

TELMA	Beiheft 4	Seite 133 - 150	2 Tab.	Hannover, September 2011
-------	-----------	-----------------	--------	--------------------------

# Strategien und Konfliktvermeidung bei der Restaurierung von Niedermooren unter Gewässer-, Klima- und Naturschutzaspekten, dargestellt am Beispiel des nordostdeutschen Tieflandes

Strategies for fen restoration and avoiding conflicts in the context of water, climate and nature protection in the lowlands of NE Germany

DOMINIK ZAK, JÜRGEN AUGUSTIN, MICHAEL TREPPEL  
UND JÖRG GELBRECHT

## Zusammenfassung

Aus langfristiger Sicht erfüllt eine Restaurierung von Niedermooren mit dem Ziel eines erneuten Moorschwachs alle Anforderungen der Aspekte Klimaschutz, Gewässerschutz und Naturschutz. In Abhängigkeit von der Ausgangssituation (Größe der Flächen, Einbettung in der Landschaft, vorangegangene Nutzungsintensität, noch vorhandenes moortypisches Arteninventar) und der Managementvariante der geplanten Wiedervernässung kann es in der Anfangsphase einer Moorrestaurierung zu konkurrierenden Zielstellungen kommen. Diese lassen sich jedoch schon in der Planungsphase vermeiden, wenn folgende Grundsätze berücksichtigt werden: (1) Die Restaurierung großer, stark degradierter Niedermoore kann in erster Linie mit Klimaschutzziele (=CO<sub>2</sub>-Emissionsvermeidung) und mit Gewässerschutzziele zum Nitratrückhalt begründet werden; Fragen potenziell erhöhter Austräge von Phosphor (P) in Gewässer und der (konservative) Naturschutz spielen in der Regel eine untergeordnete Rolle. (2) Kleinere, weniger degradierte Moore mit einem bedeutendem aktuellen oder potenziellen Arteninventar müssen aus der Sicht des Naturschutzes mit einem angepassten Management (z. B. vorsichtige Wasserstandsanhhebung ohne Überstauung, Biomasseentzug) restauriert werden. (3) Besondere Vorsicht ist bei Moorwiedervernässungen gegeben, wenn im Abstrombereich nährstoffarme Seen liegen. In diesem Falle ist das Risiko erhöhter P-Austräge infolge der Restaurierungsmaßnahmen zu minimieren.

## Abstract

The long-term goals of fen restoration include climate, water, and natural areas protection. Depending on the characteristics of fen under consideration (size, landscape position, previous land use, current land use, presence of livestock), conflicts can arise as to which re-wetting strategies are most appropriate. These conflicts can be largely avoided by taking into account the following considering prior to fen re-

wetting: (1) Restoration of large and highly degraded fens is mainly focused on climate protection (prevention of CO<sub>2</sub> emission) and on reduction of nitrate non-point pollution of surface waters; whereas issues of potentially enhanced phosphorus export into adjacent surface waters and nature protection are only of minor importance. (2) Smaller and less degraded fens with an important current or potential livestock should be re-wetted with care under the point of view of nature protection. The re-wetting should be accompanied by biomass removal to support nutrient-poor conditions. (3) Particular care is needed if the fen is situated in a catchment with nutrient-poor lakes. In such cases, the risk of enhanced P export due to fen-rewetting must be minimised.

## 1. Ausgangssituation

Moore nehmen mit einer Fläche von  $4,16 \times 10^6$  km<sup>2</sup> etwa nur 3 % des globalen Festlandes ein, speichern aber 20-30 % der gesamten Kohlenstoffvorräte aller Böden, was ca. 40-60 % des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmosphäre entspricht. Der Erhalt und Schutz der Moore hat damit weltweit große Bedeutung in der aktuellen Klimadiskussion (HÖPER 2007). Sie sind gleichzeitig Lebensraum für eine an die besonderen Bedingungen der Moore angepassten einzigartigen Flora und Fauna (z. B. SUCCOW 2001, GELBRECHT et al. 2003). Die Mehrzahl der Moore befindet sich in der gemäßigt kalten Klimazone der Nordhalbkugel (ca. 80 %) und im tropischen Bereich Südostasiens (JOOSTEN & CLARKE 2002, COUWENBERG et al. 2010). Einen besonders hohen Flächenanteil mit 10-13 % weisen im nordostdeutschen Tiefland die hier dominierenden grundwassergespeisten Niedermoore auf (JESCHKE et al. 2001).

Ursprünglich hatten sie eine große Bedeutung für die Regulierung des Landschaftswasserhaushalts (z. B. als Wasserspeicher) und für die Reinhaltung der Gewässer, da neben großen Mengen Kohlenstoff auch die Pflanzennährstoffe N und P in den Torfen wachsender Moore gebunden oder abgebaut werden (SUCCOW & JESCHKE 1990). Der Wasserüberschuss von wachsenden Mooren förderte zusätzlich ein Klein- und Mikroklima mit erhöhter Luftfeuchtigkeit und Kaltluftsenken („Kühlfunktion von Mooren“).

Die Moorbildung im nordostdeutschen Tiefland setzte mit dem Ende der letzten Eiszeit vor etwa 14 000 Jahren ein. Seit dieser Zeit haben sich in Abhängigkeit von unterschiedlichen Randbedingungen Moore mit einer Mächtigkeit bis zu 10 m und mehr gebildet (SUCCOW & JESCHKE 1990). Für das relativ langsame Moorbewachstum (im Durchschnitt etwa 1-2 mm/a, TOLONEN & TURUNEN 1996) und die dauerhafte Stoffspeicherung (Stoffsenke) ist eine weitgehend dauerhafte Wassersättigung des Bodens und damit ein für den Abbau von organischer Substanz nachteiliges sauerstoffreiches Bodenmilieu erforderlich. Die dafür ausreichende Versorgung der wachsenden Moore mit Grundwasser ist bei einer etwa drei bis sechsmal so großen Einzugsgebietsfläche im Vergleich zur Moorfläche gegeben (QUAST 1997). In diesen grundwassergespeisten (minerotrophen) Mooren herrschen entsprechend der Menge des Grundwasserzustroms, der stofflichen Zusammensetzung des Grundwassers sowie vielfältiger biogeochemischer moorinterner Prozesse unterschiedliche Nährstoff- und Säuren-Basenverhältnisse. Diese Rahmenbedingungen

fürten zur Ausbildung von unterschiedlichen ökologischen Moortypen mit charakteristischen Pflanzenformationen (SUCCOW 2001), die auf einzelnen Mooren eng miteinander verzahnt sein können. Die kleinklimatischen Bedingungen der Moore und die vielfältigen und oft artenreichen Pflanzengesellschaften haben eine ebenso artenreiche und hochspezialisierte Fauna zur Folge, was den hohen naturschutzfachlichen Wert der Moore unterstreicht.

Durch die jahrhundertelange direkte Moorentwässerung zur Torfgewinnung und land- und forstwirtschaftlichen Nutzung sowie die indirekte Moorentwässerung durch großräumige Grundwasserabsenkungen haben weltweit 20 %, in Europa etwa 50 % der Moore und im nordostdeutschen Tiefland nahezu alle Moore ihre ursprünglichen landschaftsökologischen Funktionen verloren (JOOSTEN & COUWENBERG 2001, JOOSTEN & CLARKE 2002, PARISH et al. 2008). Die negativen Folgen sind gut untersucht und jetzt allgemein bekannt und sollen daher für das nordostdeutsche Tiefland nur stichpunktartig zusammengefasst werden:

- Verlust des Oszillations- und Wasserspeichervermögens der Moore durch Torfsackung, Torfschrumpfung und Ausbildung von oberen Bodenschichten mit hoch zersetzten bis vermulmten Torfen, die nur noch eine sehr geringe Wasserleitfähigkeit aufweisen (STEGMANN & ZEITZ 2001, ZEITZ 2003),
- Hohe Nettoemissionen an den klimarelevanten Spurengasen CO<sub>2</sub> und zum Teil auch an Lachgas (N<sub>2</sub>O, hat besonders hohe Klimawirkung) als Folge der Torfmineralisierung. Es wird geschätzt, dass die Moorentwässerung und -nutzung einen Anteil von 2,3 bis 4,5 % an der deutschlandweiten, anthropogenen Klimawirkung hat (HÖPER 2007), im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern liegt der Anteil sogar bei über 30 % (MULV MV 2009),
- Belastung angrenzender Gewässer mit Pflanzennährstoffen (N, P), Sulfat und gelöstem organischen Kohlenstoff durch Auswaschung der Torfmineralisierungsprodukte sowie durch die fehlende Stoffspeicherfunktion des Moores hinsichtlich der aus dem mineralischen, oft landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiet eingebrachten Nährstoffe als Folge der Anlage von sogenannten Fanggräben und Stichgräben (ZAK et al. 2009 a),
- Dramatischer Verlust der moortypischen Flora und Fauna und Aussterben besonders sensibler Arten durch Schrumpfung der ursprünglich intakten Moore auf weniger als 1 % (LANDGRAF 2000), Fragmentierung und Isolierung der noch vorhandenen wenigen naturnahen Moore mit unbekanntem Folgen für besonders anspruchsvolle Vertreter der Flora und Fauna sowie
- Erhalt der letzten Relikte der besonders gefährdeten basenreichen Braunmoosmoore; aktuell nur durch aufwändige Managementmaßnahmen möglich (THORMANN & LANDGRAF 2010).

Der beschriebene Verlust der landschaftsökologischen Funktionen der Moore wird oft durch einen erhöhten finanziellen Aufwand der landwirtschaftlichen Nutzung begleitet (HENNECKE 2001). Ursachen dafür sind z. B. die vielfach notwendige Polderung der Flächen, deren Grundwasserstand durch Pumpwerke kontrolliert wird. Auch sinkt vielfach die Produktivität der stark entwässerten Flächen durch die schon genannten bodenphysikalischen Veränderungen (Vermulmung), wodurch es witterungsbedingt zu starken Austrocknungen oder zu Staunässe kommt. Um diesen negativen Entwicklungen entgegenzusteuern, sind erneut kostenintensive Ent- oder Bewässerungsanlagen notwendig. Ein weiterer negativer ökonomischer Effekt der großräumigen Moorentwässerung, der oft übersehen wird, ist die dauerhafte Absenkung der Grundwasserstände im meist ackerbaulich genutzten Einzugsgebiet der Moore, wodurch diese zunehmend anfälliger gegen Dürreperioden sind. Oft werden diese Mineralbodenbereiche zusätzlich durch Dränagen entwässert, was insgesamt in Trockenjahren zu erheblichen Ernteverlusten und damit ökonomischen Verlusten führt.

All diese immer stärker in der Öffentlichkeit erkannten negativen Entwicklungen ermöglichten die Aufstellung und Umsetzung von Moorschutzprogrammen, die deutschlandweit und auch im internationalen Vergleich im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern besonders weit vorangeschritten sind. Im letzten Jahrzehnt erfolgten Moorwiedervernässungen überwiegend unter dem Aspekt des Klimaschutzes mit dem Ziel der drastischen Senkung der Netto-CO<sub>2</sub>-Emission entwässerter Moore. Die hierbei etwas in den Hintergrund geratenen ungelösten Fragen und Probleme des Gewässerschutzes und des Naturschutzes rücken jetzt wieder in den Mittelpunkt des Interesses. Inwieweit diese mit der Zielstellung des Klimaschutzes in Übereinstimmung oder in Konkurrenz stehen und welche Strategien sich für die Umsetzung konkreter Projekte daraus ableiten, soll im Folgenden diskutiert werden.

## 2. Moorrestaurierung – Strategien und Konfliktfelder

Der Begriff „Moorrestaurierung“ ist eine nicht klar definierte Größe und wird oft in einem sehr weiten Sinne angewendet (TIMMERMANN et al. 2009). Im Folgenden wenden wir „Moorrestaurierung“ nur für solche Maßnahmen an, deren Ziel es ist, mittel- oder langfristig ein erneutes Moorwachstum (= Wiederherstellen der Stoffsenkenfunktion) einzuleiten. Das heißt, restaurierte Moore werden zukünftig wieder dauerhaft Kohlenstoff und Nährstoffe speichern. Dazu sind jedoch zumindest im größten Teil des Jahres anaerobe Bedingungen im gesamten noch vorhandenen Torfkörper notwendig, was nur durch Grundwasserstände nahe Flur erreichbar ist. In der Praxis ist dazu aber häufig ein Überstau notwendig, um die im Jahresgang natürlicherweise schwankenden Grundwasserstände im Einzugsgebiet der Moore und damit deren wechselnde Wasserspeisung auszugleichen. Im Gegensatz zu wachsenden Mooren sind degradierte Moore nicht mehr in der Lage, durch Oszillation sich den wechselnden Grundwasserständen anzupassen

(STEGMANN & ZEITZ 2001). Der notwendige Überstau bedingt in der Regel eine Nutzungsauffassung, vor allem, wenn es sich um stark degradierte Niedermoore handelt. Fallweise kann es infolge der Wiedervernässung von Niedermooeren mit Überstaubedingungen auch im unmittelbar angrenzenden Einzugsgebiet solcher Moore durch Rückstau zu deutlichen Vernässungen kommen, die aus Sicht eines verbesserten Stoff- und Landschaftswasserhaushaltes durchaus positiv bewertet werden. Befinden sich jedoch in diesen Einzugsgebieten naturschutzfachlich wertvolle Flächen mit z. B. gefährdeten Pflanzen- oder Insektenarten, dürfen diese auch zeitweilig **nicht** überstaut werden, da es zum Aussterben der Populationen dieser Arten kommen kann. Diesbezügliche Probleme traten z.B. im Bereich des Galenbeker Sees auf, wo die für das gesamte norddeutsche Tiefland letzte große Population einer Schmetterlingsart (Goldener Scheckenfalter, *Euphydryas aurinia*, eine Art der EU-FFH-Richtlinie, Anhang II und IV) durch Vernässung stark geschwächt wurde (Kretschmer, pers. Mitt.).

Andere Maßnahmen, die eine zeitweilige deutliche Anhebung der Grundwasserstände, z.T. mit Überstau im Winter, und eine Extensivierung der Grünlandnutzung (Weide, Mahd) zum Ziel haben, ermöglichen wahrscheinlich keine dauerhafte Kohlenstoffspeicherung. Es kommt vielmehr weiter zu leicht verringerten, aber noch immer erheblichen Netto-CO<sub>2</sub>-Verlusten und Lachgas-Emissionen als Folge der fortschreitenden oxidativen Torfzehrung. Solche Maßnahmen werden oft aus Gründen des Naturschutzes, insbesondere zum Schutz der Avifauna (<http://www.life-duemmer.niedersachsen.de>), in die Praxis umgesetzt. Allerdings besteht nach Auffassung der Autoren hinsichtlich der Stoffbilanzen (C, N und P) dieser dann wechselfeuchten Moorstandorte noch erheblicher Forschungsbedarf. Aufgrund der größeren Kenntnislücken wird im Folgenden dieses Managementregime nicht in die Betrachtung der Bewertung von Moorrestaurierungen unter Klima-, Gewässer- und Naturschutzaspekten einbezogen.

## 2.1 Moorrestaurierung unter Klimaschutzaspekten

Unzweifelhaft kann durch die Restaurierung von Mooren, d.h. im nordostdeutschen Tiefland von Niedermooeren, ein wesentlicher Beitrag zur Senkung der Klimawirkung durch verringerte Emission der Spurengase CO<sub>2</sub> und Lachgas erfolgen – besonders im regionalen, in der Summe aber auch im globalen Maßstab (JENSEN et al. 2010, COUWENBERG et al. 2010). Es handelt sich hierbei um eine sehr effiziente Verminderungsstrategie, denn es wird nicht nur die Netto-Emission dieser beiden Gase vollständig aufgehoben (Aufheizung des Klimas), sondern im Fall des CO<sub>2</sub> sollte es zu einer erneuten Nettospeicherung im Torf (CO<sub>2</sub>-Senkenfunktion) kommen, womit dann wieder eine gewisse „kühlende“ Klimawirkung einhergeht. Die in der Anfangsphase der Wiedervernässung von Niedermooeren mit Überstau vereinzelt beobachtete verstärkte Freisetzung des ebenfalls sehr stark klimawirksamen Gases Methan nimmt wahrscheinlich mit zunehmender Vernässungsdauer ab (HAHN-SCHÖFL et al. 2010). Obwohl punktförmige Messungen in wiedervernässten Niedermooeren (z. B. Polder Zarnekow im Peenetal) zur Zeit noch eine negative Klimabi-

lanz aufgrund der hohen Methanemissionen aufweisen (CHOJNICKI et al. 2007, HÖPER et al. 2008), findet in diesen überstauten, Flachseen bildenden Mooren schon sehr früh eine Kohlenstofffestlegung durch die Akkumulation neugebildeter pflanzlicher Biomasse in limnischen Sedimenten statt. Sie leiten die Verlandung der neu gebildeten Flachseen ein. Der Umfang der jährlichen Kohlenstofffestlegung in den Sedimenten ist nicht bekannt, aber Gegenstand eigener aktueller Untersuchungen. Das gilt auch für das Feststellen der Zeitdauer bis zum Eintreten der vermuteten positiven Klimawirkung nach Wiedervernässung. – Die in der Anfangsphase der Wiedervernässung beobachteten Methanfreisetzungen lassen sich vermutlich durch eine vorherige Flachabtorfung (=Entfernung der Schicht der stark zersetzten und vermulmten Torfe) deutlich reduzieren, jedoch gibt es hierzu noch keine belastbaren Zahlen, die sich auf das nordostdeutsche Tiefland übertragen lassen.

Moorrestaurierungen aus Klimaschutzgründen sind folglich überall dort sinnvoll und effektiv, wo große, intensiv genutzte und daher stark degradierte, oft tiefgründige Niedermoore wiedervernässt werden sollen. Naturschutzfachliche Aspekte mit eher konservativen Ansätzen (siehe Kap. 2.3), wie z. B. Schutz eventueller Restvorkommen wertvollerer Arten der Avifauna, sollten hier nur eine sehr untergeordnete Rolle bei der Planung und Umsetzung der Vernässungsmaßnahmen spielen. Wie die aktuellen Entwicklungen wiedervernässter Moore z. B. im Peenetal zeigen, werden diese neuen wassergeprägten Lebensräume sogar sehr schnell von einer äußerst wertvollen Avifauna besiedelt (s. Kap. 2.3). Ihr naturschutzfachlicher Wert übersteigt dadurch in jedem Falle die der intensiv genutzten Ausgangssituation.

## 2.2 Moorrestaurierungen unter Aspekten des Gewässerschutzes

Viele Seen des nordostdeutschen Tieflandes weisen aktuell immer noch einen zu hohen trophischen Zustand auf, der die in der EU-Wasserrahmenrichtlinie formulierten Ziele gefährdet (BMU 2005). Eine wesentliche Ursache sind die diffusen Nährstoffeinträge (P, N) in die Gewässer, insbesondere aus agrarisch genutzten Flächen (TREPPEL 2010). Technische Lösungen wie im Falle der Reinigung kommunaler oder industrieller Abwässer sind aus Kostengründen kaum möglich. Ein wesentlicher Schritt zur Senkung der diffusen Nährstoffeinträge in Gewässer ist daher die Revitalisierung von Landschaftselementen mit Stoffsenkenfunktionen. Im nordostdeutschen Tiefland sind das besonders die oft gewässerbegleitenden Moore. Das heißt, dass Moorrestaurierung langfristig auch dem Gewässerschutz dient. Dieser Aspekt wird in der aktuellen Diskussion zur Moorwiedervernässung meist noch unzureichend beachtet (vgl. aber TREPPEL 2007).

Insbesondere die aktuell zu hohen Nitrateinträge in die Ostsee (HELCOM 2007), deren Algenwachstum überwiegend stickstofflimitiert ist, könnten durch konsequente Moorrestaurierungsmaßnahmen deutlich reduziert werden. Dazu muss allerdings das aus den Ackerflächen ablaufende Grund- oder Dränwasser durch den gewässerbegleitenden Moorkörper geleitet werden, um einen möglichst vollständigen mikrobiellen Nitratabbau

zu erreichen. Die Menge des in diesem Prozess freigesetzten CO<sub>2</sub> spielt für die Kohlenstoffbilanz des Moores keine Rolle. Unklar ist, ob es unter bestimmten Randbedingungen nicht zu stark erhöhten Lachgasemissionen kommen kann. Insgesamt liegen bislang nur wenige Studien zum Nährstoffrückhalt in wiedervernässten Mooren vor. Es gibt jedoch erste Hinweise darauf, dass trotz anfänglich hoher Ammoniumfreisetzung in der oberen degradierten Bodenschicht (ZAK & GELBRECHT 2007, KIECKBUSCH & SCHRAUTZER 2007), die ursprüngliche Stickstoffsinkenfunktion kurzfristig wiederhergestellt werden kann (HOFFMANN & BAATTRUP-PEDERSEN 2007, TREPEL & KLUGE 2004). Ergebnisse umfangreicher Monitoringprogramme aus Dänemark belegen, dass durch Revitalisierung von Feuchtgebieten selbst bei konservativer Abschätzung im Mittel jährlich etwa 100 kg N je Hektar wiederhergestellter Feuchtgebietsfläche zurückgehalten werden können.

Die hydrogenetischen Moortypen unterscheiden sich sowohl in ihren Anströmungsverhältnissen als auch in ihren Potenzialen für die Stoffspeicherung und Stoffrückhaltung (Tab. 1) (TREPEL 2009).

Tab. 1: Intensität von Retentions- und Transformationsprozessen in hydrogenetischen Moortypen im Vergleich zu Fließgewässern und Seen (0 = keine, 1 = schwach, 2 = mittel, 3 = hoch) (Stoffspeicherung: bei Mooren Torfbildung) (TREPEL 2009)

The importance of retention and transformation processes in different hydrological types of mire compared with streams and lakes (0 = non, 1 = weak, 2 = moderate, 3 = high) (organic matter retention for peatlands: peat formation) (TREPEL 2009)

Ökosystem	Denitrifikation	Sedimentation	Stoffspeicherung
Fließgewässer	3	2	0
Seen	3	3	1-3
Quellmoor	3	0	2
Verlandungsmoor	3	3	2
Versumpfungsmoor	3	1	1
Kesselmoor	1	1	3
Überflutungsmoor	3	3	1
Hangmoor	3	0	1-2
Durchströmungsmoor	3	1	3
Hochmoor	1	0	3

Für den Gewässerschutz sind für Stickstoff die Denitrifikation und für Phosphor (in Überflutungsmooren) die Sedimentation die quantitativ bedeutsamen Prozesse; die Stoffspeicherung ist **langfristig** – stabile, moortypische hydrologische Verhältnisse vorausgesetzt – von Bedeutung. Die Beurteilung des Beitrags einzelner Moore zur Regulation von Nährstoffkreisläufen sollte sich daher am hydrogenetischen Moortyp orientieren. Hierzu besteht erheblicher Forschungsbedarf. So ist es notwendig, das vorhandene Prozesswissen über Stoffumsetzungsprozesse in den unterschiedlichen Moortypen auf Landschaftsebene zu erweitern. Diese Leistung wäre ein wichtiger Schritt, um die Bedeutung von Mooren in der Landschaft differenzierter beurteilen zu können.

Während der Prozess der Denitrifikation durch Änderung der hydrologischen Verhältnisse kurzfristig beeinflusst werden kann, muss beim Phosphor jedoch angenommen werden, dass eine längere Regenerationszeit zur Wiederherstellung der ursprünglichen Senkenfunktion erforderlich ist (ZAK et al. 2008). Aufgrund der starken bodenchemischen Änderungen in der stark zersetzten oder vermulmten oberen Torfschicht werden nach einer Wiedervernässung mit Überstau große Mengen an Phosphor freigesetzt (ZAK & GELBRECHT 2007). Nur bei eher selten auftretenden ungünstigen geochemischen und hydrologischen Randbedingungen hat dieser Prozess jedoch einen erhöhten P-Austrag in angrenzende Gewässer zur Folge (ZAK et al. 2010). Meist sind aber diese Gewässer durch erhöhte Nährstoffeinträge aus ihrem gesamten Einzugsgebiet bereits in einem eutrophen Zustand. Dadurch sind in der Regel die Risiken einer Verschlechterung des Zustandes von Gewässern im Abstrombereich wiedervernässter Moore minimal. Liegen jedoch im Abstrombereich von Mooren, für die eine Wiedervernässung aus Klima- oder auch Naturschutzgründen geplant ist, Seen mit einem mesotrophen Zustand, ist eine vorherige Untersuchung des Phosphor-Freisetzungspotenzials der zu vernässenden Moorbereiche eine notwendige Voruntersuchung (ZAK et al. 2008). Mesotrophe Gewässer reagieren sehr empfindlich auf eine bereits geringe Phosphorfrachterhöhung, so dass hier besondere Umsicht bei der Planung und Umsetzung von Moorwiedervernässungen gelten sollte. Das Risiko erhöhter P-Austräge in angrenzende Gewässer ließe sich durch eine Entfernung der oberen, stark zersetzten Torfschicht (=Flachabtorfung) weitgehend reduzieren, wie eine Fallstudie aus dem Norden Brandenburgs zeigt (MEYER 2008).

Inwieweit das Einstellen wechselfeuchter Bedingungen aus naturschutzfachlichen Gründen (Avifauna, s.u.), einhergehend mit einer extensiveren Weide- oder Mahdnutzung, die Stoffausträge in angrenzende Gewässer beeinflusst, ist ebenfalls unzureichend untersucht. Zumindest in eisenreichen Systemen kann eine deutliche Reduzierung der P-Austräge erwartet werden (GEURTS et al. 2008).

Bisherige, sehr unzureichende Untersuchungen deuten auch auf erhöhte Austräge von gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) in der Anfangsphase der Wiedervernässung von Mooren hin (ZAK & GELBRECHT 2007). Es gibt aber auch gegensätzliche Auffassungen (KALBITZ & GEYER 2002, HÖLL et al. 2009). Ob die Qualität und Quantität dieser DOC-Einträge in die angrenzenden Gewässer die dortigen Organismengemeinschaften beeinflusst, bedarf ebenfalls noch systematischer Untersuchungen.

### 2.3 Moorrestaurierungen unter Aspekten des Naturschutzes

Eingangs wurde schon darauf verwiesen, dass durch die großflächigen Moorentwässerungen zahlreiche an Moore gebundene Pflanzen- und Tierarten dramatische Bestandseinbußen erlebten, die vielfach inzwischen im gesamten nordostdeutschen Tiefland vom Aussterben bedroht sind, einzelne sind sogar schon gänzlich verschwunden. Besonders betroffen sind davon die Arten der nährstoffarmen Moortypen (Braunmoos-Moore sowie oligo-

troph- bis mesotroph-saure Moore). Diese Moore sind aktuell nur noch kleinflächig vorhanden und reagieren deshalb besonders empfindlich auf externe Einflüsse, wie z. B. nutzungs- oder klimabedingte Grundwasserabsenkungen. Der Erhalt dieser „Moorreste“ und ihre positive Entwicklung durch ein entsprechendes Management sind aus naturschutzfachlicher Sicht von größter Bedeutung. Gesichtspunkte des Klimaschutzes spielen bei Restaurierungsmaßnahmen schon wegen der Kleinflächigkeit der Moore keine Rolle, auch potenziell mögliche Nährstoffausträge in angrenzende Gewässer dürften nur in Ausnahmefällen ein zu beachtendes Risiko darstellen. Diese könnten auftreten, wenn im Moor schon Bereiche mit stärker zersetzten Torfen vorhanden sind, die ein erhebliches P-Freisetzungspotenzial (ZAK et al. 2009 b) aufweisen, und wenn das aus dem Moor abfließende Wasser in mesotrophe Seen gelangt.

Vor Restaurierungsmaßnahmen muß eine gründliche floristische und faunistische Untersuchung der Projektgebiete erfolgen, insbesondere hinsichtlich des Vorkommens von Braunmoosen und Torfmoosen sowie der Insekten-, vor allem der Schmetterlingsfauna. Treten noch gefährdete moorgebundene Arten auf, muss ein Überstau als Folge einer Wasserstandsanhhebung auf jeden Fall verhindert werden. Dies würde zum Aussterben sensibler Arten führen, die aufgrund der schon jetzt vorhandenen großen Isolation in überschaubaren Zeiträumen nicht wieder von selbst einwandern könnten. Nachgewiesen ist das Aussterben von moortypischen Schmetterlingen durch einen zeitweiligen Überstau eines oligotroph- bis mesotroph-sauren Moores infolge von Naturschutzmaßnahmen (!) zur Moorrestaurierung, wodurch das letzte Vorkommen des Hochmoor-Perlmutterfalters (*Boloria aquilonaris*) in der gesamten Oberlausitz vernichtet wurde (GELBRECHT et al. 2003). – Eine Wiedervernässung selbst nur schwach gestörter Moore (Braunmoos-Moore sowie oligotroph-mesotrophe saure Moore) kann vielfach zur Nährstofffreisetzung („interne Düngung“) führen (ZAK et al. 2009 b). Dadurch dringen nährstoffliebende höherwüchsige Pflanzen auch in die noch nährstoffarmen Bereiche der Moore ein, vor allem Schilfrohr (*Phragmites australis*) verdrängt die noch vorhandene wertvolle Flora und Fauna. Deshalb sind über vermutlich längere Zeiträume ergänzende Mahd und/oder partielle Entfernung von aufkommenden Gehölzen notwendig.

Als ein Sonderfall der Moorrestaurierung kann die Wasserstandsanhhebung auf bislang nur mäßig entwässerten, extensiv genutzten Moorwiesen oder deren Sukzessionsstadien infolge Nutzungsauffassungen angesehen werden. Noch vorhandene Mähwiesen auf schwach entwässerten Niedermooren beherbergen im nordostdeutschen Tiefland vielfach die letzten Vorkommen von höchst gefährdeten Moorarten, z. B. Mehlprimel (*Primula farinosa*), Echtes Fettkraut (*Pinguicula vulgaris*), Rostrottes Kopfried (*Schoenus ferrugineus*), Zweihäusige Segge (*Carex dioica*), Braunmoose wie *Hypnum pratense*, Blauschillernder Feuerfalter (*Lycaena helle*) oder Goldener Scheckenfalter (*Euphydryas aurinia*). Die Torfe solcher Standorte sind, wenn überhaupt, nur im oberflächennahen Bereich stärker zersetzt, so dass Aushagerungsmaßnahmen (Mahd) ergänzend zur Wasserstandsanhhebung notwendig sind (z. B. THORMANN & LANDGRAF 2010). Sie bewirken eine schnelle

Nährstoffverarmung und die Förderung bzw. Re-Etablierung artenreicher Pflanzengesellschaften und an sie gebundene Insektenarten. Positive Beispiele sind das NSG „Peenetal westlich des Gützkower Fährdammes“ (Land Mecklenburg-Vorpommern) (JESCHKE et al. 2003) und das NSG „Löcknitztal“ bei Erkner (Land Brandenburg) (Gelbrecht, unveröffentlichte Daten).

Wenn der Zustand eines sehr extensiv genutzten Grünlandes über längere Zeiträume aus naturschutzfachlichen Gründen aufrecht erhalten werden soll, ist aus Sicht einer Minimierung der Emission klimarelevanter Gase (CO<sub>2</sub>, Methan, Lachgas) eine Grundwasserstandsanhhebung auf etwa 10 cm unter Flur im Jahresmittel eine optimale Lösung (DRÖSLER et al. 2008, DRÖSLER et al. 2011). In Regionen mit unzureichendem Wasserdargebot wie im nordostdeutschen Tiefland sind diese Forderungen in der Praxis wegen der auch natürlicherweise stark schwankenden Grundwasserstände im Einzugsgebiet der Moore jedoch schwer umsetzbar.

### 3. Schlussfolgerungen für die Planung und Umsetzung von Moorwiedervernässungsprojekten

In den vorangegangenen Ausführungen konnte gezeigt werden, dass sich unter Langzeitaspekten die Ziele von Moorrestaurierungen bzw. Moorwiedervernässungen für den Klimaschutz, Gewässerschutz und Naturschutz nicht widersprechen, da im Falle der Etablierung wieder wachsender Moore die ursprünglichen landschaftsökologischen Funktionen wiederhergestellt sind. Ein Erreichen dieses Zustandes ist in der Regel – wie eingangs schon dargestellt – nur durch die Aufgabe der aktuellen, auf Entwässerung basierenden landwirtschaftlichen Nutzung möglich. Aufgrund der bestehenden sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen im dicht besiedelten Mitteleuropa sind derartige Wiedervernässungsprojekte nur auf einem Teil der Moorflächen umsetzbar. Wenn die fast immer vorhandenen Nutzungskonflikte im Falle einer Moorwiedervernässung erfolgreich gelöst wurden, können jedoch Konflikte zwischen den verschiedenen Interessenvertretern der Schutzgüter Klima, Gewässer sowie Flora und Fauna bei der Wahl der Vernässungsmaßnahmen auftreten. Dieses Konfliktpotenzial ist vor allem davon abhängig, wie groß die betreffenden Moore sind, wie stark die Moore zuvor entwässert und landwirtschaftlich genutzt wurden und wie stark dadurch der Torf der oberen Bodenschichten degradiert wurde. Wesentlich ist weiterhin die landschaftliche Einbindung der Moore, insbesondere hinsichtlich des vorhandenen Gewässernetzes (Seen, Fließgewässer). Diese potenziellen Konflikte lassen sich jedoch schon in der Planungsphase unter Berücksichtigung angepasster Handlungsoptionen minimieren (Tab. 2).

Tab. 2: Schema zur Entwicklung von Handlungsoptionen bei der Vernässung von Mooren zur Konfliktvermeidung  
 Scheme for management options to avoid conflicts during fen-rewetting

<b>Ausgangslage</b>	<b>Handlungs- grundlage</b>	<b>Ziele einer Restaurierung</b>	<b>Zu entscheidende Fragen</b>
Stark oder mäßig degradiertes Moorkörper ohne Vorkommen besonders gefährdeter Arten	Hohe Umweltbelastungen	Minimierung Stoffausträge Stabilisierung C-Vorräte Verbesserung Nährstoffrückhaltung	Wie hoch können Wasserstände angehoben werden? Ist Paludikultur oder Sukzession gewünscht?
Mäßig degradiertes Moorkörper mit Vorkommen besonders gefährdeter Arten	Mittlere Umweltbelastungen Lebensraum gefährdeter Arten	Erhaltung der Arten Stabilisierung C-Vorräte Minimierung Stoffausträge	Ist für den Artenhalt eine Pflege notwendig? Wie hoch können Wasserstände ange- hoben werden, um Artvorkommen nicht zu gefährden? Ist Paludikultur möglich und mit Artenschutz vereinbar?
Schwach bis nicht degradierte Moorkörper mit Vorkommen besonders gefährdeter Arten	Geringe Umweltbelastungen Lebensraum gefährdeter Arten	Erhaltung der Arten Stabilisierung hydrologischer Verhältnisse Ausweitung von Schutzzonen	Ist eine Anhebung der Wasserstände notwendig? Können die hydrolo- gischen Verhältnisse durch die Einrichtung ausreichend breiter Schutzzonen stabilisiert werden?

### 3.1 Wiedervernässung stark degradiertes Moore

Hierbei handelt es sich meist um große tiefgründige Flusstalmoore des nordostdeutschen Tieflandes und um ebenfalls ausgedehnte, z.T. flachgründige Niedermoore der Urstromtäler mit einer intensiven Landnutzungsgeschichte. Aufgrund ihrer Größe stehen bei einer Wiedervernässung Klimaschutzfragen wegen des hohen Potenzials zur Verringerung der Treibhausgasemissionen (speziell CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O) im Vordergrund. Meist ist für die formulierten Ziele ein ganzjähriger Überstau notwendig (s.o.). Anfängliche erhöhte Methanemissionen müssen in Kauf genommen werden. Wenn es gelingt, nitratbelastetes Grund- und Dränwasser aus angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Gebieten in und durch das wiedervernässte Moor zu leiten, werden auch wesentliche Ziele hinsichtlich des Gewässerschutzes im Sinne der Reduzierung der diffusen Stickstoffbelastung erreicht. Gegenläufig kann sich die Situation für Phosphor darstellen. In den stark zersetzten Torf-

schichten werden nach der Wiedervernässung erhebliche P-Mengen freigesetzt, die unter ungünstigen geochemischen Randbedingungen teilweise in angrenzende Wasserkörper ausgetragen werden können (ZAK et al. 2004, ZAK et al. 2010). Sie tragen jedoch selbst unter „worst case“-Situationen kaum zur Erhöhung der P-Konzentration in den ohnehin meist eutrophen angrenzenden Gewässern bei (z. B. Peene, eigene Berechnungen, Daten nicht gezeigt). Zur Senkung des P-Austragsrisikos sollte die Wiedervernässung so gestaltet werden, dass der Wasseraustausch zwischen wiedervernässtem Moor und angrenzendem Gewässer so gering wie möglich gehalten wird. So kann z.B. von einem Deichrückbau gepolderter Flächen abgesehen werden. Eine Möglichkeit zur drastischen Senkung der P-Freisetzung und vermutlich auch der Methanfreisetzung in der Anfangsphase der Wiedervernässung ist eine vorgeschaltete Flachabtorfung zur Entfernung der stark zersetzten oder vermulmten oberen Torfschicht. Hierzu fehlen jedoch noch gesicherte Erkenntnisse auf der Basis von Pilotprojekten.

Naturschutzaspekte sollten im vorliegenden Fall eine untergeordnete Rolle spielen, selbst wenn auf den Projektflächen vor der Restaurierung einzelne naturschutzrelevante Arten vorkommen, wie z. B. der Große Feuerfalter (*Lycaena dispar*), eine FFH-Art (Anhang II+IV) entlang der vorhandenen Entwässerungsgräben. Solche Arten finden meist in den wiedervernässten Mooren nach einigen Jahren neue Habitate oder können auf andere Grünländer ausweichen. Andererseits bieten die entstehenden offenen, oft polytrophen Flachgewässer, die mit unterschiedlich ausgeprägten Röhrichtgesellschaften durchsetzt sind, zahlreichen und aus Naturschutzsicht äußerst wertvollen Arten der Avifauna neue und große Lebensräume (z. B. SELLIN & SCHIRMEISTER 2004). Langfristig werden diese aber im Zuge der Sukzession verlanden und in wachsende Moore überleiten, wodurch ein Teil der jetzt vorhandenen wertvollen (Brut-)Vogelarten wieder verschwinden wird, z. B. Trauerseeschwalbe (*Chlidonias niger*) oder Weißflügelseeschwalbe (*Chlidonias leucopterus*), während andere an Moore gebundene Arten die wieder wachsenden Moore kolonialisieren werden. Das zeigt, dass wiedervernässte überstaute Moore in ihrer Genese nicht nur unter stofflichen Aspekten einer hohen Dynamik unterliegen, sondern auch hinsichtlich ihres naturschutzfachlich wertvollen Arteninventars.

### 3.2 Schwach degradierte Moore

Schwach degradierte Moore treten im nordostdeutschen Tiefland nur noch kleinflächig auf. Sie repräsentieren unterschiedliche ökologische Moortypen, wie z. B. meso- bis oligotroph saure Moore oder basenreiche Kalkmoore (z. B. LANDGRAF 2007). Sie beherbergen noch Reste einer vielfältigen moortypischen Flora und Fauna, die früher weit verbreitet war. Aufgrund des damit verbundenen hohen naturschutzfachlichen Wertes wurden die meisten dieser Moore als Naturschutzgebiete (NSG) ausgewiesen, z.T. schon vor mehr als 70 Jahren. Nur wenige unter diesen können noch als wachsende Moore gelten (s.o.), die meisten weisen bereits Wassermangel durch schwache Entwässerung und/oder Grundwasserabsenkungen im Einzugsgebiet auf. Die damit verbundenen Probleme, z. B. Eutro-

phierungserscheinungen, Gehölzaufwuchs, wurden in Abschnitt 2.3 diskutiert. Um das Arteninventar solcher Moore zu erhalten, erfolgt auf vielen Flächen ein angepasstes Pflegemanagement (Mahd, Entbuschung) auf der Basis staatlicher Förderung oder vielfach durch private Initiativen (Naturschutzgruppen). Diese Maßnahmen müssen zukünftig durch eine vorsichtige Anhebung der Grundwasserstände ergänzt werden, um langfristig ein Moorwachstum ohne weitere menschliche Eingriffe bei gleichzeitigem Schutz der moortypischen Flora und Fauna zu erzielen.

Für degradierte Waldmoore wurde ein Entscheidungsunterstützungssystem (WAMOS) entwickelt, welches die Möglichkeit bietet, eine individuell angepasste Handlungsempfehlung für die Moorrenaturierung abzuleiten (HASCH et al. 2007, HASCH 2010). Zu Waldmooren zählen nährstoffreiche Bruchwälder, torfmoosdominierte Kessel-, Verlandungs- oder Hangmoore als auch mit braunmoosreicher Riedvegetation bestandene Durchströmungsmoore. Bis zum Erreichen des Zielzustandes sind jedoch fortlaufend Pflegemaßnahmen über viele Jahre notwendig, die in der Projektplanung als laufende Kosten unbedingt berücksichtigt werden müssen und sich damit in der Kostenstruktur wesentlich von Projekten zur Restaurierung stark degradierter Moore unterscheiden. Die Wiedervernäsungsmaßnahmen müssen durch ein entsprechendes längerfristiges Monitoring begleitet werden, um die Auswirkungen der jeweiligen Maßnahmen zu erfassen und gegebenenfalls negative Entwicklungen rechtzeitig zu korrigieren.

#### 4. Ausblick

Die Ausführungen zeigen, dass inzwischen schon viele nationale und internationale Forschungsergebnisse und praktische Erfahrungen zur Moorrestaurierung vorliegen, die für zukünftige Planungen eine solide Grundlage darstellen. Auf dieser Basis sollte es möglich sein, bereits im Vorfeld der Umsetzung von Restaurierungsmaßnahmen potenzielle Konflikte zwischen Interessenvertretern der Schutzgüter Klima, Gewässer sowie Flora und Fauna durch gründliche Voruntersuchungen und Abstimmungen untereinander zu minimieren. Es wurde aber auch darauf verwiesen, dass es noch eine Reihe offener Fragen gibt, die durch zukünftige Forschungen beantwortet werden müssen. Sie sind notwendig, um möglichst effektive und kostengünstige Moorrestaurierungsprojekte in die Praxis umzusetzen. Größere Wissensdefizite und damit erheblicher Forschungsbedarf bestehen insbesondere zu Stoffbilanzen von wechselfeuchten, extensiv genutzten Niedermooren in Abhängigkeit von Grundwasserständen, Umfang und Bedeutung von Austrägen von gelöstem organischen Kohlenstoff aus unterschiedlich intensiv genutzten oder wiedervernässten Mooren in angrenzende Gewässer und Kosten-Nutzen-Analysen der Wiedervernäsung von Mooren unter Einbeziehung aller Schutzgüter (Boden, Klima, Wasserqualität, Landschaftswasserhaushalt, Flora und Fauna). Gerade letzter Aspekt hat eine zunehmende Bedeutung für die Akzeptanz durch die Öffentlichkeit für die zunächst sehr teuer scheidenden Moorrestaurierungen (TREPPEL 2010).

## 5. Danksagung

Die Autoren danken für Hinweise zum Vorkommen bzw. zur Bestandsentwicklung ausgewählter Pflanzen- und Tierarten in Mecklenburg-Vorpommern P. Steffenhagen (Berlin) und H. Kretschmer (Neuenhagen). J. Hallermann (IGB) und J. Klawitter (Berlin) danken wir für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

## 6. Literatur

- BMU/BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2005): Die Wasser-  
rahmenrichtlinie – Ergebnisse der Bestandsaufnahme 2004 in Deutschland. 2. Auflage, 35 S.;  
Berlin.
- CHOJNICKI, B.H., AUGUSTIN, J. & OLEJNIK, J. (2007): Impact of reflooding on greenhouse gas exchange of  
degraded fen peatlands, Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Symposium on Carbon in Peatlands;  
Wageningen, The Netherlands, 15-18 April 2007.
- COUWENBERG, J., DOMMAIN, R. & JOOSTEN, H. (2010): Greenhouse gas fluxes from tropical peatlands in  
south-east Asia. – *Global Change Biology* **16**: 1715-1732.
- DRÖSLER, M., FREIBAUER, A., CHRISTENSEN, T.R. & FRIBORG, T. (2008): Observations and Status of Peat-  
land Greenhouse Gas Emissions in Europe. – In: DOLMAN, A.J., VALENTINI, R. & FREIBAUER, A. (eds):  
Observations and Status of Peatland Greenhouse Gas Emissions in Europe, *Ecological Studies* 203:  
The Continental-Scale Greenhouse Gas Balance of Europe, 243-261; New York.
- DRÖSLER, M., AUGUSTIN, J., GIEBELS, M., FÖRSTER, C., FREIBAUER, A., HÖPER, H., PETSCHOW, U., HAHN-  
SCHÖFL, M., KANTELHARDT, J., LIEBERSBACH, H., SCHÄGNER, J-P., SCHALLER, L., SOMMER, M.,  
THUILLE, A. & WEHRHAHN, M. (2011): Klimaschutz durch Moorschutz. – In: Klimaschutz und An-  
passung an die Klimafolgen – Strategien, Maßnahmen und Anwendungsbeispiele. Abschlussbericht  
BMBF-Verbundvorhaben.
- GELBRECHT, J., KALLIES, A., GERSTBERGER, M., DOMMAIN, R., GÖRITZ, U., HOPPE, H., RICHERT, A.,  
ROSENBAUER, F., SCHNEIDER, A., SOBCZYK, T. & WEIDLICH, M. (2003): Die aktuelle Verbreitung  
der Schmetterlinge der nährstoffarmen und sauren Moore des nordostdeutschen Tieflandes (Lepi-  
doptera). – *Märk. Ent. Nachr.* **5**(1): 1-68.
- GEURTS, J.J.M., SMOLDERS, A.J.P., VERHOEVEN, J.T.A., ROELOFS, J.G.M. & LAMERS, L.P.M. (2008): Sedi-  
ment Fe:PO<sub>4</sub> ratio as a diagnostic and prognostic tool for the restoration of macrophyte biodiversity  
in fen waters. - *Freshwater Biology* **53**: 2101-2116.
- HAHN-SCHÖFL, M., ZAK, D., MINKE, M., GELBRECHT, J., AUGUSTIN, J. & FREIBAUER, A. (2010): Organic  
sediment formed during inundation of a degraded fen grassland emits large fluxes of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>. –  
*Biogeosciences Discuss.* **7**: 9273-9303.
- HASCH B. (2010): DSS-WAMOS: Ein web-basiertes Entscheidungsunterstützungssystem für das Man-  
agement von Waldmooren. – *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg* **19**(3,4): 220.

- HASCH, B., MEIER, R., LUTHARDT, V. & ZEITZ, J. (2007): Renaturierung von Waldmooren in Brandenburg und erste Ergebnisse zum Aufbau eines Entscheidungsunterstützungssystems für das Management von Waldmooren. – *Telma* **37**: 165-183.
- HELCOM (2007): The Baltic Sea action plan. HELCOM Ministerial Meeting; Krakow, Poland.
- HENNECKE, F. (2001): Prozesse Nutzung der Moore – Schutz der Moore: Das Naturschutzgroßprojekt „Peenetal-Landschaft“. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*, 2., völlig neu bearb. Aufl.: 487-492; Stuttgart (Schweizerbart).
- HOFFMANN, C.C. & BAATRUP-PEDERSEN, A. (2007): Re-establishing freshwater wetlands in Denmark. – *Ecological Engineering* **29**: 157–166.
- HÖLL, B.S., FIEDLER, S., JUNGKUNST, H.F., KALBITZ, K., FREIBAUER, A., DRÖSLER, M. & STAHR, K. (2009). Characteristics of dissolved organic matter following 20 years of peatland restoration. – *Science of the Total Environment* **408**: 78-83.
- HÖPER, H. (2007): Freisetzung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren. – *Telma* **37**: 85-116.
- HÖPER, H., AUGUSTIN, J., CAGAMPAN, J.P., DRÖSLER, M., LUNDIN, L., MOORS, E., VASANDER, H., WADDINGTON, J.M. & WILSON, D. (2008):– In: STRACK, M.: *Peatlands and climate change*. pp. 182-210. International Peat Society; Jyväskylä, Finland
- JESCHKE, L., LENSCHOW, U. & ZIMMERMANN, H. (2003): Die Naturschutzgebiete in Mecklenburg-Vorpommern. Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.), S. 236-237; Schwerin (Demmler).
- JENSEN, R., COUWENBERG, J. & TREPPEL, M. (2010): Bilanzierung der Klimawirkung von Moorböden in Schleswig-Holstein. – *Telma* **40**: 215-228.
- JESCHKE, L., KNAPP, H.D. & SUCCOW, M. (2001): Kennzeichnung und Typisierung von Moorlandschaften (chorische Betrachtung): Moorregionen Europas. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*, 2., völlig neu bearb. Aufl.: 256-316; Stuttgart (Schweizerbart).
- JOOSTEN, H. & COUWENBERG, J. (2001): Zur anthropogenen Veränderung der Moore: Bilanzen zum Moorverlust: Das Beispiel Europa. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*: 471-472; Stuttgart (Schweizerbart).
- JOOSTEN, H., & CLARKE, D. (2002): Wise use of mires and peatlands: background and principles including a framework for decision-making. – International Mire Conservation Group. NHBS, Totnes, Finland.
- KALBITZ, K. & GEYER, S. (2002): Different effects of peat degradation on dissolved organic carbon and nitrogen. – *Organic Geochemistry* **33**: 319-326.
- KIEKBUSCH, J.J. & SCHRAUTZER, J. (2007): Nitrogen and phosphorus dynamics of a re-wetted shallow-flooded peatland. – *Science of the Total Environment* **380**: 3-12.
- LANDGRAF, L. (2000): Bedeutung der Moore für den Landschafts- und Stoffhaushalt. – In: SCHULTZ-STERNBERG, R., ZEITZ, J., LANDGRAF, L., HOFFMANN, E., LEHRKAMP, H., LUTHARDT, V. & KÜHN, D. (2000): *Niedermoore in Brandenburg*. – *Telma* **30**: 146-148.

- LANDGRAF, L. (2007): Zustand und Zukunft der Arm- und Zwischenmoore in Brandenburg - Bewertung und Bilanz. – *Naturschutz und Landschaftspflege Brandenburg* **16**: 104-115.
- MEYER, N. (2008): Bewertung des Oberbodenabtrages zur Reduzierung der Phosphorfreisetzung und des Phosphorausstrages aus wiedervernässten Niedermooren am Beispiel der Lehtsee-Niederung in Brandenburg. – Unveröff. Diplomarbeit. Technische Universität Berlin, Institut für Technischen Umweltschutz, 66 S.
- MULV MV / MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ MECKLENBURG-VORPOMMERN (2009): Konzept zum Schutz und zur Nutzung der Moor – Fortschreibung des Konzepts zur Bestandssicherung und zur Entwicklung der Moore. – 102 S.; Schwerin.
- PARISH, F., SIRIN, A., CHARMAN, D., JOOSTEN, H., MINAYEVA, T., SILVIUS, M. & STRINGER, L. (2008): Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report. – Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen. Wetlands International PO Box 471, AL, Wageningen 6700 The Netherlands.
- QUAST, J. (1997): Wasserdargebot in Brandenburgs Agrarlandschaften und gebotene wasserwirtschaftliche Konsequenzen. – *Archives for nature conservation and landscape research* **35**: 267-277.
- SELLIN, D. & SCHIRMEISTER, B. (2004): Durchzug und Brut der Weißbart-Seeschwalbe im Jahr 2003 im Peenetal bei Anklam. – *Ornithologischer Rundbrief Mecklenburg-Vorpommern* **45**: 39-44.
- STEGMANN, H. & ZEITZ, J. (2001): Bodenbildende Prozesse entwässerter Moore. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*, 2., völlig neu bearb. Aufl.: 47-52; Stuttgart (Schweizerbart).
- SUCCOW, M. & JESCHKE, L. (1990): *Moore in der Landschaft*. 2. Auflage – 268 S.; Leipzig, Jena, Berlin (Urania).
- SUCCOW, M. (2001): Ökologisch (phytozoenologische) Moortypen. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*, 2., völlig neu bearb. Aufl.: 229-234; Stuttgart (Schweizerbart).
- THORMANN, J. & LANDGRAF, L. (2010): Neue Chancen für Basen- und Kalk-Zwischenmoore in Brandenburg. – *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg* **19**: 132-145.
- TIMMERMANN, T., JOOSTEN, H., & SUCCOW, M. (2009): Restaurierung von Mooren. – In: ZERBE, S., WIEGLEB, G. (Hrsg.): *Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa*: 55-93; Heidelberg (Spektrum).
- TOLONEN, K. & TURUNEN, J. (1996): Accumulation rates of carbon in mires in Finland and implications for climate change. – *The Holocene* **6**: 171-178.
- 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.
- TREPEL, M. (2007): Das Niedermoorprogramm in Schleswig-Holstein – ein Beitrag zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. – *NNA-Berichte* **20**(1): 65-74.

- TREPEL, M. (2009): Nährstoffrückhalt und Gewässerrenaturierung. – KW Korrespondenz Wasserwirtschaft **2** (4/09): 211-215.
- TREPEL, M. (2010): Assessing the cost-effectiveness of the water purification function of wetlands for environmental planning. – *Ecological Complexity* **7**: 320-326.
- ZAK, D. & GELBRECHT, J. (2007): The mobilisation of phosphorus, organic carbon and ammonium in the initial stage of fen rewetting (a case study from NE Germany). – *Biogeochemistry* **85**: 141-151.
- ZAK, D., GELBRECHT, J. & STEINBERG, C.E.W. (2004): Phosphorus retention at the redox interface of peatlands adjacent to surface waters in northeast Germany. – *Biogeochemistry* **70**: 357-368.
- ZAK, D., GELBRECHT, J., WAGNER, C. & STEINBERG, C.E.W. (2008): Evaluation of phosphorus mobilization potential in rewetted fens by an improved sequential chemical extraction procedure. – *European Journal of Soil Science* **59**: 1191-1201.
- ZAK, D., ROSSOLL, T., EXNER, H. J., WAGNER, C. & GELBRECHT, J. (2009 a): Mitigation of sulfate pollution by rewetting of fens – a conflict with restoring their phosphorus sink function? – *Wetlands* **29**: 1093-1103.
- ZAK, D., STEFFENHAGEN, P. & GELBRECHT, J. (2009 b): Boden- und wasserchemische Veränderungen in degradierten Torfmoosmooren und Möglichkeiten ihrer Restaurierung unter Naturschutzaspekten – dargestellt am Beispiel Berliner Moore. – *Telma* **39**: 119-138.
- ZAK, D., WAGNER, C., PAYER, P., AUGUSTIN, J. & GELBRECHT, J. (2010): Phosphorus mobilization in rewetted fens: the effect of altered peat properties and implications for their restoration. – *Ecological Applications* **20**: 1336-1349.
- ZEITZ, J. (2003): Bodenphysikalische Veränderungen nach intensiver Nutzung sowie nach Wiedervernäsung. – Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz & Geologie Mecklenburg-Vorpommern **2**: 28-37.

Anschriften der Verfasser:

Dr. D. Zak,  
Dr. J. Gelbrecht  
Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei e.V.  
Müggelseedamm 301  
D-12587 Berlin  
E-Mail: zak@igb-berlin.de; gelbr@igb-berlin.de

Prof. Dr. J. Augustin  
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.  
Eberswalder Straße 84  
D-15374 Müncheberg

Dr. habil. M. Trepel  
Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein  
Hamburger Chaussee 25  
D-24220 Flintbek

Manuskript eingegangen am 31. März 2011