

2.3 Nährstoffretention und -freisetzung

Bärbel Tiemeyer¹, Stefan Frank^{1,2}, Dominik Zak³, Jörg Gelbrecht³, Annette Freibauer¹

¹ Thünen Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig (baerbel.tiemeyer@ti.bund.de)

² Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (LBEG), Hannover

³ Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB), Berlin

2.3.1 Einleitung

Naturnahe Moore werden als „Nieren der Landschaft“ bezeichnet, da sie durchströmendem Grund-, Niederschlags- und Oberflächenwasser Nähr- und Schadstoffe entziehen können. In wachsenden Mooren werden diese Stoffe langfristig im Torf oder in limnischen Phasen auch in Mudden (CABEZAS et al., 2014) festgelegt, so dass intakte Moore als Wasserfilter und als Stoffsenke fungieren. Ihre Senkenfunktion beschränkt sich dabei nicht auf Kohlenstoff, sondern umfasst auch Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor sowie Spurenelemente und Schwermetalle.

Durch Entwässerung werden Moore zur Quelle insbesondere von Nitrat, da der Torf mineralisiert und dadurch letztendlich Nitrat gebildet wird (OKRUSZKO, 1989). Nitrat ist gut löslich und wird in großen Mengen mit dem Wasser ausgetragen (BEHRENDT et al., 1996; HOLDEN et al., 2004). Insbesondere gedüngte Hochmoore können Quelle erheblicher Phosphorfrachten sein (KUNTZE & SCHEFFER, 1979; SCHEFFER et al., 1981). Auch gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) wird frei (HOLDEN et al., 2004; FRANK et al., 2014) und kann aquatische Ökosysteme beeinflussen sowie Probleme in der Trinkwasseraufbereitung verursachen.

Durch Wiedervernässung wird angestrebt, die Senkenfunktion der Moore wiederherzustellen. Im Falle von Nitrat ist dies gut möglich (KIECKBUSCH & SCHRAUTZER, 2007); stark degradierte Torfe können jedoch bei der Wiedervernässung Phosphor freisetzen (ZAK et al., 2010). In jedem Falle spielen die hydrologischen Verhältnisse und dabei v.a. die das Moor verlassende Wassermenge eine entscheidende Rolle, da im Torfkörper gemessene Konzentrationen allein nur einen Indikator für den Stoffrückhalt darstellen (TIEMEYER et al., 2005).

Für die Stoffumsetzungen innerhalb des Moores sind neben bodenchemischen Faktoren wie dem pH-Wert v.a. die Sauerstoffverfügbarkeit und der Wasserstand entscheidend; für den Austrag aus dem Moor kommen hydrologisch-topographische Faktoren wie der Abfluss und die Abflusspfade hinzu. Beispielsweise ist für die Auswirkungen eines entwässerten und landwirtschaftlichen genutzten Teilbereichs entscheidend, ob das Sickerwasser direkt über Rohrdräne zum Oberflächengewässer gelangt oder während einer Grundwasserpassage Stoffumsetzungsprozessen (v.a. Denitrifizierung) unterliegt. Aufgrund der Bedeutung lateraler Prozesse sind Vegetationstypen zur Quantifizierung von Stoffausträgen wenig geeignet.

Hauptproblem bei der Bewertung der Nährstoffretention und der Stoffausträge aus Mooren liegt in der oftmals eingeschränkten Datenlage, die eine Ableitung statistischer Zusammenhänge nicht erlaubt. Aus diesem Grund erfolgt die Abschätzung der Nährstofffreisetzung und der Retentionswirkung von Mooren qualitativ anhand von Ampel-Matrizes. Dabei wird zwischen zwei Genauigkeitsstufen unterschieden: Genauigkeitsstufe G1 dient der Relevanzabschätzung (z.B. auf regionaler Ebene). Mit der Matrix der Genauigkeitsstufe G2 kann ein konkretes Gebiet bewertet werden. Die räumliche Einheit der Bewertung ist ein hydrologisch abgrenzbares Teilgebiet. Einzelne

Teilgebiete werden schließlich in einer Gesamtbewertung zusammengeführt (Farbbalken). Die Matrices können sowohl zur Bewertung des Status quo als auch für Szenarien und ex-post Analysen verwendet werden, wenn entsprechende Daten vorliegen.

2.3.2 Ziele und Anwendung der Matrix

Bei der Bewertung wird zwischen der Quellwirkung, d.h. der Nährstofffreisetzung, und der Retentionswirkung unterschieden. Grund für diese Unterscheidung ist, dass jedes Gebiet eine Quelle von Nährstoffen oder gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) sein kann, sich aber nicht jedes Gebiet (z.B. Hochmoore) zur Retention von aus dem Einzugsgebiet über Grund- und Oberflächenwasser eingetragenen Nährstoffen eignet oder überhaupt ein Eintrag von Nährstoffen vernachlässigbar ist. Selbstverständlich findet auch in Hochmooren eine Deposition von v.a. Stickstoff statt, aufgrund der Datenlage und der Komplexität der Erfassungsmethoden wird dieses hier jedoch nicht berücksichtigt. Auch wenn das Nährstoffretentionspotenzial zwischen den Moortypen stark schwankt, ist die Verringerung einer Quellwirkung bei allen Moortypen i.d.R. ein lohnendes Projektziel.

Aufgrund der eingangs erwähnten lückenhaften Datenlage werden nicht alle möglicherweise relevanten Stoffgruppen berücksichtigt. Ammonium und gelöster organischer Stickstoff (DON) finden in der Matrix keine Berücksichtigung, da die derzeitige Datenlage nicht ausreichend ist. Allerdings zeigen Untersuchungen im Niedermoor, dass Belastungsrisiken für Ammonium denen des Phosphors ähneln (ZAK & GELBRECHT, 2007). Eine Bewertung des partikulären Austrags von Kohlenstoff (POC) und Phosphor wird aus den gleichen Gründen nicht vorgenommen. Dieser kann aber auf erosionsanfälligen, d.h. geneigten oder vegetationslosen Standorten, eine bedeutsame Rolle spielen.

Es ist außerdem nicht Ziel der Matrix, die Nährstoffsituation eines Standorts in Hinblick auf die Biodiversitätsentwicklung zu beurteilen. Schilfpolder, „constructed wetlands“ und Paludikulturen sind ebenfalls kein Gegenstand der Bewertungsmatrix.

Mit Hilfe der Genauigkeitsstufe G1 (**Abbildung 1**) kann beurteilt werden, ob derzeit wahrscheinlich hohe Nährstoff- oder DOC-Austräge aus einem Moorgebiet stattfinden oder ob dieses (potenziell) zur Nährstoffretention im Einzugsgebiet beiträgt. Diese Genauigkeitsstufe stellt eine Relevanzprüfung dar, ob genauere Untersuchungen und eventuelle Messungen im Gebiet angebracht sind oder sich ein Projekt mit dem Schwerpunkt Nährstoffretention lohnt. Unter „Relevanz“ verstehen wir in diesem Zusammenhang, dass entweder derzeit hohe Stoffausträge stattfinden, die durch Wiedervernässung (oder andere Maßnahmen) reduzierbar sind, oder dass das Gebiet aktuell oder durch Restaurierungsmaßnahmen eine hohe Retentionswirkung für Nährstoffeinträge aus dem Einzugsgebiet besitzt. Eingangsdaten sind allgemein verfügbare oder einfach erhebbare Parameter. Quellenangaben zur Wahl dieser Parameter und evtl. gewählter Grenzwerte finden sich in der Spalte „Kommentar und Referenzen“ und sind unten aufgeführt.

Die Parameteransprüche für Genauigkeitsstufe G2 (**Abbildung 2**) sind höher und erfordern i.d.R. erste Messungen der Stoffkonzentrationen oder der Bodeneigenschaften. Aufgrund der starken Abhängigkeit der Stoffkonzentrationen von beispielsweise bodenchemischen Parametern ist dies notwendig, um grobe Fehleinschätzungen zu verhindern.

Eine Quantifizierung der Nährstoffausträge (Genauigkeitsstufe G3) ist derzeit nur über Messungen möglich. Diese werden – zusammen mit den weiteren in den Matrices aufgeführten Indikatoren – in Teil III dieses Dokuments beschrieben.

2.3.3 Modellierung der Nährstoffausträge

Eine häufig diskutierte Alternative zur (teuren) Messung der Stoffausträge oder zur Anwendung der hier vorgestellten Matrices besteht in der Anwendung von Modellen. Es existiert eine Anzahl von Modellen für verschiedene räumliche und zeitliche Skalen, die teilweise sehr einfach („Faustzahlen“), teilweise aber auch hochkomplex sind. Auch wenn Modelle auf den ersten Blick den Vorteil bieten, dass mit diesen im Gegensatz zur Anwendung der Matrices eine Quantifizierung der Nährstoffausträge vorgenommen werden kann, ist aus unserer Sicht die Kalibrierung und Validierung an Messdaten notwendig, um Scheingenaugkeiten zu vermeiden. Hier besteht ein deutlicher Unterschied zur Abschätzung von Treibhausgasemissionen, da zu wenige Messdaten für die Entwicklung robuster statistischer Modelle zur Verfügung stehen.

Einfache Faustzahlen leiden ebenfalls unter dem voran genannten Problem mangelnder Datenverfügbarkeit (oder auch an mangelnder Nachvollziehbarkeit der Primärquellen). Daneben werden Stoffausträge häufig maßgeblich durch die hydrologische Dynamik und den Abfluss aus dem Gebiet gesteuert, der in bisherigen Ansätzen wie NEST (Modell zur Abschätzung des Stickstoffaustrages; JOOSTEN et al., 2013) keine Berücksichtigung findet.

Konzeptionelle Modelle umgehen teilweise diese Problematik, haben aber schon einen deutlich höheren Anspruch an Daten aus dem konkreten Gebiet. Falls die notwendigen Eingangsdaten vorhanden sind, kann für die Abschätzung der N-Austräge eine Anwendung von WETTRANS (TREPPEL & KLUGE, 2004) durchaus sinnvoll sein, allerdings ist auch hier ein Abgleich mit Messdaten sinnvoll. Derzeit existieren noch keine einfachen konzeptionellen Modelle für gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) oder Phosphor. Das in JOOSTEN et al. (2013) vorgeschlagene Modell PRisiko ist auf Niedermoore beschränkt; außerdem bleiben wichtige Steuerparameter wie Zersetzungsgrad sowie Eisen- und Phosphorgehalte des Torfes unberücksichtigt. Daneben ist die Herkunft der voreingestellten Parameter nicht dokumentiert, so dass eine Anwendung nicht empfohlen werden kann.

Eine physikalisch-basierte Modellierung des Nährstoffumsatzes und -transports mit Modellen wie SWAP-ANIMO (HENDRIKS et al., 2011; KROES et al., 2008), CoupModel (JANSSON, 2012), SWAT (ARNOLD et al., 1998) oder DRAINMOD-NII (YOUSSEF et al., 2005) ist auf allen Skalenebenen sehr aufwändig und methodisch anspruchsvoll. Beispiele für ihre Anwendung auf Moorstandorte sind in der Literatur kaum zu finden. Der Datenbedarf geht deutlich über die für beide Matrices benötigten Parameter hinaus. Im Einzelfalle – z.B. wenn Klimaszenarien gerechnet werden sollen – kann eine detaillierte Modellierung sinnvoll sein. In diesem Falle ist jedoch das Heranziehen von Experten notwendig.

Abbildung 1: Nährstoffmatrix – Genauigkeitsstufe G1 („Relevanzprüfung“)

NÄHRSTOFFE

Evaluierungs-Matrix für die Relevanz von Flächen innerhalb einer Suchregion oder eines Projektgebietes für Nährstofffreisetzung und Nährstoffretention ("Relevanzprüfung") - geringe Genauigkeit

Genauigkeitsstufe G1

mögliches weiteres Vorgehen nach Nutzung dieser Matrix:

Wenn "aktuelle Quellwirkung" ... :	Gebiet derzeit wahrscheinlich keine Nährstoff- oder DOC-Quelle, Verschlechterung vermeiden	Vorgehen abhängig von Projektzielen und konkreten Fragestellungen, wenn "aktuelle Quellwirkung" UND "Retentionspotenzial" GELB, kann Detailprüfung (Genauigkeitsstufe 2) empfehlenswert sein.	Gebiet derzeit wahrscheinlich Nährstoff- oder DOC-Quelle; Detailprüfung (Genauigkeitsstufe 2) empfehlenswert
wenn "Retentionspotenzial" ... :	Gebiet besitzt hohes Nährstoffretentionspotenzial; Detailprüfung (Genauigkeitsstufe 2) empfehlenswert; Projekt mit Schwerpunkt "Nährstoffretention" kann möglich sein.	"Retentionspotenzial" GELB, kann Detailprüfung (Genauigkeitsstufe 2) empfehlenswert sein.	Wenn derzeit keine starke Quelle weitere Detailprüfung nicht notwendig, Projekt mit Schwerpunkt "Nährstoffretention" nicht empfehlenswert

Parameter	Relevanz als Nährstoffquelle				Kommentar und Referenzen
	Günstig keine Quelle (grün)	Neutral - weniger günstig leichte Quelle (gelb)	Ungünstig - schlecht starke Quelle (rot)	Unbekannt (Daten nicht ausreichend für eine Bewertung)	
Indikatoren Relevanz Stickstoffquelle					
Aktive Rohrdränung vorhanden?	nein	teilweise oder defekt	ja	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Rohrdränung vermindert die Denitrifikationsleistung, da sie einen Kurzschluss zwischen belüftetem Torf und Gewässer darstellt. Dies führt zu hohen Konzentrationen und Frachten (Gerth & Matthey, 1991; Kahle & Tiemeyer, 2014).
Nutzung	vorwiegend nass, keine Nutzung	alle weiteren Landnutzungstypen und Kombinationen	vorwiegend Acker oder Intensivgrünland		
Abfluss aus dem Gebiet	nicht vorhanden oder sehr gering	gering	hoch	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Zur möglichen Verdünnung von Konzentrationen: siehe Genauigkeitsstufe 2.
Ist das Gebiet wahrscheinlich aktuell eine Stickstoffquelle?	naturah (regional moortypisch): Rohrdränung UND Nutzung grün	Das Gebiet ist möglicherweise eine Stickstoff-Quelle: alle weiteren Parameterkombinationen	Das Gebiet ist wahrscheinlich eine starke Stickstoff-Quelle: zwei ODER mehr Parameter rot	Unbekannt. Zwei Parameter "unbekannt"	

Indikatoren Relevanz Phosphorquelle					
Im Gebiet sind eutrophe Flachseen mit aktiver Muddebildung vorhanden	nein	sehr geringer Flächenanteil	ja	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Muddebildung kann Initial- oder Zwischenstadium der Moorbildung sein und langfristige Kohlen- und Nährstoffspeicherung bedeuten (Cabezas et al., 2014). Dennoch sind hohe P-Konzentrationen möglich (Gelbrecht et al., 2008).
Im Gebiet sind überstaute oder sehr nasse stark degradierte Torfe vorhanden	nein	geringer Flächenanteil	ja	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Neben Mudden sind stark degradierte Torfe mögliche P-Quellen (Zak et al., 2010).
Die oben genannten Bereiche sind direkt an weitere Oberflächengewässer angebunden	nein		ja	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	
Hydrogenetischer Moortyp landwirtschaftlich genutzter und gedüngter Flächen			Regenmoor		Kuntze & Scheffer (1979), Scheffer et al. (1981). Aus landwirtschaftlich genutzten und gedüngten, sauren und eisenarmen Niedermoorstandorten sind ebenfalls hohe P-Austräge möglich (Scheffer & Blankenburg, 1983); ohne Kenntnis der Bodeneigenschaften ist eine detaillierte Beurteilung weiterer landwirtschaftlich genutzter Moortypen derzeit nicht möglich.
Ist das Gebiet aktuell eine Phosphorquelle?	naturah (regional moortypisch): alle Parameter grün	Das Gebiet ist möglicherweise eine P-Quelle: alle weiteren Parameterkombinationen	Das Gebiet ist wahrscheinlich eine starke P-Quelle: Flachseen rot ODER Moortyp rot ODER zwei Parameter rot	Unbekannt. Zwei Parameter "unbekannt"	

Indikatoren Relevanz DOC-Quelle					
Nutzung	vorwiegend naturah und nass, keine Nutzung	alle weiteren Landnutzungstypen und Kombinationen	vorwiegend Acker oder Intensivgrünland	wiedervermässt	Frank et al. (2014). In stark degradierten, wiedervermässten Torfen können hohe DOC-Konzentrationen auftreten (Gelbrecht et al., 2008; Schwalm & Zeitz, 2010); ohne Kenntnis der Bodeneigenschaften ist eine detaillierte Beurteilung nicht möglich.
hydrogenetischer Moortyp		alle weiteren Moortypen	vorwiegend Regenmoor		Frank et al. (2014), Schwalm & Zeitz (2011), Tiemeyer & Kahle (2014). Generell ist die Datenlage für DOC-Austräge unter mitteleuropäischen Klimabedingungen sehr begrenzt.
Abfluss aus dem Gebiet	nicht vorhanden oder sehr gering	gering	hoch	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Zur möglichen Verdünnung von Konzentrationen: siehe Genauigkeitsstufe 2.
Ist das Gebiet aktuell eine Quelle von gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC)?	naturah (regional moortypisch): Nutzung grün	Das Gebiet ist möglicherweise eine über das natürliche Maß hinausgehende DOC-Quelle: alle weiteren Parameterkombinationen	Das Gebiet ist wahrscheinlich eine über das natürliche Maß stark hinausgehende DOC-Quelle: zwei ODER drei Parameter rot	Unbekannt: Abschätzungen zum Abfluss unbekannt ODER Nutzung "wiedervermässt".	Auch naturah Moore sind eine DOC-Quelle. Diese werden hier als "grün" eingestuft, ein durch anthropogene Maßnahmen über das natürliche Maß verstärkter DOC-Austrag mit "rot" oder "gelb".

Unterlieger	kein nährstoffarmes Gewässer im Abstrom vorhanden ODER kein Abfluss aus Gebiet ("grün")	nährstoffarmes Gewässer im Abstrom vorhanden UND Abfluss aus Gebiet gelb oder rot	nährstoffarmes sensibles Gewässer im Abstrom vorhanden UND Abfluss aus Gebiet gelb oder rot	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	z.B. oligotrophe oder mesotrophe Seen
Gesamtbewertung der aktuellen Quellwirkung	Stickstoff UND Phosphor UND DOC grün	alle weiteren Kombinationen	Stickstoff ODER Phosphor ODER DOC rot ODER Stickstoff ODER Phosphor gelb und Unterlieger rot	zwei Kategorien ODER mehr „unbekannt“ in Kombination mit grün ODER alle Kategorien „unbekannt“	

Parameter	Relevanz als Nährstoffsinke (Retentionswirkung)				Kommentar und Referenzen
	Günstig hohe Relevanz als Senke (grün)	Neutral - weniger günstig mittlere Relevanz als Senke (gelb)	Ungünstig - schlecht geringe Relevanz als Senke (rot)	Unbekannt (Daten nicht ausreichend für eine Bewertung)	
Indikatoren Relevanz Retentionspotenzial					
hydrogenetischer Moortyp	Überflutungsmoor Durchströmungsmoor Verlandungsmoor	weitere Moortypen	Regenmoor	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	
Größe des Gebietes im Verhältnis zum Einzugsgebiet	groß	mittel	klein	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	
aktuelle Nährstoffeinträge aus dem Einzugsgebiet (Grundwasser, Oberflächenwasser)	hoch ODER potenziell hoch, aber Zustrom nährstoffreichen Wassers wird z.B. derzeit über Fanggräben verhindert.	mittel	niedrig ODER nicht vorhanden	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	
Gesamtbewertung "Retentionspotenzial"	Retentionswirkung hoch: drei Parameter grün ODER aktuelle Nährstoffeinträge grün	Retentionswirkung mittel: alle weiteren Parameterkombinationen	Retentionswirkung niedrig: mindestens ein Parameter rot UND Nährstoffeinträge rot	Unbekannt. Zwei Parameter ODER mehr „unbekannt“	

Abbildung 2: Nährstoffmatrix – Genauigkeitsstufe G2 (semi-quantitative Einschätzung)

NÄHRSTOFFE					
Evaluierungs-Matrix für die Nährstofffreisetzung und Nährstoffretention eines Teilgebiets:					Genauigkeitsstufe G2
mittlere Genauigkeit (semiquantitative Einschätzung)					
- Aufgrund der niedrigen pH-Werte spielen Nitratausträge aus Hochmooren häufig eine untergeordnete Rolle. Der Moortyp wurde jedoch im Falle von Stickstoff nicht als Indikator aufgenommen, da es in genutzten Hochmooren tendenziell zu hohen DON-Austrägen kommt, die in unterliegenden Gewässern mineralisiert werden können.					
Parameter	Funktion als Nährstoffquelle				Kommentar und Referenzen
	Günstig keine Quelle (grün)	Neutral - weniger günstig leichte Quelle (gelb)	Ungünstig - schlecht starke Quelle (rot)	Unbekannt (Daten nicht ausreichend für eine Bewertung)	
Indikatoren Stickstoffquelle					
Grundwasserstand (Sommerhalbjahr)	flumah (oder Überstau)	mittel	tief	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Stickstoffausträge steigen mit sinkendem Grundwasserstand (Behrendt et al., 1996; Scheffer & Tóth, 1979)
Aktive Rohrdränung vorhanden?	nein	teilweise oder defekt	ja	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Rohrdränung vermindert die Denitrifikationsleistung, da sie einen Kurzschluss zwischen belüftetem Torf und Gewässer darstellt. Dies führt zu hohen Konzentrationen und Frachten (Gerth & Matthey, 1991; Kahle & Tiemeyer, 2014).
Nutzung	keine	alle weiteren Landnutzungstypen und Kombinationen	vorwiegend Ackernutzung oder Intensivgrünland	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	
NO ₃ -N Konzentrationen im Poren- oder flachen Grundwasser (Torf) oder im Gebietsabfluss*	unkritisch Gebietsabfluss < 1 mg/L ODER Grundwasser < 4,5 mg/L	Gebietsabfluss: 1 mg/L < NO ₃ -N < 2,5 mg/L ODER Grundwasser: 4,5 mg/L < NO ₃ -N < 11,3 mg/L	Gebietsabfluss: NO ₃ -N > 2,5 mg/L ODER Grundwasser: NO ₃ -N > 11,3 mg/L	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	11,3 mg/L: Grenzwert Trinkwasser-Verordnung 1 und 2,5 mg/L: Gewässergüteklasse I und II (LAWA, 1998) Strengere Werte für Oberflächengewässer, da bei einer Grundwasserpassage mit Denitrifikation zu rechnen ist.
Abfluss aus dem Gebiet	keiner oder sehr niedrig (< 50 mm/a)	gering (50 bis 200 mm/a)	mittel bis hoch (> 200 mm/a)	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Aufgrund der hohen N-Mineralisierung in belüfteten Torfen wird nicht die Produktion, sondern die Denitrifikation und der Transport als limitierend angesehen. Dies wird durch eine positive Korrelation zwischen NO ₃ -Konzentrationen und Abflüssen gestützt (Tiemeyer & Kahle, 2014).
* vorzugsweise im Gebietsabfluss; wenn im Poren- oder (Moor)Grundwasser mindestens 4 Proben pro Jahr an mindestens 3 repräsentiven Messstellen					
ist das Gebiet aktuell eine Stickstoffquelle oder wird das Gebiet nach Maßnahmenumsetzung eine Stickstoffquelle sein?	naturnah (regional moortypisch): mehr als drei Parameter (incl. Konzentrationen) grün ODER mindestens drei Parameter grün UND Konzentrationen "unbekannt"	Das Gebiet ist eine geringe Stickstoff-Quelle: alle weitere Parameterkombinationen	Das Gebiet ist eine starke Stickstoff-Quelle: zwei oder mehr Parameter rot UND Konzentrationen rot ODER "unbekannt"	Unbekannt. Drei ODER mehr Parameter "unbekannt"	
Indikatoren Phosphorquelle					
mittlerer Grundwasserflurabstand	trocken	ständig nass	eutrophe Flachseen mit aktiver Muddebildung vorhanden	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor oder nicht	
Degradierungsgrad Oberboden (0-30 cm)	H1-H6	H7 bis H9	H10, vererdet ODER vermulmt	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Zak et al. (2010)
Fe:P-Verhältnis Oberboden (0-20 cm) ODER Fe:P im Porenwasser	hoch (> 15) hoch (> 15)	mittel mittel	niedrig (< 10) niedrig (< 3)	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Zak et al. (2010)
Nitrat-Konzentrationen im Porenwasser	hoch		niedrig	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Cabezas et al. (2013); Angaben zu exakten Konzentrationsgrenzwerten derzeit nicht möglich.
PO ₄ -P Konzentrationen im Poren- oder flachen Grundwasser (Torf) oder im Gebietsabfluss*	unkritisch Gebietsabfluss < 0,03 mg/L PO ₄ -P ODER Grundwasser < 0,3 mg/L PO ₄ -P	Gebietsabfluss: 0,03 < PO ₄ -P < 0,1 mg/L ODER Grundwasser: 0,3 < PO ₄ -P < 0,8 mg/L	Gebietsabfluss PO ₄ -P > 0,1 mg/L ODER Grundwasser PO ₄ -P > 0,8 mg/L	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Gewässergüteklasse II (0,1 mg/L) (LAWA, 1998)
Abfluss aus dem Gebiet	keiner oder sehr niedrig (< 50 mm/a)	gering (50 bis 200 mm/a)	mittel bis hoch (> 200 mm/a)	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Aufgrund der hohen P-Freisetzung und Konzentrationen (insbesondere im Vergleich zu den LAWA-Grenzwerten) an kritischen Standorten wird diese nicht als limitierend angesehen. In Lysimeterversuchen wurden niedrige P-Austräge in Trockenjahren ermittelt (Kuntze & Scheffer, 1979).
pH-Wert landwirtschaftlich genutzter und gedüngter Moore	pH > 6	4 < pH < 6	pH < 4	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	In gedüngten Hochmooren und an sauren und eisenarmen Niedermoorstandorten sind hohe P-Austräge möglich (Kuntze & Scheffer, 1979; Scheffer et al., 1981; Scheffer & Blankenburg, 1983. Die angegebenen pH-Werte sind Richtwerte, da die Auswirkungen des pH-Werts auf die P-Festlegung kontinuierlich sind.
* vorzugsweise im Gebietsabfluss; wenn im Poren- oder (Moor)Grundwasser mindestens 4 Proben pro Jahr an mindestens 3 repräsentiven Messstellen					
ist das Gebiet aktuell eine Phosphorquelle oder wird das Gebiet nach Maßnahmenumsetzung eine Phosphorquelle sein?	naturnah (regional moortypisch): mehr als drei Parameter (incl. Konzentrationen) grün ODER vier oder mehr Parameter grün UND Konzentrationen "unbekannt"	Das Gebiet ist eine mittlere P-Quelle: alle weitere Parameterkombinationen	Das Gebiet ist eine starke P-Quelle: Fe:P Verhältnis rot UND Degradierungsgrad rot UND Konzentrationen rot ODER "unbekannt" ODER Flachsee rot ODER pH-Wert rot	Unbekannt. Drei ODER mehr Parameter "unbekannt"	
Indikatoren DOC-Quelle					
mittlerer Grundwasserflurabstand	flumah	mittel oder Überstau	trocken	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Frank et al. (2014), Gelbrecht et al. (2008), Schwalm & Zeitz, 2010, Zak et al. (2010). Zur Einschätzung wiedervermässter Standorte sind Bodeneigenschaften notwendig!
Degradierungsgrad Oberboden (0-30 cm)	H1-H4	H5 bis H9	H10 ODER physikalisch gestört (z.B. Einmischung von Sand)	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Frank et al. (2014), Frank et al. (2012), Schwalm & Zeitz (2010), Zak et al. (2010).
Aktive Rohrdränung vorhanden?	nein	teilweise oder defekt	ja	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	
DOC-Konzentrationen im Poren- oder flachen Grundwasser (Torf) oder im Gebietsabfluss*	unkritisch bzw. naturnah: Hochmoor < 50 mg/L; Niedermoor < 30 mg/L	mittel (30 bzw. 50 bis 100 mg/L)	hoch (> 100 mg/L)	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	
Abfluss aus dem Gebiet	keiner oder sehr niedrig (< 50 mm/a)	gering (50 bis 200 mm/a)	mittel bis hoch (> 200 mm/a)	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	Die DOC-Produktion wird nicht als limitierend angesehen.
* vorzugsweise im Gebietsabfluss; wenn im Poren- oder (Moor)Grundwasser mindestens 4 Proben pro Jahr an mindestens 3 repräsentiven Messstellen					
ist das Gebiet aktuell eine DOC-Quelle oder wird das Gebiet nach Maßnahmenumsetzung eine DOC-Quelle sein, die über die Quellwirkung natürlicher Moore hinausgeht?	naturnah (regional moortypisch): mehr als drei Parameter (incl. Konzentrationen) grün ODER mindestens drei Parameter grün UND Konzentrationen "unbekannt"	Das Gebiet ist eine über das natürliche Maß hinausgehende DOC-Quelle: alle weitere Parameterkombinationen	Das Gebiet ist eine über das natürliche Maß stark hinausgehende DOC-Quelle: drei oder mehr Parameter rot UND Konzentrationen rot ODER "unbekannt"	Unbekannt. Drei ODER mehr Parameter "unbekannt" ODER Grundwasserstand "flumah" UND "Degradierungsgrad H10" UND Rest "unbekannt"	Bei wiedervermässten Standorten mit stark degradierten Torfen können sehr hohe DOC-Konzentrationen entstehen (Gelbrecht et al., 2008), deren Auftreten bzw. Austräge nicht ohne die konkrete Kenntnis der Konzentrationen bzw. der Gebietsabflüsse bewertet werden können.
Unterlieger	kein nährstoffarmes Gewässer im Abstrom vorhanden ODER Abfluss aus Gebiet grün	nährstoffarmes Gewässer im Abstrom vorhanden UND Abfluss aus Gebiet gelb oder rot	nährstoffarmes sensibles Gewässer im Abstrom vorhanden UND Abfluss aus Gebiet gelb oder rot	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	z.B. oligotrophe oder mesotrophe Seen
Gesamtbewertung der Quellwirkung	Stickstoff UND Phosphor UND DOC grün	alle weiteren Kombinationen	Stickstoff ODER Phosphor ODER DOC rot ODER Stickstoff ODER Phosphor gelb und Unterlieger rot	zwei Kategorien ODER mehr „unbekannt“ in Kombination mit grün ODER alle Kategorien „unbekannt“	Quellwirkung: was kommt derzeit aus dem Torfkörper selbst? Jedes Gebiet kann eine Quelle sein.
Parameter	Funktion als Nährstoffsenke (Retentionswirkung)				Kommentar
	Günstig hohe Relevanz (grün)	Neutral - weniger günstig mittlere Relevanz (gelb)	Ungünstig - schlecht geringe Relevanz (rot)	Unbekannt (Daten nicht ausreichend für eine Bewertung)	
Indikatoren Senkenwirkung					
hydrogenetischer Moortyp	Überflutungsmoor Durchströmungsmoor Verlandungsmoor	weitere Moortypen	Regenmoor	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	
Größe des Gebietes im Verhältnis zum Einzugsgebiet	groß	mittel	klein	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	
Nährstoffeinträge aus dem Einzugsgebiet (Grundwasser, Oberflächenwasser)	hoch ODER potenziell hoch, aber Zustrom nährstoffreichen Wassers wird z.B. derzeit über Fanggräben verhindert.	mittel	niedrig ODER nicht vorhanden	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor.	
Gesamtbewertung der Senkenwirkung: können und werden in das Moor eingetragene Nährstoffe zurückgehalten oder umgesetzt und kann dies nach Maßnahmenumsetzung der Fall sein?	Retentionswirkung hoch: drei Parameter grün ODER aktuelle Nährstoffeinträge grün	Retentionswirkung mittel: alle weiteren Parameterkombinationen	Retentionswirkung niedrig: mindestens ein Parameter rot UND Nährstoffeinträge rot	Unbekannt. Zwei Parameter ODER mehr „unbekannt“	

2.3.4 Quellen

- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (1998): Large area hydrologic modelling and assessment, Part I: model development. *Journal of the American Water Resources Association* 34(1): 73–89. [\[link\]](#)
- Behrendt, A., Mundel, G., Schalitz, G. & D. Hölzel (1996): 25 Jahre Lysimeterforschung in Paulinenaue und Neukonzipierung der Untersuchungen (1992), ZALF-Berichte 26: 6-27.
- Cabezas, A., Gelbrecht, J. & Zak, D. (2013): The effect of rewetting drained fens with nitrate-polluted water on dissolved organic carbon and phosphorus release. *Ecological Engineering* 53: 79-88. [\[link\]](#)
- Cabezas, A., Pallasch, M., Schönfelder, I., Gelbrecht, J. & Zak, D. (2014): Carbon, nitrogen, and phosphorus accumulation in novel ecosystems: Shallow lakes in degraded fen areas. *Ecological Engineering* 66: 63-71. [\[link\]](#)
- Frank, S., Tiemeyer, B. & Freibauer, A. (2012): Dissolved organic carbon concentrations in bogs under grassland in Northern Germany along gradients in soil organic matter and groundwater depth. In: The 14th International Peat Congress: Peatlands in Balance; Stockholm, Schweden, 3.-8.06.2012. Uppsala, SLU. Extended Abstract No. 232 (6 Seiten).
- Frank, S., Tiemeyer, B., Gelbrecht, J. & Freibauer, A. (2014): High soil solution carbon und nitrogen concentrations in a drained Atlantic bog are reduced to natural levels by 10yr of rewetting. *Biogeosciences* 11: 2309-2324. [\[pdf\]](#)
- Gerth, H. & Matthey, J. (1991): Nährstoffe im Dränwasser. *Betriebswirtschaftliche Mitteilungen der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein* Nr. 41.
- Gelbrecht, J., Zak, D. & Augustin, J. (2008): Phosphor- und Kohlenstoff-Dynamik und Vegetationsentwicklung in wiedervernässten Mooren des Peenetales in Mecklenburg-Vorpommern. *Berichte des IGB 26*, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB), Berlin. [\[pdf\]](#)
- Hendriks, R. F. A., Groenendijk, P., Stolk, P. C., Van den Akker, J. J. H. & Renaud, L. V. (2011): Modelling of greenhouse gas emissions with ANIMO 4.0 Alterra, Wageningen, The Netherlands.
- Holden, J., Chapman, P.J. & J.C. Labadz (2004): Artificial drainage of peatlands: hydrological and hydrochemical process and wetland restoration. *Progress in Physical Geography* 28: 95-123. [\[link\]](#)
- Jansson, P.-E. (2012): COUPModel: Model use, calibration and validation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Transactions* 55: 1335-1344. [\[link\]](#)
- Joosten, H., Brust, K., Couwenberg, J., Gerner, A., Holsten, B., Permien, T., Schäfer, A., Tannenberger, F., Trepel, M. & Wahren, A. (2013): MoorFutures: Integration von weiteren Ökosystemdienstleistungen einschließlich Biodiversität in Kohlenstoffzertifikate - Standard, Methodologie und Übertragbarkeit in andere Regionen. *BfN-Skripten 350*, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg. [\[pdf\]](#)
- Kieckbusch, J.J. & J. Schrautzer (2007): Nitrogen and phosphorus dynamics of a re-wetted shallow-flooded peatland. *Science of the Total Environment* 380: 3-12. [\[link\]](#)
- Kroes, J. G., van Dam, J. C., Groenendijk, P., Hendriks, R. F. A. & Jacobs, C. M. J. (2008): SWAP version 3.2. Theory description and user manual, Alterra, Wageningen, The Netherlands. [\[pdf\]](#)
- Kuntze, H. & Scheffer, B. (1979): Die Phosphatmobilität in Hochmoorböden in Abhängigkeit von der Düngung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 142: 155-168. [\[link\]](#)
- LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, Hrsg.) (1998): Bewertung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland – chemische Gewässergüteklassifikation, Kulturbuchverlag Berlin GmbH, Berlin.
- Okruszko, H. (1989): Wirkung der Bodennutzung auf die Niedermoorbodenentwicklung, Ergebnisse eines langjährigen Feldversuches. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung* 30: 167-176.
- Scheffer, B. & Tóth, A. (1979): Der Einfluss der Grundwasserhöhe auf die Stickstoffumsetzungen in Niedermoorböden. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 29: 635-640.
- Scheffer, B., Kuntze, H. & Bartels, R. (1981): Zum Phosphoraustrag aus mit Gülle gedüngtem Hochmoorboden. *Landwirtschaftliche Forschung, Sonderheft* 38: 288-297.

- Scheffer, B. & Blankenburg, J. (1983): Phosphorausstrag aus Niedermoorböden – Ergebnisse eines Lysimeterversuchs ohne Pflanzenbewuchs. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 146: 275-284. [\[link\]](#)
- Schwalm, M. & Zeitz, J. (2011): DOC-Bildung und -Austrag in Mooren – ein Literaturüberblick. TELMA 41: 137-154.
- Tiemeyer, B. & Kahle, P. (2014): Nitrogen and dissolved organic carbon (DOC) losses from an artificially drained grassland on organic soils. Biogeosciences 11: 4123-4137. [\[pdf\]](#)
- Tiemeyer, B., Lennartz, B., Schlichting, A. & Vegelin, K. (2005): Risk assessment of the phosphorus export from a re-wetted peatland. Physics and Chemistry of the Earth 30: 550-560. [\[link\]](#)
- 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. [\[link\]](#)
- Youssef, M.A., Skaggs, R.W., Cheischeir, G.M. & Gilliam, J.W. (2005): The nitrogen simulation model, DRAINMOD-N II. Transactions of the ASAE 48(2): 1–16.
- 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. [\[link\]](#)
- Zak, D., Wagner, C., Payer, B., 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. [\[link\]](#)

Zitiervorschlag:

Tiemeyer, B., Frank, S., Zak, D., Gelbrecht, J. & Freibauer, A. (2015): Nährstoffretention und -freisetzung. In: Tiemeyer, B., Bechtold, M., Belting, S., Freibauer, A., Förster, C., Schubert, E., Dettmann, U., Fuchs, D., Frank, S., Gelbrecht, J., Jeuther, B., Laggner, A., Rosinski, E., Leiber-Sauheitl, K., Sachteleben, J., Zak, D. & Drösler, M.: Instrumente und Indikatoren zur Bewertung von Biodiversität und Ökosystemleistungen von Mooren, Braunschweig. URL: <http://www.moorschutz-deutschland.de/index.php?id=237>

Die Publikation „Instrumente und Indikatoren zur Bewertung von Biodiversität und Ökosystemleistungen von Mooren“ wurde im Rahmen des vom Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit geförderten F+E-Vorhabens "Moorschutz in Deutschland - Optimierung des Moormanagements in Hinblick auf den Schutz der Biodiversität und der Ökosystemleistungen" (FKZ: 3511 82 0500) erarbeitet.

