

TELMA	Band 29	Seite 119–130	3 Abb., 1 Tab.	Hannover, November 1999
-------	---------	---------------	----------------	-------------------------

Modellgestützte Quantifizierung der Stickstoffdynamik in der Pohnsdorfer Stauung, einem degenerierten Verlandungsniedermoor in Schleswig-Holstein

Quantitative simulation of the nitrogen dynamic in the Pohnsdorfer Stauung, a degenerated fen of lacustrine origin in Schleswig-Holstein

MICHAEL TREPEL

Zusammenfassung

Die Akkumulation von Kohlenstoff und Stickstoff ist das prägende Merkmal von Mooren. Mit dem Wasser- und Stickstoffhaushaltsmodell WASMOD werden für ein degeneriertes Verlandungsniedermoor Eintrag und Austrag von Stickstoff quantifiziert. Neben den Ernteentzügen wirken vor allem gasförmige Verluste über Denitrifikation stickstoffzehrend. Die flächenhafte Darstellung der Quellen-Senkenwirkung verdeutlicht, daß in der Simulation der überwiegende Anteil der Niedermoorböden in der Pohnsdorfer Stauung als Stickstoffquelle wirkt. Akkumulierende Bereiche treten nur kleinflächig auf. Diese Simulationsergebnisse können die Basis für ein zukünftiges Managementkonzept bilden.

Summary

The accumulation of carbon and nitrogen is an important natural property of mires. In this study, the input and output of nitrogen of a degenerated fen of lacustrine origin are quantified with the water- and nitrogen model WASMOD. Nitrogen gaseous losses by denitrification belong with harvest to the most important output sources. The spatial visualisation of the source and sink function clearly indicates, that actually the majority of the peatsoils in the Pohnsdorfer Stauung acts as nitrogen source. In the simulation only small areas accumulate nitrogen. These simulation results can be used to develop a more sustainable management in the future.

1. Einleitung

Die ‚dauerhaft umweltgerechte Nutzung‘ von Feuchtgebieten wurde auf der dritten RAMSAR Konferenz 1987 in Regina, Kanada, wie folgt definiert:

„The wise use of wetlands is their sustainable utilization for the benefit of humankind in a way compatible with the maintenance of the natural properties of the ecosystem.“
(RAMSAR 1987)

Dieser Definition hat sich auch die International Peat Society angeschlossen (IPS 1998). Hiernach wird eine Nutzung von Mooren als dauerhaft umweltgerecht bezeichnet, wenn die natürlichen Ökosystemeigenschaften erhalten bleiben. Damit sind die ‚Ökosystemeigenschaften‘ das entscheidende Kriterium zur Beurteilung der Nachhaltigkeit einer Nutzungsform. Charakteristisch für naturnahe Moore ist ihre Eigenschaft, mit dem Wasser zugeführte oder aus der Atmosphäre entnommene Stoffe wie Nitrat, Ammonium, elementaren Stickstoff oder Kohlendioxid in Form von Torf zu akkumulieren (z. B.: CLYMO 1984, GORHAM 1991, JOOSTEN 1993).

In der Bundesrepublik Deutschland gehörten Moore vor ihrer Kultivierung in den nördlichen Bundesländern, den Mittelgebirgen sowie dem Alpenvorland zu den prägenden Landschaftselementen. In Norddeutschland wird ihr Anteil an der jeweiligen Landesfläche teilweise auf über 10 % geschätzt (GROSSE-BRAUCKMANN 1997). Aktuell sind wachsende Moore jedoch eine Rarität. Der überwiegende Teil (mehr als 90 % der ursprünglichen Moorfläche) ist entwässert und wird land- oder forstwirtschaftlich genutzt. In den letzten Jahren sind zudem eine Vielzahl von entwässerten Niedermoorböden aus ökonomischen und naturschutzfachlichen Gründen aus der Nutzung genommen worden, ohne daß dabei in jedem Fall die Entwässerungssysteme rückgebaut wurden. Naturnahe Restflächen haben eine hohe Lebensraumfunktion, die sich aus dem Vorkommen vieler an feuchte bis nasse sowie mäßig bis schwach produktive Standortverhältnisse angepaßte Arten ergibt (SCHRAUTZER & JENSEN 1998). Auf landwirtschaftlich genutzten Niedermoorböden steht dagegen die Produktion von Lebensmitteln und Tierfutter im Vordergrund. Die intensive Nutzung von Niedermoorböden ist mit einer Zunahme von Umweltproblemen wie etwa einer allgemeinen floristischen Verarmung, hohen Torfswundraten, vermehrten Kohlendioxid- und Distickstoffoxidemissionen oder erhöhten Stickstoffeinträgen in Oberflächengewässer verbunden (z. B.: KUNTZE 1988, PFADENHAUER 1994, TREPPEL & SCHRAUTZER 1998, SCHOPPGUTH 1999). Zur Zeit werden Maßnahmen wie Vernässung oder Extensivierung diskutiert, um die von landwirtschaftlich genutzten Niedermoorböden ausgehenden Umweltprobleme zu mindern. Ziele hierbei sind die Erhöhung und Erhaltung der Artenvielfalt durch extensive Nutzungsformen, die Reduktion der Quellenstärke und die Förderung der Senkenstärke durch Wiederherstellung der hydrologischen Bedingungen für ein erneutes Torfwachstum. Um den Erfolg von Restitutionsmaßnahmen zu gewährleisten, ist für jedes Gebiet vor der Durchführung zu prüfen, welches Ziel mittelfristig (in einem Zeitraum von 5–10 Jahren) erreicht werden kann (GRAYSON et al. 1999). Neben dem Artenbestand sind hierfür fundierte Kenntnisse der Stoffdynamik von Ökosystemen

notwendig. Zur Quantifizierung von Prozessen und Bilanzen können neben messenden Ansätzen auch computergestützte Modelle eingesetzt werden. In diesem Beitrag werden am Beispiel der Pohnsdorfer Stauung unter Einsatz des Wasser- und Stickstoffhaushaltsmodells WASMOD (REICHE 1991, 1996) die Austragspfade in der Stickstoffbilanz in Abhängigkeit von der Nutzung sowie von hydrologischen Faktoren analysiert. Die Simulationsergebnisse tragen damit zur Quantifizierung der von Niedermoorböden ausgehenden Umweltbelastungen bei.

2. Methode

Das dynamische Modellsystem WASMOD (REICHE 1991; 1996) bildet die wesentlichen Transport- und Transformationsprozesse im Wasser- und Stickstoffhaushalt von Ökosystemen auf räumlichen und zeitlichen Ebenen unterschiedlichen Maßstabs ab. Dabei wird zwischen den Ökosystemkompartimenten Boden, Wasser und Vegetation unterschieden. Der Boden wird in 15 Kompartimente unterschiedlicher Mächtigkeit unterteilt, wobei die Höhe des untersten Kompartiments mit der Grundwasseroberfläche variabel gehalten wird und die untere Randbedingung darstellt. Die obere Randbedingung bildet die um Oberflächenabfluß und Interzeptionsverlust verminderte, von der Bodenoberfläche in das oberste Kompartiment infiltrierende Niederschlagsmenge. Die Bodenwasserbewegung wird auf der Grundlage der Kontinuitätsgleichung gelöst, bei der die Veränderung des Wassergehaltes eines Bodenkompartmentes pro Zeitschritt als Summe der Flüsse dargestellt wird, die durch die Gradienten des Matrix- und des Gravitationspotentials hervorgerufen werden. Die Zustandsvariable im Wasserhaushalt ist der Wassergehalt im Bodenkompartment. In dem Modellsystem sind die mikrobiologischen Prozesse im Stickstoffhaushalt, einem Ansatz von HANSEN et al. (1990) folgend, eng mit der Kohlenstoffdynamik verknüpft. Im Kohlenstoffhaushalt werden drei Zustandsvariablen unterschieden: im Boden festgelegte organische Substanz, mikrobielle Biomasse und zugeführte organische Substanz. Diese drei Pools werden jeweils in eine kurzfristig und eine langfristig mineralisierbare Fraktion unterteilt. Im Stickstoffhaushalt wird zwischen den Zustandsvariablen partikuläre organische Substanz sowie im Wasser gelöstes Ammonium und Nitrat differenziert. Dabei werden die Prozesse Mineralisation, Nitrifikation, Denitrifikation, Ammoniakverdunstung sowie Nitrat- und Ammonium-Aufnahme durch die Vegetation beschrieben. Das Vegetationswachstum wird in Abhängigkeit von den dynamischen Variablen Blattflächenindex und Durchwurzelungstiefe dargestellt. Dabei wird für jeden Vegetationstyp die maximale Nährstoffaufnahmekapazität vorgegeben. Die Stickstoffaufnahme durch die Pflanzenwurzeln erfolgt als konvektiver Prozeß in Abhängigkeit von der Wasseraufnahme, der Nährstoffsättigung und den Nitrat- und Ammoniumgehalten in den durchwurzelten Bodenkompartmenten. Für die Simulation werden Klimadaten in Form von Tageswerten für Niederschlagssumme, Maximum- und Minimumtemperatur sowie Globalstrahlung verwendet.

In Verbindung mit einem Geographischen Informationssystem können räumliche Wechselwirkungen wie Oberflächenabfluß, Interflow oder Grundwasserströmung analysiert und implementiert werden (REICHE et al. 1999). Die Eingangsdaten für das Modellsystem zur flächenhaften Modellierung werden mit den im Methodenpaket DILAMO (REICHE et al. 1999) zusammengefaßten Parametrisierungstools aufgearbeitet. Hierzu werden die im Gebiet vorhandenen Informationsquellen wie Profilbeschreibungen der Bodenschätzung oder von geologischen und bodenkundlichen Bohrungen, Gewässerinformationen aus dem Amtlichen Kartographischen Informationssystem (ATKIS), Reliefinformationen oder Nutzungs- und Vegetationskartierungen für die flächenhafte Modellierung ausgewertet und in ein digitales Format überführt. Als Ergebnis gibt das Modellsystem WASMOD in der flächenhaften Anwendung für jedes Polygon die Ein- und Austräge sowie internen Umsetzungsraten in der Wasser- und Stickstoffbilanz aus. Bei der Simulation von Einzelstandorten werden zusätzlich Zeitreihen für wesentliche Transformationsprozesse sowie der Zustandsvariablen im Wasser- und Stickstoffhaushalt ausgegeben.

3. Untersuchungsgebiet

Die Pohnsdorfer Stauung befindet sich etwa 10 km südöstlich von Kiel im Einzugsgebiet der Neuwührener Au kurz vor ihrem Eintritt in den Postsee. Das Verlandungsniedermoor entwickelte sich in einer Toteissenke, die zwischen den westlichen Ausläufern des Blumenthal-Vorstoßes und den östlichen Endmoränen des Sehberg-Vorstoßes entstand. Das Niedermoor wird durch die in Nord-Süd Richtung fließende Neuwührener Au in einen schmaleren westlichen und einen breiteren östlichen Abschnitt geteilt (Abb. 1). In dem Niedermoor folgen auf stellenweise mehr als 10 m mächtige Beckentone aus überwiegend blaugrauen Ton zunächst eine organische Muddeschicht und anschließend bis zu 4 m mächtige Niedermoortorfe (SEGEBERG & EGGELSMANN 1953). Im westlichen Teil stehen überwiegend stark bis sehr stark zersetzte Radizellen- und Erlenbruchwaldtorfe an. In dem östlichen Teil der Stauung finden sich in Abhängigkeit von den Strömungsverhältnissen und der daraus resultierenden Wasserqualität überwiegend Erlenbruchwald-, Schilf- und Radzellentorfe (WEERTS 1997). Lokal haben sich in einer Ausbuchtung von etwa 4 ha knapp 1 m mächtige *Sphagnum*-Torfe gebildet.

Die Nutzungsgeschichte der Pohnsdorfer Stauung läßt sich bis ins Mittelalter zurückverfolgen. Das Wasser in der Niederung wurde aufgrund ihrer Senkenlage vom Kloster Preetz angestaut und als Fischteich genutzt (LOOFT 1968). Nach dem zweiten Weltkrieg wurde die Niederung im Rahmen der Siedlungsförderung durch die Moorversuchstation Bremen kultiviert (SEGEBERG & EGGELSMANN 1953), dazu wurde 1953 ein Schöpfwerk gebaut und die Neuwührener Au eingedeicht. Seitdem ist der hydrologische Kontakt zwischen dem Niedermoor und den Oberflächengewässern Neuwührener Au und Postsee gestört. Nur in sehr niederschlagsreichen Phasen fließt das Wasser der

Neuwührener Au infolge des rückstauenden Postsees über die Dämme und überschwemmt das Niedermoor (Abb. 1).

Unmittelbar nach der Entwässerung sackte die Moorbodenoberfläche um teilweise bis zu 1.8 m ab. Diese hohen aus dem Auftriebsverlust resultierenden Sackungsraten deuten

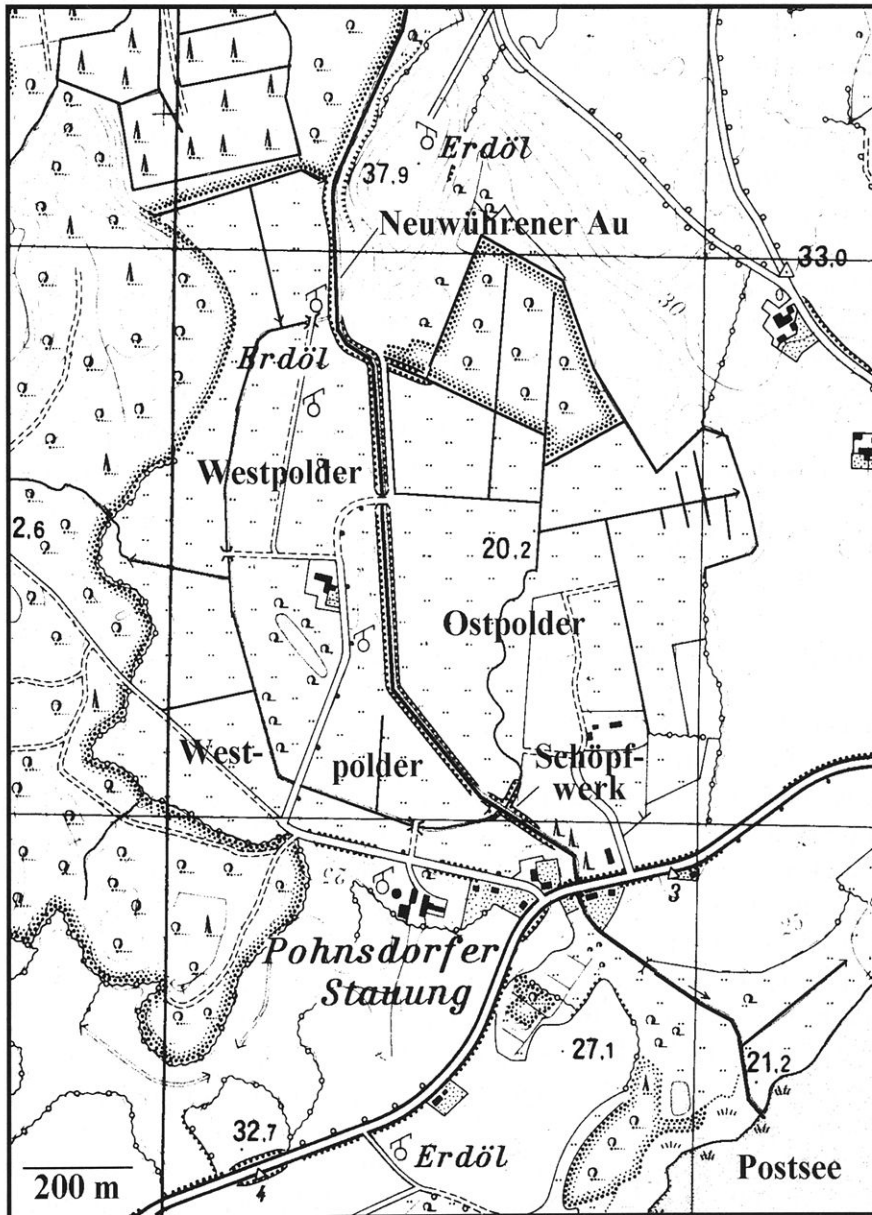


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes ‚Pohnsdorfer Stauung‘. Kartengrundlage: Topographische Karte 1 : 25000, Ausschnitt, Blatt-Nr. 1727 (Preetz). Vervielfältigt mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Schleswig-Holstein vom 4.8.1999, 3-562.6 S 323/99. Location of the study area ‚Pohnsdorfer Stauung‘.

daraufhin, daß der östliche Teil des Niedermoores bis in die fünfziger Jahre hinein nicht kultiviert war. Seit der Melioration ist die Moorbodenoberfläche durch Mineralisation weiter gesackt. Aktuell liegen weite Bereiche der Pohnsdorfer Stauung mehr als einen Meter unter dem mittleren Wasserstand des Postsees. Seit Mitte der fünfziger Jahre werden die Niedermoorböden als Grünland genutzt. Aufgrund der hydrologischen Verhältnisse wurde der westliche Teil intensiver bewirtschaftet. Im östlichen Teil erschweren die sehr hohen Sackungsraten sowie lokal austretendes Grundwasser und erhöhter Zufluß aus benachbarten Flächen die Entwässerung, so daß weite Bereiche im östlichen Bereich trotz Schöpfwerksbetriebs nur erschwert genutzt werden konnten. Im Jahr 1991 begann die private Schrobach-Stiftung mit dem Ankauf der Niederung. Die Niedermoorböden wurden durch die Erhöhung des Einschaltpegels am Schöpfwerk von + 19.4 auf + 19.9 m NN sowie durch Anstaumaßnahmen vernäßt. Im westlichen Bereich werden die Niedermoorböden seitdem nicht gedüngt, teilweise ab Ende Juni gemäht und nachbeweidet oder nur beweidet. Im östlichen Teil führte die Vernässung aufgrund der hohen Sackungsraten zu teilweise ganzjährig überstauten Flächen, so daß hier die Nutzung aufgegeben wurde. Aktuell werden im östlichen Teil der Pohnsdorfer Stauung nur Randbereiche in Form einer Mähweide ohne Düngung bewirtschaftet. Mittelfristig ist geplant, das Schöpfwerk abzuschalten und die Dämme der Neuwührener Au zu schleifen, um in der Niederung eine anthropogen unbeeinflusste Wasserstandsdynamik wiederzuzulassen. Im Randbereich der Niederung werden Niedermoorböden, die noch nicht im Besitz der Stiftung sind, intensiv bewirtschaftet.

4. Quantifizierung der Stickstoffausträge

In der Stickstoffbilanz stehen den Einträgen über Düngung und atmosphärische Deposition die Stoffausträge über Ernteentzüge, Stickstoffverluste mit dem Sickerwasser sowie gasförmige Verluste über Denitrifikation und Volatilisation gegenüber. Durch interne Prozesse wie der Mineralisation wird zusätzlich aus dem im Boden vorhandenen Stickstoffvorrat anorganischer Stickstoff freigesetzt und so für Vegetation, mikrobiologische Prozesse und Transportprozesse verfügbar gemacht. In Tab. 1 sind die mittleren jährlichen Stickstoffein- und -austräge für unterschiedliche Vegetationseinheiten und Nutzungsformen in der Pohnsdorfer Stauung aus dem neunjährigen Simulationszeitraum Oktober 1988 bis September 1997 dargestellt. In landwirtschaftlich genutzten Beständen erfolgt der Hauptstickstoffaustrag mit dem Ernteentzug. In dreischürigen Wiesen beträgt der Ernteentzug in der Simulation bei einer Düngung von $160 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ im Mittel etwa $156 \pm 32 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Mit dem Sickerwasser werden im Mittel weitere $20 \pm 19 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ausgetragen. Die gasförmigen Verluste betragen für die Denitrifikation $56 \pm 31 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und die Volatilisation (Ammoniakverdunstung) $3.9 \pm 1.7 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. In der Bilanz stehen Einträgen von $180 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Austräge von im Mittel $236 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ gegenüber, so daß bei dieser Nutzungsform jährlich $56 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ aus dem Stickstoffvorrat im Boden abgebaut werden. Damit ist die Quellen-Senkenwirkung, definiert als prozentualer Anteil der Stickstoffbilanz an den

Stickstoffeinträgen, mit -31% deutlich negativ. Die Stickstoffeinträge werden bei dieser Nutzungsform im Mittel zu 87% mit dem Erntegut dem Standort wieder entzogen, das heißt die Ernteeffektivität ist im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Nutzungsformen sehr gut.

Tab. 1: Stickstoffbilanzen für unterschiedliche Vegetationstypen auf Niedermoorböden in der Pohnsdorfer Stauung für den Simulationszeitraum Okt. 1988 bis Sep. 1997; MA-Basal. = Molinio-Arrhenatheretea-Basalgesellschaft; Eintrag: AD = atmosphärische Deposition, D = Düngung.

Nitrogen balance for different vegetation types on minerotrophic peatsoils in the Pohnsdorfer Stauung. Simulation period: 10. 1988–9. 1997; MA-Basal. = Molinio-Arrhenatheretea-frame community; AD = atmospheric deposition, D = fertilisation.

Vegetation		MA-Basal- gesellschaft	Calthion	Lolio- Potentillion	Caricion elatae	Lolio- Potentillion
Nutzung		Mahd 3	Mahd 1	Weide	keine	keine
Fläche [ha]		4	25.5	12.7	11.1	4.2
n [Polygone 9 a]		90	531	234	144	63
Eintrag (AD + D)	[kg N ha ⁻¹ a ⁻¹]	180	20	80	20	20
Mineralisation (intern)	[kg N ha ⁻¹ a ⁻¹]	199 ± 64	89 ± 60	110 ± 60	41 ± 45	134 ± 73
Ernteentzug	[kg N ha ⁻¹ a ⁻¹]	156 ± 32	24 ± 17	50 ± 18	0	0
Auswaschung	[kg N ha ⁻¹ a ⁻¹]	20 ± 19	5 ± 6	10 ± 11	1 ± 3	6 ± 9
Denitrifikation	[kg N ha ⁻¹ a ⁻¹]	56 ± 31	24 ± 19	37 ± 21	17 ± 14	34 ± 33
Volatilisation	[kg N ha ⁻¹ a ⁻¹]	3.9 ± 1.7	0.7 ± 0.4	3.1 ± 1.8	0.4 ± 0.3	0.9 ± 0.4
Summe Austrag	[kg N ha ⁻¹ a ⁻¹]	236	53	100	18	42
Bilanz (ohne Mineralisation)	[kg N ha ⁻¹ a ⁻¹]	-56	-33	-20	2	-22
Quellen-Senkenwirkung	[%]	-31	-166	-26	9	-108
Ernteeffektivität	[%]	87	118	62	0	0

Auch die Stickstoffbilanz der nur spät im Jahr gemähten Feuchtwiese (Calthion) ist mit einem Bilanzdefizit von $-33 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ negativ. Bei dieser Nutzungsform ist die Quellen-Senkenwirkung nach den vorliegenden Simulationsergebnissen mit -166% sehr schlecht, dem Standort wird erheblich mehr Stickstoff entzogen als über die Deposition zugeführt wird. Der Stickstoffaustrag über den Sickerwasserpfad beträgt mit $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ nur ein Fünftel der simulierten Denitrifikationsverluste ($24 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$).

Die beweideten Flächen haben mit einer Ausnutzung der Düngemiteleinträge von 62% die niedrigste Ernteeffektivität. Die Quellen-Senkenwirkung ist aber mit -26% im Vergleich zu den anderen landwirtschaftlichen Nutzungsformen am geringsten. Die Austräge über Denitrifikation und Volatilisation liegen zwischen den extensiv bewirtschafteten Feuchtwiesen und den intensiv genutzten Flutrasen (Lolio-Potentillion).

In nicht landwirtschaftlich genutzten Niedermoorböden erfolgt in der Simulation der Hauptstoffaustrag über Denitrifikation. Die Stickstoffdynamik dieser Flächen wird wesentlich von der Nährstoffaufnahmekapazität der Vegetation und den Wasserständen geprägt. In den naturnahen Seggenriedern (*Caricion elatae*) wird in der Bilanz eine geringe Akkumulation von $2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ simuliert. Die Quellen-Senkenwirkung ist mit 9 % positiv, daß heißt 9 % der atmosphärischen Deposition werden im Mittel jährlich an diesen Standorten akkumuliert. Die brachliegenden Flutrasen (*Lolio-Potentillion*) wirken aufgrund andauernder hoher Mineralisationsraten mit einer Quellen-Senkenwirkung von -108% weiter stickstoffzehrend. Der Stickstoffaustrag mit dem Sickerwasser ist mit $6 \pm 9 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ zwar niedrig, die Denitrifikationsverluste sind aber mit $34 \pm 33 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ weiter hoch. Eine Nutzungsaufgabe entwässerter Niedermoorböden führt in der Simulation zwar zu einer Reduzierung der Stoffausträge mit dem Sickerwasser. Der Torfschwund wird damit aber nicht verringert.

Die im Vergleich zu den Mittelwerten hohen Standardabweichungen der simulierten Prozesse sind auf die sehr variablen Witterungsverhältnisse zurückzuführen. Ein Stickstoffaustrag mit dem Sickerwasser erfolgt nur bei entsprechenden Sickerungsraten. In sehr trockenen hydrologischen Jahren wie 10.'95 bis 9.'96 kann der Stoffaustrag deutlich von den Mittelwerten abweichen (Abb. 2).

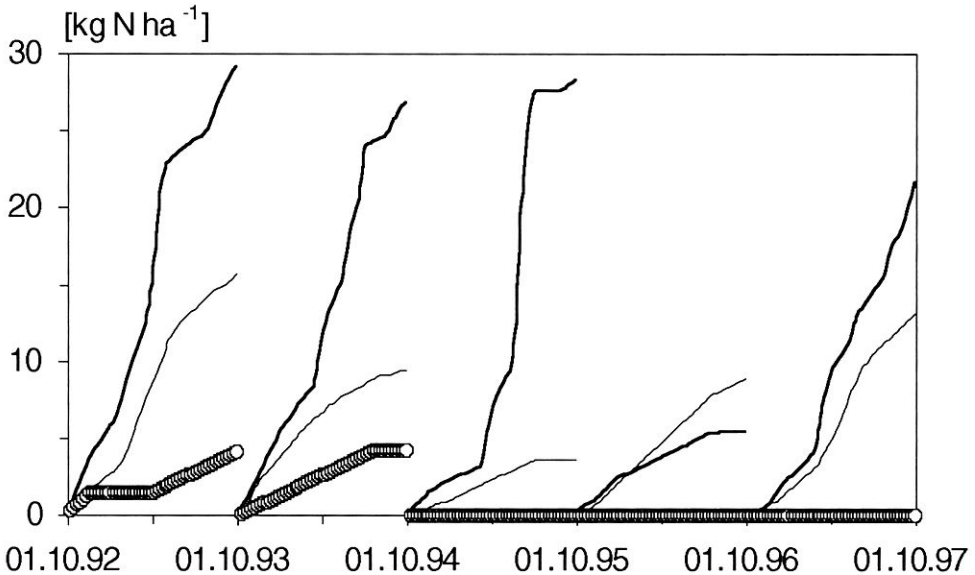


Abb. 2: Kumulative Stickstoffausträge mit dem Sickerwasser aus Niedermoorböden bei unterschiedlichen Bewirtschaftungsverhältnissen bzw. Vegetationseinheiten; Bilanzierungstiefe 1 m; Angaben in $[\text{kg N ha}^{-1}]$. Fette Linie = gedüngte, dreischürige Wiese (*Molinio-Arrhenatheretea*-Basalgesellschaft); dünne Linie = ungedüngte einschürige Wiese (*Calthion*); Kreise = Seggenried (*Caricion elatae*).

Cumulative nitrogen leaching for three land use types on minerotrophic peatsoils $[\text{kg N ha}^{-1}]$. Bold line = fertilised, meadow, 3 cuts (*Molinio-Arrhenatheretea*-frame community); thin line = unfertilised meadow, 1 cut (*Calthion*); circles = sedge reed (*Caricion elatae*).

In der Simulation führt die Düngung zu einem zeitlich etwas verzögerten Anstieg der Stickstoffausträge. Dies ist in Abb. 2 an dem zeitweise sehr steilen Anstieg der kumulativen Stickstoffausträge der *Molinio-Arrhenatheretea*-Basalgesellschaft erkennbar. Auch in Lysimeterversuchen stieg der Stickstoffaustrag mit dem Sickerwasser unmittelbar nach der Düngung an (ROSS et al. 1995).

5. Räumliche Muster der Quellen- und Senkenwirkung

In der Pohnsdorfer Stauung zeigen die Simulationsergebnisse eine hohe räumliche Heterogenität der Quellen-Senkenwirkung (Abb. 3). Unter den aktuellen Verhältnissen wird Stickstoff nur kleinflächig im zentralen, östlichen Bereich der Pohnsdorfer Stauung akkumuliert (schwarze Flächen). Im überwiegenden Raum der Pohnsdorfer Stauung wirken die Ökosysteme dagegen als Quelle für Stickstoff (schraffierte Flächen).

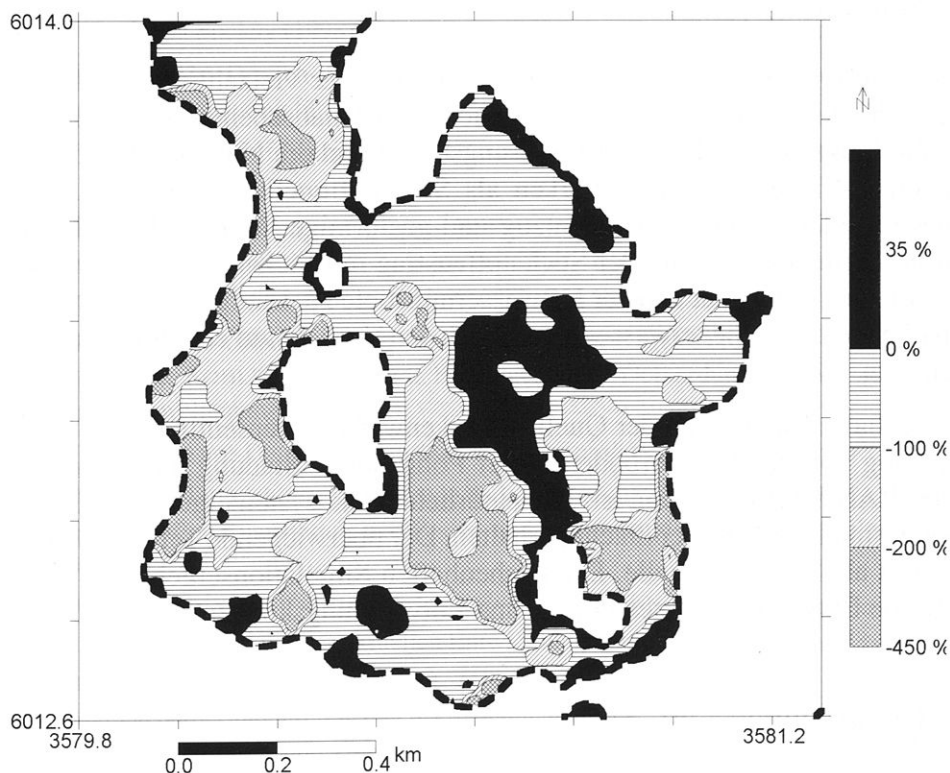


Abb. 3: Mittlere jährliche Quellen-Senkenwirkung [%] der Niedermoorböden in der Pohnsdorfer Stauung. Quellen-Senkenwirkung: $N\text{-Eintrag} [\sum \text{Deposition, Düngung}] - N\text{ Austrag} [\sum \text{Ernte, Denitrifikation, N-Auswaschung, Volatilisation}] / (N\text{-Eintrag} / 100)$.
 Mean annual source-sink effect [%] of minerotrophic peatsoils in the Pohnsdorfer Stauung. Source-sink effect: $N\text{-input} [\sum \text{deposition, fertilisation}] - N\text{-output} [\sum \text{harvest, denitrification, N-leaching, volatilisation}] / (N\text{-input} / 100)$.

Die räumliche Heterogenität in der Simulation ergibt sich aus unterschiedlichen Geländehöhen, Entwässerungstiefen, Vegetationseinheiten, Nutzungsformen und Stickstoffeinträgen. Die Visualisierung der Quellen-Senkenwirkung ist eine wichtige Entscheidungshilfe für die Entwicklung von Nutzungskonzepten. Aus den Simulationsergebnissen lassen sich beispielsweise Bereiche ableiten, die günstige Bedingungen für potentiell torfbildende Vegetationseinheiten bieten. In den Bereichen mit einer überwiegenden Quellenwirkung reicht das Wasserangebot nach den vorliegenden Simulationsergebnissen nicht zur ganzjährigen Vernässung aus, so daß selbst Brachen oder ungedüngte Feuchtwiesen als Stickstoffquelle wirken (vgl. Tab. 1). Durch Verringerung der Nutzungsintensität in Verbindung mit Vernässungsmaßnahmen kann die Quellenwirkung flächenhaft reduziert werden (TREPPEL 1999). Die Wirkung von Vernässungsmaßnahmen wird aber in der Realität wie im Modell wesentlich von den Reliefbedingungen bestimmt, so daß selbst bei einer deutlichen Anhebung der Vorfluterhöhen die Quellenwirkung nicht gänzlich reduziert werden kann.

6. Schlußfolgerungen

Die Stickstoffdynamik von Ökosystemen wird von einer Vielzahl von Einflußfaktoren auf unterschiedlichen räumlichen wie zeitlichen Maßstabsebenen beeinflusst. Wesentliche Einflußfaktoren sind die Entwässerungstiefen und die Nutzung. Landwirtschaftlich genutzte Niedermoorböden wirken als Stickstoffquelle in der Landschaft. Die Hauptaustragspfade sind der Ernteentzug und gasförmige Verluste durch Denitrifikation. In der Simulation nimmt der Stickstoffaustrag mit Sickerwasser in Abhängigkeit von der Nutzungsintensität und der Entwässerungstiefe zu. Eine Reduzierung der Stickstoffausträge mit dem Sickerwasser kann durch den Verzicht auf eine Stickstoffdüngung erfolgen.

Die flächenhafte Darstellung der Quellen-Senkenwirkung verdeutlicht, daß die derzeitige Nutzung von Niedermoorböden in der Pohnsdorfer Stauung nicht nachhaltig im Sinne der RAMSAR Definition ist. Die natürlichen Ökosystemeigenschaften von Niedermooren sind lediglich kleinflächig erhalten. Der überwiegende Teil der Niedermoorfläche wirkt als Stickstoffquelle. Die flächenhaften Simulationsergebnisse können die Basis für die Entwicklung eines Pflege- und Entwicklungskonzeptes bilden.

7. Danksagung

Diese Arbeit wurde finanziell durch das Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein und die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser gefördert. Gedankt wird der Kurt-und-Erika-Schrobach-Stiftung in Raisdorf für die unkomplizierten Betretungsgenehmigungen, Ernst-Walter Reiche für die Einführung und Betreuung bei der Arbeit mit dem komplexen Modellsystem WASMOD, Winfrid Kluge und Joachim Schrautzer

für die Diskussionen über (geo)hydrologische Bedingungen, ökohydrologische Maßnahmen und naturschutzfachliche Grundlagen.

8. Literaturverzeichnis

- CLYMO, R. S. (1984): The limits to peat bog growth. – *Phil. Trans. Royal Soc. B* **303**: 605–654.
- GORHAM, E. (1991): Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable response to climate warming. – *Ecological Applications* **1**: 182–195.
- GRAYSON, J. E., CHAPMAN, M. G. & UNDERWOOD, A. J. (1999): The assessment of restoration of habitat in urban wetlands. – *Landscape and Urban planning* **43**: 227–236.
- GROSSE-BRAUCKMANN, G. (1997): Moore und Moor-Naturschutzgebiete in Deutschland – eine Bestandsaufnahme. – *Telma* **27**: 183–215.
- HANSEN, S., JENSEN, H. E., NIELSEN, N. E. & SVENDSEN, H. (1990): Daisy – A soil, plant, atmosphere system model. – NPO-Research Report No. A 10. The National Agency of Environmental Protection, Copenhagen, Denmark. 272 p.
- IPS = International Peat Society (1998): Wise use of peatlands. – *Peatlands International* **1**(2): 24–25.
- JOOSTEN, J. H. J. (1993): Denken wie ein Hochmoor: Hydrologische Selbstregulation von Hochmooren und deren Bedeutung für Wiedervernässung und Restauration. – *Telma* **23**: 95–115.
- KUNTZE, H. (1988): Nährstoffdynamik der Niedermoore und Gewässereutrophierung. – *Telma* **18**: 61–72.
- LOOFT, K.-H. (1968): Die siedlungsgeographische Entwicklung zwischen Eider und Schwentine von der mittelalterlichen Kolonisation bis zur Verkoppelung unter besonderer Berücksichtigung der Wüstungen. – Diss., Christian-Albrechts-Universität, 356 S., Kiel.
- PFADENHAUER, J. (1994): Renaturierung von Niedermooren – Ziele, Probleme, Lösungsansätze. – In: BÖCKER, R. & KOHLER, A. (Hrsg.): Feuchtgebiete – Gefährdung. Schutz. Renaturierung. Hohenheimer Umwelttagung **26**: 57–73.
- RAMSAR (1987): Wise use-Definition. http://www.ramsar.org/key_rec_3_annex.htm
- REICHE, E.-W. (1991): Entwicklung, Validierung und Anwendung eines Modellsystems zur Beschreibung und flächenhaften Bilanzierung der Wasser- und Stoffdynamik in Böden. – *Kieler Geogr. Schr.* **79**: 1–150.
- REICHE, E.-W. (1996): WASMOD – Ein Modellsystem zur gebietsbezogenen Simulation von Wasser- und Stoffflüssen – Darstellung des aktuellen Entwicklungsstandes. – *EcoSys* **4**: 143–163.
- REICHE, E.-W., MEYER, M. & DIBBERN, I. (1999): Modelle als Bestandteile von Umweltinformationssystemen dargestellt am Beispiel des Methodenpaketes „DILAMO“. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Umweltmonitoring und Umweltmodellierung: GIS und Fernerkundung als Werkzeuge einer nachhaltigen Entwicklung. 131–141; Heidelberg (Wichmann).
- ROSS, S. M., BEADLE, R. S. & JEWKES, E. (1995): Lysimeter Studies of Nitrogen Leaching Potential in Wetland Peats and Clays in South-West Britain. In: HUGHES, J. & HEATHWAITE, A. L. (Hrsg.): *Hydrology and Hydrochemistry of British wetlands*, 223–243; Chichester (Wiley).

- SCHOPP-GUTH, A. (1999): Renaturierung von Moorlandschaften – Naturschutzfachliche Anforderungen aus bundesweiter Sicht unter besonderer Berücksichtigung der Grundwassermoore. – Schriftenr. Landschaftspfl. u. Natursch. **57**: 219 S.; Bonn-Bad Godesberg.
- SCHRAUTZER, J. & JENSEN, K. (1998): Quantitative und qualitative Auswirkungen von Sukzessionsprozessen auf die Flora der Niedermoorstandorte Schleswig-Holsteins. – Z. Ökol. u. Natursch. **7** (4): 219–240.
- SEGEBERG, H. & EGGELSMANN, R. (1953): Stratigraphische, bodenkundliche und chemische Untersuchungen im Rahmen der Vorarbeiten für die Melioration von Mooren, dargestellt am Beispiel der Pohnsdorfer Stauung bei Preetz (Schleswig-Holstein). – Wasser und Boden **5**: 321–325.
- TREPEL, M. (1999): Quantifizierung der Stickstoffdynamik von Ökosystemen auf Niedermoorböden mit dem Modellsystem WASMOD. – Diss., Christian-Albrechts-Universität, 140 S., Kiel.
- TREPEL, M. & SCHRAUTZER, J. (1998): Bewertung von Niedermoorökosystemen für den Ressourcenschutz und Artenschutz in Schleswig-Holstein und ihre Entwicklungsmöglichkeiten. – Die Heimat **105**: 45–62.
- WEERTS, H. J. T. (1997): Geology and geohydrology of the ‚Pohnsdorfer Stauung‘ (Schleswig-Holstein). – EcoSys **6**: 79–89.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Biol. M. Trepel
Ökologie-Zentrum Kiel
Christian Albrechts Universität
Schauenburger Strasse 112
D-24118 Kiel
E-Mail: michael@pz-oekosys.uni-kiel.de

Manuskript eingegangen am 29. Juni 1999