

# Strukturgebundener Stoffumsatz im Fließgewässer - Nährstoffdynamik im hyporheischen Interstitial der Oberen Elbe bei Dresden

Frank Kloep, Isolde Röske

## 1 Einleitung

Das hyporheische Interstitial (Sandlückensystem) als Übergangszone zwischen fließender Welle und Grundwasserbereich wird auf Grund seiner Abhängigkeit von den hydrologischen Bedingungen im Untergrund als eine biologisch sehr dynamische Übergangszone betrachtet. Im Rahmen des BMBF-geförderten Forschungsvorhabens „Bedeutung der Biofilme im Interstitial der Elbe für die Stoffdynamik, die Sohlpermeabilität und die Nährstoffelimination“ wurden bisher vor allem die Beschaffenheitsänderungen der Stickstoffparameter bei Passage der Kolmationszone (oberste Zone der Flusssohle) sowie bei der gesamten Uferfiltration untersucht.

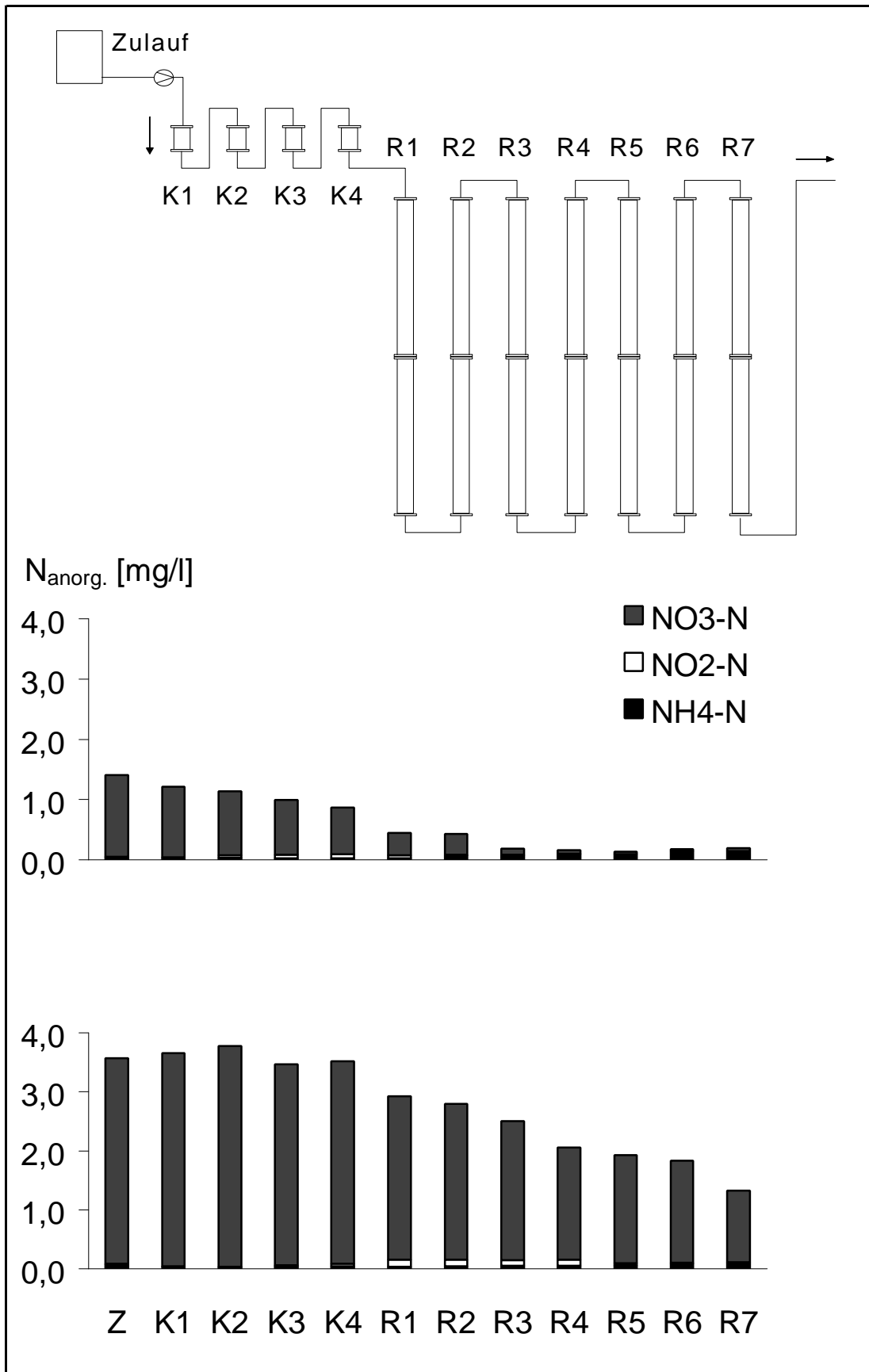
Da der überwiegende Anteil an Mikroorganismen mit Oberflächen assoziiert ist, dient besonders dieser so genannte mikrobielle Biofilm auf den fluviatilen Sedimenten und im Interstitial der Selbstreinigung eines Gewässers. Der Massenstrom an organischen Partikeln hat zur Folge, dass das Interstitial-Ökosystem durch den Import von Phytoplanktern neben den heterotrophen Organismen (Bakterien, Pilze, Protozoen) auch durch eine autotrophe Komponente geprägt wird. Welche Auswirkungen dieser Eintrag an Phytoplanktern ins Interstitial als Kohlenstoffquelle für die aerobe und die anaerobe Atmung (Denitrifikation) hat, wird Schwerpunkt der Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes sein. Wesentlichste biologische Steuergröße ist hierbei der Gelöstsauerstoff, der saisonal sowie diurnal durch die fotosynthetische Aktivität der Phytoplankter auch die biochemischen Umsätze in der Kolmationsschicht beeinflusst. Vorgestellt werden erste Ergebnisse zur Stickstoffdynamik in der Säulenversuchsanlage zur Simulation des Interstitials sowie von Interstitialprobenahmen im Uferbereich der Elbe bei Niedrigwasser.

## 2 Methodik

Die Simulation der Untergrundpassage und der Stoffdynamik, insbesondere der Stickstoffparameter, erfolgte in Säulenversuchen mit einer Gesamtlänge der Anlage von ca. 14,5 m (Abb. 1 oben). Die Kolmationszone wurde durch vier gekoppelte Edelstahlsäulen von je 0,14 m (K1-K4), die gefüllt wurden mit Sohlmaterial der Elbe des Standortes Dresden, simuliert. Die nachgeschaltete Untergrundpassage bestand aus 7 gekoppelten Säulen (R1-R7) von je 2 m Länge mit gesiebtem Baggergut aus der Uferfiltrationszone des Wasserwerkes Dresden-Saloppe. Die Pumprate betrug 2 ml/min, woraus sich eine theoretische Aufenthaltszeit in der Anlage von ca. 9 Tagen ergab.

Zur Erfassung der physikochemischen Parameter ( $O_2$ , pH, Redoxpotenzial, Leitfähigkeit und Temperatur) kam ein miniaturisiertes Multimesssystem des Kurt-Schwabe-Instituts für Mess- und Sensortechnik e.V. (Meinsberg) zum Einsatz. Der Anschluss von insgesamt vier variabel eingesetzten Messsystemen an ein Datenerfassungssystem ermöglichte eine kontinuierliche Parametererfassung an allen Reaktoren. Die Probenahme zur Erfassung der chemischen Daten erfolgte zwei Mal wöchentlich.

Die Entnahme der Interstitialwasser-Proben im Feld erfolgte durch festinstallierte Schläuche (PE, ID 1,6 mm) in den Tiefen 7, 15, 22 und 30 cm. Die Installation in der Flusssohle erfolgte bei Niedrigwasser im Infiltrationsbereich des Wasserwerkes Dresden-Saloppe.



**Abb. 1.** oben: Versuchsanlage zur Simulation von Kolmationszone und Uferfiltrationspassage im Wasserwerk Dresden-Saloppe; Mitte: Versuchphase 1 Zulauf Elbebrunnen (19.06.99-15.09.99); unten: Versuchphase 2 Zulauf Elbewasser (16.09.99-14.10.99)

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Die Säulenversuchsanlage im Wasserwerk Dresden-Saloppe wurde im Mai '99 in Betrieb genommen und mit Wasser aus einem kontinuierlich laufenden Elbebrunnen eingefahren. Die Schwankungen der Wasserbeschaffenheit dieses Brunnens (Teufe 12 m) werden auf Grund der mikrobiellen Prozesse während der kurzen Untergrundpassage abgepuffert, womit der Brunnen nur geringen Konzentrationsschwankungen unterliegt. Durch die bei Tracerversuchen mit KBr gewonnenen Durchgangskurven konnte auf gute Stopfung der Säulen geschlossen werden (ohne Abbildung). Zur Erfassung der longitudinalen Stickstoffdynamik wurden bisher zwei Versuchsphasen unter gleichen Temperaturbedingungen (20-22°C) durchgeführt. Eine Entnahme von Interstitialwasser im Infiltrationsbereich des Wasserwerkes Dresden-Saloppe fand vom 19.08.-16.09.99 jeweils um 8:00 Uhr statt.

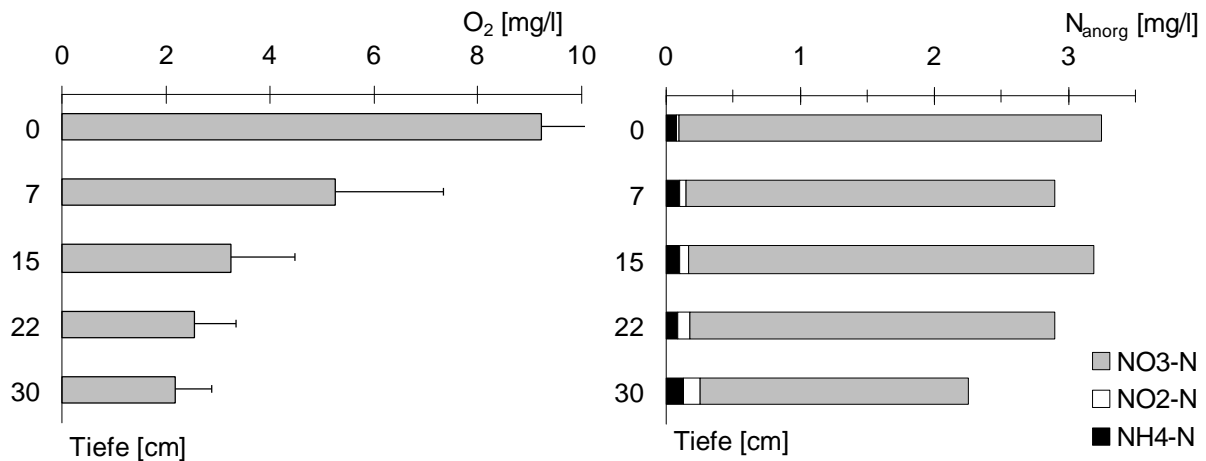
Sauerstoff bringt als Elektronenakzeptor bei der Atmung eine höhere Energieausbeute als Nitrat. Folglich wird Nitrat erst bei niedrigem Sauerstoffpartialdruck für den dissimilatorischen Kohlenstoffmetabolismus durch denitrifizierende Mikroorganismen genutzt. In Versuchsphase 1 hatte der Elbebrunnen einen durchschnittlichen O<sub>2</sub>-Gehalt von 1,1 mg l<sup>-1</sup>. Die 14 cm lange Fließstrecke in Säule K1 reduzierte den O<sub>2</sub>-Gehalt auf 0,5 mg l<sup>-1</sup>, nach K2 konnte kein Sauerstoff mehr nachgewiesen werden. Die Nitratkonzentration nahm zwischen Zulauf (Abb. 1 Mitte) mit durchschnittlich 1,35 mgNO<sub>3</sub>-N l<sup>-1</sup> und der Kolmationssäule K4 (Mittelwert: 0,77 mgNO<sub>3</sub>-N l<sup>-1</sup>) um 57% ab. Bei einer ermittelten Aufenthaltszeit von jeweils 2,5 h pro Kolmationssäule entsprach dies einer Abnahme von nahezu 0,06 mgNO<sub>3</sub>-N l<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Bis zur Säule R5 wurde der Nitratgehalt auf 0,04 mgNO<sub>3</sub>-N l<sup>-1</sup> reduziert. Dies entsprach bei 9 Tagen Reaktionszeit einer Nitratelimination von durchschnittlich 0,08 mgNO<sub>3</sub>-N l<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. In der weiteren Fließstrecke bis R7 blieb der Nitratgehalt unter nahezu anaeroben Bedingungen konstant. Der erhöhte Sauerstoffgehalt des Elbewassers in Versuchsphase 2 (ohne Abbildung) von durchschnittlich 7,3 mgO<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> wurde im Bereich der Kolmationssäulen sukzessive (K1: 5,5 mg l<sup>-1</sup>; K2: 2,5 mg l<sup>-1</sup>; K3: 1,3 mg l<sup>-1</sup>) bis Säule K4 bis zur Nachweisgrenze reduziert. Damit änderten sich mit der Umstellung des Zulaufes auf Elbewasser in der gesamten Versuchsanlage signifikant die Redoxverhältnisse. Im Bereich der Kolmationssäulen kam es zu keiner signifikanten Nitratelimination. Die Elbezulaufkonzentrationen schwankten zwischen 2,9 und 3,9 mgNO<sub>3</sub>-N l<sup>-1</sup>. Auf der gesamten Fließstrecke wurde Nitrat zu 65% reduziert, was einer Reduktion von 0,26 mgNO<sub>3</sub>-N l<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> entsprach. Dies fällt in den Bereich von Säulenexperimenten von Grischek et al. (1998), der mit Elbewasser (Torgau, Elbe km 115) eine Nitratelimination von 0,1-3,2 mgN l<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> feststellte. Solange Nitrat im Untergrund vorhanden ist, liegt ein annähernd so hohes Redoxpotenzial wie bei Anwesenheit von molekularem Sauerstoff vor. Erst nach vollständiger Nitratelimination sinkt das Redoxpotenzial auf das Niveau der Eisen- und Manganreduktion. Nitrat kann somit bei der Uferfiltration der Vermeidung von anaeroben Zuständen im Interstitial dienen (Hamm 1996).

Nitrit als ökotoxikologisch relevante Substanz entsteht als Zwischenprodukt bei der Denitrifikation. Als eine wesentliche Steuergröße kontrolliert Sauerstoff die Bildung von Nitrit im Interstitialwasser (Richter und Krüner 1994). In Versuchsphase 1 erhöhte sich simultan zum abnehmenden Sauerstoffgehalt der Nitritgehalt von <10 µgNO<sub>2</sub>-N l<sup>-1</sup> im Zulauf bis auf einen Peak von 70 µgNO<sub>2</sub>-N l<sup>-1</sup> hinter K4. Im weiteren Verlauf nahm Nitrit wieder bis unter 10 µgNO<sub>2</sub>-N l<sup>-1</sup> ab. Der erhöhte Sauerstoffgehalt im Elbewasser verlagerte den Nitritpeak in Versuchsphase 2 mit einem Maximum von 117 µgNO<sub>2</sub>-N l<sup>-1</sup> hinter Säule R1.

Der Ammoniumgehalt des Zulaufes wurde in Versuchsphase 1 (44 µgNH<sub>4</sub>-N l<sup>-1</sup>) in Säule K1 auf 28 µgNH<sub>4</sub>-N l<sup>-1</sup> zu 36%, der Ammoniumgehalt des Elbewassers (Versuchsphase 2) wurde von 112 auf 66 µgNH<sub>4</sub>-N l<sup>-1</sup> zu 41% reduziert. Vermutlich kam es durch den verfügbaren Sauerstoffgehalt zu einer Nitrifikation. Im weiteren Verlauf kam es erst im letzten Bereich der simulierten Fließstrecke zu einem Anstieg der Ammoniumkonzentration, was vermutlich unter den anaeroben Bedingungen mit einer Ammonifizierung des feststoffassoziierten N<sub>org</sub> erklärbar ist.

Die Kolmationszone (oberflächennahe Sedimentschicht) hat als biochemisch aktivste Zone eine besondere Bedeutung aus ökologischer (Habitatwahl der Meio- und Makrofauna, mikrobielle Zonierung) sowie wasserwirtschaftlicher (Uferfiltration) Sicht. Die Entnahme von Interstitialwasser der obersten 30 cm der Kolmationszone im ufernahen Sediment der Elbe zeigte für O<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N ähnliche Trends wie die Versuchsanlage. Der Sauerstoffgehalt im Elbewasser sank von 9,2 mg l<sup>-1</sup> mit tiefenzoniert abgeschwächter Korrelation (ohne Abbildung) der einzelnen Konzentrationen auf 2,2 mgO<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> in

30 cm Sedimenttiefe (Abb. 2 links). Die durchschnittliche Nitratkonzentration der Elbe von  $3,2 \text{ mgNO}_3\text{-N l}^{-1}$  wurde bis in 30 cm Tiefe auf  $2 \text{ mgNO}_3\text{-N l}^{-1}$  reduziert (Abb. 2 rechts). Für Nitrit konnte ebenfalls eine Abhängigkeit zum Sauerstoffgehalt nachgewiesen werden. Der Nitritgehalt nahm mit der Tiefe von 22 (Tiefe Null) auf  $119 \text{ } \mu\text{gNO}_2\text{-N l}^{-1}$  (30 cm) zu. Damit zeigt sich auch die große Bedeutung von Sauerstoff als räumlich sowie zeitlich strukturbildender Faktor. Sauerstoff verschiebt unter Infiltrationsbedingungen vermutlich die Nitrifikations-Denitrifikationsgrenze im hyporheischen Interstitial, was in der Folgezeit saisonal und diurnal untersucht werden soll.



**Abb. 2.** Mittelwerte der Entnahme von Interstitialwasser (N=16) im Infiltrationsbereich Wasserwerk Dresden-Saloppe (19.08.99-16.09.99, jeweils 8:00 Uhr) bei Elbe-Niedrigwasser (0,9-1,0 m, Pegel Dresden-Marienbrücke)

Für die Aufklärung der Kausalzusammenhänge im hyporheischen Interstitial werden verstärkt Felduntersuchungen durchgeführt, die durch die Versuchsanlage unterstützt werden. Für die Simulation der Stoffdynamik im Uferfiltrationsbereich der Elbe kann auf Grund Vergleichbarkeit schon jetzt gesagt werden, dass sich der Einsatz von Säulenversuchen eignet.

**Danksagung:** Die Arbeiten werden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (Fkz. 03396049) gefördert.

## Literatur

- Grischek, T., Hiscock, K.M., Metschies, T., Dennis, P.F., Nestler, W. (1998) Factors affecting denitrification during infiltration of river water into a sand and gravel aquifer in Saxony, Germany. *Wat. Res.* 32(2), 450-460
- Hamm, A. (1996) Wie und woher kommen die Nährstoffe in die Flüsse? In: Lozán, J.L., Kausch, H. (1996) Warnsignale aus Flüssen und Ästuaren, Parey Buchverlag, Berlin
- Stief, P., Neumann, D. (1998) Nitrite formation in sediment cores from nitrate-enriched running waters. *Arch. Hydrobiol.* 142(2), 153-169
- Richter, K.-U., Krüner, G. (1994) Elimination of nitrogen in two flooded and statically packed bed biofilters with aerobic and anaerobic microsites. *Wat. Res.* 28(3), 709-716