation trockengefallener Bereiche erfolgt rasch, wobei die Fauna unmittelbar nach der neuerlichen Flutung von Oligochaeten, Collembolen und Chironomiden dominiert wird. Die Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß das Hyporheal zumindest für einen Teil der Bachfauna als Überlebensraum bei Trockenheit, möglicherweise auch bei Hochwässern, genutzt werden kann.

* Perennierender Pools innerhalb der trockengefallenen Strecken weisen große Unterschiede in der Wasserchemie und in der Individuendichte des Benthals auf.

3. Einleitung

3.1. Wissenschaftlicher Hintergrund

Karstgewässer stellen zeitlich und räumlich dynamische Ökosysteme dar, deren Lebensgemeinschaften zum Großteil von der Hydrologie dieser Gewässer bestimmt wird. Durch die Kopplung an einen meist mächtigen unterirdischen Wasserkörper im Karst-Hohlraumssystem und die zunehmende Austrocknung in größeren Höhenlagen (Tockner 1993) beschränkt sich die Entwässerung des Gebietes häufig auf wenige größere, meist von Riesenkarstquellen gespeiste Fließgewässer in Tallagen. Diese sind - wie im Falle des Hinteren Rettenbach-Fischbach-Systems - aufgrund der geringen Retentionskapazität der Karstböden (Bonacci 1993) charakterisiert durch ein stark fluktuierendes Abflußregime, das durch den raschen Wechsel von stochastischen und kurzfristigen Abflußspitzen bei Schmelz- und Hochwasserdurchgängen und unterschiedlich langen, zeitlich nicht vorhersehbaren Trockenperioden geprägt ist (Tockner 1993). Extreme Pegelschwankungen werden in der Limnologie aus der Sicht der Fließwasserbiozönose als "disturbances" bezeichnet. Unter einer "disturbance" versteht man "jedes diskrete Ereignis, das Ökosysteme, Lebensgemeinschaften oder Populationsstrukturen in ihrem zeitlichen Ablauf unterbricht und die Ressourcen, Substratverhältnisse oder die physikalische Umwelt ändert" (White & Pickett, 1985). Die Reaktionsfähigkeit eines Ökosystems auf eine derartige "disturbance" hängt von dessen Stabilität ab, die sich einerseits aus der Resistenz ("resistence" = die Fähigkeit, eine Systemänderung zu vermeiden) und andererseits aus der Elastizität ("resilience" = Dauer und Grad der Erholung) ergibt (Webster et al 1975). Natürliche Fließgewässer mit einer ungestörten Verbindung zu ihrer Umwelt erweisen sich als Ökosysteme mit geringer Resistenz, aber hoher Elastizität (Lake & Barmmuta, 1986).

In dynamischen Karstgewässern, wie dem Hinteren Rettenbach-Fischbach-System, kommt es aufgrund der räumlich stark variablen, komplexen Vernetzung der Oberflächengewässer mit dem unterirdischen Wasserkörper zur Entstehung von episodischen, intermittierenden und perennierenden Bachbereichen innerhalb der einzelnen Fließgewässer. Neben der oberirdischen Verbindung dieser unterschiedlichen Bachabschnitte übt vor allem die unterirdische Beziehung zwischen dem Oberflächen- und dem Grundwasser über die Bachsedimente einen entscheidenden Einfluß auf die Elastizität dieses Gewässersystems aus (Grimm et al 1991). Unter dem "Hyporheal" bzw. der "hyporheischen Zone" wird jener Bereich der wasserführenden Sedimente verstanden, der eine Interaktionszone zwischen dem Oberflächen- und dem Grundwasser bildet ("Ökoton-Ansatz nach Vervier et al 1992; siehe auch z.B. Gibert et al 1990; Williams 1993). Über diese Interaktionszone kommt es zwischen den beiden Wasserkörpern durch das Transportmedium Wasser zum Austausch von Energie, Materie und Information (Gibert et al 1990; Sedell et al 1990; Vervier et al 1992). Die hyporheische Zone besitzt dabei die Funktion eines mechanischen und chemischen Filters, der den Wasser- und Stoffaustausch zwischen den einzelnen Kompartimenten kontrolliert und transportierte Partikel transformiert und speichert. Diese Rückhalte- (Retentions-) und Speicherkapazität der hyporheischen Zone für organisches Material, Nährstoffe, aber auch Organismen, wirkt sich je nach Größe und Richtung der Wasserströme im Sediment auf den Stoffhaushalt des Fließgewässers aus (Grimm & Fisher 1984; Mathieu et al 1991). Während an Wasseraustrittsstellen ("downwelling sites") sauerstoffreiches Bachwasser in das Sediment-Lückenraumssystem gelangt und damit ideale Bedingungen für Bachwasserorganismen im Sediment entstehen, kann an Wassereintrittsstellen ("upwelling sites") meist sauerstoffarmes, aber nährstoffreiches Sediment- oder Interstitialwasser beobachtet werden (Hendricks 1993). Neben dem Vorkommen von Grundwasserorganismen in den obersten Schichten der Bachsedimente kennzeichnen sich solche Stellen meist auch durch eine stark erhöhte Primärproduktion an der Sedimentoberfläche.

In perennierenden und intermittierenden Karstgewässern stellen die Bachsedimente neben ihrer Funktion als Energie- und Materiespeicher auch noch die einzige Verbindung zwischen wasserführenden und trockengefallenen Bachbereichen dar. Da das Hyporheal von der Bachbiozönose besiedelt werden kann (z.B. Marmonier & des Chatelliers 1991; Mc Elravy & Resh 1991; Griffith & Perry 1993) ergeben sich hiermit zusätzliche Refugialräume für die Fauna der intermittierenden Bachabschnitte in Zeiten der Austrocknung. Weiters steht das Sediment auch bei Hochwässern als möglicher Zufluchtsort der Bachfauna zur Verfügung.

3.2. Problemstellung

Trotz einer zunehmend gesamtökologischen Betrachtungsweise von Extremereignissen und ihren Auswirkungen auf die Stabilität und das Funktionieren von Ökosystemen, ist gerade das Problem der intermittierenden Gewässer in der Limnologie noch weitgehend unerforscht. Die bestehenden Studien konzentrieren sich meist auf aride oder semiaride Gebiete (z.B. Boulton et al 1991; Grimm et al 1991; Boulton & Lake 1992), während Karstgewässer stark vernachlässigt werden.

Die vorliegende Untersuchung befaßt sich mit dem Gewässersystem "Hinterer Rettenbach-Fischbach" im geplanten Nationalpark Kalkalpen, das sich für diese Fragestellung durch den geringen Grad an anthropogener Beeinflussung, ein stark fluktuierendes Abflußregime und einen räumlich gut definierten Wechsel von intermittierenden und perennierenden Bachabschnitten als ideales Untersuchungsgebiet auszeichnet (Tockner et al 1990). Das Projekt baut auf den seit 1991 durchgeführten limnologischen Untersuchungen zur Erforschung der Ökologie intermittierender Karstgewässer auf (Tockner et al 1991; Tockner 1993; Tockner 1994) und deckt unter anderem im Rahmen des Nationalpark-Karstprogrammes die Erfassung des "Outputs", sowie der Dynamik und Ökologie der quell- und vorfluterdominierten Gewässer ab.

Das Ziel dieser Studie liegt in der qualitativen und quantitativen Erfassung der Wasseraustauschprozesse über das Hyporheal intermittierender und perennierender Bachabschnitte mit Hilfe verschiedenster abiotischer und biotischer Parameter, um einen Einblick in die ökologische Bedeutung der Bachsedimente für diese Gewässer zu gewinnen. Besondere Beachtung findet dabei die Art und Stärke der Interaktion von intermittierenden und perennierenden Abschnitten bei Extremereignissen, wie Hochwässer und Austrocknung. Neben der Grobvermessung der untersuchten Gewässerabschnitte mittels Polygon und Theodolith werden Wasseraus- und -eintrittsstellen über die Messung des vertikalen Wasserdrucks im Sediment (ausgedrückt durch den vertikalen hydraulischen Gradienten), sowie über Durchflußmessungen ermittelt. Für eine weitere Untersuchung der im Hyporheal ablaufenden Austauschprozesse werden mit Hilfe von permanent im Sediment installierten Sonden Wasserproben aus unterschiedlichen Tiefen entnommen und biologisch und chemisch analysiert. Das vorhandene Datenmaterial gibt Aufschluß über die Orientierung und das Ausmaß vertikaler Wasserströme (-> Austausch von Energie, Materie und Information), über das Vorkommen horizontaler und vertikaler Grenzzonen (-> limitierende Faktoren für die Verbreitung epigeischer und hypogeischer Faunenelemente), sowie über Nährstoff- und Materialdepots im Sediment. In Verbindung mit der Beprobung der Sedimentoberfläche und des Oberflächenwassers können Rückschlüsse auf die Retentions- und Speicherkapazität des Hyporheals und über die Art und das Ausmaß der oberirdischen und unterirdischen Vernetzung von intermittierenden und perennierenden Karstgewässern gewonnen werden.

4. Material und Methoden

4.1. Untersuchungsgebiet

Das untersuchte Gewässersystem "Hinterer Rettenbach-Fischbach" liegt am S-O-Rand des Sengsengebirges in Oberösterreich im Bereich des geplanten Nationalparks Kalkalpen zwischen 14°19' und 14°23' östlicher Länge und 47°44' bis 47°47' nördlicher Breite (Fesl, 1994; Weilguni 1994; siehe Abb. 1, im Anhang). Das orographische Einzugsgebiet umfaßt bei einer oberirdischen Wasserscheidenlinie von 15,85 km eine Gesamtfläche von ca. 14,55 km² (von der Quelle des Fischbachs im Mehlboden bis zum Jagdhaus am Hinteren Rettenbach), wobei 10,4 km² auf den Fischbach (FB) und 4,15 km² auf den Hinteren Rettenbach (HRB) entfallen (Tockner, 1993).

Der FB entspringt als Hangschuttquelle im Mehlboden-Rettenbachreith auf einer Seehöhe von ca. 820 m und mündet bei 615 m in den HRB, dessen Riesenkarstquelle auf einer Seehöhe von 635 m liegt. Während der Aquifer des FB aus Hauptdolomit besteht, setzen sich die Aquifere des HRB aus Hauptdolomit und Wettersteinkalk zusammen (Tockner et al 1991). Der unterschiedliche geologische Untergrund der Einzugsgebiete spiegelt sich in der Chemie der Oberflächenwässer (Tockner et al

1991, Tockner 1993; siehe auch Kapitel 3.2. in der vorliegenden Arbeit) wieder. Nähere Daten zur Orographie, Geologie und Stratigraphie des Einzugsgebietes in Tockner et al (1991).

Als typische Karstgewässer weisen der HRB und der FB eine hohe zeitliche Dynamik auf, die sich, abhängig von der jeweiligen hydrologischen Situation der Bäche, einerseits in Form von stochastisch und kurzfristig auftretenden Abflußspitzen bei Schmelz- und Niederschlagsereignissen ("flashy streams"), sowie in einem Wechsel von aperiodisch trockenfallenden (intermittierende) und ständig wasserführenden (perennierenden) Bachabschnitten auswirkt (Tockner et al 1991). Für die vorliegende Studie wurden 4 Probenstellen ausgewählt, die bereits in den Jahren 1991-1993 limnologisch untersucht worden waren (Tockner et al 1991; Tockner 1993; Tockner 1994): zwei intermittierende Bachabschnitte am FB (P3 und P4), sowie je ein perennierender Bereich am FB (P2) und am HRB (P1, entspricht ungefähr der Q2 aus den Jahren 91-93; siehe Abb. 1, 2 und 3a-c, im Anhang). Mit Ausnahme des P3, der aufgrund starker Veränderungen der Bachmorphologie (Entstehung einer Schotterinsel) ca. 30 m bachaufwärts verlegt werden mußte, konnten die restlichen Probenstellen im FB aufgrund von Kartierungen und Markierungen genau übernommen werden. Für eine exakte Erfassung der Probenstellen wurden diese auf der Grundlage der ÖK 68 und 69 (BMN 5810 + 5811) mit dem Maßstab 1:50.000 nach dem Bundesmeldegitternetz mit folgenden Hoch- und Rechtswerten verortet (Tab. 1).

Tab.1: Hoch- und Rechtswerte sowie Höhenangabe der Probenstelle P1-P4 (nach ÖK 1:50.000, Bundesmeldegitternetz). Die Höhenangaben stammen aus der Polygonvermessung (siehe Kapitel 3.1.4.).

Probenstelle	Rechtswert	Hochwert	Höhe
P1 (HRB)	524 080	291 130	612 m
P2 (FB)	524 295	291 050	636 m
P3 (FB)	524 075	291 090	627 m
P4 (FB)	523 620	291 100	614 m

4.2. Probennahmeprogramm

Die Beprobung erfolgte innerhalb des Untersuchungszeitraumes Mai 1996 bis Oktober 1996 an 7 Terminen, die aufgrund ihres unterschiedlichen hydrologischen Regimes und, soweit möglich, in Koordination mit dem Monitoring und den Ereigniskampagnen des Karstprojekts ausgesucht wurden (Tab. 2). Während an den Probenstellen P2-P4 meist das gesamte Beprobungsprogramm durchgeführt werden konnte, wurde die Beprobung am P1 aufgrund der großen Störungsanfälligkeit der Probenstelle (Zerstörung der im Sediment exponierten Fallen durch Hochwässer) und der teilweise schwierigen Probenentnahme bei höheren Wasserständen stark eingeschränkt.

Tab. 2: Probenentnahmeprogramm für die einzelnen Termine und Probenstellen P1-P4. Angegeben sind die hydraulische Situation (HW=Hochwasser, MW=Mittelwasser, NW=Niedrigwasser), die Termine des Quellmonitorings (M) und der Ereigniskampagnen (E) des Karstprojekts sowie die biotischen (Benthos, Hyporheos, Tages- und Dämmerungsdrift) und abiotischen (Chemie und Hydrologie) Probenentnahmen. TD = Tagesdrift, DD= Dämmerungsdrift, Lf = Leitfähigkeit, T = Temperatur.

Datum	Hydrologie	Karstprojekt	Benthos	Hyporheos	Drift
25.-26.5.	MW	--	--	Installation	--
29.-30.5.	MW	--	P1-P4	P1-P4	--
9.-10.7.	9.:HW 10.:MW	M:10.-12.7	P1-P4	P2-P4	P2-P4 TD+DD
5.-6.8.	NW	--	P1-P4	P1-P4	P2-P4 TD+DD
22.-23.8.	NW (Aus-trocknung)	--	P1-P4	P1-P4	P2+P3 P4 trocken
28.8.	NW (Austrocknung,	E:26.-30.8.	P2,P3,	trocken	P2+P3 nach

	ab 14°° Flutung)		Pools		Flutung
4.10.	MW	--	P2-P4	zerstört	--
26.10.	NW	M:22.-26.10.	--	zerstört	--

Fortsetzung Tab. 2:

Datum	Lf/O ₂ /T. Ober- fläche	Lf/O ₂ /T. Hy- porheal	Piezometer	Durchfluß	Nährstoffe DOC
25.-26.5.	P1-P4	Installation	P1,P2,P4	P2,P4	--
29.-30.5.	P1-P4	P1-P4	P1-P4	P2	nur mit Feld- photometer
9.-10.7.	P1-P4	P1-P4	P1-P4	HW:P2+P3 MW:P2-P4	P1-P4
5.-6.8.	P1-P4	P1-P4	P2-P4	P2-P4	P1-P4 (kein DOC)
22.-23.8.	P1-P4	P1-P4	P2-P4	P2-P4	--
28.8.	P2+P3, Pools	trocken	P2+P3 nach Flutung	--	P2+P3, Pools
4.10.	P1-P4	zerstört	zerstört	P2-P4	--
26.10.	P1-P4	zerstört	zerstört	P2-P4	--

4.3. Hydrologie und Bachmorphologie

4.3.1. Durchfluß

Zu jedem Probennahmetermin wurden an den Probenstellen P2-P4 an 1-3 Querprofilen in 0,25 m Abständen die mittlere Strömungsgeschwindigkeit und die Tiefe mit Hilfe eines Ott-Strömungsmeßgeräts mit Propeller (Propellerdurchmesser 3 cm) ermittelt und der jeweilige Durchfluß nach der Geschwindigkeits-Flächen-Methode (Brassington 1993) berechnet. Zusätzlich wurde an jedem Probenpunkt der Wasserstand anhand eines Hilfspegels abgelesen.

4.3.2. Vertikaler Hydraulischer Gradient (VHG)

Der VHG ist ein Maß für die Richtung und Quantität von Wasserströmen in das bzw. aus dem Sediment. Für die Erfassung des VHG wurden an jedem Probenpunkt in unmittelbarer Nähe zu den Rohrgruppen für die Hyporheosentnahmen (siehe Pkt. 2.4.1) jeweils ein 75 cm langes, 22 mm dickes, hohles und an beiden Enden offenes Plastikrohr auf eine Sedimenttiefe von 30 cm eingeschlagen (Abb. 4, im Anhang). Um den Eintrag von Partikeln und Regenwasser zu verhindern, wurden die Piezometer mit verkehrt befestigten, mit seitlichen Löchern versehenen Plastikbechern abgedeckt. Die Löcher gewährleisteten den Druckausgleich mit der Umgebung.

Die Ablesung des VHG erfolgte nach dem Prinzip eines stark vereinfachten Piezometers (Lee & Cherry 1978, in Stanley & Valett 1992; Brassington 1993; Gordon et al 1992): Ein mit Farbkreide bemalter Maßstab wird 10 Sekunden lang in das Rohr gehalten, so daß sein markiertes Ende ca. 2 cm unter die Wasserlinie im Rohr reicht. Der Wasserstand im Rohr kann nun anhand der Trennlinie zwischen feuchter und trockener Kreide bis auf +/- 2 mm genau abgelesen werden. Der VHG wird nach folgender Formel berechnet (siehe Stanley & Valett 1992):

$$\text{Hydraulic Head } H = W_{Sa} - W_{Si}$$

$$\text{Vertikaler hydraulischer Gradient VHG} = H / t$$

W_{Sa} = Abstand zwischen Rohroberkante und Wasseranschlagslinie an der Rohraußenseite

W_{Si} = Abstand zwischen Rohroberkante und Wasseranschlagslinie im Rohr

t = Eindringtiefe des Rohres

Ein positiver VHG kennzeichnet eine Stelle, an der Wasser aus dem Sediment in den Bach gedrückt wird (Wassereintrittsstelle, "upwelling site"), ein negativer VHG markiert eine Wasseraustrittsstelle ("downwelling site"). Bachbereiche mit einem VHG von 0 werden als "stationary sites" bezeichnet (Stanley & Valett 1992).

Die genaue Handhabung (Expositionszeit, Länge des eingetauchten Stabes,...) wurde zuvor im Labor getestet, um etwaige Fehlerquellen, wie zum Beispiel die künstliche Erhöhung des Wasserstandes durch das Volumen des Maßstabes, auszuschalten.

4.3.3. Kartierung des Bachverlaufs und des Gefälles

Mit Hilfe eines Theodolithen (Wild T2) und eines Polygons wurde am 4.10. und am 26.10. die gesamte Strecke zwischen dem P4 und dem P2 am Fischbach vermessen und im Maßstab 1:2000 gezeichnet. Neben der Aufnahme der Distanz, Richtung, Höhendifferenz und der Bachbreite zwischen den einzelnen Meßpunkten wurden bachmorphologische Einheiten, wie Pools, Kaskaden und Schotterinseln, sowie (anhand der Aufzeichnungen der ausgetrockneten Bachabschnitte während des gesamten Probenzeitraumes) potentielle Wassereintritts- und Austrittsstellen vermerkt und in die Karte eingetragen. Zusätzlich wurde versucht, die Vermessungspunkte der Studie von 1991 (Tockner et al 1991) auf den Kartierungsplan zu übertragen, um langfristige Aussagen treffen zu können.

4.4. Biotische Parameter

4.4.1. Hyporheos (=Sedimentfauna)

Die Beprobung des Hyporheals erfolgte mit Hilfe von im Sediment permanent installierten Rohrgruppen. Jede Rohrgruppe bestand aus 3 einzelnen, unten offenen Plastikrohren (16 mm Durchmesser) für die Tiefen 15, 30 und 40 cm. Für den Anschluß an die Pumpapparatur waren die Rohre an ihrem oberen Ende mit einem ca. 40 cm langen Schlauchstück versehen (Abb. 4, im Anhang). Die Exposition der Rohrgruppen erfolgte durch Einschlagen eines zugespitzten, 45 mm dicken Stahlrohres, das an seiner Außenseite mit einer 50 cm langen, hohlen und an beiden Enden offenen Plastikmanschette verbunden war. Nachdem die erforderliche Tiefe erreicht worden war, wurde das Stahlrohr aus der Manschette gezogen, die Sedimentrohre durch die Öffnung der Manschette auf die geforderte Eindringtiefe gebracht und anschließend diese entfernt. Pro Probenpunkt wurden jeweils 3 Rohrgruppen zufällig exponiert.

Für die Entnahme des Interstitialwassers wurde ein 5 l Plastikkanister an das Schlauchstück angeschlossen, der mit einer Handpumpe verbunden war. Durch Betätigung der Pumpe entstand ein Unterdruck im Behälter, durch den Interstitialwasser, Feinsediment (bis zu 1 cm großen Steinen), Detritus und Organismen angesaugt wurden (Abb. 5, im Anhang). Das partikuläre Material wurde über ein 100 µm Sieb abfiltriert und für die weitere Bearbeitung in 95 % Ethanol fixiert. Anschließend wurden die O₂-Sättigung, die Leitfähigkeit und die Temperatur des Wassers sowie das Volumen gemessen und die Probe für die weitere chemische Bestimmung (NH₄, NO₂, NO₃, PO₄, DOC) in 1 l PVC-Flaschen bzw. Glasflaschen abgefüllt.

Die Pumpmethode ist eine gängige und preiswerte Methode in der Limnologie zur wiederholten Gewinnung von Interstitialwasser aus dem Sediment an ein und derselben Stelle im Bachbett. Ein Nachteil dieser Methode ist allerdings, daß die Größe des besammelten Sedimentvolumen und damit auch die exakte Tiefe der entnommenen Probe nicht exakt bestimmt werden können. Bei einem mittleren Porenvolumen von 18 % (Tockner 1993) und einem Probenvolumen von 5 dm³ Sedimentwasser besitzt das theoretisch beprobte Sediment in dieser Arbeit ein Volumen von ungefähr 27 dm³. Unter der Annahme eines nach allen Richtungen gleichmäßig verteilten Wasserentzuges (was in der Praxis sehr unwahrscheinlich ist) entspräche dieses Volumen einem quadratischen Würfel mit 30 cm Kantenlänge. Aus diesen Berechnungen wird ersichtlich, daß die Tiefenangaben der vorliegenden Arbeit sich nicht auf die absoluten Entnahmetiefen der jeweiligen Proben beziehen, sondern nur die relativen Tiefenverteilungen der Proben zueinander berücksichtigen. Beobachtungen im Feld weisen weiters darauf

hin, daß die Hauptrichtung des Pumpzuges nach unten gerichtet war, wodurch der tatsächliche Schwerpunkt des beprobten Sedimentvolumen voraussichtlich unter der angegebenen Tiefe zu liegen kommt. So konnte in einem Fall noch Wasser aus 30 cm Tiefe gepumpt werden, obwohl das Sediment an dieser Stelle bis auf eine Tiefe von ca. 35 cm ausgetrocknet war.

Ein weiteres Problem bei der händischen Pumpmethode stellte sich bei der Handhabung im Freiland heraus: durch den Wasserentzug im Sediment und die dort vorherrschenden sehr niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten entsteht mit zunehmender Entnahmetiefe ein wachsender Unterdruck im Sediment. So konnte bereits bei den 30 cm tiefen Rohren ein leichter, meist jedoch vernachlässigbarer Widerstand gegen den Wasserentzug festgestellt werden, während die Entnahme aus 40 cm Tiefe oftmals unmöglich oder zumindest nur stark eingeschränkt möglich war. Dementsprechend konnten jene Parameter, für die ein Sammelvolumen von 5 l zur genauen Erfassung benötigt wurde (z.B. Sedimentfauna, Nährstoffanalysen, DOC), häufig nur für die 15 und 30 cm Probenrohre ermittelt werden.

Die Sedimententnahmen erfolgten am 29.5., 9.7., 5.8. und 22.8. Am 28.8. fiel der Wasserstand an den Rohrstandorten am P3 und P4 unter die Tiefe von 40 cm, weswegen eine Beprobung der Sedimente ausfiel.

4.4.2. Benthos

An jedem Probenpunkt wurden 3-5 Benthosproben in unmittelbarer Nähe der Rohrgruppen mit einem Hess-Sampler (Maschenweite 100 µm, Probenfläche 0,049 m²) entnommen und für die weitere Bearbeitung in 95 % Ethanol fixiert. Die Entnahmen fanden am 29.5., 9.7. (Hochwasser), 5.8., 22.8. (Austrocknung), 28.8. (Austrocknung) und 4.10 statt.

Am 28.8. wurden, zum Zeitpunkt der völligen Austrocknung des Fischbaches zwischen dem P3 und dem P4, das Benthos zweier wasserführender Pools (Pool P3 und Pool P4; siehe 7, im Anhang) mit Hilfe eines 100 µm Netzes beprobt. Das Netz wurde dabei bis zu einer Sedimenttiefe von ca. 5 cm über eine Fläche von ca. 0,05 m² über den Boden der Pools gezogen und das gefangene Material wieder konserviert und ausgewertet.

4.4.3. Drift

An den Probenstellen P2-P4 wurden zu ausgewählten Terminen (Hochwasser am 9.7., Mittelwasser am 5.8., Austrocknung am 22.8. und 28.8.) zusätzlich mit Hilfe von drei, im Stromstrich direkt über der Sedimentoberfläche exponierten Driftfallen die mittleren Driftraten und -dichten ermittelt. Die Driftfallen bestanden aus einem Plexiglasrohr mit 8 cm Durchmesser (wirksame Fangfläche von 0,005 m²) mit eingeklebten Kunststoffkonus zur Verhinderung der Flucht gefangener Organismen (siehe Waringer 1990). Das Rohr war mit einem 0,5 m langen Netzbeutel mit einer Maschenweite von 200 µm versehen, der an seinem Ende mit einem abnehmbaren Sammelbehälter verbunden war. Die Fallen wurden mit Eisenstäben an der Sedimentoberfläche befestigt. Die Expositionszeiten betrugen bei Mittel- und Niedrigwasser ca. 30-40 Minuten, bei Hochwasser aufgrund der schnellen Verstopfung der Netze 10 Minuten. Für die Bestimmung der mittleren Drift wurden die Fallen jeweils einmal zwischen 11 und 15 Uhr (Tagesdrift), sowie bei Einbruch der Dämmerung um ca. 21³⁰-22³⁰ Uhr (Dämmerungsdrift) exponiert. Unmittelbar nach der Entnahme der Fallen wurde an jedem Fallenstandort die mittlere Strömungsgeschwindigkeit, die Wassertiefe und der Überflutungsgrad der Fallen (im Falle eines extremen Niedrigwassers) ermittelt. Das Driftmaterial wurde für die weitere Bearbeitung in 95 % Ethanol konserviert.

4.5. Chemische Analysen

Die Messung der Leitfähigkeit, der Temperatur und des Sauerstoffgehalts im Sediment- und Oberflächenwasser des Baches erfolgte im Freiland mit WTW 196 Elektroden. Für die Nährstoffanalysen wurde das Wasser in 1 l PVC-Flaschen abgefüllt, innerhalb von 4 Stunden in das Nationalpark-Labor (Molln) gebracht und bis zur Aufbereitung gekühlt bzw. gefroren (NO₃ und DOC). Die Analyse des NH₄, NO₃, NO₂, PO₄ und GP erfolgte spektrophotometrisch nach ISONORM bzw. ÖNORM (ISO 7150, M 6238, M 6282, M 6237, M 6237).

Die DOC-Proben wurden in 1 l C-freie Braungläser abgefüllt und bis zur Analyse tiefgefroren. Die Analyse erfolgte am Institut für Meeresbiologie der Universität Wien.

Ergebnisse und Diskussion

4.6. Hydrologie und Bachmorphologie

4.6.1. Hydrologie des Einzugsgebietes

Abb. 6 zeigt die täglichen mittleren Wasserstände im HRB am Pegelschreiber Rossleithen (Klammstein), bezogen auf ein Einzugsgebiet von 15,4 km², in der Zeit vom Mai 1996 bis Oktober 1996 (Daten vom Hydrographischen Dienst des Landes OÖ). Die hydrographischen Kenndaten für die einzelnen Monate innerhalb des Beprobungszeitraumes sind der Tab. 3 zu entnehmen.

Über den gesamten Beobachtungszeitraum betrug die Abflußmenge 28,52 Mio. m³, wobei die niedrigste Fracht mit 2,3 Mio. m³ im August, die höchste mit 7,75 Mio. m³ im September gemessen werden konnte. Während die mittleren Durchflußraten im Juni bis August weit unter dem langjährigen Monatsmittel lagen, wurden im September und Oktober Mittelwasserwerte weit über dem Durchschnitt gemessen. Im Oktober sticht vor allem ein Hochwasserereignis am 21./22.10. ins Auge: an diesen beiden Tagen konnte eine Gesamtfracht von 3 Mio. m³ gemessen (1,8 + 1,2 Mio. m³) werden, was ungefähr dem Monatswert vom Juni, Juli oder August entspricht.

Tab.3 : Hydrographische Kenndaten vom Mai bis Oktober 1996 am Pegelschreiber Rossleithen (Klammstein). Daten vom Hydrographischen Dienst des Landes OÖ.

	HHQ (m ³ /s)	MQ (m ³ /s)	NNQ (m ³ /s)	max. Tages- fracht (Mio. m ³)	Gesamt- fracht (Mio. m ³)	Vergleich des MW zum langjährigem Mittel (%)
Mai	8,78	2,45	0,78	0,55	6,57	98
Juni	8,74	1,19	0,22	0,48	3,09	57
Juli	11,7	1,30	0,16	0,69	3,49	53
August	5,36	0,87	0,18	0,32	2,32	46
September	17,5	2,99	0,31	0,95	7,75	1661
Oktober	37,5	1,98	0,19	1,82	5,30	639
Mai-Oktober	37,5	-	0,16	1,82	28,52	-

4.7. Bachkartierung

Abb. 7 (im Anhang) zeigt den Bachverlauf des Fischbachs mit den jeweiligen Höhenlagen im Maßstab 1:2.000. Der Bach weist sowohl im Gefälle als auch in der durchschnittlichen Bachbreite, der Beschaffenheit der Sedimentoberfläche und der Uferstruktur einen deutlichen Unterschied zwischen dem bachabwärts gelegenen Bereich (von der Mündung in den HRB bis zur Brücke oberhalb des P4, Pkt. 0-16 in Abb. 7) und dem bachaufwärts gelegenen Bereich (oberhalb der Brücke, Pkt. 16 bis 39) auf. Während das durchschnittliche Gefälle im unteren Bereich bei 4,9 % liegt, beträgt es im oberen Bereich nur 3 %. Auch die durchschnittliche Bachbreite nimmt von ca. 3,5-4 m auf ca. 5-6 m zu. Aufgrund der größeren Bachbreite und der meist flachen Ufer im oberen Lauf hat der Fischbach die Möglichkeit in seinem Bachbett laterale Bewegungen auszuführen und bildet häufig intermediäre und laterale Schotterbänke oder -inseln aus. In den Bereich mit dem größten Gefälle zwischen Pkt. 4 und 16 fallen auch die geringsten Bachbreiten, mit einer minimalen Breite von 0,3 m im Bereich der Kaskade (Pkt. 11). Hier fließt der Bach durch teilweise anstehenden Fels mit steilen Ufern und geringen Ausweichmöglichkeiten innerhalb seines Bachbetts. Die dominanten bachmorphologischen Strukturen in diesem Bereich werden von Kolken oder Pools unterhalb künstlicher oder natürlicher Schwellen (siehe Abb. 7) gebildet. Erst im Bereich der Probenstelle P4 wird der Bach wieder flacher und breiter und beginnt neuerlich Schotterbänke an den Ufern auszubilden.

Zu jedem Probentermin wurden die trockengefallenen und überfluteten Bereiche des FB vermerkt und nachträglich mit der Polygonvermessung verglichen (Tab. 4). Es zeigt sich, daß innerhalb des intermittierenden Bereiches Zonen mit unterschiedlicher Austrocknungsdauer bestehen (siehe auch Abb.7): die Kernzone zwischen Pkt. 8 und 13 fällt relativ schnell trocken (an 5 von 9 Terminen), während der Bereich zwischen Pkt. 20 und 25 nur zu einem einzigen Termin trocken fiel. Eine ähnliche Situation wurde auch 1991 beobachtet (Tockner et al 1991): während Ende Juni 1991 erst einige Bereiche zwischen dem P3 (entspricht etwa dem Pkt. 17-18) und dem P4 (Pkt.1-2) ausgetrocknet waren, fiel Mitte August bis Oktober der gesamte Bach zwischen P3 und der Mündung in den HRB mehrmals trocken.

Auffällig sind einige, bis zu 1m tiefe Pools und Kolke innerhalb der intermittierenden Strecke, die auch bei Trockenheit meist noch Wasser führen und sich damit als "upwelling sites" klassifizieren: während der Pool zwischen Pkt. 4 und 5 gegenüber seiner Umgebung deutlich zeitverzögert austrocknet, wurde im Pool P3 (zwischen Pkt 10-11) und im Pool P4 (unterhalb der Brücke am P4) stets Wasser beobachtet.

Tab. 4: Protokoll der trockengefallenen und überfluteten Bereiche an den einzelnen Probenterminen: T = trocken, - = geflutet. Die Zahlenangaben beziehen sich auf die Vermessungspunkte der Polygonvermessung (Abb.7). Der Pool P4 befindet sich bachabwärts vom Pkt. 0 unterhalb der Brücke (Beprobung des Benthos am 28.11.).

	0-5	5-8	8-13	13-20	20-25	Pool 10-11 (=Pool P3)	Pool 4-5	Pool P4
25.5.	-	-	-	-	-	-	-	-
29.5.	-	-	T	-	-	-	-	-
9.7.	-	-	-	-	-	-	-	-
10.7.	-	-	-	-	-	-	-	-
5.8.	-	-	T	-	-	-	-	-
22.8.	T	T	T	T	-	-	T	-
28.8.	T	T	T	T	T	-	T	-
4.10.	-	-	-	-	-	-	-	-
26.10.	-	T	T	T (bis 16)	-	-	-	-

4.7.1. Durchflußraten an den Probenstellen P2-P4

Abb.8 zeigt die Durchflußwerte der Stellen P2-P4 zu den einzelnen Probenterminen. Aufgrund zahlreicher, jedoch geringfügiger Niederschläge im Sommer waren bis zum 5.August noch alle drei Probenpunkte durchgehend geflutet, obwohl der Fischbach zwischen dem P3 und P4 bereits stellenweise austrocknete (siehe auch Punkt 3.1.2). Am 22.August reichte der trockengefallene Abschnitt vom P4 (ab ca. 5m oberhalb der Brücke, siehe auch Abb. 7) bis knapp unterhalb der mittleren Rohrgruppe am P3. Die Probenentnahmen wurden dementsprechend auf die untersten bzw. obersten Bereiche dieser Probenpunkte beschränkt. Erst am 28.August war der gesamte Abschnitt oberhalb der Einmündung in den HRB bis ca. 200 m unterhalb des P2 ausgetrocknet. Im Laufe dieses Tages kam es infolge heftiger Regenfälle zur neuerlichen Flutung des P3 von bachaufwärtsgelegenen Abschnitten, während der P4 bis zum Ende der Probenentnahmen trocken blieb.

Die für Karstgewässer charakteristische zeitliche und räumliche Dynamik zeigt sich nicht nur in der Austrocknungsphase, sondern auch bei Hochwässern. So konnte am 9.7. ein Hochwasser gemessen werden, bei dem es trotz ständigen Niederschlages im FB innerhalb von nur 3 Stunden zu einem Pegelabfall von ca. 15 bis 20 cm kam.

Trotz eines teilweise unterschiedlichen Abflußregimes (Tockner 1993) weisen die Durchflußwerte am P2 eine hohe Korrelation mit den Werten des HRB am Pegelschreiber Rossleithen auf (Abb. 9, Tab. 5). Der Grund dafür liegt voraussichtlich in der punktuellen Aufnahme der Durchflußdaten am P2, die gegenüber einer kontinuierlichen Datenerhebung Abweichungen nur schwer erkennen läßt. Allerdings zeigen auch die Untersuchungen von 1991-93 (Tockner et al 1991; Tockner 1993) einen relativ synchronen Verlauf mit meist nur geringen Abweichungen zwischen den Pegelständen der Hilfspegeln und dem des Pegelschreibers Rossleithen.

Tab. 5: Daten der linearen Regressionsanalyse der Durchflußmengen am P2 und am HRB beim Pegel Rossleithen (Klammstein). SE = Standardfehler

	a (SE)	b (SE)	r ²	n
HRB-P2	-15,36 (50,0)	0,095 (0,0078)	0,96	9

Für eine Abschätzung der Wasserzufuhr bzw. des -verlustes für den Bach über das Sediment wurden die einzelnen Durchflußdaten der Probenpunkte einander gegenüber gestellt (Abb. 10, Tab. 6). Mit Ausnahme des Hochwassertermins am 9.7. liegen die Durchflußmengen am P2 meist deutlich über denen des P3 und P4. Die Differenz wird umso deutlicher, je weniger Wasser der Bach führt: so kann am P3 bei Mittelwasser ein Durchfluß von ca. 50-90 % der Menge des P2 gemessen werden, während bei Niedrigwasser die Werte unter 30 % fallen. Der P4 weist fast immer geringere Durchflußwerte als der P3 auf, wobei die Mengen ungefähr ein Drittel der Werte des P2 ausmachen. Die kritische Abflußmenge am P2, bei der die intermittierenden Abschnitte trocken fallen, liegt bei ca. 30-40 l/s; die Durchflußmessungen wie auch die Bachbegehungen (siehe Kapitel 3.1.2) zeigen, daß der P4 häufiger trocken fällt als der P3.

Vergleicht man die Ergebnisse dieser Studie mit den Durchflußmessungen von Tockner (Tockner, 1993), so zeigt sich ein ähnlicher Trend: auch hier weisen die Probenstellen P3 und P4 einen geringeren Durchfluß als der P2 auf, allerdings liegt der P3 mit Verlusten von 60-70 % weit unter dem P4 (30-40 % Verluste, jedoch nur 2 Meßwerte vorhanden). Der P3 trocknete bereits bei einem kritischen Durchfluß am P2 von ca. 40 l/s aus und wies damit häufigere und längere Trockenzeiten auf als der P4 (kritische Durchflußmengen am P2 von 30 l/s). Auch in dieser Studie waren die Unterschiede umso größer, je weniger Wasser der Bach führte. Außerdem wird erwähnt, daß bereits bei einer Durchflußmenge von ca. 50 l/s am P2 Bachbereiche zwischen dem P4 und dem P3 auszutrocknen begannen, wie es auch im Untersuchungsjahr 1996 der Fall war (vergleiche auch Kapitel 3.1.2). Die unterschiedliche Austrocknungsdauer am P3 zwischen der vorliegenden Arbeit und der von Tockner

läßt sich durch die Verlegung des P3 um ca. 30 m bachaufwärts erklären. Da die Austrocknung sich von einer "Kernzone" zwischen den Probenstellen P3 und P4 (siehe auch Kapitel 3.1.2.) mit Absinken des Wasserstandes allmählich nach beiden Richtungen ausbreitet, hängt die jeweilige Austrocknungshäufigkeit und -dauer eines Bachquerschnittes von der Entfernung zu dieser "Kernzone" ab.

Tab. 6: Durchflußwerte der Probenpunkte P2-P4 in l/s für die einzelnen Probentermine. Bei mehr als 1 gemessenen Querprofil sind der Mittelwert und in Klammer die Standardabweichung angegeben. n.g. = nicht gemessen.

	P2	P3	% des P2	P4	% des P2
25.5.	183	n.g.	-	7,7 (4,3)	4,2
29.5.	191,4	n.g.	-	n.g.	-
9.7.	734,8 (55,2)	879,0 (96,1)	119,6	n.g.	-
10.7.	231,4	211,7	91,5	174,2	75,3
5.8.	65,4	20,1 (9,0)	30,7	20,8 (1,3)	31,8
22.8.	32,0	2,3	7,2	0	0
28.8.	38,0	0	0	0	0
4.10.	79,5	61,9	77,9	28,9	36,4
26.10	57,6	30,9	53,6	15,4	26,7

4.7.2. Vertikaler Hydraulischer Gradient (VHG)

Innerhalb der Parallelproben eines Probenpunktes kann eine hohe Variabilität der VHG festgestellt werden, was auf eine starke räumliche Heterogenität der Probenpunkte und einen häufigen Wechsel von "upwelling", "downwelling" und "stationary sites" schließen läßt (Tab. 7). Diese Ergebnisse stimmen mit den Beobachtungen vor Ort und den Durchflußmessungen (vgl. Tab. 6: Standardabweichungen bei Parallelproben) an den Probenpunkten überein, bei denen vor allem bei niedrigem Wasserstand starke Unterschiede in der Größe der benetzten Querprofile innerhalb eines Probenpunktes beobachtet werden konnten.

Tab. 7: VHG-Werte ($n \cdot 10^{-2}$) an den Probenpunkten P1-P4 (Mittelwerte, Standardabweichungen St). Am 28.8. wurde sowohl bei Austrocknung am Vormittag (V) als auch nach der neuerlichen Flutung des P3 am Nachmittag (N) gemessen. t=trocken, z=zerstört.

	P1	St	P2	St	P3	St	P4	St
25.5.	2,9	3,9	0	0	z	-	14,3	12,2
29.5.	1,0	1,4	-1,2	1,2	-0,2	2,3	19,8	13,7
10.7.	0	0	-0,8	1,2	-4,5	3,1	z	-
5.8.	z	-	-4,6	7,9	-6,4	8,4	11,9	7,0
22.8.	z	-	-4,7	4,5	-6,7	0	3,0	0
28.8. V	z	-	-6,7	4,0	t	-	t	-
28.8. N	z	-	-4,2	5,0	-13,4	17,2	t	-

Neben der räumlichen Heterogenität stellt sich zusätzlich eine starke zeitliche Dynamik in Abhängigkeit vom jeweiligen hydraulischen Regime ein (Abb. 11). Besonders die intermittierenden Stellen P3 und der P4 reagieren stark auf eine Veränderung des Pegels: Während der P4 in Mittel- und Hochwasserzeiten deutlich durch ein überwiegendes "upwelling" von Interstitialwasser aus dem Sediment in den Bach charakterisiert wird, kann am P3 ein überwiegender Wasserverlust in den Sedimentkörper festgestellt werden. Mit der Abnahme des Wasserstandes stellt sich, wie erwartet, ein zunehmend negativer Trend an beiden Probenpunkten ein. Betrachtet man den perennierenden P2, so

zeigt sich, daß trotz der ständigen Überflutung dieses Probenpunktes auch hier mit abnehmendem Wasserstand ein zunehmendes "downwelling" von Bachwasser in die Bachsedimente eintritt.

Vergleicht man die VHG-Werte mit den Durchflußmessungen, so zeigt sich bei beiden Methoden am P3 ein deutlicher Wasserverlust in das Sediment. Der P4 zeichnet sich aufgrund seines positiven VHG-Wertes als Wassereintrittsstelle aus, was auch durch das Vorkommen von *Niphargus* sp., einem typischen Grundwasserbewohner, an der Sedimentoberfläche bestätigt wird. Die Durchflußmessungen zeigen, daß trotz dieser Wasserzufuhr aus dem Sediment die oberflächlich transportierten Wassermengen an dieser Stelle noch weit unter denen der bachaufwärts gelegenen Bachabschnitte liegen. Das würde bedeuten, daß der FB im Unterlauf einen Nettoverlust der oberflächlich transportierten Wassermassen gegenüber dem Oberlauf aufweist, der bis zur Einmündung in den HRB nicht kompensiert werden kann.

4.8. Chemische Analysen

4.8.1. Temperatur

Wie die Tab. 8 zeigt, unterscheidet sich der P1 am HRB in seinem Temperaturregime deutlich von den Probenstellen P2-P4 am FB. Innerhalb des Beobachtungszeitraumes konnte am P1 im Oberflächenwasser eine mittlere Temperatur von 7,1°C, im Interstitialwasser von ca. 8°C gemessen werden. Die oberflächliche Wassertemperatur an den Probenpunkten P2-P3 lag bei ca. 9,4°C, während im Sediment eine mittlere Temperatur von 10,9°C gemessen werden konnte. Generell war die Wassertemperatur im Sediment um 0,5 bis 1,5 °C höher als im freien Wasser, was wahrscheinlich zum Teil auf die unterschiedliche Meßmethode (Messung im fließenden Wasser gegenüber Messung im Behälter) zurückzuführen ist.

Auch in den Jahren 1991-1992 konnten am FB stets um ca. 1°C höhere Bachtemperaturen als im HRB gemessen werden, wobei die mittleren Temperaturwerte aufgrund des längeren Beprobungszeitraumes (auch Winterwerte) naturgemäß niedriger ausfallen (FB: 7,3 bis 7,8°C, HRB 6,6-6,7°C; aus Tockner 1993).

Tab. 8: Mittlere Wassertemperatur (in °C) des Oberflächenwassers (Oberf.) und des Interstitialwassers aus 15, 30 und 40 cm Tiefe an den Probenstellen P1-P4. Angegeben sind die Mittelwerte der Parallelproben zu jedem Probentermin sowie der Mittelwert und die Standardabweichung (SE) für jede Probe über den gesamten Beprobungszeitraum. Am 28.8. wurde sowohl am Vormittag (v) bei extremer Trockenheit wie auch am Nachmittag (n) nach ergiebigen Regenfällen gemessen. n= nicht gemessen, t= trocken, z=zerstört;

Probe	26.5.	30.5.	9.7.	5.8.	23.8.	28.8.v	28.8.n	4.10.	26.10.	Mw	SE
P1:15 cm	n	7,1	6,8	7,3	8,3	8,6	n	z	z	7,6	0,8
P1:30 cm	n	7,0	6,9	7,8	8,7	8,5	n	z	z	7,8	0,8
P1:40 cm	n	7,4	n	8,5	9,7	8,6	n	z	z	8,5	0,9
P1:Oberf.	6,9	6,9	6,8	6,9	8,6	8,6	n	6,8	5,3	7,1	1,1
P2:15 cm	n	8,9	8,9	11,0	10,7	11,3	12,0	z	z	10,5	1,3
P2:30 cm	n	8,9	8,8	11,1	10,9	11,3	12,0	z	z	10,5	1,3
P2:40 cm	n	n	n	n	n	11,2	11,0	z	z	11,1	0,1
P2:Oberf.	8,4	8,5	8,3	11,9	11,3	10,1	12,0	8,2	6,1	9,4	2,0
P3:15 cm	n	11,8	8,5	11,9	11,6	t	t	z	z	11,0	1,6
P3:30 cm	n	11,8	8,6	12,1	11,2	t	t	z	z	10,9	1,6
P3:40 cm	n	n	n	13,2	n	t	t	z	z	13,2	0,0
P3:Oberf.	8,6	9,5	9,0	11,9	11,0	t	13,2	8,4	6,2	9,7	2,2
P4:15 cm	n	9,5	9,2	10,7	10,4	t	t	z	z	10,0	0,7
P4:30 cm	n	10,0	9,6	10,6	10,3	t	t	z	z	10,1	0,4
P4:40 cm	n	9,9	n	11,4	10,9	t	t	z	z	10,7	0,8
P4:Oberf.	9	9,1	8,6	11,2	10,5	t	t	8,2	6,1	9,0	1,6
Pool P3	8,6	9,5	9	11,9	11	11,4	12,9	8,4	6,1	9,9	2,1
Pool P4	9,0	9,1	8,6	11,2	10,5	10,4	12,8	8,2	6,1	9,5	1,9

4.8.2. Elektrische Leitfähigkeit

Tab. 9 zeigt die Leitfähigkeitswerte des Interstitial- und Oberflächenwassers am P1-P4 während des Beobachtungszeitraumes. Auch hier unterscheidet sich der P1 am HRB mit Werten von 200-204 $\mu\text{S}/\text{cm}$ von den Probenstellen P2-P4 am FB, die Leitfähigkeitswerte von 271-287 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im Oberflächen- und Interstitialwasser aufweisen. Die Leitfähigkeit des Sedimentwassers liegt an allen Probenstellen geringfügig über den Werten des Oberflächenwassers, die Differenzen lassen sich meist aufgrund der verschiedenen Meßmethodik im stehenden bzw. fließenden Wasser bzw. aufgrund der Meßungenauigkeit der Elektroden erklären.

Tab. 9: Mittlere elektrische Leitfähigkeit (in $\mu\text{S}/\text{cm}$) des Oberflächenwassers (Oberf.) und des Interstitialwassers aus 15, 30 und 40 cm Tiefe an den Probenstellen P1-P4. Angegeben sind die Mittelwerte der Parallelproben zu jedem Probentermin sowie der Mittelwert und die Standardabweichung (SE) für jede Probe über den gesamten Beprobungszeitraum. Bei der Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung wurden die Daten vom 30.5. aufgrund des großen Unterschiedes zu den übrigen Probenterminen (fehlerhafte Elektrode?) nicht berücksichtigt. Am 28.8. wurde sowohl am Vormittag (v)

bei extremer Trockenheit wie auch am Nachmittag (n) nach ergiebigen Regenfällen gemessen. n= nicht gemessen, t= trocken, z=zerstört;

Probe	26.5.	30.5.	9.7.	5.8.	23.8.	28.8.v	28.8.n	4.10.	26.10.	Mw	SE
P1:15 cm	n	154	191	197	209	211	n	z	z	202	9,6
P1:30 cm	n	166	190	197	210	211	n	z	z	202	10,1
P1:40 cm	n	163	n	198	208	208	n	z	z	204	5,9
P1:Oberf.	199	173	191	200	205	203	n	199	200	200	4,4
P2:15 cm	n	194	262	274	288	295	266	z	z	277	14,0
P2:30 cm	n	206	265	274	288	296	264	z	z	277	14,0
P2:40 cm	n	192	n	n	n	297	265	z	z	281	23,0
P2:Oberf.	280	201	262	272	287	297	264	280	278	276	12,0
P3:15 cm	n	207	263	273	289	t	t	z	z	275	13,0
P3:30 cm	n	221	260	273	288	t	t	z	z	273	14,0
P3:40 cm	n	217	n	275	n	t	t	z	z	275	0
P3:Oberf.	275	214	260	272	288	t	252	270	277	271	12,0
P4:15 cm	n	227	277	279	293	t	t	z	z	283	7,0
P4:30 cm	n	229	278	281	294	t	t	z	z	284	8,5
P4:40 cm	n	223	n	280	293	t	t	z	z	287	9,0
P4:Oberf.	272	229	264	278	290	t	t	272	275	275	8,6
Pool P3	275	214	260	n	n	242	261	270	275	268	13,7
Pool P4	272	229	264	278	n	403	200	272	275	282	56,0

Die von Tockner (1993) gemessenen Leitfähigkeitswerte am HRB von durchschnittlich 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und am FB von ca. 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ stimmen mit den vorliegenden Daten gut überein. Sowohl die unterschiedlichen Temperaturregime als auch die charakteristischen Leitfähigkeitswerte der beiden untersuchten Bäche lassen sich auf die unterschiedlichen hydrographischen Einzugsgebiete und deren geologischen Untergrund (Hauptdolomit, Wettersteinkalk) zurückführen (siehe Tockner 1993). So wird die Quelle des HRB durch tiefer gelegene Grundwasserschichten mit kühlem Wasser gespeist, während die Daten des FB darauf schließen lassen, daß das eingebrachte Wasser vorwiegend auf oberflächennahen Wegen mit kurzer Verweildauer im Untergrund zur Quelle gelangt (Tockner 1993).

Auffallend sind die Leitfähigkeitswerte im stehenden Wasser der perennierenden Pools "Pool P3" und "Pool P4" innerhalb der trockengefallenen Strecke zu Zeiten der völligen Austrocknung der umgebenden Bachbereiche (28.8. vormittags). Die Pools liegen ca. 130 bis 140 m voneinander entfernt und werden beide in Austrocknungszeiten ausschließlich unterirdisch gespeist. Der Pool P3 weist eine etwas geringere Leitfähigkeit (242 $\mu\text{S}/\text{cm}$) gegenüber den Durchschnittswerten an dieser Stelle auf, der Pool P4 zeigt hingegen einen Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit um ca. 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf 403 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Auch die Sauerstoff- und Nährstoffkonzentrationen im Wasser zeigen ein stark abweichendes Verhalten von den Durchschnittswerten (siehe Kapitel 3.2.3. und 3.2.4).

4.8.3. Sauerstoff

Die Sauerstoffkonzentrationen im Oberflächenwasser der einzelnen Probenpunkte liegen zwischen 90 und 100 % Sättigung (Tab. 10). Ebenso weisen auch die Sedimente der beiden Gewässer eine gute Versorgung mit Sauerstoff bis in eine Tiefe von 40 cm auf, mit Werten von 74 bis über 90 % Sättigung. Der Sauerstoffgehalt der einzelnen Tiefenschichten variiert geringfügig (meist innerhalb des Fehlerbereichs der sehr anfälligen Elektrode), ein Absinken des Sauerstoffgehalts mit zunehmender Tiefe kann nicht generell festgestellt werden. Die gute Sauerstoffversorgung bis in die Tiefe läßt sich auf die hohe Porosität der Sedimente zurückführen (Porenvolumen 13-19 %; siehe Tockner 1993) und kann auch in anderen Kalkschotterbächen, wie z.B. dem Lunzer Seebach (Bretschko 1981), festgestellt werden.

Auch im Sauerstoffgehalt zeigen die Pools "Pool P3" und "Pool P4" am 28.8. stark abweichende Werte: während im Pool P3 die Sauerstoffwerte unverändert hoch sind (97 %), sinken sie im Pool P4 auf etwa die Hälfte (54 %) ab. Beide Pools weisen außerdem eine hohe mikrobielle Belastung des Wassers auf (Schmidt, pers. Mitteilung). Die erhöhten Leitfähigkeitswerte und die niedrigen Sauerstoffgehalte im Pool P4 lassen sich durch einen offensichtlich hohen mikrobiellen Stoffumsatz erklären. Die trotz hoher mikrobieller Belastung niedrige elektrische Leitfähigkeit und die gute Sauerstoffversorgung im Pool P3 könnten darauf hinweisen, daß dieser Pool eine stärkere hyporheische Verbindung zu anderen wasserführenden Bereichen (Oberflächenwasser oder Quellsutritte) aufweist, wodurch es zur ständigen Erneuerung des Wassers kommt.

Tab. 10: Sauerstoffgehalt (in % Sättigung) im Oberflächen-(Oberf.) und Interstitialwasser (aus 15, 30 und 40 cm Tiefe) der Probenpunkte P1-P4 mit Mittelwert (Mw) und Standardabweichung (SE) über den gesamten Beobachtungszeitraum. n = nicht gemessen, t = trocken, z = zerstört. 28.8. v = vormittags, bei völliger Austrocknung.

Probe	26.5.	30.5.	9.7.	5.8.	23.8.	28.8.v	4.10.	Mw	SE
P1:15 cm	n	80	92	77	80	n	z	82,2	6,7
P1:30 cm	n	82	n	82	n	n	z	82	0
P1:40 cm	n	81	n	81	n	n	z	81	0
P1:Oberf.	95	96	111	95	98	n	94	98,2	6,4
P2:15 cm	n	80	103	79	90	n	z	88	11,2
P2:30 cm	n	80	93	81	n	77	z	82,8	7,0
P2:Oberf.	92	95	90	78	90	95	92	90,2	5,8
P3:15 cm	n	82	80	82	90	t	z	83,5	4,4
P3:30 cm	n	80	100	83	85	t	z	87	8,9
P3:40 cm	n	n	n	74	n	t	z	74	0
P3:Oberf.	95	90	104	87	92	t	92	93,3	5,9
P4:15 cm	n	95	100	82	90	t	z	91,8	7,7
P4:30 cm	n	90	100	83	n	t	z	91	8,5
P4:40 cm	n	n	n	81	n	t	z	81	0
P4:Oberf.	96	96	96	94	95	t	95	95,3	0,8
Pool P3	95	90	98	98	n	97	92	94,6	3,3
Pool P4	96	96	98	98	n	54	95	90,1	16,0

4.8.4. Anorganische Nährstoffe und DOC

Die Gewässer weisen im allgemeinen eine extrem niedrige Ammonium- und Nitritbelastung auf, mit Oberflächenwerten von meist nur wenigen µg/l (Tab. 11; vgl. auch Tockner 1993), und Nitratwerte von 1-3 mg/l. Leicht erhöhte Ammoniumkonzentrationen können am P1 und im Sediment (Maximalwert 54,8 µg/l am P4) nachgewiesen werden, was auf die Funktion des Hyporheals als Nährstoffproduzent und -speicher hinweist. Der Wasseraustausch zwischen Bach und Hyporheal zeigt sich am deutlichsten beim Übergang von Niedrig- zu Mittelwasser am 28.8. Liegen erhöhte Nitritwerte vorerst nur im Sediment des P2 vor, so kommt es mit Ansteigen des Wasserstandes auch zu einer Zunahme des Nitrits im Oberflächenwasser. Auch die perennierenden Pools können als wichtige Nährstoffproduzenten für den Stoffhaushalt des Baches dienen. So weist der Pool P3 vor der neuerlichen Flutung der umgebenden Bachbereiche am 28.8. erhöhte Ammoniumkonzentrationen von 29,3 µg/l auf, die nach der Wiederherstellung der oberflächlichen Verbindung um etwa die Hälfte reduziert werden.

Tab. 11: Nährstoffkonzentrationen und DOC-Gehalte im Oberflächen- (Oberf.) und Interstitialwasser aus 30-40 cm Tiefe (Sed.) am P1-P4. Angegeben sind die Ammonium- (NH₄), Nitrit- (NO₂) und Nitratwerte (NO₃), das Orthophosphat (PO₄) und der Gesamtphosphor (GP) in mg/l sowie der Gehalt an DOC (ppm C).

Datum	Probe	NH ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄	GP	DOC
9.7.	P1:Oberf.	0,0189	0,0013	2,2	0,0000	0,0502	2,99
	P2:Oberf.	0,0041	0,0237	2,6	0,0034	0,0457	2,85
	P2:Sed.	0,0171	0,0181	2,5	0,0021	0,0837	3,15
	P3:Oberf.	0,0054	0,0049	2,3	0,0037	0,0537	
	P3:Sed.	0,0088	0,0095	2,4	0,0021	0,0436	
	P4:Oberf.	0,0030	0,0043	2,6	0,0018	0,0184	3,06
	P4:Sed.	0,0161	0,0043	2,4	0,0028	0,0227	2,6
5.8.	P1:Oberf.	0,0138	0,0051	2,4	0,0044		
	P1:Sed.	0,0249	0,0128	2,3	0,0044		
	P2:Oberf.	0,0033	0,0030	2,8	0,0011		
	P2:Sed.	0,0226	0,0142	2,9	0,0066		
	P3:Oberf.	0,0057	0,0019	2,8	0,0066		
	P3:Sed.	0,0033	0,0080	2,8	0,0040		
	P4:Oberf.	0,0211	0,0014	2,7	0,0044		
	P4:Sed.	0,0548	0,0650	2,8	0,0085		
28.8. v	P2:Oberf.	0,0128	0,0000	3,2	0,0109		
	P2:Sed.	0,0186	0,0503	3,3	0,0098		
	Pool P3	0,0293	0,0344	1,9	0,0131		2,97
	Pool P4	0,0099	0,0093	2,5	0,0098		2,26
28.8. n	P2: Oberf.	0,0133	0,0106	2,7	0,0066		2,55
	P3:Oberf.	0,0081	0,0159	2,5	0,0098		
	Pool P3	0,0134	0,0132	2,6	0,0098		1,28
	Pool P4	0,0105	0,0106	1,3	0,0153		3,3

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß bis zu einer Sedimenttiefe von mindestens 40 cm keine Veränderung in den chemischen Parametern Leitfähigkeit, Sauerstoff und Nährstoffe festgestellt werden konnte. In der vorliegenden Untersuchung konnten weder vertikale noch horizontale chemische Sprungschichten bezüglich dieser Parameter beobachtet werden, die sich in Form von Grenzzonen limitierend auf die Besiedlung des Hyporheals durch die Bachfauna auswirken. Die erhöhten Nährstoffgehalte im Sedimentwasser gegenüber dem Oberflächenwasser zeigen, daß die Bachsedimente eine wichtige Funktion als Nährstoffproduzent und/oder -speicher für den Stoffhaushalt von Karstgewässern besitzen.

4.9. Biotische Parameter

4.9.1. Benthos

Die höchste Besiedlungsdichte des Benthals zeigt der P2 mit einer mittleren Abundanz von 5281 Individuen/m² im Untersuchungsjahr (Abb. 12, Tab. 12). Die Probenstellen P3 und P4 liegen mit 1227 bzw. 1073 Individuen/m² um ca. 75-80 % unter den Individuendichten des P2, wobei der P3 zumeist etwas höhere Werte als der P4 aufweist. Besonders deutlich zeigen sich die Unterschiede bei Niedrigwasser. Die höchste benthische Besiedlungsdichte konnte am P2 am 28.8. gemessen werden, zu einem Zeitpunkt, als der P4 bis zu einer Tiefe von 40 cm noch vollkommen ausgetrocknet war. Die Wiederbesiedlung des Bachbetts durch aquatische Faunenelemente erfolgt sehr rasch. So weist der P3 am 28.8. nach weniger als 3 Stunden Flutungsdauer bereits mittlere benthische Abundanzen von 375 Individuen/m² auf, was ca. einem Drittel des normalen Wertes entspricht.

Die kurzfristigen und stochastischen Hochwasserereignisse führen zu mehr oder weniger drastischen Einbrüchen in der Dichte der Benthalfauna: so kommt es am 9.7. während eines Hochwassers zu einer Verminderung der Benthalfauna am P2-P4 auf ca. 350-650 Individuen/m², wobei die ursprüngliche Dichte beim nächsten Probestern am 5.8. wieder erreicht bzw. sogar überschritten wird. Auch am 4.10. können eindeutige Verluste am P2 infolge eines kurz zuvor aufgetretenen Hochwassers beobachtet werden, während der P4 hier die höchste Benthalesiedlung aufweist.

Während das Benthos des Fischbachs sowohl räumlich innerhalb der einzelnen Probenpunkte als auch zeitlich in Abhängigkeit vom Pegel variiert, können am P1 im HRB relativ konstante, jedoch niedrige Besetzungszahlen (mittlere Abundanzen von 1000 Individuen /m²) des Benthos gemessen werden (Abb. 12, Tab.12).

Während die trockengefallenen Sedimentbereiche der intermittierenden Bachabschnitte von aquatischen Organismen nur eingeschränkt besiedelt werden können (geringe Individuendichten auch in den ausgetrockneten Bereichen, siehe Tockner et al 1991), stellen die perennierenden Pools einen relativ stabilen Lebensraum für die Bachfauna dar, der von dieser in unterschiedlichem Maß genützt wird. So konnte am 28.8. bei völliger Austrocknung der umgebenden Bachbereiche im Pool P3 unterhalb der Kaskade eine Individuendichte von 6796,7 Individuen/m² gemessen werden, was dem 5-6 fachen der normalen Benthaldichte der bachaufwärts und -abwärts gelegenen Probenpunkte P3 und P4 entspricht. Demgegenüber weist der Pool P4 unterhalb der Brücke am P4 eine Individuendichte von nur 1123 Individuen/m² auf.

Tab. 12: Mittlere benthische Besiedlungsdichten (in Individuen/m²) am P1-P4 sowie in den Pools "Pool P3" und "Pool P4". n = nicht gemessen, t = trocken.

	P1	P2	P3	P4	Pool P3	Pool P4
29.5.	932	5016	1906	827	n	n
9.7.	n	646	343	578	n	n
5.8.	1184	6735	503	381	n	n
22.8.	891	7674	2592	667	n	n
28.8. vor Flutung	n	n	t	t	6797	1123
28.8. nach Flutung	n	8238	374	t	n	n
4.10.	n	3378	1645	3983	n	n
Mw	1002	5281	1227	1073	-	-

Für die einzelnen Taxa werden in der weiteren Arbeit folgende Abkürzungen für Tabellen und Grafiken verwendet: Eph = Ephemeroptera, Plec = Plecoptera, Trich = Trichoptera, Cole = Coleoptera, Dip = Diptera (ausgenommen Chironomiden), Chir = Chironomiden, Oligo = Oligochaeta, Coll = Collembola, Harpac = Harpacticiden, Sonst = sonstige Taxa mit geringer Individuenzahl.

Die Zusammensetzung des Benthos ist vor allem an den perennierenden Bachabschnitten von einer Dominanz der aquatischen Insektenlarven geprägt (Abb. 13-16). Am P1 (Abb. 13) dominieren die Chironomiden mit ungefähr 40 %, gefolgt von den Plecopteren (29 %) und den Ephemeropteren (23 %). Deutliche Unterschiede der einzelnen Probennahmetermine gibt es vor allem in der Ephemeropterenabundanz, sowie in der Präsenz der unter "Sonstiges" gereihten restlichen Organismengruppen. So wurden am 22.8. Massen von Planarien sowohl auf der Sedimentoberfläche in Stillwasserbereichen als auch im Hyporheal beobachtet. Zu den restlichen, unter "Sonstiges" gereihten Gruppen zählen weiters die Trichopteren, Dipteren, Oligochaeten, Gammariden (*Niphargus* sp.), Collembolen und Hydracarien.

Der P2 zeigt zumeist eine sehr einheitliche Zusammensetzung der Individuen (Abb. 14), die sich durch eine Dominanz der Ephemeropteren (54 %; vor allem Baetiden und Heptageniden) auszeichnet. Auch hier zählen die Chironomiden (27 %) und die Plecopteren (8 %) zu den häufigsten Gruppen, dicht gefolgt von aquatischen Coleopteren (6,5 %; meist Larval- und Adultstadien von Elmiden). Die Gruppierung "Sonstiges" setzt sich aus denselben Taxa wie am P1 zusammen.

Die Benthoszusammensetzung am P3 weist ein sehr heterogenes Muster in Abhängigkeit von der jeweiligen hydrologischen Situation auf (Abb. 15). Während die Chironomiden bei Hoch- und Mittelwasser relative Anteile von 35-65 % aufweisen, sinkt ihr Anteil bei Niedrigwasser auf 0-10 %. Auch die Ephemeropteren zeigen eine deutliche Abnahme der Individuenzahlen im Zuge der allmählichen Austrocknung (von 40-50 % auf 0-6 %) und bei Hochwasser (8 %). Während die bei Hoch- und Mittelwasser dominierenden Insektenlarven in Austrocknungszeiten im Benthos fast nicht mehr aufzufinden sind, nehmen die Oligochaeten ((40-70 %), die Collembolen (15 %) und die restlichen Organismengruppen (vor allem Hydracarien und Harpacticiden) zu. In der Gruppe "Sonstiges" sind neben den bei P1 und P2 genannten Taxa auch noch Nematoden, Gammariden, Harpacticiden und fallweise Vertreter der terrestrischen Fauna (Asseln, Larven von Wanzen und Blattläusen) zu finden.

Der P4 zeigt mit Ausnahme des 22.8. (Fehlen von Ephemeropteren) und 28.8. (vollkommen ausgetrocknet zum Zeitpunkt der Beprobung) ein von Ephemeropteren (41 %), Chironomiden (24 %) und Plecopteren (20 %) dominiertes Benthos (Abb. 16). Auffallend ist hier vor allem das vereinzelte Auftreten von *Niphargus* sp., einem blinden Grundwasserbewohner, auf der Sedimentoberfläche.

Nicht nur in der Individuendichte, sondern auch in der Zusammensetzung des Benthos unterscheiden sich die Pools P3 und P4 (Abb. 17 und 18). Der Pool P3 weist eine eindeutige Dominanz der Chironomiden von 65 % auf, die restliche Benthalfauna wird zu etwa gleichen Teilen von Ephemeropteren, Plecopteren, Trichopteren, Coleopteren und sonstigen Taxa ausgemacht. Auffallend ist der hohe Prozentsatz an Trichopteren von 4 % der Gesamtf fauna, im Gegensatz zum üblichen Anteil von meist unter 1 %. Das Benthos des Pools P4 weist neben einem hohen Prozentsatz an Chironomiden (42 %) und Plecopteren (28 %) auch einen großen Anteil an aquatischen Coleopteren (19 %) auf.

Die Individuendichten während des Beobachtungszeitraumes Mai bis Oktober 1996 liegen weit unter den Angaben von Tockner (1993) aus den Jahren 1991-1992: die hier angeführten Werte von 22.000 Individuen/m² am P2, 4.000 Individuen/m² am P3 und 3.000 Individuen/m² am P4 weisen auf eine etwa 3-4 fach so starke Besiedlung der Probenpunkte hin. Wegen des großen Einflusses der jeweiligen hydrologischen Situation auf die Dichte der Benthalfauna, kommt es innerhalb eines Untersuchungsjahres zu starken Schwankungen in den benthischen Abundanzen (Abb. 12; siehe auch Tockner 1993). Da die Beprobung des Benthals in dieser Studie nicht wie in den Voruntersuchungen kontinuierlich und in regelmäßigen Abständen über ein gesamtes Untersuchungsjahr erfolgte, sondern sich auf die Verhältnisse während extremer Wasserstände konzentrierte, sind derartige Abweichungen daher leicht erklärbar. Weiters war das Untersuchungsjahr durch einen langen Winter mit verspäteten Frühjahrshochwässern, sowie mehreren nicht vorhersehbaren, kurz hintereinander auftretenden Extremhochwässern im Oktober geprägt, die im Hinteren Rettenbach-Fischbach-System üblicherweise zu drastischen Abundanzeinbrüchen der Bachfauna führen (Tockner et al 1991; Tockner 1993).

Wie in der vorliegenden Arbeit kam es auch 1991-92 zu Unterschieden in der Zusammensetzung der Benthalfauna. Während an der perennierenden Probenstelle P2 die Chironomiden, Ephemeropteren und Plecopteren zahlenmäßig dominierten, nahm die Bedeutung der Oligochaeten (ca. 20 %) und der Collembolen (> 5 %) an den intermittierenden Stellen P3 und P4 zu. Der P4 zeichnete sich weiters, wie auch im Beobachtungsjahr 1996, durch einen relativ hohen Anteil an Coleopteren der Gattung *Elmis* sp. von ca. 10% aus. Die Probenstellen am HRB im Bereich der Mündung des FB kennzeichneten sich durch das vermehrte Auftreten von Hydracarinae, Gammariden, Turbellarien und anderen "Nichtinsekten" innerhalb eines gegenüber dem FB individuen- und artenärmeren Benthos aus (Tockner 1993).

Aus dem vorhandenen Datenmaterial läßt sich folgern, daß sowohl die Individuendichte als auch die Faunenzusammensetzung der untersuchten Gewässer einerseits vom individuellen Abflußregime des jeweiligen Bachabschnitts und andererseits von der hydrologischen Situation des gesamten Gewässersystems abhängen. Während jedoch die Individuendichten innerhalb verschiedener Untersuchungsjahre aufgrund unterschiedlicher hydrologischer Bedingungen stark schwanken können, erweist sich die Faunenzusammensetzung auch über mehrere hydrologisch unterschiedliche Jahre hinaus relativ stabil.

4.9.2. Hyporheos

Die höchste Individuendichte im Sediment des Fischbachs kann am P2 mit 10 bis maximal 40 Individuen pro Liter Sedimentwasser festgestellt werden (Abb. 19). Die Parallelproben weisen eine hohe Variabilität auf. Die Tiefenmaxima variieren stark mit der jeweiligen hydrologischen Situation: während die Individuen bei Mittel- und Niedrigwasser entweder regelmäßig über die verschiedenen Tiefenschichten verteilt sind oder eine leichte Ansammlung im oberen Bereich aufweisen (29.5.), kommt es bei Hochwasser zu einer deutlichen Verlagerung des Maximums in die Tiefe.

Am P3 können Organismenabundanzen von 0-13 Individuen/Liter festgestellt werden (Abb. 20). Die Tiefenverteilung zeigt ein noch ausgeprägteres Muster als am P2. Bei Mittelwasser können die meisten Organismen in einer Tiefe bis zu 15 cm beobachtet werden, mit zunehmender Austrocknung verlagert sich dieses Maximum in tiefere Sedimentschichten. Am 9.7. bei Hochwasser konnten bis zu einer Sedimenttiefe von 30 cm überhaupt keine Tiere gefunden werden (allerdings nur eine Einzelprobe!).

Der P4 weist die geringsten Besiedlungsdichten des Hyporheals mit 0 bis maximal 10 Individuen/Liter auf (Abb. 21). Er zeigt bezüglich der Tiefenverteilung der Fauna ein stark abweichendes Verhalten gegenüber dem P2 und P3, das möglicherweise durch seine Eigenschaft als "upwelling site" bedingt ist. Sowohl bei Hochwasser als auch bei beginnender Austrocknung kann jeweils ein Maximum an Organismen in der oberen Sedimentschicht bis 15 cm gemessen werden.

Der P1 am HRB weist die größten Schwankungen in der Besiedlung des Hyporheals auf, mit Individuendichten von < 2 Individuen/Liter bis > 50 Individuen/Liter (Abb. 22). Auffallend ist hier vor allem die hohe Individuendichte am 5.8. in der tiefsten Schichte von 40 cm.

Die Tab. 13 zeigt die relativen Anteile der einzelnen Großtaxa in den jeweiligen Tiefenschichten an den Probenstellen P1-P4. Das Hyporheos des P2 setzt sich, wie auch das Benthos, aus den aquatischen Insektenlarven der Taxa Chironomiden (30 %), Ephemeropteren (36 %) und Plecopteren (9 %) zusammen, weist aber im Gegenteil zur Sedimentoberfläche einen hohen Anteil an Harpacticiden (20 %) auf. Mit Ausnahme der Harpacticiden wurde auch bei Tockner (1993) an dieser Probenstelle eine ähnliche Verteilung der Organismengruppen vorgefunden.

Das Hyporheal des intermittierenden P3 zeigt die, auf Großgruppenniveau, einheitlichste Struktur der Lebensgemeinschaften mit 80 % Chironomiden und 12 % Plecopteren. Im Vergleich zur Benthalfauna sind die Ephemeropteren fast nicht, die Oligochaeten (30 % im Benthos) nur eingeschränkt vorhanden. Demgegenüber weist der intermittierende Probenpunkt P4 wieder eine etwas heterogenere Hyporhealbesiedlung auf. Die dominierende Organismengruppe sind hier die Chironomiden (60 %), gefolgt von den Plecopteren (45 %) und den Harpacticiden (32 %). Die restlichen Individuengruppen kommen nur vereinzelt zu bestimmten Probenterminen in größeren Zahlen im Sediment vor. Wie auch beim P2 zeigt die Hyporhealbesiedlung ähnliche Individuenzusammensetzungen wie das Benthos an diesem Probenpunkt, allerdings tritt an die Stelle der im Benthos dominanten Ephemeropteren die Gruppe der Harpacticiden. Die Werte der Sedimentbeprobung aus dem Jahre 1991 (Tockner 1993) zeigen hier ein vollkommen anderes Bild der Organismenaufteilung. Hier zeichnete sich der P4 durch einen hohen Anteil an Coleopteren (43 %) und Collembolen (14 %) aus, während die Chironomiden, Ephemeropteren und Plecopteren kaum vertreten waren.

Auch am P1 herrschen im Sediment ähnliche Verhältnisse wie auf der Sedimentoberfläche. Zu den dominierenden Gruppen zählen die Chironomiden (38 %), die Ephemeropteren (12 %) und die Plecopteren (19 %), die unter der Kategorie "Sonstiges" behandelten Taxa (z.B. Planarien, Hydracarien, Gammariden) können jedoch zu bestimmten Zeiten ebenfalls hohe Abundanzen erreichen.

Tab. 13: Relativer Anteil der einzelnen Taxa (in % der Gesamtindividuenzahl) am Hyporheos der Probenstellen P1-P4 für die Tiefenschichten 15, 30 und 40 cm. Angegeben sind die Mittelwerte der Parallelproben. Mw = Mittelwert über die gesamte Sedimenttiefe. Aufgrund der geringen Individuenzahl der 40 cm Schichte am P4 wurde diese bei der Mittelwertsberechnung für die gesamte Tiefe nicht miteinbezogen (Mw(15-39)).

4.9.3. Drift

Abb. 23 und Tab. 14 zeigen die Driftdichten an den Probenpunkten P2-P4 bei Mittel- und Hochwasser bzw. am Anfang und Ende der Austrocknungsphase. Die Driftdichten an den intermittierenden Stellen liegen meist höher als am perennierenden P2 (um ca. 20 -80 %), die Relationen sind jedoch sehr variabel (vgl. auch Tockner 1993; Tockner 1994). An allen Probenstellen werden die mittleren Driftdichten stark vom jeweiligen Abflußregime beeinflusst und zeigen daher ein zeitlich sehr heterogenes und dynamisches Muster. Wie in den Jahren 1991-1993 (Tockner 1993; Tockner 1994) werden relativ hohe Driftraten mit durchschnittlich 20-30 Individuen/m³ gemessen, mit Spitzenwerten von 60 Individuen/m³ bei Hochwasser (Tagesdrift am 9.7.). Auffallend ist, daß nach Rückgang des Hochwassers am Abend des 9.7. eine um das 4 - 28 fach höhere Individuendrift gemessen werden konnte. Auch nach der neuerlichen Flutung der trockengefallenen Bereiche am 28.8. können gegenüber den Werten vor der Austrocknung erhöhte Driftdichten gemessen werden. Generell liegt die Dämmerungsdrift (ca. 21-22 Uhr) höher als die Drift am Tag.

Tab. 14: Driftdichten in Individuen/m³ an den Probenstellen P2-P4. Angegeben sind die Mittelwerte der Parallelproben mit Standardabweichung (SE). T = Tagesdrift zwischen 10 und 15 °, D = Dämmerungsdrift zwischen 21 und 22 °.

	P2	SE	P3	SE	P4	SE
9.7.: T	20,3	1,8	50,2	18,1	40,5	16,9
9.7.: D	255,9	55,1	186,5	50,2	1131,5	240,3
5.8.: T	2,1	1,8	2,5	2,1	3,4	1,1
5.8.: D	11,1	7,3	4,0	1,7	13,1	7,3
22.8.: T	8,5	6,5	3,3	1,6	-	-
28.8.: T	16,2	8,4	23,9	13,6	-	-

4.9.4. Benthos, Hyporheos und Drift in den intermittierenden und perennierenden Bachabschnitten: Zusammenhänge und ihre ökologische Bedeutung

Sowohl die Besiedlung der Sedimentoberfläche als auch die des Hyporheals in intermittierenden Karstgewässern weisen eine hohe Heterogenität und "patchiness" in der Verteilung und Dichte der Individuen auf. Der dominante Einflußfaktor ist dabei einerseits das jeweilige hydrologische Regime des Oberflächengewässers und andererseits die Art und Richtung des hyporheischen Stoff- und Energieflusses zwischen den ober- und unterirdischen Anteilen dieses Gewässers sowie dem Grund- oder Karstwasser. Die Dichte und Zusammensetzung der Fauna hängt zu einem Großteil vom Grad der Ungestörtheit des betrachteten Bachabschnittes, vor allem im Hinblick auf die Möglichkeit der Austrocknung, ab. Perennierende Bereiche kennzeichnen sich durch eine hohe Besiedlungsdichte des Benthals und des Hyporheals und durch die Dominanz typischer Fließwasserorganismen (aquatische Insektenlarven, vor allem Vertreter der Baetidae und Heptagenidae aus der Gruppe der Ephemeropteren). Die Fauna der intermittierenden Abschnitte weist geringe Individuendichten auf und ist durch das Vorkommen von Organismen geprägt, die auch terrestrische bzw. semiterrestrische oder lenitische Bereiche (z.B. Profundal von Seen) besiedeln können (Collembolen, Chironomiden, Oligochaeten). Während Vorfluter mit einem überwiegenen Wasserausstrom in das Sediment von epigeischen Faunenelementen beherrscht werden, können in quelldominierten oder durch Grundwasserzutritte beeinflussten Bachbereichen auch hypogeische Organismen (*Niphargus* sp.) gefunden werden. Bezeichnend für das untersuchte Gewässersystem ist das Fehlen von epigeischen Gammariden sowie die geringe Abundanz an Trichopteren im Bereich der Vorfluter, die möglicherweise auf den hohen Grad der Störungsanfälligkeit dieser Gewässer zurückzuführen sind. Das Fehlen dieser typischen Fallaubzerkleinerer führt zu einem stark verlangsamten Abbau von organischem Material (siehe auch Weigelhofer et al 1995), wodurch die Notwendigkeit zusätzlicher Retentionsstrukturen, wie ein gut funktionierendes Hyporheal, noch größer wird.

Die biologische Interaktion der perennierenden und intermittierenden Bereiche im HRB-FB-System erweist sich als äußerst komplex und vielfältig. Die vorliegenden Ergebnisse lassen darauf schließen, daß die hyporheische Zone als Refugialbereich für die Bachorganismen bei Hochwässern dient. So kann vor allem im Bereich von "downwelling sites" bei gleichzeitiger Dichteabnahme auf der Sedimentoberfläche eine zunehmende Verlagerung der Sedimentfauna in die Tiefe festgestellt werden. Eine derartige Reaktion der Bachorganismen erscheint - obwohl wissenschaftlich noch nicht bewiesen (vgl. z.B. Palmer 1990) - angesichts der erhöhten Driftdichten bei Hochwässern und einem vertikalen Wasserdruck in Richtung Sediment an diesen Stellen plausibel. (siehe auch z.B. Marmonier 1991; Marmonier & de Chatelliers 1991). Die Verhältnisse in "upwelling sites" sind aufgrund des Wasserstromes aus dem Sediment, der einer etwaigen aktiven oder passiven Organismenbewegung in das Hyporheal entgegenwirken würde, um einiges komplizierter.

In Trockenzeiten steigt die Besiedlungsdichte in den perennierenden Bachbereichen an, während sie an den intermittierenden Stellen abnimmt. Die perennierenden Bachbereiche scheinen somit für einen Teil der Bachfauna als Refugium während der Austrocknung zu dienen. Weiters läßt die Verlagerung der Sedimentfauna in die Tiefe den Schluß zu, daß auch das Hyporheal zum Überlebensraum bestimmter Bachorganismen bei Trockenheit wird. Ein weiterer, wenn auch räumlich stark eingeschränkter Refugialbereich wird durch die Existenz einiger perennierender Pools innerhalb der trockengefallenen Strecken geboten. Die Rekolonisation der trockengefallenen Bereiche erfolgt zum Großteil über die Drift (siehe auch Tockner 1993), eine Wiederbesiedlung über die Bachsedimente wurde bis jetzt noch nicht untersucht.

5. Literatur

- Bonacci, O.** (1993) Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers. *Hydrol. Sciences* 38: 51-61.
- Boulton, A.J., Stibbe, S.E., Grimm, N.B. & Fisher, S.G.** (1991) Invertebrate recolonization of small patches of defaunated hyporheic sediments in a Sonoran desert stream. *Freshwater Biology* 26:267-277.
- Boulton, A.J. & Lake, P.S.** (1992) Benthic organic matter and detritivorous macroinvertebrates in two intermittent streams in south-eastern Australia. *Hydrobiologia* 241: 107-118.
- Brassington, R.** (1993) *Field Hydrogeology*. Geol. Society of London Prof. Handbook. John Wiley & Sons, 175 pp.
- Bretschko, G.** (1981) vertikale distribution of zoobenthos in an alpine brook of the RITRODAT-LUNZ study area. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 21:873-876.
- Fesl, C.** (1994) Quantitative Erfassung des Makrozoobenthos und der Umweltparameter eines karstfließgewässers mit stark fluktuierendem hydrologischen Regime unter besonderer Berücksichtigung der Simuliidae (Diptera). *Dipl. Univ. Wien*, 142 pp.
- Gibert, J., Dole-Olivier, P. & Vervier, P.** (1990) Surface water-groundwater ecotones. In: Naiman, R.J. & Decamps, H. (eds.) *Land/Inland ecotones: strategies for research and management*. Man and the Biosphere Series 4. UNESCO, Paris, and Parthenon Publishing Group, 199-225.
- Gordon, N.D., Finlayson, B.L. & Mc Mahon, T.A.** (1992) *Stream hydrology. An Introduction for Ecologists*. John Wiley + Sons, Chichester, 526 pp.
- Griffith, M.B. & Perry, S.A.** (1993) The distribution of macroinvertebrates in the hyporheic zone of two small Appalachian headwater streams. *Arch. Hydrobiol.* 126: 373-384.
- Grimm, N.B. & Fisher, S.G.** (1984) Exchange between interstitial and surface water: Implikationen for stream metabolism and nutrient cycling. *Hydrobiologia* 111: 219-228.
- Grimm, N.B., Valett, H.M., Stanley, E.H. & Fisher, S.G.** (1991) Contribution of the hyporheic zone to stability of an arid-land stream. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 24: 1595-1599.
- Hendricks, S.P.** (1993) Microbial ecology of the hyporheic zone: a perspective integrating hydrology and biology. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 12: 70-78.
- Lake, P.S. & Barmuta, L.A.** (1986) Stream benthic communities: Persistent presumptions and current speculations. In: P. de Dekker & W.D. Williams (eds.) *Limnology in Australia*. Junk Publishers, Dordrecht.
- Marmonier, P.** (1991) Effect of alluvial shift on the spatial distribution of interstitial fauna. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 24: 1613-1616.
- Marmonier, P. & Creuze des Chatelliers, M.** (1991) Effects of spates on interstitial assemblages of the Rhone River. Importance of spatial heterogeneity. *Hydrobiologia* 210: 243-251.
- Mathieu, J., Essafi, K. & Doledec, S.** (1991) Dynamics of particulate organic matter in bed sediments of two karst streams. *Arch. Hydrobiol.* 122: 199-211.
- Mc Elravy, E.P. & Resh, V.H.** (1991) Distribution and seasonal occurrence of the hyporheic fauna in a northern California stream. *Hydrobiol.* 220: 233-246.
- Palmer, M.A.** (1990) Temporal and spatial dynamics of meiofauna within the hyporheic zone of Goose Creek, Virginia. *J.N.Am. Benthol.Soc.* 9:17-25.
- Sedell, J.R., Reeves, G.H., Hauer, F.R., Stanford, J.A. & Hawkins, C.P.** (1990) Role of refugia in recovery from disturbances: modern fragmented and disconnected river systems. *Environm. Manag.* 14: 711-724.
- Stanley, E.H. & Valett, H.M.** (1992) Interactions between drying and the hyporheic zone of a desert stream. In: P. Firth & S.G. Fisher (eds) *Global climate change and freshwater ecosystems*, Springer Verlag, N.Y.
- Tockner, K.** (1993) *Limnologische Studie "Hinterer Rettenbach"* (Nationalpark Kalkalpen, Sengsengebirge, Oberösterreich). Ein Beitrag zur Limnologie eines Karstfließgewässers unter besonderer Berücksichtigung der ökologischen Relevanz hydrographischer Extremereignisse. Verein Nationalpark Kalkalpen Eigenverlag, Kirchdorf, 197 pp.
- Tockner, K.** (1994) *Ausgewählte Untersuchungen zur Ökologie eines Karstfließgewässers (Fischbach und Hinterer Rettenbach; Sengsengebirge)*. Verein Nationalpark Kalkalpen, Eigenverlag, Kirchdorf, 91 pp.
- Tockner, K., Steiner, K., Schmid-Araya, J. & Schmid, P.E.** (1990) *Faunistisch ökologische Untersuchung ausgewählter Fließgewässer des Sengsenbergs*. Verein Nationalpark Kalkalpen Eigenverlag, Kirchdorf, 35 pp.
- Tockner, K., Fesl, C. & Weilguni, H.** (1991) *Limnologische Studie Hinterer Rettenbach. Zur ökologischen Stabilität von Reinwasserreserven: Konzeption und Ausarbeitung einer Langzeitstudie zur Dokumentation und Prognose ausgewählter Umweltparameter im Ökosystem "Hinterer Rettenbach"*. Verein Nationalpark Kalkalpen Eigenverlag, Kirchdorf, 187 pp.
- Vervier, P., Gibert, J., Marmonier, P. & Dole-Olivier, M.-J.** (1992) A perspective on the permeability of the surface freshwater ecotone. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 11: 93-102.
- Waringer, J.** (1990) Vorläufige Ergebnisse des RITRODAT-Driftprojekts. *Jber. Biol.Stn.Lunz* 12:101-122.

- Webster**, J.R., Waide, J.B. & Patten, B.C. (1975) Nutrient recycling and the stability of ecosystems. In: F.G. Howell, J.B. Gentry & M.H. Smith (eds.) Mineral cycling in southeastern ecosystems. ERDA Symposium Series, Washington D.C., p. 1-27.
- Weigelhofer**, G., Tockner, K. & Weigand, E. (1995) Dekomposition von *Fagus sylvatica* L. in intermittierenden und perennierenden Bachabschnitten des Fischbachs (Sengsengebirge, OÖ). Jber. Biol. Stn. Lunz 15: 55-60.
- Weilguni**, H. (1994) "Ökosystem Karstgewässer - Verteilung und Dynamik ausgewählter biotischer Parameter bei stark variierenden hydrologischen Bedingungen. Dipl. Univ. Wien, 112 S.
- White**, P.S. & Pickett, S.T.A. (1985) Natural disturbance and patch dynamics: an introduction. In: S.T.A. Pickett & P.S. White (eds.) Natural disturbance and patch dynamics. Academic Press, San Diego, 472 pp.
- Williams**, D.D. (1993) Nutrient and flow vector dynamics at the hyporheic/groundwater interface and their effects on the interstitial fauna. Hydrobiol. 251: 185-198.