©Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft e.V. (FÖAG);download www.zobodat.at

Faun.-Ökol.Mitt. Suppl. 35, 87 - 101 Kiel, 2008

5 Die Funktion der Duvenseebachniederung im Landschaftsstoffhaushalt

Von Kirsten Rücker und Joachim Schrautzer

Summary

5 The function of the Duvensee creek lowlands in the matter balance of the landscape

The ability of riverine ecosystems to retain nutrients depends on different hydrological, chemical and biological conditions including exchange processes between streams and wetlands. In this study, the nutrient retention in a stream wetland complex was investigated on the timescale of hydrological exchange between both systems. Here, results from March-October 2004 are presented. Daily mass balances of nutrients (NO_3-N and SRP) were calculated with data obtained by two automatically measuring stations which were installed in a reach of the nutrient rich stream 'Duvenseebach' upstream and downstream of the wetland 'Duvenseebachniederung'. Additional oxygen-measurements in hourly intervals have been used to interpret diurnal and other short term fluctuations in water quality. The pattern of hydrological exchange between stream and wetland served as a basis for the classification of characteristic hydrological phases: floods, base flow conditions, and low flow with minimum connectivity between stream and wetland. The nutrient retention function of the stream wetland complex varied considerably during these phases. Nitrate retention was found during summer flood (retention in the wetland, mean: 23 kg N d^{-1}, 17 %) and low flow (retention in the stream, mean: 1 kg N d^{-1}, 2 %), respectively. SRP retention was only intermittent. In conclusion, nutrient retention of stream wetland complexes can only be optimised by regarding both systems as one functional unit. Due to the high variability retention processes, high frequency measurements proved to be an appropriate method to analyze the functional dynamics of the investigated stream wetland complex.

Zusammenfassung

Das Nährstoffretentionspotenzial von Fließgewässerökosystemen hängt von unterschiedlichen hydrologischen, chemischen und biologischen Bedingungen einschließlich der Austauschprozesse mit Niederungen ab. In dieser Arbeit wurde die Nährstoffretention in einem Fließgewässer-Niederungs-Komplex auf der Zeitskala des hydrologischen Austausches zwischen beiden Systemen untersucht. Hier werden die Ergebnisse von März bis Oktober 2004 vorgestellt. Tägliche Nährstoffbilanzen (NO_3-N und SRP) wurden mit Daten berechnet, die an zwei automatischen Messstationen gewonnen wurden. Diese wurden am Beginn und am Ende eines Abschnitts der Duvenseebachniederung im gleichnamigen Bach installiert. Zusätzliche stündliche Sauerstoff-Messungen dienten der Interpretation diurnaler und anderer kurzfristiger Schwankungen der Wasserqualität.

©Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft e.V. (FÖAG);download www.zobodat.at

Das Muster des hydrologischen Austausches zwischen Bach und Niederung diente als Basis einer Klassifikation charakteristischer hydrologischer Phasen: Überflutung, Basisabfluss und Niedrigabfluss mit geringer hydrologischer Konnektivität zwischen Bach und Niederung. Die Retentionsfunktion des Ökosystemkomplexes variierte in diesen Phasen beträchtlich. Nitratretention wurde sowohl während eines Sommerhochwassers (Retention in der Niederung, im Mittel 23 kg NO_3-N d^{-1}, 17 %) als auch während einer sommerlichen Niedrigabflussphase (gewässerinterne Retention, im Mittel 1 kg NO_3-N d^{-1}, 2 %) beobachtet. SRP-Retention trat nur zeitweilig auf. Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass die Nährstoffretention in Fließgewässer-Niederungs-Komplexen nur optimiert werden kann, wenn beide Systeme als eine funktionale Einheit verstanden werden. Im Hinblick auf die hohe Variabilität der Retentionsprozesse haben sich hoch auflösende Messungen als geeignetes Verfahren zur Analyse der funktionalen Dynamik des untersuchten Niederungs-Bach-Komplexes erwiesen.

Einleitung

Fluss- und Bachtälern wird im naturnahen Zustand eine hohe Fähigkeit zum Rückhalt von Nährstoffen zugeschrieben (BLICHER-MATHIESEN 1999, TREPEL & KLUGE 2004). Entwässerung und intensive landwirtschaftliche Nutzung der oft moorreichen Niederungen sowie Flussbegradigungen und – vertiefungen, wie sie in ganz Mitteleuropa vorwiegend während der letzten 60 Jahre durchgeführt wurden (SCHRAUTZER et al. 2007), bewirkten allerdings eine Umwandlung der Funktion fast aller dieser Ökosystemkomplexe von Nährstoffsenken in Nährstoffquellen (KIECKBUSCH et al. 2006). Die ausgetragenen Nährstoffe belasten Fließgewässer, Seen und Meere. Um den Nährstoffrückhalt in Flusstälern wieder zu verbessern, wird vorrangig die Aktivierung der Speicher- und Transformationsfunktion der Moore sowie die Reduzierung der Mineralisierung ihrer Torfe durch Vernässungsmaßnahmen diskutiert (z.B. KIECKBUSCH & SCHRAUTZER 2007, TREPEL & KLUGE 2004). Wenig ist bislang bekannt über die Retentionsprozesse im Fließgewässer im Zusammenhang mit Austauschprozessen mit den angrenzenden Moorflächen. Hier setzt die vorliegende Arbeit an. Zum Gebiet des Hofes Ritzerau gehört die Duvenseebachniederung, die aus einem begradigten und vertieften, nur etwa 2 m breitem Fließgewässer und angrenzenden, früher intensiv genutzten Niedermoorflächen besteht. Im Jahr 2003 wurden am Beginn und am Ausgang der Niederung zwei automatische Messstationen errichtet, die es ermöglichten, im täglichen Rhythmus Nährstoffbilanzen für diesen Niederungs-Bach-Komplex zu erstellen. Damit arbeiten wir auf der Zeitskala der steuernden hydrologischen Prozesse und kommen der international gestellten Forderung nach, das Retentionsverhalten von Stoffen in der Landschaft in hoher zeitlicher Auflösung zu analysieren (KIRCHNER et al. 2000). In dieser Studie wird eine Messreihe aus dem Jahr 2004 vorgestellt. Mit den Ergebnissen soll ein Beitrag zur Aufklärung der Funktion von kleinen Fließgewässern und deren angrenzenden Niederungsgebieten im Landschaftsstoffhaushalt geleistet werden, denn die Erfassung des Zeitpunkts, der Dauer und der tatsächlichen Raten von Retentions- und Austragsprozessen stellt noch immer ein Problem üblicher Messprogramme mit wöchentlicher oder geringerer Auflösung dar. Die Bedeutung solcher Studien für die Erfüllung der Anforderungen der europäischen Wasserrahmenrichtlinie wird daran deutlich, dass über 80 % des etwa 30.000 km langen Fließgewässernetzes in Schleswig-Holstein aus kleinen Bächen und Gräben mit einer Breite von weniger als 2 m besteht (MLUR 2005).

©Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft e.V. (FÖAG);download www.zobodat.at

Im Detail werden folgende Fragen bearbeitet: Welche zeitliche Dynamik zeigt die hydrologische Konnektivität zwischen dem Duvenseebach und den Niedermoorflächen, die biologische Aktivität im Fließgewässer sowie die Nährstoffkonzentrationen im Fließgewässer und Nährstoffbilanzen in der Niederung? Welche Faktoren beeinflussen die zeitliche Variabilität dieser Parameter?

Untersuchungsgebiet

Im Rahmen des hydrologisch-stofflichen Monitoring-Programms auf Hof Ritzerau wurde ein etwa 2 km langer Abschnitt des Duvenseebaches untersucht. Das vorgelagerte Einzugsgebiet ist etwa 28 km² groß. Intensive Landwirtschaft auf den Moorflächen des Einzugsgebietes und der Betrieb kleiner Klärteiche erklären den eutrophen Zustand des Baches. Der untersuchte Abschnitt ist stark begradigt und etwa 2 m in ein Verlandungsniedermoor eingetieft (52 ha). Die Vegetation der Niederung besteht hauptsächlich aus artenarmen Flutrasen (*Lolio-Potentillion*). Seit etwa 1998 wurde die Niederung größtenteils extensiv genutzt und in der Folgezeit konnten sich einige von Großseggen dominierte Bestände ausbreiten.

Die Niederung wird durch Regenwasser und Überflutung gespeist. Interflow von den Hängen des seitlichen Einzugsgebietes tritt lediglich in sehr nassen Jahren auf, aber nicht in dem hier vorgestellten Zeitabschnitt. Durch eine Aufhebung der Binnenentwässerung im Zuge von Wiedervernässungsmaßnahmen wurden die seitlichen Zuflüsse aus Gräben und Drainagen aus der Niederung in den Duvenseebach unterbunden. Seitdem erfolgt der Austausch zwischen der Niederung und dem Bach über Grundwasseraustausch, Uferfiltration und Überflutung.

Der Duvenseebach ist ein Fließgewässer zweiter Ordnung. Sein mittlerer Abfluss beträgt 0,3 $m^3 s^{-1}$. Die Bachsohle liegt auf dem Niveau der weitgehend wasserundurchlässigen Mudden der Niederung. Das Sohlsediment besteht aus sandig-schluffigem Material und aus organischem Substrat. Der untersuchte Abschnitt weitet sich von etwa zwei Metern Breite im oberen Abschnitt auf ca. vier Meter am Ausgang des untersuchten Abschnitts aus.

Submerse Vegetation ist nur spärlich vorhanden. Gelegentlich kommen Wasserpest (*Elodea canadensis*) und Laichkräuter (*Potamogeton spec.*) vor. Ein massives Auftreten von Fadenalgen wurde im Frühjahr, von Wasserlinsen (*Lemna minor)* im Spätsommer beobachtet.

Methoden

Probenahme und Laboranalytik

Zwei automatische Messstationen wurden im Bach installiert, eine am Gebietseingang der Niederung (im Folgenden und in den Abbildungen als 'Input' bezeichnet) und die andere kurz vor der Hofeinfahrt ('Output').

An beiden Stationen wurden Wasserstände (Drucksensor, GE Sensing), Temperatur und Sauerstoff (Clark-Prinzip mit Temperatur-Kompensation, iRAS automation) in stündlichen Intervallen direkt im Bach gemessen, um diurnale und andere kurzfristige Schwankungen der Wasserqualität zu interpretieren. Die Temperatur- und Sauerstoff-Sensoren wurden in 15 cm Wassertiefe an einem Schwimmer angebracht und mit Signalverstärkern und Datenloggern des Messsystems verbunden. Die Sauerstoff-Sättigung

©Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft e.V. (FÖAG);download www.zobodat.at

diente als Indikator für die biotische Aktivität im Gewässer und wurde nach HUA (1990) berechnet. Daten zum Luftdruck stellte der Deutsche Wetter Dienst zur Verfügung (Station Fuhlsbüttel).

Fließgeschwindigkeitsprofile wurden monatlich mit einem elektromagnetischen Fließgeschwindigkeitsmeßgerät (Flow-Sens, Seba Hydrometrie) an beiden Stationen erstellt. Die aufgezeichneten Wasserstände jeder Station wurden in Microsoft Excel mithilfe der so aufgestellten Wasserstands-Abfluss-Beziehung in Abflüsse umgerechnet (Input: $Q=0{,}0001 \cdot h^{1{,}86}$, $R^2=0{,}99$; Output: $9e^{-7} \cdot h^{3{,}2065}$, $R^2=0{,}98$).

Zusätzlich wurden die Wasserstände in der Niederung in wöchentlichem Intervall gemessen.

Mit einer automatischen Pumpe wurden alle zwei Stunden 10 ml des Bachwassers entnommen und in eine tägliche Mischprobe integriert. Vor jeder Probenahme wurde das System zwei Minuten lang gespült, um Rückstände zu entfernen. Die Proben wurden bei 4 °C in einem integrierten Kühlsystem aufbewahrt und wöchentlich abgeholt. Nach der Ankunft im Labor wurden alle Proben filtriert (0,45 µm) und bis zur Messung in Polyethylen-Flaschen eingefroren. Nitrat- und *ortho*-Phosphat-Konzentrationen wurden entsprechend deutscher Standardverfahren bestimmt (DIN EN ISO 13395, DIN EN 1189).

Berechnung der Massenbilanzen

Der Aufstellung der Bilanzgleichungen für die tägliche Retention liegen die hydrogeologischen Rahmenbedingungen des Gebietes zugrunde:

Durch weitgehende Isolation der Niederung vom seitlichen Einzugsgebiet findet nur lateraler Austausch zwischen Bach und Niederung statt. Bach und Niederung sind vertikal durch Mudden abgedichtet. Einträge durch atmosphärische Deposition wurden aufgrund der kleinen Fläche und der hohen zeitlichen Auflösung der Bilanzen vernachlässigt. Die Nährstofffrachten an der In- und Outputstation wurden durch Multiplikation der täglichen Konzentration (Mischprobe) mit dem täglichen Abfluss berechnet. Retention wurde als Änderung in der Massenbilanz auf der Fließstrecke zwischen Input und Output als Anteil der Input-Frachten wie folgt geschätzt:

$R = \Delta_m / L_{in} \times 100$ mit
R = Retention
Δ_m = Differenz der In- und Outputfracht
L_{in} = Input-Fracht

Nach BURNS (1998) wird der hydrologische Austausch zwischen Fließgewässer und Niederung als Differenz der Abflüsse bachauf- und -abwärts geschätzt:

$\Delta_Q = Q_{in} - Q_{out}$
mit
Δ_Q = ausgetauschtes Wasservolumen, entspricht hier der Wasserbilanz
Q_{in} = Abfluss an der Input-Station
Q_{out} = Abfluss an der Outputstation

Über diese Wasserbilanz wurden die Ergebnisse der Nährstoffbilanzen in drei unterschiedlichen Austauschtypen zusammengefasst: (1) Basisabflussbedingungen, (2) Nie-

©Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft e.V. (FÖAG);download www.zobodat.at

drigabflussbedingungen und (3) Hochwasser. Als Abgrenzungskriterien wurden das Erreichen einer ausgeglichenen Bilanz für die Unterscheidung von Basisabfluss- und Niedrigabflussbedingungen sowie für Hochwasser der Ausgleich der Wasserbilanz bis zu den Bedingungen vor dem Ereignis gewählt.

Ergebnisse

Hydrologie

Der hydrologische Austausch zwischen Bach und Niederung (Abb. 1) diente als Grundlage für die Unterscheidung von drei Typen hydrologischer Konnektivität: Basisabfluss (Influenz), Niedrigabfluss (kaum oder kein Austausch) und Hochwasser mit Überflutung (Effluenz und Influenz in Folge). Daraus wurde eine Abfolge von unterschiedlichen Austauschphasen abgeleitet: (I) Frühjahrshochwasser, (II) Frühjahrsbasisabfluss mit einem kontinuierlichen Zustrom aus der Niederung in den Bach, der bei etwa 20 l s^{-1} beginnt und sich schließlich einer ausgeglichenen Bilanz im Frühsommer annähert, (III) frühsommerlicher Niedrigabfluss, (IV) Sommerhochwasser, (V) spätsommerlicher Niedrigabfluss und schließlich (VI) ein Herbsthochwasser.

Die drei Hochwasserereignisse weisen alle dasselbe Muster auf: Effluenz vom Bach in die Niederung mit dem steigenden Ast der Ganglinie, Wasserrückhalt während der Hochwasserspitzen, Versickerung in den Boden mit dem fallenden Ast der Ganglinie und Influenz über den gesättigten Pfad in den Bach. Während des Sommerhochwassers ist die Phase des Austausches jedoch wesentlich kürzer.

Die Verweilzeit des Wassers im Bachabschnitt variiert zwischen einer Stunde während der Hochwasserereignisse und sechs Stunden während sommerlicher Niedrigabflussphasen (Abb. 1).

Die Wasserstände in der Niederung sanken trotz der Vernässungsmaßnahmen im Jahr 2003 stark ab. Im Jahr 2004 wurde der Bodenspeicher erst langsam wieder aufgefüllt (Abb. 2). Der Verlauf der Wasserstände stützt den durch die Abflussdifferenzen ermittelten Wasseraustausch zwischen Bach und Niederung. Hier sind die drei Überflutungsphasen mit Wasserständen über Flur ebenso zu erkennen wie die langsame Abgabe des im Winter und Frühjahr gespeicherten Wassers an den Vorfluter. Niedrige Wasserstände bis zu 60 cm unter Flur stimmen mit den Niedrigabflussphasen im Bach überein.

Sauerstoff

Das Frühjahr ist durch hohe Sauerstoffkonzentrationen von bis zu 20 mg l^{-1} und hohe diurnale Schwankungen von bis zu 8 mg l^{-1} gekennzeichnet. Dabei zeigen die Tagesspitzen deutlich Übersättigung an, denn die theoretische hundertprozentige Sättigung liegt weit unter diesen Spitzen (Abb. 3). Anfang Mai fallen die Konzentrationen und die diurnalen Schwankungen plötzlich ab und zeigen von nun an überwiegend Untersättigung an. Dabei sinken die Konzentrationen zunächst langsam bis zum Sommer ab. Ihr Minimum erreichen sie mit 2 mg l^{-1} während des Sommerhochwassers. Danach steigen die Konzentrationen wieder etwas an und erreichen an einigen Nachmittagsspitzen wieder eine hundertprozentige Sättigung. Sehr geringe diurnale Schwankungen fallen zeitlich mit dem einsetzenden Herbsthochwasser zusammen.

©Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft e.V. (FÖAG);download www.zobodat.at

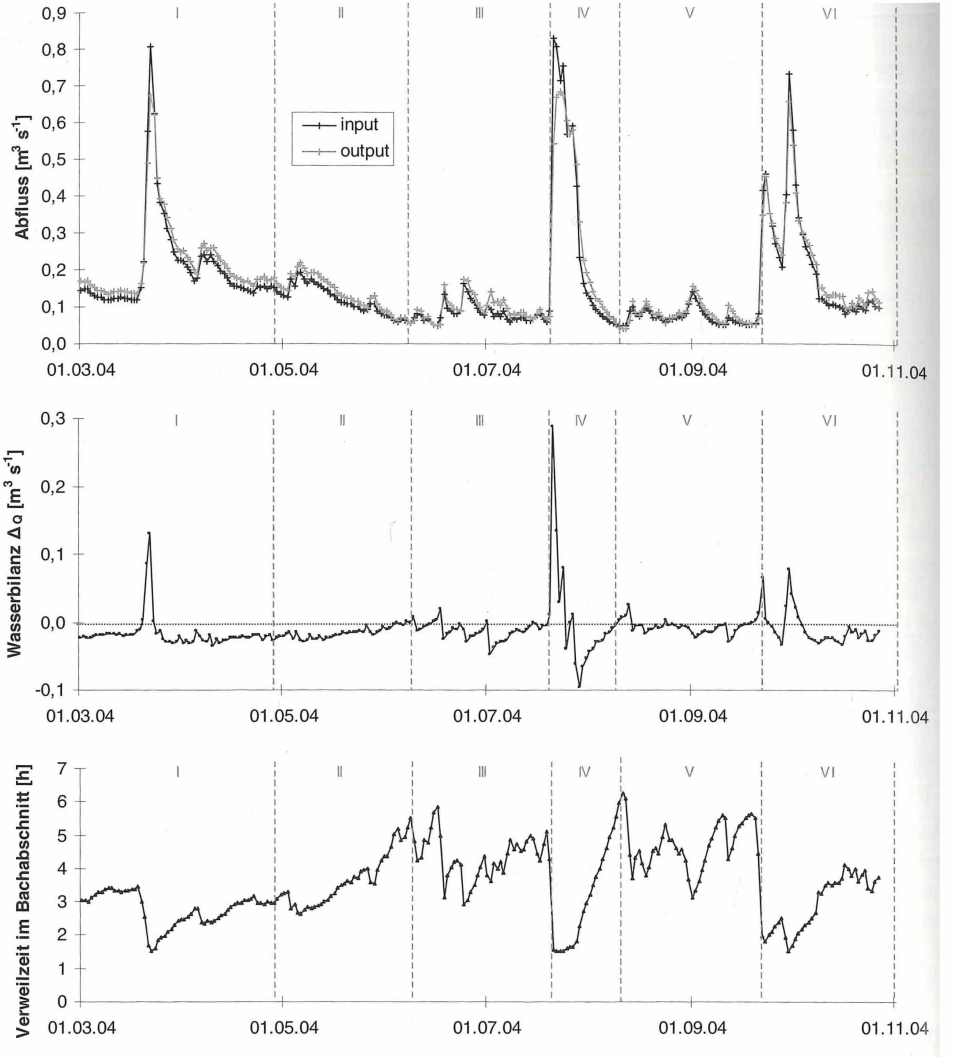

Abb. 1: Hydrologische Parameter: Abflüsse an den Messstationen; hydrologischer Austausch zwischen Bach und Niederung, geschätzt aus Abflussdifferenzen (positive Werte zeigen Effluenz an, negative Influenz vom Bach in die Niederung); Wasserverweilzeit im Bachabschnitt; I-VI stehen für die hydrologischen Phasen: (I) Frühjahrshochwasser, (II) Frühjahrsbasisabfluss, (III) frühsommerlicher Niedrigabfluss, (IV) Sommerhochwasser, (V) spätsommerlicher Niedrigabfluss und (VI) Herbsthochwasser.

©Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft e.V. (FÖAG);download www.zobodat.at

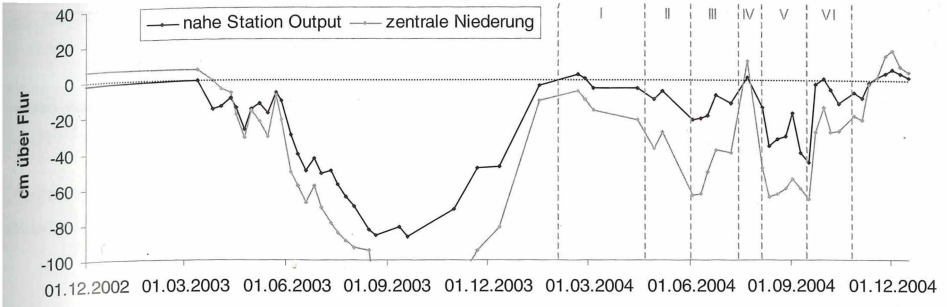

Abb. 2: Wasserstände in der Niederung; I-VI stehen für die hydrologischen Phasen (siehe Abb. 1).

Nährstoffkonzentrationen und Retention

Im Frühjahr wurden an beiden Stationen sehr hohe Nitrat-Konzentrationen gemessen (max. 12 mg NO_3-N l^{-1}, Abb. 4 a). Während des Sommers nehmen die Nitrat-Konzentrationen ab und sinken beim Sommerhochwasser im Juli noch weiter (min. 1,5 NO_3-N mg l^{-1}). Während des ansteigenden Hochwassers im Herbst kann ein Anstieg der Nitrat-Konzentrationen beobachtet werden. Im Gegensatz zu Nitrat sind die SRP-Konzentrationen im Frühjahr gering (min. 0,01 mg l^{-1}) und steigen im Sommer an (max. 0,9 mg l^{-1}) (Abb. 4 a). Eine klare Abfluss-Konzentrations-Beziehung ist für keinen der Stoffe festzustellen (Abb. 4 b).

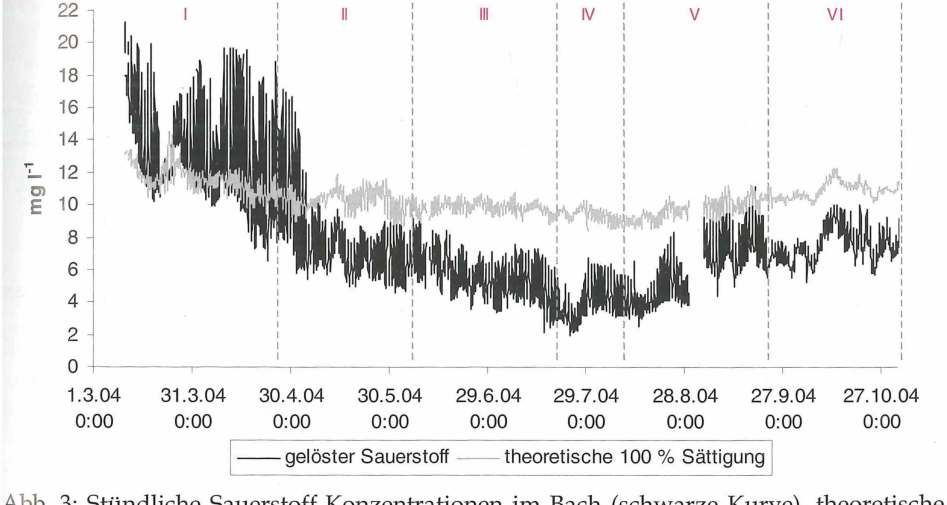

Abb. 3: Stündliche Sauerstoff-Konzentrationen im Bach (schwarze Kurve), theoretische Sauerstoffsättigung (100 %) bei der jeweils vorherrschenden Temperatur (graue Kurve); I-VI stehen für die hydrologischen Phasen (siehe Abb. 1).

Die tägliche Retention von Nitrat und Phosphat zeigt große Schwankungen (Abb. 5), die von Mai bis Juli am deutlichsten sind. Die Bilanzen der hydrologischen Phasen un-

©Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft e.V. (FÖAG);download www.zobodat.at

terscheiden sich beträchtlich (Tab. 1). Hohe Nitratverluste kennzeichnen das Frühjahr. Dagegen wirkt das System im Sommer sowohl unter Niedrigabflussbedingungen als auch während des Sommerhochwassers als Nitrat-Senke.

Das System ist größtenteils eine Phosphat-Quelle. Im Frühjahr und während des frühsommerlichen Niedrigabflusses treten die höchsten Austräge auf. Während des Sommerhochwassers und des spätsommerlichen Niedrigabflusses sind die Phosphat-Verluste jedoch gering.

Während der Hochwasserspitzen des Herbsthochwassers im September findet noch Retention statt, ein Übergang zu überwiegenden Austrägen tritt mit dem fallenden Hochwasserast auf. Die Gesamtbilanz dieser Phase ist nahezu ausgeglichen.

Tab.1: SRP- und NO_3N-Bilanzen der hydrologischen Austauschphasen vom 1.3. bis 31.10.2004. Negative Werte zeigen Austräge und positive Werte Retention an.

Phase	SRP			NO_3-N		
	Input-Fracht	Differenz Input-/ Output-Fracht	Reten-tion	Input-Fracht	Differenz Input-/ Output-Fracht	Reten-tion
	kg d^{-1}	kg d^{-1}	%	kg d^{-1}	kg d^{-1}	%
Frühjahrshochwasser (I)	0,6	-0,2	-33	125,1	-20,0	-16
Frühjahrsbasisabfluss (II)	1,6	-0,7	-44	48,8	-5,6	-11
Frühsommerlicher Niedrigabfluss (III)	3,6	-0,6	-17	43,9	-4,4	-10
Sommerhochwasser (IV)	7,2	-0,2	-3	136,4	22,8	17
Spätsommerlicher Niedrigabfluss (V)	3,9	-0,04	-1	42,6	1,0	2
Herbsthochwasser (VI)	2,1	-0,02	-1	148,7	-0,02	-0,03
Insgesamt	2,9	-0,3	-10	85,0	-4,4	-5

Diskussion

Wasseraustausch zwischen dem Duvenseebach und der angrenzenden Niederung

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass enge Wechselbeziehungen zwischen der Dynamik der durch Messungen im Fließgewässer ermittelten Wasserbilanzen und der Wasserstandsdynamik im Niedermoor bestehen. Hohe positive Wasserbilanzen lassen auf einen starken Zustrom vom Fließgewässer in die Niederung schließen und korrespondieren mit Überflutungsphasen im Feuchtgrünland. Umgekehrt indizieren Phasen mit negativen Wasserbilanzen einen kontinuierlichen Zustrom von der Niederung ins Fließgewässer und bewirken sinkende Grundwasserstände im Moor. Die geringe Konnektivität von Bach und Niederung im Sommer wird durch das Fehlen lateraler Grundwasserzuflüsse aus dem seitlichen Einzugsgebiet in die Niederung verstärkt (vgl. BURT 1995, BULLOCK & ACREMAN 2003, KIECKBUSCH & SCHRAUTZER 2007). Erstaunlicherweise wurde das im Sommer 2003 aufgebaute Wasserdefizit nicht im Herbst und Winter dieses Jahres, sondern erst im Frühling des darauf folgenden Jahres wieder abgebaut. Nach dem Frühjahrshochwasser 2004 erfolgte ein steter Zustrom von der Niederung in das Fließgewässer, der mit kontinuierlichen Nährstoffausträgen verknüpft war. In dieser Phase zeigte

©Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft e.V. (FÖAG);download www.zobodat.at

sich, dass die bislang durchgeführten Vernässungsmaßnahmen in der Niederung nicht ausreichen, um dauerhaft einen geringen hydrologischen Gradienten zwischen Fließgewässer und Niederung als eine wesentliche Voraussetzung zur Vermeidung von Nährstoffausträgen zu erhalten.

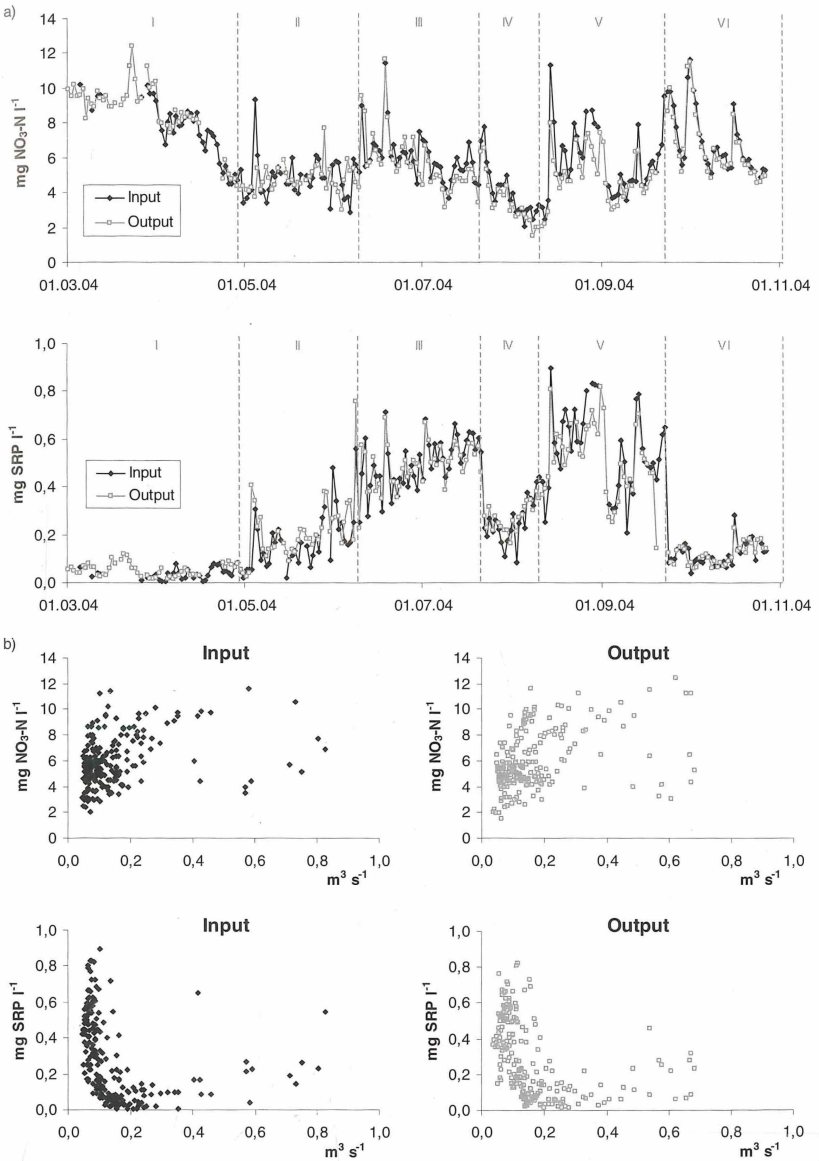

Abb. 4: (a) Nährstoff-Konzentrationen und (b) Abfluss-Konzentrations-Beziehungen an den Messstationen Input und Output; I-VI stehen für die hydrologischen Phasen (s. Abb. 1).

©Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft e.V. (FÖAG);download www.zobodat.at

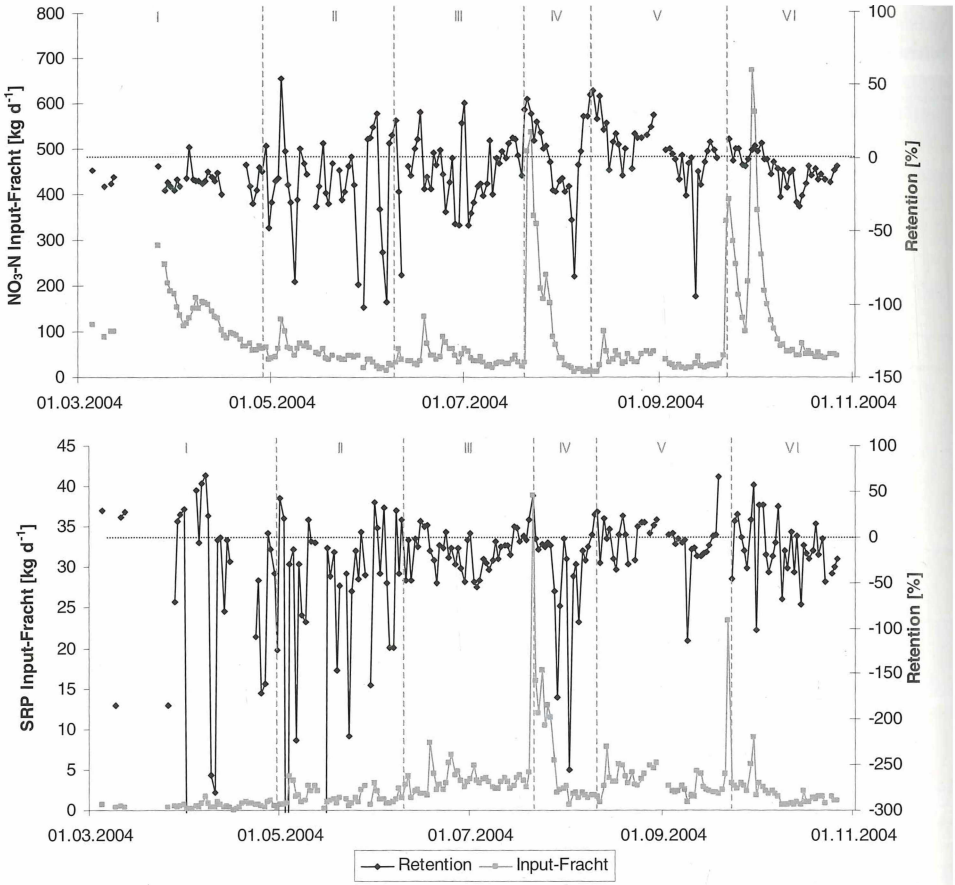

Abb. 5: Eintragsfrachten (Input) (graue Kurve, linke Ordinate) und Nährstoffbilanzen als relative Retention der Eintragsfracht in Prozent (schwarze Kurve, rechte Ordinate); positive Werte der Retention über der Nulllinie kennzeichnen Retention und negative Werte Austräge aus dem Bach-Niederungs-Komplex ; I-VI stehen für die hydrologischen Phasen (siehe Abb. 1).

Dynamik der Nährstoffkonzentrationen und -bilanzen

Die hohen Nitratkonzentrationen im Fließgewässer während des Frühjahrshochwassers 2004 sind wahrscheinlich das Resultat von Nährstoffausträgen aus dem vorgelagerten Einzugsgebiet. Die negative Nitratbilanz in dieser Phase lässt darauf schließen, dass zusätzlich Nitrat aus der Niederung des Untersuchungsgebietes in den Duvenseebach gelangte. Beide Phänomene sind damit zu erklären, dass im vorherigen trockenen Jahr 2003 durch herbstliche Mineralisationsvorgänge hohe Nitratüberschüsse aufgebaut wurden, die erst im darauf folgenden Frühjahr durch Auswaschung ausgetragen wurden. Hinweise auf diese Zusammenhänge geben die im Februar 2004 in der Bodenlösung des Niedermoores im Untersuchungsgebiet gemessenen hohen Gehalte von > 5 mg NO_3-N l^{-}

©Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft e.V. (FÖAG);download www.zobodat.at

1. Zudem dürften niedrige Temperaturen und hohe Sauerstoffgehalte im Frühjahr die Denitrifikation als entlastenden Prozess im Stickstoffhaushalt gehemmt haben. Die hohen Phosphatausträge während der Frühjahrsüberflutung sind vermutlich ebenfalls auf die Auswaschung von im Vorjahr in den Mooren des vorgelagerten Einzugsgebietes und der Duvenseebachniederung akkumulierten P-Mengen zurückzuführen.

Mit den abnehmenden Abflüssen nach der Frühjahrsüberflutung sanken auch die Nitratkonzentrationen im Fließgewässer ab. Der kontinuierliche Zustrom von Sickerwasser aus dem Niedermoor führte jedoch weiterhin zu Nitratausträgen aus der Niederung. In erster Linie ist diese Phase jedoch durch vergleichsweise hohe Phosphatausträge und stark negative Phosphatbilanzen gekennzeichnet. Vermutlich wurden in den Torfen des Feuchtgrünlandes durch Mineralisation freigesetzte labile P-Fraktionen mobilisiert und ausgewaschen (vgl. CARLYLE & HILL 2001).

Mit der folgenden Niedrigwasserphase im Frühsommer stieg die relative Bedeutung der Prozesse im Fließgewässer an der Nährstoffretention im Gesamtsystem an, da nur noch wenig Wasseraustausch zwischen Feuchtgrünland und Duvenseebach stattfand. Die in der Bodenlösung des Niedermoores vorliegenden Nährstoffe wurden zudem in größeren Mengen von der Vegetation aufgenommen. Nach dem Zusammenbruch der Algenpopulation schufen niedrige Sauerstoffgehalte und höhere Temperaturen günstige Voraussetzungen für die Denitrifikation im Bach (HILL et al. 1998). Dennoch schwankte die Nitratretention in dieser Phase beträchtlich und insgesamt wirkte das Gesamtsystem noch als Nitratquelle. Auch die Bedingungen für eine Phosphatretention verbesserten sich, da niedrige Fließgeschwindigkeiten die Adsorption im Sediment und die biotische Aufnahme fördern (SCHULZ et al. 2003, KRONVANG et al. 1999). Andererseits kann P-Rücklösung aus dem Bachsediment die Gesamtbilanz der sommerlichen Niedrigabflussphasen beeinflusst haben (vgl. BANASZUK & WYSOCKA-CZUBASZEK 2005). Die Phosphorbilanz war in dieser Phase zwar immer noch negativ, es wurde aber deutlich weniger Phosphat ausgetragen als in den beiden vorangegangenen hydrologischen Phasen.

Für ein renaturiertes Altarm-Feuchtgebiet berichten FINK & MITSCH (2007) von einer Retention von N und P während Überflutungen im Frühjahr und von Austrägen während solcher Ereignisse im Sommer. Im Gegensatz zu unseren Erwartungen waren die P-Austräge während des Sommerhochwassers in der Duvenseebachniederung trotz niedriger Sauerstoffgehalte im Überflutungswasser gering. Die Ursachen hierfür könnten in einem bereits ausgeschöpften Pool labiler P-Fraktionen nach den hohen Verlusten im Frühjahr und in der geringen Dauer des Austausches liegen. Dennoch war die Verweilzeit des Wassers insgesamt lang genug, um eine intensive Denitrifikation in der Niederung und damit eine positive Nitratbilanz zu erlauben (vgl. BAKER & VERVIER 2004).

Eine vorübergehende Dominanz gewässerinterner Stofftransformation liegt in der spätsommerlichen Niedrigabflussphase bei nahezu vollständiger Entkopplung von Niederung und Bach vor. Niedrige Wasserstände erhöhen das Verhältnis von Sedimentoberfläche und Wasservolumen (ALEXANDER et al. 2000), was eine intensive Transformation im Sediment erlaubt (HILL et al. 1998, BAKER & VERVIER 2004). Hohe Gewässertemperaturen bewirkten vermutlich verstärkt den Abbau organischer Substanz. Mit hohen DOC-Konzentrationen (zusätzliche Messungen: 10 mg l^{-1} im Mittel) sowie weiterhin niedrigen Sauerstoffgehalten herrschten Bedingungen, die die Denitrifikation begünstigen (BERNHARDT & LIKENS 2002). Das führte zu einer weiterhin positiven Nitratbilanz. Viele Studien zeigen, dass Denitrifikation ein effektiver Prozess der Nitrat-Retention im Fließgewässer sein kann (BURNS 1998, PETERSON et al. 2001).

©Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft e.V. (FÖAG);download www.zobodat.at

Im Spätsommer stiegen die Sauerstoffgehalte vermutlich als Folge eines Massenauftretens von *Lemna minor* (Kleine Wasserlinse) wieder an. Dies und sinkende Temperturen könnten die Ursachen für eine geringere Nitratretention gewesen sein.

In der Phase der herbstlichen Überflutung waren die Nährstoffbilanzen mehr oder weniger ausgeglichen. Hierfür gibt es mehrere Erklärungsansätze. Im Bach dürfte die Aufnahme durch Organismen aufgrund der Seneszenz von Pflanzen wie *Lemna minor* nur noch gering gewesen sein und im Sommer zurückgehaltene Nährstoffe konnten wieder mobilisiert werden (SVENDSEN et al. 1995, SCHULZ et al. 2003). Durch niedrige Verweilzeiten des Bachwassers verschlechterten sich zudem die Bedingungen für eine effektive Nährstofftransformation im Bach generell, z. B. durch Sorption im Sediment. Im Feuchtgrünland bewirkten höhere Wasserstände unter Umständen eine Freisetzung redoxsensitiver Phosphor-Verbindungen in den Torfen und deren Austrag in das Fließgewässer.

Schlussfolgerungen

Flüssen und den sie begleitenden Feuchtgebieten wird allgemein eine hohe Fähigkeit zum Nährstoffrückhalt beigemessen (ALEXANDER et al. 2000, BLICHER-MATHIESEN & HOFFMANN 1999). Die Bedeutung der Funktion von kleinen Bach- bzw. Flusstälern im Stoffhaushalt stark anthropogen veränderter Kulturlandschaften wurde bislang nicht in dieser zeitlichen Auflösung untersucht. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie haben gezeigt, dass die Nährstoffretention in diesen Ökosystemen im zeitlichen Verlauf stark schwanken kann. So wirkt die Duvenseebachniederung phasenweise als Nährstoffsenke oder –quelle. Hierfür sind vor allem die hydrologische Konnektivität zwischen den Teilsystemen und der ökologische Status im Fließgewässer selbst verantwortlich. Interessant ist darüber hinaus, dass die Ende des Jahres 2003 in den Feuchtgebieten akkumulierten Nährstoffmengen die Retentionsprozesse im Jahr 2004 beeinflussen; eine Beobachtung, die ohne ein langfristig angelegtes Monitoring nicht möglich gewesen wäre. Die Bedeutung historischer Effekte für die Beurteilung der Funktion von Ökosystemen unterstreicht auch LIKENS (2004).

Trotz der in den vergangenen Jahren vom STUA Itzehoe durchgeführten Vernässungsmaßnahmen ist die Duvenseebachniederung bei der Betrachtung eines längeren Zeitraumes noch eine Nährstoffquelle. Dies lag im Untersuchungszeitraum hauptsächlich daran, dass es bei niedrigen Wasserständen im Fließgewässer nach der Frühjahrsüberschwemmung 2004 zu Sickerwasser- und Nährstoffverlusten (Stickstoff und Phosphat) aus dem Feuchtgrünland kam. Der hydrologische Gradient zwischen den Teilsystemen war in dieser Phase offensichtlich zu hoch. Dies hätte nur durch ein zusätzliches Anheben der Wasserstände im Fließgewässer beispielsweise durch den Bau von Sohlschwellen verhindert werden können. Mit einer solchen Maßnahme würde man die Stickstoffretention in der Duvenseebachniederung deutlich erhöhen (LEONARDSON et al. 1994, VERHOEVEN et al. 1990). Die Ergebnisse unserer Untersuchung zeigen auch, dass im Vergleich zu den Beobachtungen anderer Studien (KIECKBUSCH & SCHRAUTZER 2007, FINK & MITSCH 2007) die Phosphorausträge während Überschwemmungsphasen im Sommer und Herbst niedrig waren. Dies könnte daran liegen, dass im Feuchtgrünland der Duvenseebachniederung bereits 5 Jahre vor Durchführung der Vernässungsmaßnahmen mit einer extensiven Nutzung ohne Düngung begonnen wurde. Vermutlich wurden die während der vorangegangenen intensiven Nutzung akkumulierten P-Mengen durch Nährstoffentzüge über die Vegetation abgebaut. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass

©Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft e.V. (FÖAG);download www.zobodat.at

die im Untersuchungsgebiet im Frühjahr ausgewaschenen P-Mengen mit 1,1 kg ha^{-1} deutlich höher waren als die Summe der P-Austräge aller Überflutungsphasen (0,4 kg ha^{-1}). Dieses Ergebnis ist insofern von großer Bedeutung, da das Risiko einer P-Freisetzung häufig als Argument gegen eine Vernässung von Niedermooren verwendet wird (BAUM et al. 2003). Die vorliegenden Ergebnisse untermauern die Ansicht, dass größere P-Verluste aus Niedermooren sich auf eine vergleichsweise kurze Phase nach der Vernässung beschränken und sich danach bald abschwächen (TREPEL 2004, ZAK & GELBRECHT 2007).

Weitere potenzielle Maßnahmen zur Erhöhung der Nährstoffretention in der Duvenseebachniederung setzen an der Struktur des Fließgewässers an. So würden sich die Entwicklung einer heterogenen Vegetationsstruktur sowie die Erhöhung des Anteils weiterer strukturgebender Kompartimente (Totholz, Steine etc.) positiv auf den Nährstoffrückhalt im Fließgewässer auswirken (SAND-JENSEN 1998, SCHULZ et al. 2003). Langfristig würde sich dadurch auch die Gesamtlänge des Baches erhöhen, was wiederum positive Auswirkungen auf den Nährstoffhaushalt hätte (PEDERSEN et al. 2007).

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass die zeitlich hochaufgelösten Untersuchungen zum Wasser- und Nährstoffhaushalt der Duvenseebachniederung zum besseren Verständnis der Funktion kleiner Fließgewässer im Landschaftshaushalt beigetragen haben. Es hat sich gezeigt, dass kleine Fließgewässer in der Summe ein hohes Potenzial für den Nährstoffrückhalt in der Landschaft aufweisen. Sie sollten deshalb neben den Vorranggewässern bei der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie verstärkt Berücksichtigung finden.

Literatur

ALEXANDER B.A., SMITH R.A. & SCHWARZ G.E. (2000): Effect of stream channel size on the delivery of nitrogen to the Gulf of Mexico. Nature 403, 758-761.

BAKER M.A. & VERVIER P. (2004): Hydrological variability, organic matter supply and denitrification in the Garonne River ecosystem. Freshwater Biol. 49, 181-190.

BANASZUK P. & WYSOCKA-CZUBASZEK A. (2005): Phosphorus dynamics and fluxes in a lowland river: the Narew Anastomosing River System, NE Poland. Ecol. Eng. 25, 429-441.

BAUM C., LEINWEBER P. & SCHLICHTING A. (2003): Effects of chemical conditions in rewetted peats on temporal variation in microbial biomass and acid phosphatase activity within the growing season. Applied Soil Ecology 22, 167-174.

BERNHARDT E.S. & LIKENS G.E. (2002): Dissolved organic carbon enrichment alters nitrogen dynamics in a forest stream. Ecology 83, 1689-1700.

BLICHER-MATHIESEN G. & HOFFMANN C.C. (1999): Denitrification as a sink for dissolved nitrous oxide in a freshwater riparian fen. J. Environ. Qual. 28, 257-262.

BULLOCK A. & ACREMAN M. (2003): The role of wetlands in the hydrological cycle. Hydrology and Earth System Sciences 7, 358-389.

BURNS D.A. (1998): Retention of NO_3^- in an upland stream environment: A mass balance approach. Biogeochemistry 40, 73-96.

BURT T.P. (1995): The role of wetlands in runoff generation from headwater catchments. In: HUGHES J. & HEATHWAITE L. (eds) Hydrology and Hydrochemistry of British Wetlands. Wiley, Chichester, UK, 21-38.

©Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft e.V. (FÖAG);download www.zobodat.at

CARLYLE G.C. & HILL A.R. (2001): Groundwater phosphate dynamics in a river riparian zone: effect of hydrological flowpaths, lithology and redox chemistry. J. Hydrol. 247, 151-168.

FINK D.F. & MITSCH W. (2007): Hydrology and nutrient biogeochemistry in a created river diversion oxbow wetland. Ecol. Eng. 30, 93-102.

HILL A.R., LABADIA C.F. & SANMUGADAS K. (1998): Hyporheic zone hydrology and nitrogen dynamics in relation to the streambed topography of a N-rich stream. Biogeochemistry 42, 285-310.

HUA H.S. (1990) : Accurate method for calculation of saturation DO. J. Environ. Eng. 116, 988-990.

KIECKBUSCH J.J., SCHRAUTZER J. & TREPEL M. (2006): Spatial heterogeneity of water pathways in degenerated riverine peatlands. Basic and Applied Ecology 7, 388-397.

KIECKBUSCH J.J. & SCHRAUTZER J. (2007): Nitrogen and phosphorus dynamics of a rewetted shallow-flooded peatland. Sci. Tot. Environ. 380, 3-12.

KIRCHNER J.W., FENG X. & NEAL C. (2000): Fractal stream chemistry and its implications for contaminant transport in catchments. Nature 403, 524-527.

KRONVANG B., HOFFMANN C.C., SVENDSEN L. M., WINDOLF J., JENSEN J.P. & DØRGE J. (1999): Retention of nutrients in river basins. Aquat. Ecol. 33, 29-40.

LEONARDSON L., BENGTSSON L., DAVIDSSON T., PERSSON T. & EMANUELSSON U. (1994): Nitrogen retention in artificially flooded meadows. Ambio 23, 332-341.

LIKENS G.E. (2004): Some perspectives on long-term biogeochemical research from the Hubbard Brook ecosystem study. Ecology 85, 2355-2362.

MLUR (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein) (2005): Fachinformation zu Gewässern in Schleswig-Holstein. http://www. sh.de/fachinformation/gewässer/flüsse.html

PEDERSEN M.L., ANDERSEN J.M., NIELSEN K. & LINNEMANN M. (2007): Restoration of Skjern River and its valley. Project description and general ecological changes in the project area. Ecol. Eng. 30, 131-144.

PETERSON B.J., WOLLHEIM W.M., MULLHOLLAND P.J., WEBSTER J.R., MEYER J.L., TANK J.L., MARTI E., BOWEDEN B.W., VALETT H.M., HERSHEY A.E., MCDOWELL W.H., DODDS W.K., HAMILTON S.K. & GREGORY S. (2001): Control of nitrogen export from watersheds by headwater streams. Science 292, 86-90.

SAND-JENSEN K. (1998): Influence of submerged macrophytes on sediment composition and near-bed flow in lowland streams. Freshwat. Biol. 39, 663-679.

SCHRAUTZER J., RINKER A., JENSEN K., MÜLLER F., SCHWARTZE P. & DIERßEN K. (2007): Succession and restoration of drained fens: Perspectives from Northwestern Europe. In: WALKER L.R., WALKER J. & HOBBS R.J. (eds.) Linking Restoration and Ecological Succession. Springer, New York, 90-120.

SCHULZ M., KOZERSKI H.-P., PLUNTKE T. & RINKE K. (2003): The influence of macrophytes on sedimentation and nutrient retention in the lower River Spree (Germany). Water Research 37, 569-578.

SVENDSEN L.M., KRONVANG B., KRISTENSEN P. & GRÆSBØL P. (1995): Dynamics of phosphorus compounds in a lowland river system: Importance of retention and non-point sources. Hydrobiologia 9, 119-142.

TREPEL M. (2004): Vorschläge zur Beurteilung der redoxabhängigen Phosphorfreisetzung durch die Vernässung von Niedermoorböden. Studie im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein, Flintbek.

©Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft e.V. (FÖAG);download www.zobodat.at

TREPEL M. & KLUGE W. (2004): WETTRANS: A flow-path-oriented decision-support system for the assessment of water and nitrogen exchange in riparian peatlands. Hydrological Processes 18, 357-371.

VERHOEVEN J.T.A., MALTBY E. & SCHMITZ M.B. (1990): Nitrogen and phosphorus mineralization in fens and bogs. Journal of Ecology 78, 713-726.

ZAK D. & GELBRECHT J. (2007): The mobilization of phosphorus, organic carbon and ammonium in the initial stage of fen rewetting (a case study from NE Germany). Biogeochemistry 85, 141-151.

Adressen der Autoren:

Dr. Kirsten Rücker
Ökologie-Zentrum, Universität Kiel
Olshausenstr. 40
24098 Kiel
email:kruecker@ecology.uni-kiel.de

Prof. Dr. Joachim Schrautzer
Ökologie-Zentrum, Universität Kiel
Olshausenstr. 40
24098 Kiel
email: jschrautzer@ecology.uni-kiel.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Faunistisch-Ökologische Mitteilungen

Jahr/Year: 2008

Band/Volume: Supp_35

Autor(en)/Author(s): Rücker Kirsten, Schrautzer Joachim

Artikel/Article: 5 Die Funktion der Duvenseebachniederung im Landschaftsstoffhaushalt 87-101