

Diss. ETH No. 12734

**The Influence of Hydrological Exchange Patterns
on Environmental Gradients and Community Ecology
in Hyporheic Interstices of a Prealpine River**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH
for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

Matthias Brunke
Diplom-Biologe (University of Freiburg, Germany)
born on 24 Oktober 1964 in Castrop-Rauxel, Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. J. V. Ward, examiner
Prof. Dr. J. Schwoerbel, coexaminer
Dr. T. Gonser coexaminer

Zurich, 1998

SUMMARY

1. In this study the *hyporheic invertebrate community* was the system property of interest. *Hydrological exchange patterns* between streams and ground water were used as the starting point for the investigation of *environmental gradients* that are decisive for the structure of this community. These abiotic habitat variables encompass *physicochemical* parameters, *organic matter* and *sedimentological* properties. The most influential of these habitat characteristics for hyporheic bacteria and hyporheic meio- and macrofauna were elucidated by factor analyses.

2. Following the introduction, there is a *literature review* on the ecological significance of exchange processes between rivers and ground water. Based on this knowledge, three basic types of hydrological exchange (infiltration, horizontal advection, exfiltration) were used to test the role of hydrology on hyporheic ecology.

3. The study was conducted at the *Töss River*, a prealpine gravel-bed stream in northern Switzerland. At the sampling site ground water exfiltrates into the stream at the left margin (exfiltration zone), whereas surface water infiltrates into the sediment at the opposite bank (infiltration zone). In midstream the dominant interstitial flow direction is along the river channel (horizontal advection zone). Twelve piezometers were installed in three clusters of four sediment depths (20-, 50-, 100- and 150-cm) in each of these 3 hydrological exchange zones. The samples (255) were taken with a hand pump (hyporheos) and with an electric pump (environmental parameters). Additionally nine freeze cores were taken to document sediment texture.

4. Hydrological exchange patterns determined the steepness of *physicochemical gradients* within the hyporheic interstices of the Töss River. In the upper sediment layers of the infiltration zone, physicochemical conditions resembled those of the surface water and showed high temporal variability, especially at a depth of 50 cm. In contrast, in the exfiltration zone physicochemical conditions were influenced by the more stable properties of upwelling ground water. Therefore, gradients in the exfiltration zone were steepest in the uppermost sediments. Physicochemical conditions in the horizontal advection zone were in between those of the infiltration zone and exfiltration zone; however, they tended to resemble the conditions within the infiltration zone more, especially in their thermal characteristics.

5. The sediment grain size class smaller than 1 mm seems to be the ecologically most important particle parameter. The median grain size of these *mobile fine particles* (fines) was about 0.03 mm. The content of fines tended to increase with depth, although higher accumulations were found at intermediate depths in sediments influenced by exfiltrating ground water. The content of *particulate organic carbon* increased down to a depth of 50 cm in all three hydrological exchange types. However, the differences between 50 and

100 cm were only significant in the region of exfiltrating ground water. Frequent flood events caused high temporal variability of interstitial particle parameters.

6. *Bacterial abundances* ranged between 0.163 to 478×10^6 cells/ml and differed significantly between upper and deeper sediment strata. This change with depth was significantly modulated by the type of hydrological exchange. The bacterial carbon portion of particulate organic carbon varied between 0.06% and 5.3% and tended to decrease with depth. Bacteria were most numerous at sediment depths where inflow of stream water occurred, but had been attenuated. Bacterial production was highest in hyporheic interstices dominated by surface water inflow. Bacterial abundance and production were strongly correlated to interstitial particulate organic matter; the best predictor for both was the content of particulate nitrogen. The predictive power of statistical models was substantially improved by the introduction of the 'hyporheic position', defined by sediment depth and hydrological exchange type, which integrated information on flowpath connections. Flowpath connections were particularly relevant when one uses dissolved organic carbon and interstitial fine sediment as explanatory variables.

7. Several hyporheic metazoan taxa and collective properties of the invertebrate community showed a strong correspondence with bacterial distribution patterns.

8. The *hyporheic fauna* exhibited a biotic gradient between interstitial positions influenced by surface water and those dominated by phreatic ground water. Sixty taxa were identified, the most abundant of which were cyclopoid copepods, ostracods and chironomids. All other groups combined accounted for the remaining third of individuals found. Total faunal density patterns were strongly related to the ratio of particulate organic carbon to total fine particles (POC/TP), which explained 61% of the variation in abundance within the sediments. Taxa richness and temporal persistence in species composition were also significantly correlated with the POC/TP ratio. The gradient in hyporheic community structure corresponded most with changes in the POC/TP ratio as well as to hydrological variables and distance between the surface and phreatic habitats. The POC/TP ratio optima for individual taxa indicate that the depth to which epigeal taxa penetrate sediments may be restricted by the availability of the food resource, which decreased with decreasing POC/TP ratios. Therefore, the interstitial content of fine inorganic particles appears to be a critical determinant of the availability of food resources for interstitial invertebrates.

9. The coupling of sediment depth and hydrological exchange type in factor analyses revealed *flowpath connections* as being superimposed vectors in determining hyporheic abiotic and biotic gradients.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Diese Untersuchung befasst sich mit der *hyporheischen Invertebraten-Biozönose* und welche Faktoren entscheidend für deren Strukturierung sind. Ausgehend von der Richtung des hydrologischen Austausches zwischen Bach und Grundwasser wurden zunächst die *Umweltbedingungen* im Hyporheal dargestellt. Zu den gemessenen abiotischen Umweltvariablen zählen *physikochemische Parameter*, *organisches Material* und *sedimentologische Eigenschaften*. Anschliessend wurden mittels Faktorenanalyse jene Umweltparameter bestimmt, die statistisch am stärksten die hyporeische Besiedlung aus Bakterien, Meio- und Makrofauna beeinflussen.

2. Die Dissertation beginnt mit einer *Literaturstudie* über die ökologische Bedeutung von Austauschprozessen zwischen Fliessgewässer und Grundwasser für diese Ökosysteme und die Struktur und Funktion des vermittelnden Ökoton. Basierend auf den Folgerungen dieser Arbeit wurden für die Felduntersuchungen drei grundlegende Typen des hydrologischen Austausches genutzt, um die Rolle der Hydrologie für die Ökologie des hyporheischen Interstitials zu testen.

3. Die Untersuchungen wurden an der *Töss*, einem praealpinen Schotterbach der nördlichen Schweiz durchgeführt. An der Probenahmestelle exfiltriert Grundwasser am linken Ufer in den Bach (Exfiltrationszone), wohingegen Oberflächenwasser am entgegengesetzten Ufer in die Sedimente infiltriert (Infiltrationszone). In den Sedimenten des Stromstriches fliesst das Lückenwasser entlang des Gewässerlaufs (Horizontale-Advektionszone). Insgesamt wurden je 12 Piezometer in Gruppen von je vier in Sedimenttiefen von 20, 50, 100 und 150 cm in die drei Austauschtypen installiert. Das Hyporheos wurde 255-mal mittels einer Handpumpe und die Umweltparameter mittels einer elektrischen Tauchpumpe aus den jeweiligen Sedimenttiefen beprobt. Zudem wurden neun Gefrierkerne entnommen um die Sedimenttextur zu erfassen.

4. Die Schärfe und Lage *physikochemischer Gradienten* im Hyporheal der Töss wurde durch die Richtung des hydrologischen Austausches bestimmt. Bis in eine Sedimenttiefe von 50 cm in der Infiltrationszone zeigten die physikochemischen Bedingungen eine hohe zeitliche Variabilität und ähnelten denen des Oberflächenwassers. Hingegen waren in den Sedimenten der Exfiltrationszone die physikochemischen Bedingungen durch die eher ausgeglichenen Eigenschaften des Grundwasser stabiler. Daher waren die Gradienten in der Exfiltrationszone in den obersten 20 cm am schärfsten. In der Horizontalen-Advektionszone lagen die physikochemischen Bedingungen zwischen den beiden anderen Zonen, ähnelten jedoch mehr denen in der Infiltrationszone.

5. Die Sedimentfraktion kleiner 1 mm ist die ökologisch wichtigste. Der Median der Korngrössenverteilung dieser *mobilen Matrixfeinsedimente* lag bei 0,03 mm. Der Gehalt an Feinsedimenten nahm tendenziell mit der Tiefe zu. Nur in der Exfiltrationszone wurden in einer Tiefe von 50 cm höhere Akkumulationen gefunden, verursacht durch den

hydraulischen Druck des exfiltrierenden Grundwassers. Der Gehalt an *partikulärem organischen Kohlenstoff* nahm bis in eine Tiefe von 50 cm zu. Jedoch bewirkten häufige Hochwässer eine hohen zeitliche Variabilität der feinen organischen und mineralischen Partikel.

6. Die *bakteriellen Abundanzen* lagen zwischen 0.163 und 478×10^6 Zellen/ml und unterschieden sich signifikant zwischen den oberen und unteren Sedimentschichten. Diese Veränderung mit der Tiefe wurde signifikant von der Richtung des hydrologischen Austausches beeinflusst. Der Anteil des bakteriellen Kohlenstoffs am gesamten partikulärem organischen Kohlenstoff schwankte zwischen 0,06 und 5,3%. Die bakterielle Besiedlung war am dichtesten in Bereichen des Hyporheals, die durch einen leicht abgeschwächten Einfluss von Bachwasser charakterisiert waren. Hingegen war die bakterielle Produktion am höchsten in den Bereichen, die durch einströmendes Bachwasser dominiert wurden. Bakterielle Abundanz und Produktion korrelierten signifikant mit dem partikulärem organischen Material. Die Vorhersagekraft statistischer Modelle wurde wesentlich verbessert durch die Einbeziehung der 'hyporheischen Position'. Diese war definiert durch die Sedimenttiefe und die Richtung des hydrologischen Austausches, und lieferte Informationen über Fließweg-Verbindungen. Diese Informationen waren besonders bedeutend bei der Verwendung von gelöstem organischen Material und mineralischen Feinsedimenten als erklärende Variablen.

7. Die Verteilung vieler hyporheischer Taxa stimmte weitgehend mit der Verteilung der Bakterien überein.

8. Die Struktur der interstitiellen *Invertebraten-Biozönose* änderte sich graduell zwischen hyporheischen Positionen die durch Oberflächenwasser beeinflusst waren zu solchen die durch Grundwasser dominiert wurden. Von den 60 identifizierten Taxa hatten cyclopoide Copopoden, Ostracoden und Chironimiden die grösste Dominanz; alle anderen Taxa stellten zusammen ein Drittel der Besiedlungsdichte dar. Die faunistische Besiedlungsdichte korrelierte am stärksten mit dem Verhältnis zwischen partikulärem organischen Material und den gesamten Feinpartikeln (POC/TP); allein dieses Verhältnis erklärte 61% der Variabilität der Besiedlungsdichte. Auch die Taxazahl und die Persistenz korrelierten signifikant mit dem POC/TP. Die POC/TP-Optima individueller Taxa weisen darauf hin, dass die unterirdische Ausbreitung epigäischer Taxa durch die Verfügbarkeit des organischen Materials eingeschränkt wird, welche mit abnehmendem POC/TP sinkt. Daher erscheint der Gehalt an mineralischen Feinsedimenten als eine kritische Grösse für die Verfügbarkeit von Nahrungsressourcen für interstitielle Invertebraten.

9. Die Verknüpfung von Sedimenttiefe und hydrologische Austauschtypen in den Faktoranalysen offenbarte, dass *interstitielle Fließwege* als übergeordnete Vektoren hyporheische abiotische und biotische Gradienten bestimmen.