

TELMA	Band 42	Seite 81 - 102	6 Abb., 3 Tab.	Hannover, November 2012
-------	---------	----------------	----------------	-------------------------

Einfluss einer potenziellen Flachabtorfung auf den Nitratrückhalt und die Phosphorfreisetzung in wiedervernässten Niedermooren – dargestellt am Beispiel des Kleinen Landgrabentals (Mecklenburg-Vorpommern)

A study case to evaluate the potential influence of top-soil removal on
nitrate removal and phosphorus release at rewetted fens in the Kleiner
Landgraben valley (Mecklenburg-Vorpommern)

DOMINIK ZAK, ALVARO CABEZAS, SEBASTIAN RUDNICK,
JAN HALLERMANN und JÖRG GELBRECHT

Zusammenfassung

Im Rahmen des Moorschutzprogramms von Mecklenburg-Vorpommern war eine hydrologische Umgestaltung des Kleinen Landgrabentals bei Neubrandenburg geplant. Dazu waren auch großflächige Flachabtorfungen im entwässerten Moor vorgesehen. Diese Maßnahme sollte dazu beitragen, eine hohe Phosphor-, Ammonium- und Methan-Freisetzung nach einer Moorvernässung zu unterbinden. Gleichzeitig sollte eine deutliche Reduzierung der Nitratausträge aus dem Einzugsgebiet des Kleinen Landgrabens erfolgen, um letztlich die N-Belastung der Ostsee zu senken. Im Zeitraum 2009 bis 2012 wurden daher umfangreiche Freiland- und Laboruntersuchungen zu folgenden Themen durchgeführt: (a) Höhe der Nährstoffbelastung des Moores durch das landwirtschaftlich genutzte Einzugsgebiet und des Nährstoffaustrages aus dem entwässerten Moor, (b) Schwankungen der Grundwasserstände im Moor unter entwässerten Bedingungen, (c) Höhe des P-Freisetzungspotenzials im Oberboden und daraus resultierendes P-Austragsrisiko und (d) Einfluss einer Flachabtorfung auf die Höhe der P-Konzentrationen im Freiwasser überstauter Moore. Diese Ergebnisse waren Grundlage für Laborversuche zur Bestimmung der Nitratreduktion sowie der P-Dynamik in Abhängigkeit von Torfqualität, Temperatur und äußerer Nitratbelastung. Es konnte gezeigt werden, dass der Nitratrückhalt besonders hoch in den vererdeten Torfen ausfällt (bis zu 90 %), aber auch mäßig zersetzte Torfe wiesen noch ein großes Nitratrückhaltepotenzial auf. Gleichzeitig wurde in den vererdeten Torfen bei einer hohen Nitratbelastung die Phosphorfreisetzung stark herabgesetzt wobei die Phosphorfreisetzung in mittel zersetzten Torfen generell sehr gering ausfiel. Auf der Basis dieser Ergebnisse wurden konkrete Handlungsempfehlungen für die Wiedervernässungspraxis abgeleitet, die auf andere Regionen des pleistozän geprägten nordostdeutschen Tieflandes übertragbar sind.

Abstract

Hydrological conditions at the Kleiner Landgraben Valley (Neubrandenburg, NE Germany) were planned to be modified as a part of the Mecklenburg-Vorpommern peatland conservation program. Before restoring hydrological conditions, extensive top-soil removal from drained fens was also scheduled. By doing so, phosphorus, ammonia and methane release from rewetted fens is pretended to be strongly reduced. Moreover, a marked nitrate export reduction is expected, what will decrease N fluxes into the Baltic Sea. Several field and laboratory experiments were performed in the period 2009-2012 in order to evaluate: a) the influence of agricultural activities in the catchment on nutrient load over the lowland fens and nutrient export from drained fens site; b) the groundwater fluctuation at drained fen, c) the phosphorus release potential from the upper peat layer, and d) the impact of top-soil removal on the level of phosphorus concentrations in the surface water of inundated peatlands. Such previous research served as a basis of a laboratory experiment aiming to investigate the influence of the degree of peat decomposition, temperature and N load over nitrate removal and phosphorus turnover. According to our results, nitrate is efficiently removed from highly degraded peat (up to 90 %), whereas phosphorus release decreased at increasing nitrate load and is negligible in less decomposed peat. Moreover, moderately decomposed peat was also observed to have a high nitrate removal potential. Our results provide useful insights for the management of rewetted fens, and can be applied in another agricultural watershed within the NE Germany glacial landscape.

1. Einleitung

Die Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung von Niedermooren – ermöglicht durch tiefgründige und komplexe Entwässerung mit Beginn der 60er und 70er Jahre des 20. Jahrhunderts – hat dazu geführt, dass weit mehr als 95 % der Moore im nordostdeutschen Tiefland ihre landschaftsökologischen Funktionen als „Nieren der Landschaft“ verloren haben. Die Wiedervernässung von trockengelegten Niedermooren ist daher eine wichtige Maßnahme zur langfristigen Senkung der diffusen Nährstoffbelastung der Oberflächengewässer mit Stickstoff (N) und Phosphor (P) von landwirtschaftlich genutzten Flächen (TREPEL & KLUGE 2004, GELBRECHT & ZAK 2008). Eine Senkung dieser diffusen Nährstoffeinträge ist zwingend notwendig, um die von der EU-WRRL geforderte Wiederherstellung eines „guten ökologischen Zustandes“ der Stand- und Fließgewässer zu erreichen. Von den HELCOM-Staaten wurde außerdem ein Aktionsplan für die Ostsee (Baltic Sea Action Plan 2007) beschlossen, der für Deutschland eine Reduzierung der Phosphoreinträge um 240 t/a und der Stickstoffeinträge um 5.620 t/a einfordert (MEHL et al. 2009). Um dieses Ziel zu erreichen, wird es notwendig sein, die ursprünglichen landschaftsökologischen Funktionen von Feuchtgebieten, im nordostdeutschen Tiefland vor allem von Niedermooren, zumindest teilweise wieder herzustellen. Nach Literaturangaben würde ein etwa 5%iger Flächenanteil von „funktionsfähigen“ Feuchtgebieten/Mooren in landwirtschaftlichen Einzugsgebieten ausreichen, um eine effektive Senkung der Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer zu erzielen (VERHOEVEN et al. 2006). Jahrzehntelange Trockenlegung in Verbindung mit meist intensiver landwirtschaftlicher Nutzung der Moore hat aber zu irreversiblen chemischen und physikalischen Änderungen der oberen Bodenschicht geführt (ZEITZ 2003), was eine rasche Wiederherstellung dieser ursprüngli-

chen landschaftsökologischen Funktion unmöglich macht. Die großflächige Trockenlegung von Mooren – im nordostdeutschen Tiefland betrifft dies fast alle Moorflächen – führte außerdem dazu, dass aus den ursprünglich als Senken dienenden Mooren Ökosysteme entstanden, welche angrenzende Gewässer sowie die Atmosphäre mit Nährstoffen bzw. CO₂ belasteten (LENZ et al. 1992, BEHRENDT et al. 1994, BEHRENDT & BACHOR 1998, AUGUSTIN et al. 1998, BYRNE et al. 2004, GELBRECHT & ZAK 2008, DRÖSLER et al. 2011). Gleichzeitig verloren die gewässerbegleitenden Moore weitgehend ihre Fähigkeit, diffuse Nährstoffeinträge (P, N) in die Gewässer aus den angrenzenden agrarisch genutzten Flächen auf Mineralböden zu reduzieren.

Bisherige eigene Untersuchungen in wiedervernässten degradierten Mooren des Peenetales (Mecklenburg-Vorpommern) zeigten, dass eine besonders hohe Freisetzung von gewässerbelastenden Nährstoffen (insbesondere Phosphor) sowie von klimarelevanten Spurengasen im vererdeten Oberboden stattfindet (ZAK & GELBRECHT 2007, HAHN-SCHÖFL et al. 2011). Durch das Entfernen dieser Schicht (= Flachabtorfung) könnten diese unerwünschten Prozesse in der Anfangsphase der Wiedervernässung von langjährig entwässerten und genutzten Mooren deutlich reduziert werden (GELBRECHT et al. 2008). Flachabtorfung und eine folgende Wasserstandsanhhebung haben vielfach die Ausbildung von Flachgewässern zur Folge, wie erste Beispiele im Land Brandenburg zeigen (Mauersberger und Zauft, pers. Mitt.). In diesen wird durch die Bildung limnischer Sedimente unmittelbar nach den abgeschlossenen Restaurierungsmaßnahmen eine erhebliche Festlegung von Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor erfolgen, was aus eigenen Untersuchungen im Zentralen Chemielabor des IGB in Torfstichen abgeleitet werden kann (PALLASCH 2011).

Bislang gab es jedoch keine Informationen darüber, in welchem Umfang eine Flachabtorfung in stark degradierten Niedermooren die Reduzierung von Nitratreinträgen aus angrenzenden Landwirtschaftsflächen beeinflusst und wie sich ein hoher Nitratreintrag auf den Phosphorhaushalt auswirkt. Innerhalb des Moorschutzprogramms von Mecklenburg-Vorpommern (z. B. GELBRECHT et al. 2011) sollte deshalb diese Fragestellung im Vorfeld einer hydrologischen Umgestaltung des Kleinen Landgrabentals bei Neubrandenburg (Abb. 1) durch kombinierte Labor- und Freilanduntersuchungen bearbeitet werden. Um in den Laborexperimenten realitätsnahe Bedingungen zu simulieren, war es notwendig, folgende Freilanduntersuchungen im genannten Projektgebiet durchzuführen:

- Istzustandsanalyse der Nährstoffbelastung aus den angrenzenden Agrarflächen und der Nährstoffausträge aus dem Moor,
- Erfassung der saisonalen Wasserstandsschwankungen im Moorkörper und damit von Teilflächen mit einem hohen Vernässungspotenzial,
- Bestimmung des Phosphorfreisetzungspotenzials der oberen Bodenschichten nach ZAK et al. (2008a) und
- Analyse der P-Konzentrationen im Freiwasser von überstauten degradierten Niedermooren im Vergleich zu Torfstichen als Referenzsysteme für eine Flachabtorfung.

Innerhalb der darauf aufbauenden Laborversuche wurden das Nitratrückhaltepotenzial von Torfen in Abhängigkeit von äußerer Nitratbelastung, Torfqualität und Temperatur und der Einfluss des Nitratabbaus auf die Phosphordynamik untersucht.

Durch ein Übertragen dieser Ergebnisse auf Freilandbedingungen werden detaillierte Handlungsempfehlungen der geplanten hydrologischen Umgestaltung des Kleinen Landgrabentals mit dem Ziel einer deutlichen Verringerung der P- und N-Austräge aus dem Gesamtgebiet abgeleitet, wie z. B. die Festlegung von Stauhöhen, Ermittlung von Flächen mit einem hohen Vernässungspotenzial sowie Ermittlung der Lage und Größe von Flächen, auf denen eine Flachabtorfung erfolgen sollte.

2. Untersuchungsgebiet und Methoden

2.1 Das Kleine Landgrabental

Das Untersuchungsgebiet „Kleiner Landgraben“ (Größe etwa 600 ha, geografische Koordinaten 53°40' N; 13°18' O) liegt etwa 140 km nördlich von Berlin im Flusseinzugsgebiet der Tollense in Mecklenburg-Vorpommern (Abb. 1). Das Klima ist kontinental beeinflusst mit einer durchschnittlichen Jahresniederschlagssumme von 523 mm und einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 0 °C im Januar und 17,5 °C im Juli (Daten des Deutschen Wetterdienstes 1980 bis 2010 der Wetterstationen in Trollenhagen und Neubrandenburg, 7 bzw. 10 km vom Untersuchungsgebiet entfernt). Das Untersuchungsgebiet ist ein kalkreiches Flusstalmoor mit teilweise ausgeprägten Quellmoorbereichen an beiden Talrändern und einem ca. 3 m mächtigen Durchströmungsmoor über eine Talbreite von etwa 1 km. Entwässerung für die Torfgewinnung und extensive Landnutzung wurden bereits im 19. Jahrhundert durchgeführt. Für eine Intensivierung der Landwirtschaft wurde Mitte der 1970er Jahre eine Grabenentwässerung mit Wasserregulierung eingerichtet. Der in der Talmitte entwässernde Kleine Landgraben ist ein angelegtes Gewässer. Tiefgründige Entwässerung und intensive Grünlandbewirtschaftung haben zu einer artenarmen Grünlandvegetation und zu einer Absenkung der Mooroberfläche von ca. 50 cm in den letzten 40 Jahren geführt (Schmidt, pers. Mitteilung). Die ursprüngliche torfbildende Vegetation aus Braunmoos-Seggen-Schilfgesellschaften (*Caricetalia davallianae*) ist nur noch rudimentär im nordwestlich gelegenen geschützten Teil des Moores vorhanden (NSG Waidmannslust). Die Torfe sind auf weiten Teilen des Moores bis zu einer Tiefe von etwa 0,3 m, teilweise sogar bis zu einem 1 m stark vererdet. Mittel zersetzte Schilf-Seggentorfe treten bis zu einer maximalen Bodentiefe von 3,4 m auf. Danach anstehende Detritus- und Tonmudden zeugen von einer limnischen Phase zu Beginn der Moorbildung.

2.2 Istzustandsanalyse der Nährstoffbelastung aus den angrenzenden Agrarflächen und der Nährstoffausträge aus dem Moor

Zur Bilanzierung der Stoffein- und Stoffausträge (gelöster reaktiver Phosphor, Gesamtphosphor und Nitrat) für das Kleine Landgrabental wurden in zweiwöchentlichen Abständen Wasserproben im zu- und abfließenden Oberflächenwasser und im moorspeisenden Grundwasser genommen (Abb. 1). Eine Verdichtung der Probenahme auf einen wöchentlichen Abstand bzw. ereignisbezogen erfolgte bei den sehr hohen Abflüssen nach Starkregen oder Schneeschmelze, da sich unter diesen Bedingungen die Stoffkonzentrationen erheblich ändern können. Zusätzlich wurden Stoffkonzentrationen im Moorbodenwasser im Abstand von 4 Wochen ermittelt (Tab. 1). Die Wasserzustrom- und -abflussmengen an den Messstellen KL 1 (Hauptzufluss), KL 6 (= „Moorabfluss“) und KL 9 (am nordwestlichen Moorrund gelegener Abfluss des Fanggrabens „Tuchmachergraben“) wurden mittels Pegel-Abflussbeziehungen getrennt für Zeiträume mit und ohne Wasserpflanzen berech-

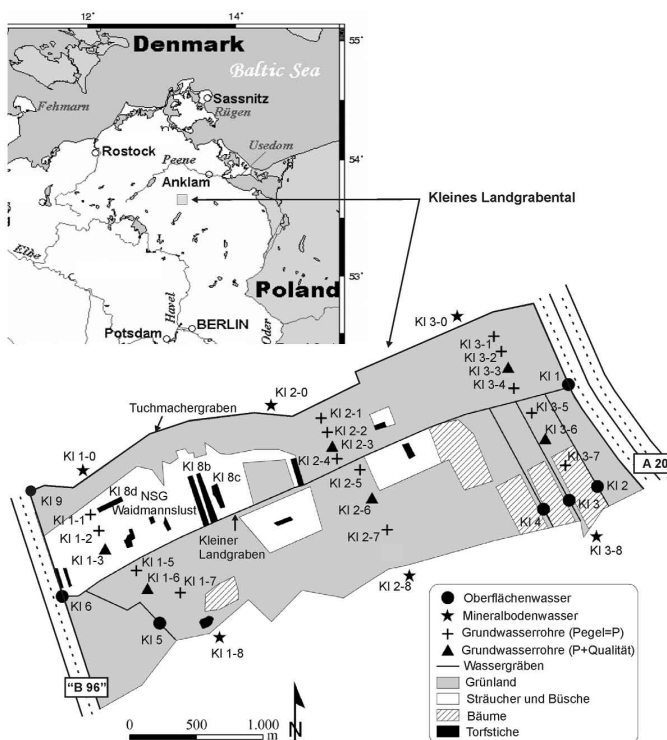


Abb. 1: Lage der Probenahmestellen im entwässerten Moor des Kleinen Landgrabentals: Oberflächenwasser (KI 1, KI 2, KI 9) und Grundwasser (KI 1-0, KI 1-1, KI 3-8).

Location of sampling sites in the drained peatland „Kleines Landgrabental“: surface water (KI 1, KI 2, KI 9) and ground water (KI 1-0, KI 1-1, KI 3-8).

net (Daten nicht gezeigt). Die lateralen Zuflüsse im südöstlichen Talabschnitt (KL 2 bis KL 5) wurden mittels Dreiecks-Messwehren („Thomsonwehr“) erfasst. Den Berechnungen der Wassermengen liegen automatische Pegelmessungen in 4-stündiger Auflösung zugrunde. Die Berechnung der Stofffrachten erfolgte jedoch auf Tagesbasis. Für die Berechnung der Stofffrachten an Tagen ohne Wasserbeprobungen wurden die gemittelten Stoffkonzentrationen zweier aufeinanderfolgender Probenahmeterminale genutzt.

2.3 Grundwasserstände im Moor

Insgesamt wurden 27 Grundwasserrohre entlang von drei Transekten (jeweils 9 Rohre pro Transekt) über die gesamte Talbreite gesetzt. Die Transekte lagen bezogen auf den Kleinen Landgraben im Anstrombereich, im mittleren Bereich und im Abstrombereich (Abb. 1). Die aus inertem HDPE-Plastik (high density polyethylen) angefertigten Rohre (Firma p@m Umwelttechnik Vertriebs GmbH) mit einer Länge von 2 bis 3 m und einem Innendurchmesser von 6 cm waren am unteren Ende über eine Länge von 1 m längs geschlitzt (Schlitzbreite 0,3 mm). Die Rohre wurden bis zu einer Tiefe von 2 bis 3 m in Bohrlöcher eingeschlagen und mit aufschraubbaren Kappen mit Klappdeckeln verschlossen. Die Messung der Wasserstände erfolgte kontinuierlich in Abständen von 4 h mittels automatisierter Datenlogger (Aquilite Beaver ATP10, Aquitronic ®). Jeweils drei Grundwasserrohre wurden auf jeder der beiden Talseiten im Mineralboden eingesetzt, um die Qualität des anströmenden Grundwassers zu erfassen (Abb. 1). Die Wasserbeprobung in ausgewählten Grundwasserrohren erfolgte nach einem vollständigen Entleeren der Rohre mittels einer Tauchpumpe zur Vermeidung von Artefakten.

2.4 Bestimmung des P-Freisetzungspotenzials

Entwässerung und landwirtschaftliche Nutzung der Moore führten zu einer teilweisen Mineralisierung der Torfe und damit verbunden zu einer Umwandlung von organisch gebundenem Phosphor in anorganische, leichter mobilisierbare Bindungsformen (ZAK et al. 2008a). Da es bei der dauerhaften Wiedervernässung des Untersuchungsgebietes im Torfkörper zu einem Wechsel von oxischen zu anoxischen Bedingungen kommt, war es Ziel, ein mögliches Risiko erhöhter P-Austräge mittels eines sequentiellen chemischen Extraktionsverfahren zu erfassen (ZAK et al. 2008a). Entsprechend der Fragestellung wurde das Verfahren auf zwei Extraktionsschritte verkürzt, deren P-Fractionen im Folgenden kurz erläutert werden:

- 1.) „Desorbierbarer P“ bzw. $\text{NH}_4\text{Cl-P}$: Für den ersten Extraktionsschritt wurde eine 1 M NH_4Cl Lösung genutzt. Auf diese Weise werden gelöste sowie schwach gebundene Eisen- und Calciumspezies entfernt, die zu unerwünschten Interferenzen im nachfolgenden Extraktionsschritt führen können. Bei dem extrahierten P handelt es sich um P, der im Porenwasser gelöst ist, oder um schwach gebundenen P an der

Oberfläche von Fe/Ca-Verbindungen oder an organischem Material. Der durch diesen Fraktionierungsschritt freigesetzte P lag deutlich unterhalb von 1% des Gesamtphosphors und wird deshalb in den Ergebnissen nicht aufgeführt.

- 2.) „Reduktiv-löslicher P“ bzw. BD-P („Bicarbonat-Dithionit-löslicher P“): Es wurde eine 0,11 M bicarbonat-gepufferte Dithionit-Lösung für die Extraktion von P genutzt, der hauptsächlich an redox-empfindlichen Fe(III)-Substanzen gebunden vorliegt. Diese Substanzen umfassen sowohl amorphe Fe(III)-Hydroxid/Oxidhydrate als auch Eisen(III)-Huminstoffkomplexe.

Entlang der drei bestehenden Grundwassermesstranekte (Abb. 1) wurden in Abständen von 100 bis 200 m Torfproben aus dem stark degradierten Oberboden (0-30 cm) und den darunter liegenden, zum Teil ebenfalls vererdeten bzw. stärker zersetzten Torfen (30-60 cm) über die gesamte Talbreite entnommen (insgesamt 60 Proben) und das Phosphorfreisetzungspotenzial für das Kleine Landgrabental unter wassergesättigten Bedingungen im Boden abgeschätzt.

2.5 Laborversuche zum Stickstoffrückhalt und zur Phosphordynamik in Torfen

In einem Mesokosmenexperiment wurde geprüft, wie sich bestimmte Randbedingungen auf die Höhe der Freisetzung bzw. des Rückhalts von gelösten Stickstoffverbindungen (Nitrat, Ammonium, gelöster organischer Stickstoff) und von gelöstem reaktiven Phosphor (SRP) nach einer Moorvernässung unter Überstaubedingungen auswirken. Das Experiment hatte eine Laufzeit von drei Monaten und wies folgende Randbedingungen auf:

- Die Höhe der simulierten Nitratbelastung betrug 40 kg N/ha a bzw. 140 kg N/ha a als Beispiele für eine mittlere bzw. hohe Belastungssituation durch anströmendes Grundwasser.
- Auswahl von zwei Temperaturniveaus, die Winter- und Sommerbedingungen simulierten (5 °C; 20 °C),

Als Substrat wurden aus dem Kleinen Landgraben vererdete Torfe (Beprobungstiefe 10-30 cm) und mittel zersetzte Torfe (Beprobungstiefe 50-70 cm) eingesetzt. Die Torfe wurden in Mesokosmen unter überstauten Bedingungen über einen Gesamtzeitraum von 6 Wochen inkubiert (ca. 20 L Torf pro Becken). Die Berechnung von Raten zum Rückhalt von Nitrat und zur Bildung von Ammonium erfolgt auf der Grundlage von vertikalen Konzentrationsgradienten im Porenwasser der inkubierten Torfe und durch Konzentrationsänderungen im Oberflächenwasser nach jeweils einwöchiger Inkubationsdauer. Eine detaillierte Beschreibung der Versuchsanordnung findet sich bei CABEZAS et al. (2012). Die Ergebnisse des Experiments wurden zur Abschätzung des N-Rückhaltes im Kleinen Landgraben unter vernässen Bedingungen mit und ohne Oberbodenabtrag genutzt (siehe auch Kap. 4).

2.6 Chemische Analytik

Die Analysen der Wasser und Feststoffproben wurden nach Standardanalyseverfahren im Zentralen Chemielabor des IGB durchgeführt (ZAK et al. 2008b).

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der dreijährigen Untersuchungen im Kleinen Landgrabental (April 2009 bis Juli 2012) werden im Folgenden kurz zusammengefasst dargestellt und diskutiert.

3.1 Wasserqualität der Zu- und Abflüsse und eine vorläufige erste Stoffbilanzierung

Nitrat- und Phosphorkonzentrationen in den Zu- und Abflüssen des Untersuchungsgebietes

Die Nährstoffkonzentrationen (Nitrat und Phosphat) zeigten sowohl im Jahresverlauf, zwischen den Untersuchungsjahren aber auch räumlich eine sehr hohe Variabilität. Die höchsten Nitratkonzentrationen mit > 25 mg N/L (Trinkwassergrenzwert 10 mg N/L) traten erwartungsgemäß in einer unterirdischen Dränage auf, die in den Tuchmachergraben entwässert (KL 12, s. Tab. 1). Der Tuchmachergraben selbst wird im Bereich des Untersuchungsgebietes mit sehr nitratreichem Grundwasser aus den nordwestlich angrenzenden Agrarflächen gespeist und wies Maximalwerte für Nitrat auf, die nur unwesentlich unter denen der erwähnten Dränage lagen. Die Grabenzuflüsse aus Südosten (Messstellen KL 2-5) wiesen im Winterhalbjahr ebenfalls deutlich erhöhte Nitratwerte auf, was durch Nitratauswaschung aus den agrarisch genutzten Einzugsgebieten verursacht wurde. Im Kleinen Landgraben unterschieden sich die Nitratkonzentrationen im Zufluss und Abfluss nur geringfügig. Nur im Spätherbst/Winter stiegen sie auf der Fließstrecke an, was vermutlich auf die erhöhten Einträge aus den südöstlichen Zuflüssen (KL 2-5) zurückzuführen ist, da die gleichzeitig niedrigen Wassertemperaturen nur eine geringe Denitrifikation erlauben. Alle untersuchten Fließgewässer zeigten die erwartete jahreszeitliche Dynamik mit teilweise hohen Nitratkonzentrationen in der kalten Jahreszeit (> 10 mg N/L) und mit sehr niedrigeren Konzentrationen im Sommer ($< 0,01$ mg N/L, Einzeldaten nicht gezeigt). Eine Ausnahme bildete der niederschlagreiche Sommer Juli/August 2011 mit offensichtlicher Nitratauswaschung aus den landwirtschaftlich genutzten Mineralböden.

Alle untersuchten Fließgewässer bzw. Grabenzuflüsse wiesen im Vergleich zu unbelasteten Waldeinzugsgebieten in Brandenburg deutlich erhöhte Gesamt-P-Konzentrationen (Daten nicht gezeigt) und oft auch erhöhte Konzentrationen an reaktiv gelöstem P (SRP = „ortho-Phosphat-P“) auf. Besonders hoch mit Werten von über 1 mg P/L waren diese im Grabenzufluss KL 5 (Tab. 1), letzterer wird teilweise mit Wasser aus einer Pflanzenkläranlage in Neddemin gespeist. Aufgrund der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung des

Gesamteinzugsgebietes ist der beschriebene Zustand erwartet worden. Würden Seen mit Wasser solcher P-Gehalte gespeist, würden sich hoch eutrophe bis polytrophe Bedingungen einstellen.

Tab. 1: Nährstoffkonzentrationen (SRP = gelöster reaktiver Phosphor, TP = Gesamt-Phosphor, Nitrat-N) in ober- und unterirdischen Zu- und Abflüssen sowie im Moorbodenwasser des Kleinen Landgrabentals, s. auch Abb. 1, für den Gesamtuntersuchungszeitraum April 2009 bis Juli 2012. Werte sind als Mittelwerte angegeben (in Klammern Angabe der Min.- und Max.-Werte). Nutrient concentrations (SRP = soluble reactive phosphorus, TP = total phosphorus and nitrate) in aboveground and belowground in- and outflow as well as in peat soil water of the peatland „Kleines Landgrabental“ (Fig. 1) for the sampling period April 2009 to July 2012. Values are given as averages (minimum and maximum values are given in brackets).

	SRP	TP mg/L	Nitrat-N
Oberflächenwasser-Hauptzufluss (KL 1)	0,07 (0,03-0,28)	0,12 (0,05-0,79)	2,38 (0,01-13,8)
Lateraler Oberflächenwasserzufluss „SO-Talseite“ (KL 2)	0,10 (0,01-0,25)	0,20 (0,06-0,59)	5,47 (0,13-23,5)
Lateraler Oberflächenwasserzufluss „SO-Talseite“ (KL 3)	0,02 (0,003-0,17)	0,08 (0,02-0,25)	3,19 (0,19-22,0)
Lateraler Oberflächenwasserzufluss „SO-Talseite“ (KL 4)	0,01 (0,004-0,06)	0,05 (0,02-0,61)	4,38 (0,20-18,3)
Lateraler Oberflächenwasserzufluss „SO-Talseite“ (KL 5)	0,29 (0,004-1,84)	0,42 (0,02-2,04)	5,41 (0,01-16,77)
Grundwasserzustrom „SO-Talseite“ (KL 1-8, 2-8, 3-8)	0,08 (0,01-0,21)	- -	0,04 (0,03-0,35)
Moorbodenwasser „SO-Talseite“** (KL 1-6, 2-6, 3-6)	0,04 (0,003-0,19)	- -	0,13 (0,03-0,95)
Grundwasserzustrom „NW-Talseite“ (KL 1-0, 2-0, 3-0)	0,02 (0,003-0,26)	- -	14,7 (0,1-34,0)
Drainage „NW-Talseite“ (KL 12)	0,01 (0,003-0,02)	0,01 (0,003-0,21)	26,9 (17,1-37,7)
Moorbodenwasser „NW-Talseite“** (KL 1-3, 2-3, 3-3)	0,053 (0,005-0,188)	- -	0,04 (0,005-0,19)
Oberflächenwasser-Moorabfluss (KL 6)	0,11 (0,01-1,45)	0,17 (0,05-1,58)	2,79 (0,01-14,0)
Oberflächenwasser- Tuchmachergraben (KL 9)	0,04 (0,003-0,30)	0,09 (0,01-0,61)	11,73 (0,01-30,2)

**Bodenwasserproben aus dem Bereich der mittel zersetzten Torfe (Probenahmetiefe ca. 1-2 m), *soil water samples from the range of moderately decomposed peat (sampling depth ca. 1-2 m)

Stoffbilanzierung

Anhand der Stoffkonzentrationen im Oberflächenwasser und den Wassermengendaten der Zu- und Abflüsse wurden erste Berechnungen zu den Stofffrachten der oberirdischen Zu- und Abflüsse durchgeführt (Tab. 2). Der Stoffeintrag über das anströmende Grundwasser wurde über eine Wasserhaushaltsbilanz (Moorabfluss [KL 6] = Hauptzufluss [KL1] + laterale Zuflüsse [KL 2-5] + Niederschlag – Evapotranspiration + Grundwasser) und den Grundwasserqualitätsdaten für den Messzeitraum von Juni 2011 bis Juli 2012 abgeschätzt. Für das Untersuchungsjahr 2010 ergab sich ein Nährstoffaustrag des Einzugsgebiets für Gesamt-Phosphor von ca. 0,8 t P und für Nitrat von rund 42 t N. Von allen oberirdischen Zuflüssen erfolgte der höchste Nährstoffeintrag über den Hauptzufluss (KL 1) mit 0,6 t P und ca. 38 t Nitrat-N, gefolgt vom lateralen Zufluss KL 2 (Tab. 2). Eine erhebliche Menge an Nitrat von rund 24 t N wurde 2010 über den Tuchmachergraben (ohne Moorpassage) in die Tollense eingeleitet. Eine erste Bilanzierung für das Jahr 2010 ergab, dass das Moor als schwache Nitratsenke fungiert, bzgl. Gesamtphosphor übersteigt der Austrag nur sehr geringfügig den Eintrag (< 10 kg).

Alle Angaben unterliegen einer erheblichen Unsicherheit, da vor allem die über das Grundwasser eingetragenen Stoffmengen mit großen Fehlern behaftet sein können (durch indirekte Wassermengenberechnung und räumlich-zeitlich stark schwankende Stoffkon-

Tab. 2: Nährstofffrachten für SRP (gelöster reaktiver Phosphor), TP (Gesamtphosphor) und Nitrat-N in oberirdischen Zu- und Abflüssen des Kleinen Landgrabentals und im anströmenden Grundwasser für 2010 (Januar bis Dezember). Für die Berechnungen der Nährstofffracht über das Grundwasser wurden die Wasserqualitätsdaten des Messzeitraums Juli 2011 bis Juni 2012 genutzt
Nutrient loads for SRP (soluble reactive phosphorus), TP (total phosphorus) and nitrate-N in aboveground and belowground in- and outflow as well as in groundwater entering the peatland for the year 2010 (January – December). For the calculation of the nutrient input via groundwater the water quality data from the sampling period July 2011- July 2012 were chosen

	SRP-Fracht t P/a	TP-Fracht t P/a	Nitrat-Fracht in t N/a
Hauptzufluss (KL 1)	0,42	0,61	37,5
Lateraler „SO-Zufluss“ K1 2	0,05	0,09	4,2
Lateraler „SO-Zufluss“ K1 3	0,00	0,00	0,1
Lateraler „SO-Zufluss“ K1 4	0,01	0,03	2,9
Lateraler „SO-Zufluss“ K1 5	0,05	0,08	0,8
Grundwasserzustrom „SO-Talseite“*	0,03	0,03	0,01
Grundwasserzustrom „NW-Talseite“*	0,00	0,00	3,0
Moorabfluss (KL 6)	0,55	0,84	42,0
Bilanz*	-0,02**	0,00	-6,5
Tuchmachergrabenabfluss (KL 9)	0,08	0,16	23,7

*vorläufige Daten (durch zusätzliche Modellanwendungen und Untersuchungen werden die Ergebnisse noch abgesichert);**negative Daten bedeuten Rückhalt bzw. das Moor fungiert als Senke

*preliminary results (reliability of the results will be proven by additional models and investigations; ** negative results mean retention or the peatland act as a sink, respectively

zentrationen). Im Jahr 2011 konnten die Wasser-Abflussspitzen im Winter und Sommer an den oberirdischen Zu- und Abflüssen nur mit erheblichem Fehler erfasst werden, weshalb für dieses Jahr keine Stoffbilanz erstellt wurde.

3.2 Grundwasserstandsschwankungen und Vernässungspotenzial

Die Moorwasserstände an allen Messstellen unterlagen erheblichen Schwankungen im Jahresverlauf (Abb. 2). Neben den saisonalen Schwankungen traten auch zwischen den drei Untersuchungsjahren deutliche Unterschiede auf.

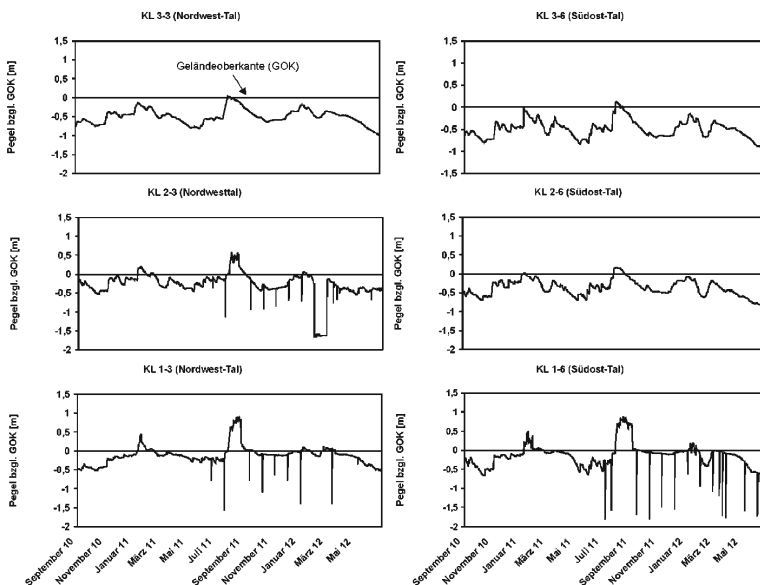


Abb. 2: Ausgewählte Moorwasserstände an jeweils drei Grundwassermessstellen der nordwestlichen und südöstlichen Talseite von Sept. 2010 bis Juli 2012. Die Messstellen liegen etwa in der Mitte der jeweiligen Talseiten (Abb. 1). Die negativen Peaks an den Messstellen KL 1-3, 1-6 und 2-3 wurden durch Abpumpen der Grundwasserrohre für Wasserbeprobungen verursacht bzw. an der Messstelle KL 2-3 gab es einen Datenausfall über 2 Wochen im März 2012.
Selected water levels of always three gauging sites for ground water of both sites of the river valley. The gauging sites were situated at about the middle of each of the valley sites. Negative peaks on the sites KL 1-3, 1-6 and 2-3 are caused by ground water sampling activities or by a data loss over 2 weeks at KL 2-3 in March 2012.

Die Moorwasserstände der 27 Grundwasserpegelmessstellen im Kleinen Landgrabental wurden mit einem digitalen Höhenmodell verschnitten, so dass jetzt verschiedene Vernässungsszenarien für das Kleine Landgrabental modellhaft dargestellt werden können. Bei einer mündungsnahen Wasserstandshebung im Kleinen Landgraben auf +9,2 m NHN (in Anlehnung an Ergebnisse einer Projektsitzung zur hydrologischen Umgestaltung des

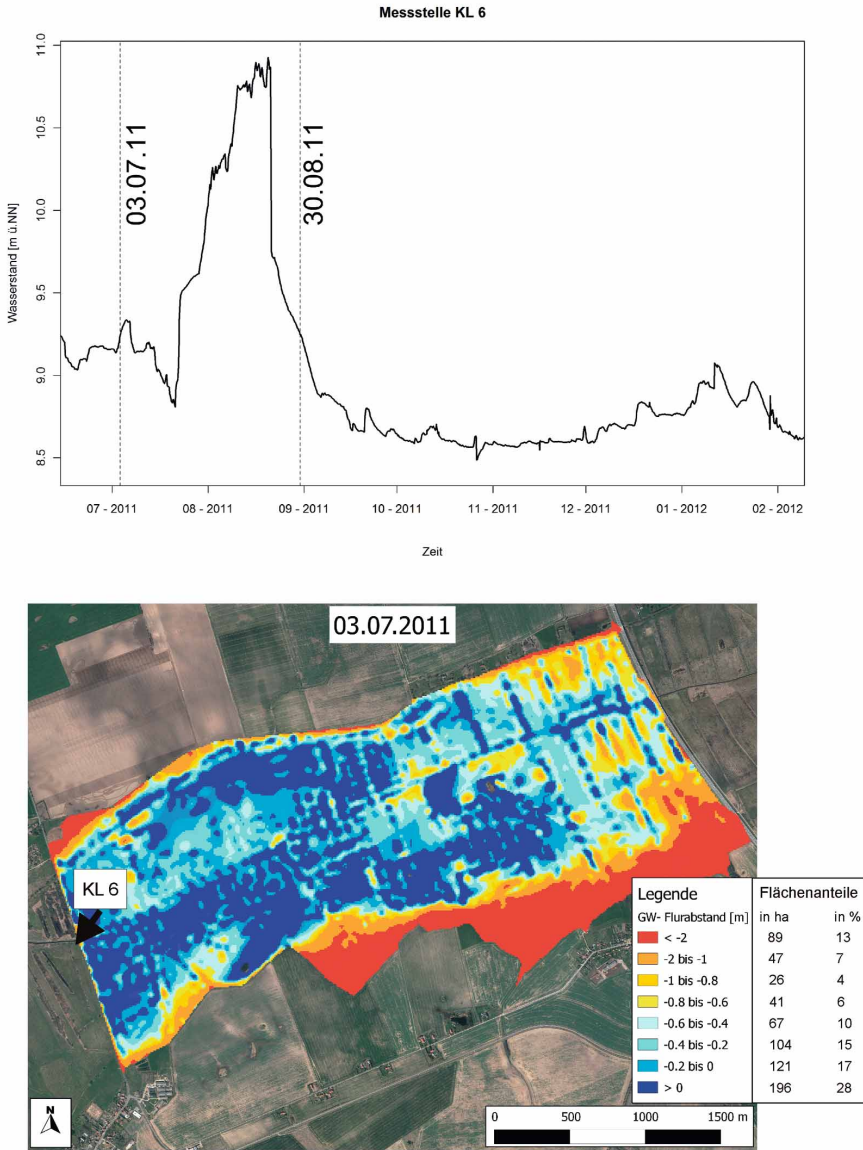


Abb. 3: Wasserstandsschwankung an der Messstelle KL 6 (= „Moorabfluss“) und flächenhafte Darstellung der Grundwasserstände bei einem Pegelstand von 9,24 m HNH an der Messstelle KL 6. Die Berechnungen erfolgten mit dem Statistikprogramm „R“ und dem grafischen Informationssystem „Quantum GIS“.

Water table fluctuations at gauging site KL 6 (= „Mire Outflow“) and extensive image of ground water tables at the water level of 9,24 m above sea level on the gauging site KL 6. The calculations were performed by the statistical device „R“ and the graphic information system „Quantum GIS“.

Kleinen Landgrabentals am 25.06.2012 in Jarmen) würden sich auf etwa 45 % der Gesamtfläche des Kleinen Landgrabentals flurnahe Grundwasserstände (0-20 Tiefe unter Geländeoberkante) bzw. sogar Überstaubedingungen einstellen (Abb. 3). Diese Berechnungen basieren auf den gemessenen Grundwasserständen bei einem Pegelstand am Moorabfluss (KL 6, Abb. 1) von 9,24 m NHN, der u.a. im Juli 2011 vorlag (Abb. 3).

Aus den Aufzeichnungen der Moorwasserstände in den Untersuchungsjahren 2010 bis 2012 und deren modellbasierten Berechnungen lassen sich für das Vernässungspotenzial des Kleinen Landgrabens folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

1. Das Vernässungspotenzial im Kleinen Landgrabental nimmt von der Autobahn (Transekt 3) bis zur Bundesstrasse (Transekt 1) zu (Abb. 1). Im NSG „Waidmannslust“ (Transekt 1) würde bereits eine geringfügige Anhebung der sommerlichen Wasserstände um wenige Dezimeter ausreichen, um ein weiteres schnelles Fortschreiten der Torfmineralisierung einzudämmen und möglicherweise sogar Voraussetzungen für ein erneutes Torfwachstum zu schaffen.
2. Nach Starkniederschlägen ist in Abhängigkeit von der Wassersättigung des Bodens, mit mehrmonatiger Überstauung in großen Teilen des Kleinen Landgrabentals zu rechnen.
3. In Trockenperioden können die Grundwasserstände im Moor aber auch drastisch sinken (bis zu 1 m, siehe Abb. 2). Ohne umfassende hydrologische Änderungen im Kleinen Landgrabental (Rückbau der Entwässerung durch Grabenverschluss, Aussetzen der Grabenentkrautung und/oder Einleiten von Tuchmachergrabenwasser, Entfernung von Dränagen im Moorkörper) lassen sich mittel- bis langfristig dauerhaft keine naturnahen Moorwasserstände im Gebiet einstellen. Wenn sich die Moorwasserstände nur geringfügig erhöhen lassen, kann ein Abtrag des stark degradierten Oberbodens in den oberen Talabschnitten „Transekte 2 und 3“ das Erreichen flurnaher Grundwasserstände unterstützen und gleichzeitig die Nährstofffreisetzung minimiert werden (s. Kap. 3.4 und 3.5).

3.3 Phosphorfreisetzungspotenzial

Ein besonders hohes P-Freisetzungspotenzial wiesen erwartungsgemäß die vererdeten Torfe an der Mooroberfläche (0-30 cm, Abb. 4) auf. Die Werte waren durchschnittlich 100fach höher als in naturnahen Mooren mit schwach zersetzten Torfen (ZAK et al. 2008a). Aber auch in den darunter liegenden Torfen (30-60 cm) wurde teilweise ein erhöhtes P-Freisetzungspotenzial gemessen, was durch den teilweise ebenfalls sehr hohen Zersetzungsgrad der Torfe erklärbar ist.

Für die Gesamtfläche des Kleinen Landgrabentals (ca. 600 ha) ergibt sich aus den Einzelpunktmessungen der Taltransekte ein Gesamt-P-Freisetzungspotenzial für die Bodenschicht von 0 bis 60 cm von rund 223 t wobei etwa 154 t auf die obersten 30 cm entfallen.

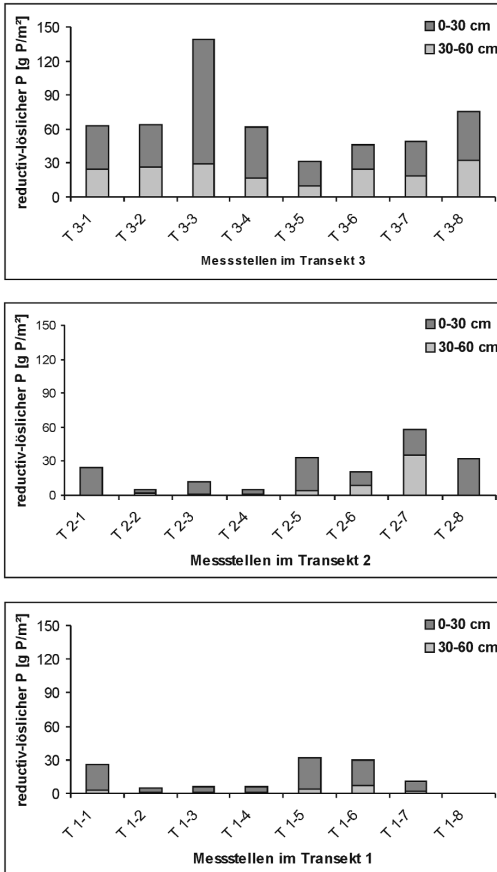


Abb. 4: Phosphormenge, die unter anoxischen Bedingungen im Oberboden (0-30 cm bzw. 30-60 cm) im Falle einer Wiedervernässung potenziell freisetzbar ist. Die Beprobung erfolgte an den Grundwassermessstellen im Kleinen Landgrabental (s. Abb. 1).

Amount of phosphorus which can be mobilised potentially under anoxic conditions in the upper soil layer (0-30cm or 30-60 cm) after peatland rewetting. The peat samples were obtained at gauging sites for groundwater „Kleines Landgrabental“ see Fig. 1).

Diese Menge entspricht rund der 300-fachen der Jahresfracht des Gesamt-P-Austrages aus dem Einzugsgebiet des Kleinen Landgrabentals für das Jahr 2010. Aufgrund der durchschnittlich hohen Fe-P-Verhältnisse der redox-empfindlichen P-Bindungsformen der Torfe von 19 (Schwankungsbereich 2-83, 69 Proben) besteht jedoch nach einer Moorvernässung nur ein geringes P-Austragsrisiko in die angrenzende Tollense (ZAK et al. 2010).

3.4 Einfluss des Oberbodenabtrages auf die Wasserqualität in überstauten Flächen

Welchen Einfluss ein oberflächlicher Abtrag auf die Qualität des Überstauwassers haben könnte, wurde in acht Torfstichen des Kleinen Landgrabentals, des Peenetals sowie in der Märkischen Schweiz (Gumnitz, Land Brandenburg) als „Modellsysteme“ getestet. Der jüngste Torfstich wurde vor 20 Jahren, der älteste vor ca. 90 Jahren angelegt (Tab. 3). In allen Fällen entstanden relativ flache Gewässer mit zunächst unzersetzten Torfen am Gewässergrund, auf dem in der Folgezeit eine Ablagerung limnischer Sedimente erfolgte. Im Vergleich dazu wurden überstaute degradierte Moore ohne Oberbodenabtrag im Peenetal und in der Nuthe-Nieplitz-Niederung südlich von Berlin untersucht. Die im Durchschnitt 20-fach niedrigeren SRP- und etwa 10-fach niedrigeren TP-Konzentrationen in den Torfstichen im Vergleich zu den überstauten degradierten Mooren (Tab. 3) unterstreichen in erster Näherung die Bedeutung eines Oberbodenabtrages zur Minimierung der P-Freisetzung nach einer Moorvernässung mit Überstaubedingungen.

Tab. 3: Konzentrationen gelösten reaktiven Phosphors (SRP) und Gesamtphosphors (TP) im Überstauwasser von Torfstichen im Vergleich zu stark degradierten wiedervernässten Mooren („Sommerwerte“ vom Juli 2012)
Concentrations of dissolved reactive phosphorus (SRP) and total phosphorus (TP) in surface water of peat holes in comparison to heavily degraded rewetted peatlands („summer values“ from July 2012)

Untersuchungs-Gebiete		Alter* in Jahren	Probenahme	SRP in mg/L	TP
Torfstiche als „Referenzgebiete“ für einen Oberboden-abtrag“	Gumnitz (Brandenburg)	22	03.07.12	0,040	0,118
	Kl. Landgraben 8d	28	04.07.12	0,013	0,111
	Gützkow II	ca. 60	03.07.12	0,018	0,060
	Kl. Landgraben 8b	ca. 60	04.07.12	0,005	0,058
	Kl. Landgraben 8c	ca. 60	07.07.12	0,006	0,040
	Werder (Kl. Landgraben)	62	03.07.12	0,007	0,042
	Gützkow I	ca. 80	03.07.12	0,010	0,035
	Mittelwert			0,014	0,066
Überstaute stark Degradierete Moore (ohne Oberboden-abtrag)	Zarnekow	8	25.07.12	0,150	0,170
	Beestland	9	25.07.12	0,236	0,264
	Wendewiesen	10	25.07.12	0,354	0,394
	Menzlin	11	12.07.12	0,173	1,111
	Anklamer Stadtbruch	14	03.07.12	0,106	0,572
	Jargelin Rand	17	12.07.12	0,169	0,536
	Stangenhagen	21	03.07.12	0,600	1,240
		Mittelwert			0,260

*Zeit vom Ende der Torfgewinnung bzw. Überstaualter; *time after cessation of peat extraction or time of inundation, respectively

3.5 Laborversuche zum Stickstoffrückhalt und zur Phosphordynamik

Moore können erheblich zur Senkung der Nitratlast in Oberflächengewässern beitragen (z. B. TREPPEL & KLUGE 2004). Bislang gab es aber kaum Informationen darüber, in welchem Umfang Nitrat aus angrenzenden Agrarflächen in wiedervernässten Mooren in Abhängigkeit von bestimmten Randbedingungen abgebaut und damit zurückgehalten werden kann. Durch die Simulation einer Moorwiedervernässung im Labormaßstab wurde deshalb geprüft, wie sich die in anderen Systemen, z. B. Pflanzenkläranlagen („constructed wetlands“) gut untersuchten Einflussgrößen Substratqualität, Höhe der Nitratbelastung und Temperatur auf den Nitratrückhalt auswirken (Abb. 5). Gleichzeitig wurde die Höhe der N-Freisetzung in Form von Ammonium und gelösten organischen Stickstoffverbindungen als gegenläufige Prozesse des Nitratrückhaltes untersucht. In diesem Versuch wurde außerdem geprüft, wie sich die oben genannten Faktoren auf die Höhe der P-Freisetzung nach einer Moorvernässung auswirken. Aus den bisherigen Erkenntnissen zum Nitratrückhalt in Pflanzenkläranlagen und der Phosphormobilisierung in Mooren wurde erwartet, dass a) der Nitratrückhalt in vererdeten Torfen besonders hoch ausfällt und bei niedrigen Temperaturen abnimmt und b) eine hohe P-Freisetzung nur in den vererdeten Torfen stattfindet.

Die Untersuchungen zeigten sehr deutlich den Einfluss der Torfzersetzung sowie der Temperatur auf den potenziellen Nitratrückhalt unter den simulierten Wiedervernässungsbedingungen (Abb. 6). Bei hoher Nitratbelastung fällt der Nitratrückhalt in mittel zersetzten Torfen stattfindet.

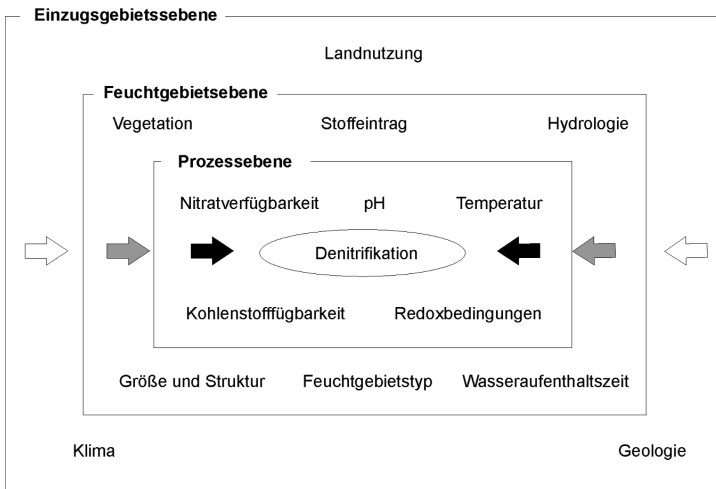


Abb. 5: Faktoren, welche die Denitrifikation auf verschiedenen zeitlichen und räumlichen Skalenebenen beeinflussen (TREPPEL & PALMERI 2002).
 Factors controlling the denitrification in dependence on different time and spatial scales (TREPPEL & PALMERI 2002).

Torfen geringer aus als in den vererdeten Torfen. Bei der simulierten Nitratbelastung von 40 kg N/ha a lag der Nitratrückhalt in den vererdeten Torfen bei $7,9 \pm 1,0$ mg N/m² d und bei der hohen Belastung von 140 kg N/ha a etwa doppelt so hoch bei $19,3 \pm 3,1$ mg N/m² d. Die Höhe des Nitratabbaus überstieg in allen Varianten die N-Freisetzung von Ammonium und gelöstem organischen Stickstoff (DON), welche beim anaeroben Abbau organischer Substanz gebildet werden, um ein Vielfaches (Abb. 6, für DON s. CABEZAS et al. 2012). Gleichzeitig zeigte sich, dass bei hoher Nitratbelastung die P-Freisetzung ins Freiwasser um mehr als eine Größenordnung abnimmt (Abb. 6). Dieses Ergebnis lässt sich durch eine Oxidation von Fe(II)-Verbindungen zu Fe(III)-Hydroxiden als P-Bindungspartner unmittelbar an der Mooroberfläche erklären. Offenbar überkompensiert dieser Prozess der P-Bindung eine erhöhte P-Freisetzung aus dem nitratinduzierten Abbau von organischem Material.

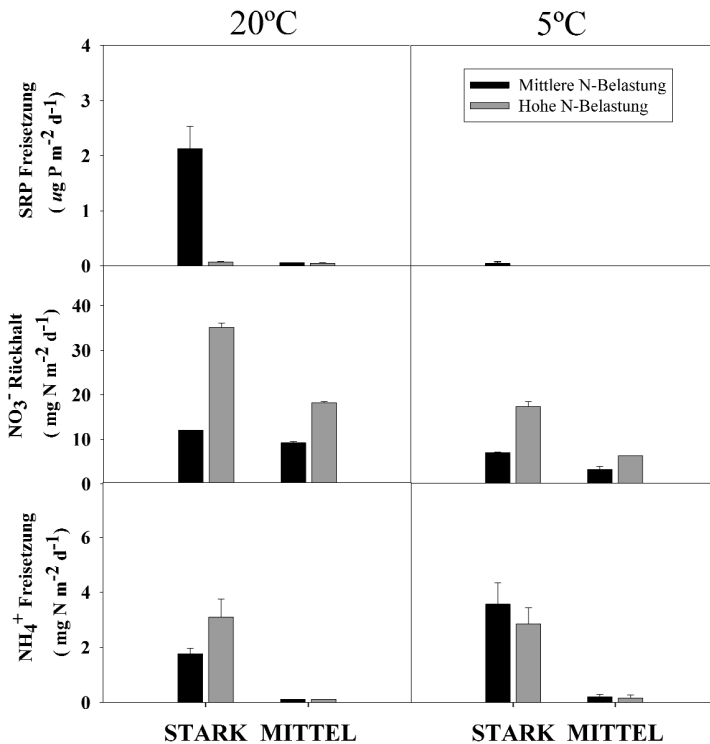


Abb. 6: Nitratrückhalt, Ammonium- und Phosphorfreisetzung in inkubierten Torfen unter Überstaubedingungen (20 °C, 5 °C) in vererdeten Torfen („SARK“) und mittel zersetzten Torfen („MITTEL“) bei mittlerer N-Belastung (40 kg N/ha a) und hoher N-Belastung (140 kg N/ha a). Nitrate retention and release of ammonium and phosphorus in incubated peat samples under in-undated conditions (20 °C, 5 °C) for earthified peat („SARK“) and moderately decomposed peat („MITTEL“) at moderate N load (40 kg N/ha y) and high N Load (140 kg N/ha y).

4. Handlungsempfehlungen zur hydrologischen Umgestaltung des Kleinen Landgrabentals

Aus den Ergebnissen lassen sich für die hydrologische Umgestaltung des Kleinen Landgrabens folgende Schlussfolgerungen ziehen:

1. Das Gebiet des Kleinen Landgrabens mit seinem agrarischen Einzugsgebiet ist für die unterliegenden Gewässer (Tollense, Ostsee) aktuell eine erhebliche Belastungsquelle für Nitrat und Phosphat. Unter vollständig vernässten Bedingungen besitzt das Kleine Landgrabental aber ein hohes Nitratretentionspotenzial. Die hohe diffuse Nährstoffbelastung aus dem angrenzenden agrarisch genutzten Einzugsgebiet lässt sich voraussichtlich nahezu vollständig reduzieren, wenn bei einer hydrologischen Umgestaltung darauf geachtet wird, dass das aus diesen Flächen ablaufende nitratreiche Drän- und Grundwasser durch das Moor sickert bzw. das Moor überrieselt und nicht wie bislang üblich über „Fanggräben“ direkt in den Kleinen Landgraben bzw. in die Tollense über den Tuchmachergraben eingeleitet wird.
2. Der Nitratrückhalt (aber auch die Ammoniumfreisetzung) ist in der oberen Bodenschicht mit stark zersetzten Torfen besonders hoch. In den tiefer liegenden, weniger zersetzten Torfen wird Nitrat ebenfalls in erheblichem Umfang abgebaut. Für die Wiedervernässung bedeutet dies, dass ein oberflächlicher Abtrag der stark degradierten Torfe zur Minimierung einer P- und Methanfreisetzung das Nitratrückhaltevermögen der Moore nur geringfügig einschränkt, sowohl bei Überstau- als auch unter Durchströmungsbedingungen.
3. Mit einer erhöhten internen P-Freisetzung nach einer Moorwiedervernässung ist nur im Oberbodenbereich der stark zersetzten und vererdeten Torfe zu rechnen. Bei hoher Nitratbelastung aus dem mineralischen Einzugsgebiet wird die P-Freisetzung aus den stark zersetzten Torfen ins Freiwasser aber drastisch gesenkt (s. Abb. 6). Insgesamt ist jedoch das Risiko erhöhter P-Austräge in die angrenzenden Gewässer aufgrund der meist günstigen Fe-P-Verhältnisse in den Torfen ($\gg 10$) als gering einzustufen.
4. Durch den Abtrag von bis zu einem Meter Oberboden auf einer Fläche von etwa 9 ha am südöstlichen Zufluss KL 2 kann bis zu 90 % der winterlichen Nitratfracht zurückhalten werden (die Nitratbelastung im Sommer ist nur bei Starkregen relevant). Diese Berechnung berücksichtigt die experimentell ermittelten Daten zum Nitratrückhalt für mittel zersetzte Torfe bei 5 °C und der aufgetretenen durchschnittlichen Nitratlast von 30 kg N/d im Zeitraum von Januar bis April 2012.
5. Auch nach einer hydrologischen Umgestaltung des Kleinen Landgrabengebietes werden im Niedermoor die Wasserstände erhebliche Schwankungen aufweisen. Ursachen sind zum einen das fehlende Oszillationsvermögens des Niedermoors, aber auch die hydrologischen Störungen im Einzugsgebiet des Kleinen Landgrabens. Bei einem Zielwasserstand des Kleinen Landgrabens in Höhe der Bundesstraße 96 von 9,24 m NHN würde sich der in Abbildung 3 dargestellte Wasserstand im Gebiet des Kleinen Landgrabens einstellen. Auch ohne Flachabtorfungen würden bei diesem Szenario knapp 30 % des Niedermoors überstaut.

Vor Einstellung dieses vorläufigen Zielwasserstandes im Kleinen Landgraben von 9,24 m NHN in Höhe der Bundesstraße 96 sollten folgende Maßnahmen umgesetzt werden, um letztlich eine maximale Nährstoffretention zu erzielen:

- Rückbau der Entwässerung durch Grabenverschluss (Einbringen der oberen Bodenschicht aus der Flachabtorfung, welche aufgrund des hohen Zersetzungsgrades eine sehr schlechte Wasserleitfähigkeit aufweist),
- Aussetzen der Grabenentkrautung zur Reduzierung eines schnellen Abflusses,
- Umsetzung von technischen Maßnahmen, die zur Überrieselung oder Durchsickerung des sehr nährstoffreichen Wassers aus dem Tuchmachergraben in Richtung des Kleinen Landgrabens führen,
- Entfernung von noch vorhandenen Dränagerohren im Moorkörper und
- Flachabtorfung auf einer Fläche von etwa 9 ha am südöstlichen Zufluss von KL 2 (siehe oben).

Die zuletzt genannte Flachabtorfung sollte so gestaltet werden, dass eine Unterteilung der Gesamtfläche in mindestens drei Teilflächen erfolgt, die durch Dämme aus abgetragenem Oberboden getrennt und kaskadenartig nacheinander geschaltet werden. Dadurch würde eine mögliche windbedingte Störung des erwünschten Makrophyten- und/oder Röhrichtwachstums entfallen. Gleichzeitig wäre auch die windbedingte Resuspension der neu gebildeten limnischen Sedimente eingeschränkt, wodurch eine dauerhafte C-, N- und P-Festlegung gefördert wird. – Abgetragener Oberboden, der nicht für dammähnliche Aufschüttungen oder für Grabenverschlüsse benötigt wird, kann auf angrenzenden Äckern zur Bodenverbesserung eingesetzt werden (nährstoffreich, enthält ca. 50 % organischen Kohlenstoff, pH-neutral).

Ergänzend wäre zu prüfen, inwieweit sich auf den zumindest zeitweilig überstauten Flächen eine extensive Nutzung durch angepasste Weidetiere (Wasserbüffel) realisieren lässt, um eine langfristige Wertschöpfung in diesem ländlichen Raum zu gewährleisten. In solche Überlegungen sollten auch die Flächen des NSG Waidmannslust einbezogen werden. Eine Überarbeitung der naturschutzfachlichen Zielstellungen des NSG ist daher notwendig.

5. Danksagung

Die Autoren danken den Mitarbeitern des Zentralen Chemielabors des IGB für die Unterstützung bei den umfangreichen Probenahmen, für die zahlreichen Analysen der Wasser- und Feststoffproben sowie dem Land Mecklenburg-Vorpommern für die finanzielle Unterstützung (Projekt-Nr. GF/LUNG/2009/64). Der Universität Greifswald (insbesondere Peggy Steffenhagen und Karsten Parakenigs) ist für die Torfansprachen und für die Unterstützung bei Freilandbeprobungen zu danken. Unser ausdrücklicher Dank gilt gleichermaßen den Landnutzern vor Ort für die uneingeschränkte Erlaubnis zum Betreten und zur

Instrumentierung ihrer Flächen. Weiterhin danken wir dem LUNG Mecklenburg-Vorpommern, den ansässigen Wasser- und Bodenverbänden sowie der Landgesellschaft Mecklenburg-Vorpommern für die Unterstützung bei der Projektdurchführung. Herrn Dr. Rüdiger Mauersberger, Förderverein Feldberg-Uckermärkische Seenlandschaft e.V. und Herrn Michael Zauft, Stiftung NaturSchutzFonds Brandenburg, danken wir für Informationen zu Ergebnissen laufender Moor-Wiedervernässungsprojekte mittels Flachabtorfungen in Brandenburg. Herrn Schmidt danken wir für die wertvollen Informationen zur Hydrologie des Kleinen Landgrabentals.

6. Literaturverzeichnis

- AUGUSTIN, J., MERBACH, W., STEFFENS, L. & SNELINSKI, B. (1998): Nitrous oxide fluxes of disturbed minerotrophic peatlands. – *Agrobiological Research* **51**:1-11.
- BEHRENDT, A., MUNDEL, G. & HÖLZEL, D. (1994): Kohlenstoff- und Stickstoffumsatz in Niedermoorböden und ihre Ermittlung über Lysimeterversuche. – *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung* **35**: 200-208.
- BEHRENDT, H. & BACHOR, A. (1998): Point and diffuse load of nutrients to the Baltic Sea by river basins of North East Germany (Mecklenburg-Vorpommern). – *Water Science and Technology* **38**: 147-155.
- BYRNE, K.A., CHOJNICKI, B., CHRISTENSEN, T.R., DRÖSLER, M., FREIBAUER, A. et al. (2004): EU peatlands: Current carbon stocks and trace gas fluxes. CarboEurope-GHG Concerted Action - Synthesis of the European Greenhouse Gas Budget, Report 4/2004, Specific Study, Tipo-Lito Recchioni, Viterbo, October 2004, ISSN 1723-2236.
- DRÖSLER, M., FREIBAUER, A., ADELMANN, W., AUGUSTIN, J., BERGMANN, L., BEYER, C., CHOJNICKI, B., FORSTER, C., GIEBELS, M., GORLITZ, S., HOPER, H., KANDELHARDT, J., LIEBERSBACH, H., HAHN-SCHÖFL, M., MINKE, M., PETSCHOW, U., PFADENHAUER, J., SCHALLER, L., SCHÄNGER, P., SOMMER, M., THUILLE, A. & WEHRHAN, M. (2011): Klimaschutz durch Moorschutz. Beitrag ausgewählter Schutzgebiete zum Klimaschutz und ihre Monetäre Bewertung in der Praxis, Arbeitsberichte aus dem vTI-Institut für Agrarrelevante Klimaforschung. http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/bitv/dn049337.pdf
- CABEZAS, A., GELBRECHT, J., ZWIRNMANN, E., BARTH, M. & ZAK, D. (2012): Effects of degree of peat decomposition, loading rate and temperature on dissolved nitrogen turnover in rewetted fens. – *Soil Biology and Biochemistry* **48**: 182-191.
- GELBRECHT, J., SCHIEFELBEIN, U., ZAK, D. & LENSCHOW, U. (2011): Schutz der Moore in Mecklenburg-Vorpommern – Stand und Perspektiven. – *Telma Beiheft* **4**: 5-8.
- GELBRECHT, J., ZAK, D. & AUGUSTIN, J. (HRSG.) (2008): Phosphor- und Kohlenstoff-Dynamik und Vegetationsentwicklung in wiedervernässten Mooren des Peenetals in Mecklenburg-Vorpommern – Status, Steuergrößen und Handlungsmöglichkeiten. – *Berichte des IGB* **26**: 1-190.
- GELBRECHT, J. & ZAK, D. (2008): Stoffumsetzungsprozesse in Niedermooeren und ihr Einfluss auf angrenzende Oberflächengewässer. – *DWA-Themen, Dränung* **1**: 70-79.

- HAHN-SCHÖFL, M., ZAK, D., MINKE, M., GELBRECHT, J., AUGUSTIN, J., & FREIBAUER, A. (2011): Organic sediment formed during inundation of a degraded fen grassland emits large fluxes of CH₄ and CO₂. – *Biogeosciences* **8**: 1539-1550.
- LENZ, A., KLEYN, K.P. & GELLER, G. (1992): Freisetzung von Stickstoff und Kohlenstoff durch Niedermoorentwässerung. – *Wasser & Boden* **2**: 61-62.
- MEHL, D., STEINHÄUSER, A., KOCH, F. & KÜCHLER, A. (2009): Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern in Mecklenburg-Vorpommern. – *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* **5**: 336-341.
- PALLASCH, M. (2011): Kohlenstoff- und Nährstoffakkumulation in degradierten, überstauten Niedermooren. – Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, 87 S.
- TREPEL, M. & KLUGE, W. (2004): WETTRANS: a flow-path-oriented decision-support system for the assessment of water and nitrogen exchange in riparian wetlands. – *Hydrological Processes* **18**: 357-371.
- TREPEL, M. & PALMERI, L. (2002): Quantifying nitrogen retention in surface flow wetlands for environmental planning at the landscape-scale. – *Ecological Engineering* **19**: 127-140.
- VERHOEVEN, J. T. A., ARHEIMER, B., YIN, C. Q. & HEFTING, M.M. (2006): Regional and global concerns over wetlands and water quality. – *Trends in Ecology & Evolution* **21**: 96-103.
- ZAK, D. (2008): Dialysesammlertechnik zur Beprobung des anoxischen Moorporenwassers. In: GELBRECHT, J., ZAK, D. & AUGUSTIN, J. (Hrsg.): Phosphor- und Kohlenstoff-Dynamik und Vegetationsentwicklung in wiedervernässten Mooren des Peenetales in Mecklenburg-Vorpommern – Status, Steuergrößen und Handlungsmöglichkeiten. – *Berichte des IGB* **26**: 40-43.
- 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., WAGNER, C. & STEINBERG, C.E.W. (2008a): Evaluation of the phosphorus mobilization potential in re-wetted fens by an improved sequential chemical extraction procedure. – *European Journal of Soil Science* **59**: 1191-1201.
- ZAK, D., STEFFENHAGEN, P., ZWIRNMANN, E. & GELBRECHT, J. (2008b): Wasser- und Feststoffanalytik. – In: GELBRECHT, J., ZAK, D. & AUGUSTIN, J. (Hrsg.): Phosphor- und Kohlenstoff-Dynamik und Vegetationsentwicklung in wiedervernässten Mooren des Peenetales in Mecklenburg-Vorpommern – Status, Steuergrößen und Handlungsmöglichkeiten. – *Berichte des IGB* **26**: 45-47.
- 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. A. Cabezas,
S. Rudnick,
J. Hallermann,
Dr. J. Gelbrecht,
Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei e.V.
Müggelseedamm 301
D-12587 Berlin
E-Mail: zak@igb-berlin.de
acabezas@ymail.com
rudnick@igb-berlin.de
hallermann@igb-berlin.de
gelbr@igb-berlin.de

Manuskript eingegangen am 09. Oktober 2012