

Zur Bedeutung von Mooren in der Klimadebatte

➤ **Michael Trepel**

Einleitung

In der Klimadebatte werden neben den Ursachen für den Klimawandel auch Anpassungs- und Vermeidungsstrategien gesucht (ZIEGLER 2008). Bei der Bewältigung dieser Zukunftsaufgabe (JESSEL 2008) geraten auch Moore ins Blickfeld der Akteure. Dieser Blick ist facettenreich, weil die mit den Begriffen „Moor“ und „Klima“ verbundenen Konzepte in diversen Beziehungen zueinander stehen: Moore wachsen nur unter bestimmten Klimabedingungen, gleichzeitig emittieren sie klimawirksame Spurengase und speichern Kohlenstoff. Ihre Quellen- oder Senkenwirkung wird maßgeblich durch die hydrologischen Verhältnisse sowie die Landnutzung bestimmt. Über die Verdunstung wirken Moore zudem kühlend auf das Klima in ihrer Umgebung.

In diesem Beitrag werden die wichtigsten Aspekte zur Bedeutung von Mooren und Moorböden in der Klimadebatte erläutert. Diese Informationen dienen dazu, die Erarbeitung klima- und umweltfreundlicher Nutzungs- und Entwicklungskonzepte für Moore und Moorböden in Schleswig-Holstein zu unterstützen.



Hydrologisch unbeeinflusste Moore wie hier in Finnland bilden aufgrund ganzjährig hoher Wasserstände Torf. Moore und Moorböden bedecken weltweit nur etwa 3 % der Landoberfläche; trotzdem erfüllen sie wichtige Funktionen im globalen Kohlenstoffkreislauf und tragen zur Regulierung der Wasser- und Nährstoffflüsse in ihren Einzugsgebieten bei. Nicht zuletzt bieten sie aufgrund ihrer nassen und häufig nährstoffarmen Bedingungen einer Vielzahl von Tieren und Pflanzen Lebensraum.

Begriffsdefinitionen

Die Bedeutung von Mooren in der Klimadebatte beruht auf ihrer Fähigkeit, unter naturnahen hydrologischen Verhältnissen Kohlenstoff zu akkumulieren, beziehungsweise bei Entwässerung freizusetzen. Um die Unterschiede zwischen wachsenden und entwässerten Systemen sprachlich auseinander zuhalten, werden die Begriffe „**Moor**“ und „**Moorboden**“ in Analogie zu den im Englischen gebräuchlichen und international in ihrer Definition abgestimmten Begriffen „*mire*“ und „*peatland*“ (JOOSTEN & CLARKE 2002, JOOSTEN 2008) verwendet. Der Begriff „**Moor**“ bezeichnet torfbildende Landschaftseinheiten. Solche „wachsenden“ Moore sind an dem Vorkommen moortypischer Pflanzengesellschaften wie Torfmoosrasen, Groß- und Kleinseggenrieder, Braunmoosrasen oder Bruchwälder erkennbar. Der Begriff „**Torf**“ bezeichnet ein Bodensub-

strat, welches nach der deutschen bodenkundlichen Definition einen Anteil an organischer Substanz von mehr als 30 % hat. In Abhängigkeit von der Nährstoffversorgung (Trophie) und dem Säure-Basenverhältnis im Oberboden (pH-Wert) wachsen an einem Standort unterschiedliche Pflanzengesellschaften, die wiederum unterschiedliche Torfarten bilden. Der Begriff „**Moorboden**“ bezeichnet nach deutscher bodenkundlicher Nomenklatur Böden mit einer Torfschicht im Oberboden, die mindestens 30 cm stark ist. Moorböden können sowohl torfbildend als auch torfzehrend sein. Die engen Wechselbeziehungen zwischen Vegetation, Wasserhaushalt und Torfen prägen die Funktionen von Mooren im Kohlenstoffhaushalt, bei der Regulation von Wassermenge und -güte sowie deren Arten und Lebensraumvielfalt (Abbildung 1).

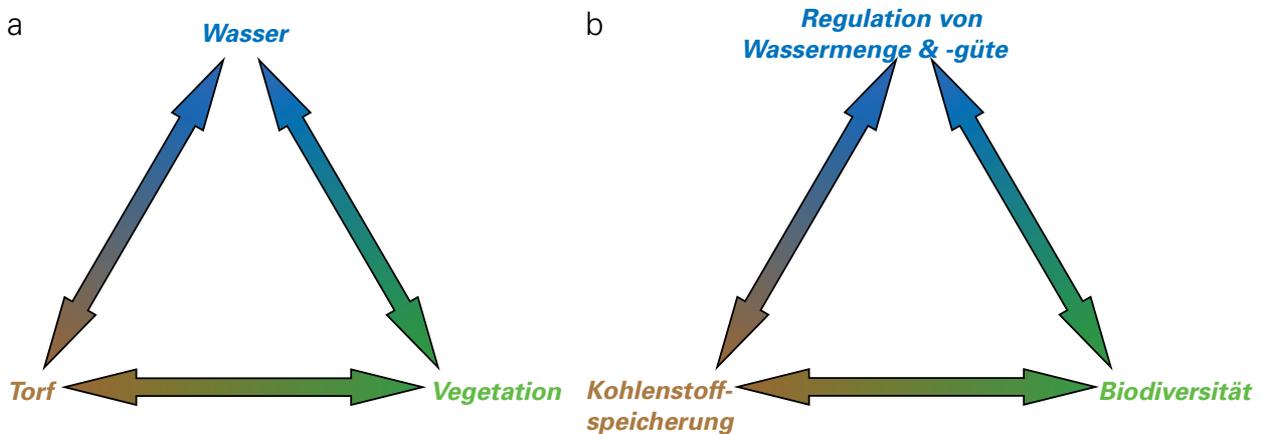


Abbildung 1: Wechselbeziehungen zwischen Vegetation, Wasser und Torf in einem Moor (a) und die sich daraus ergebenden Funktionen (b) (Quelle: JOOSTEN 2008).

Im allgemeinen wird zwischen regenwassergespeisten **Hochmooren** und grund- oder oberflächenwassergespeisten **Niedermooren** unterschieden. Hochmoore sind aufgrund der chemischen Zusammensetzung des Regenwassers nährstoffarme, saure Lebensräume. In Niedermooren dagegen werden die Standorteigenschaften durch die chemische Beschaffenheit der anströmenden Grund- und Oberflächenwässer bestimmt, sie umfassen sowohl den Alkalinitätsgradienten von sauren bis hin zu basenreichen Standorten als auch den Trophiegradienten von nährstoffarmen bis zu nährstoffreichen Verhältnissen (Succow & JOOSTEN 2001).

International werden für die Definition von Torfen und Moorböden unterschiedliche Kennwerte verwendet, so dass bereits die Angabe einer weltweiten Moorbodenfläche aufgrund definitorischer Probleme unsicher ist.

Bedeutung von Moorböden in der Klimadebatte

Moorböden haben in der Klimadebatte eine weltweite Bedeutung als Kohlenstoffspeicher und Kohlenstoff-Senke. Obwohl Moorböden weltweit auf nur etwa 400 Millionen ha beziehungsweise etwa 3 % der Landoberfläche vorkommen, speichern sie etwa 450 bis 500 Gt (Gigatonnen) Kohlenstoff in Form von Torf in ihren Böden (JOOSTEN & CLARKE 2002, BRIDGHAM et al. 2006, PARISH et al. 2008). Dieser **Kohlenstoffvorrat** entspricht etwa einem Drittel der insgesamt in Böden gebundenen Kohlenstoffvorräte, knapp Zweidrittel der in der Atmosphäre vorkommenden Vorräte und etwa Vierfünftel der in der Biomasse der Landpflanzen gebundenen Kohlenstoffvorräte (Tabelle 1; WBGU 2003). Moore und Moorböden kommen in nahezu jedem Land der Erde vor, dennoch haben sie ihre Verbreitungsschwerpunkte in kühlen niederschlagsreichen Regionen der Nord- und Südhemisphäre und in Gebirgen, sowie in den niederschlagsreichen Tropen.

Tabelle 1: Kohlenstoffvorräte in Gigatonnen (Gt C) für unterschiedliche Systemkompartimente des Kohlenstoffkreislaufs

System	Kohlenstoffvorräte [Gt C]	Anteil C in Moorböden %	Quelle
Böden	1.500	~ 30 %	1
davon Moorböden	462	100 %	2
Landpflanzen	560	~ 80 %	1
Atmosphäre	750	~ 60 %	1
Ozean	38.000		1
Marines Plankton	3		1

1: WBGU 2003; 2: BRIDGHAM et al. 2006

Weltweit wird geschätzt, dass wachsende Moore etwa 150 – 250 Mio. Tonnen CO₂ jährlich als Torf speichern (JOOSTEN 2006). Die aktuelle CO₂ Festlegung in wachsenden Mooren gleicht die Methanemissionen aus. Daher **wird die Klimawirkung von Mooren** bei dem in der Klima-Debatte üblichen Zeithorizont von 100 Jahren **als neutral eingeschätzt**. Auf längere Sicht wirken Moore kühlend auf das Klima. In der Klimadiskussion sind Moore aber nicht nur aufgrund ihrer enormen Kohlenstoffvorräte, sondern vor allem auch wegen der Vernichtung ihrer Kohlenstoffvorräte von globaler Bedeutung. Torfbrände in Südostasien haben den stärksten Anstieg der CO₂-Emission in der Atmosphäre in den letzten Jahren verursacht (PAGE et al. 2002; RIELEY et al. 2008). Entwässerte Moorböden in Nordamerika und Europa sind ein weiterer 'hot spot' für die Emission klimawirksamer Spurengase (HOOIJER et al. 2006).

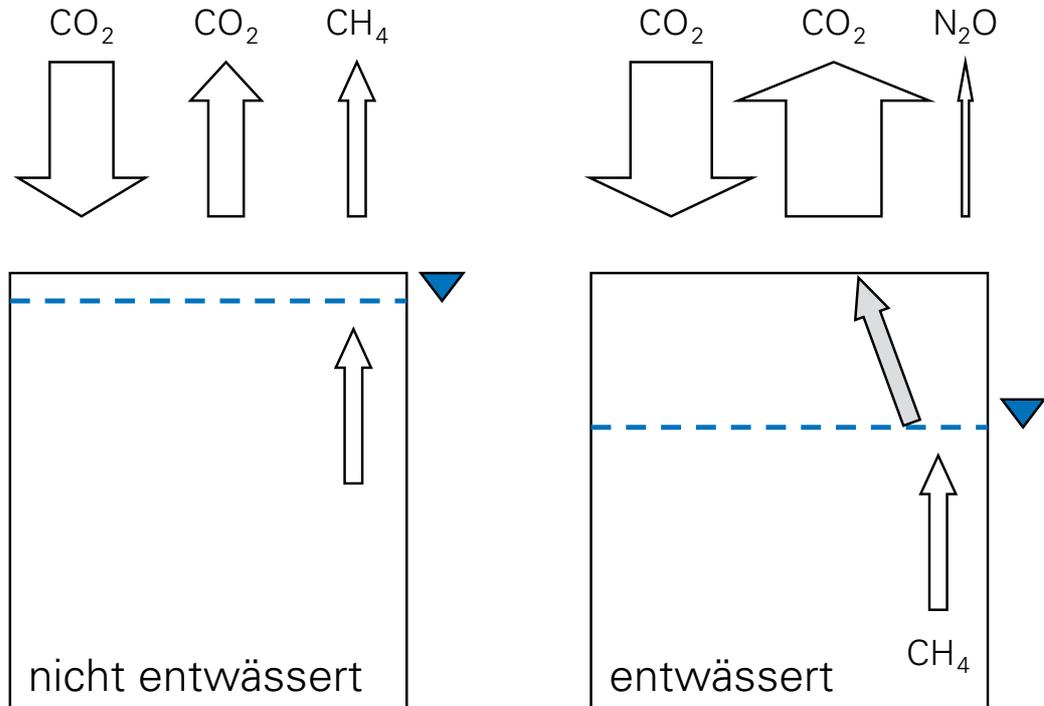
Gasaustausch in Moorböden

Wie jedes Ökosystem stehen auch Moorböden in einem ständigen Gasaustausch mit der Atmosphäre, die daran beteiligten biogeochemischen Prozesse werden in ihrer Intensität unter anderem von den Feuchteverhältnissen im Boden, der Temperatur, den pH-Werten, der Einstrahlung aber auch der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre beeinflusst. Moore bilden Torf, wenn die jährliche Biomasseproduktion der Vegetation größer ist als der mikrobielle Abbau im Boden (Abbildung 2). An nassen, wassergesättigten Standorten herrschen meist sauerstofffreie (anaerobe) und reduzierende Verhältnisse vor. Unter diesen chemischen Bedingungen laufen Abbauprozesse nur langsam ab, so dass die Torfbildung be-

günstigt wird. Die Vegetation nimmt über die Photosynthese Kohlendioxid und Sauerstoff aus der Atmosphäre auf und baut diese Gase zu organischen Kohlenstoffverbindungen um. Bei diesem Umbau wird ein Teil der Kohlenstoffverbindung als CO₂ über die aerobe Respiration veratmet und wieder an die Atmosphäre abgegeben. Der größte Teil der Verbindungen verbleibt aber in der organischen Biomasse. Stirbt diese Biomasse ab, wird sie von Mikroorganismen abgebaut. Solange die Biomasse unter aeroben Bedingungen abgebaut wird, erfolgt dieser Abbau relativ rasch, wobei wieder Kohlendioxid entsteht. Unter anaeroben Bedingungen in der wassergesättigten Zone erfolgt der Abbau verlangsamt, wobei Methan entsteht. Torfbildende Moore nehmen aufgrund der hohen Wasserstände mehr CO₂ auf, als sie über Respiration abgeben, gleichzeitig geben sie Methan ab.

Bei Entwässerung wird der Wasserstand im Bodenprofil abgesenkt und die aerobe Zone vergrößert sich. Durch die Belüftung wird die in der Vergangenheit akkumulierte organische Substanz rascher abgebaut, so dass die Kohlendioxidemissionen zunehmen. Methan, welches innerhalb der sauerstofffreien Zone weiterhin gebildet wird, wird meist bei der Passage durch die aerobe Zone zu Kohlendioxid oxidiert, so dass die Methanemissionen entwässerter Standorte zum Erliegen kommen. An entwässerten Standorten wird darüber hinaus auch N₂O als Zwischenprodukt der Denitrifikation emittiert, wobei als Gründe für die zeitweise auftretende N₂O Bildung zum einen eine erhöhte Nitrifikation nach Frieren und Auftauen und zum anderen die Düngung als zusätzliche Stickstoffquelle diskutiert werden (VAN BEEK et al. 2004; JUNGKUNST et al. 2006).

Abbildung 2:
Emissionen klima-
relevanter Spurengase aus nicht entwässerten und entwässerten Moorböden. Die blau gestrichelte Linie zeigt den abgesenkten Wasserstand, der graue Pfeil steht für die Umwandlung des unter anaeroben Verhältnissen gebildeten Methans zu CO_2



Kohlenstoffspeicherung in Mooren

Langfristig betrachtet wachsen Moorböden im Schnitt etwa $1 \pm 0,8$ mm im Jahr in die Höhe (IMMIRZI et al. 1992; TOLONEN & TURUNEN 1996). Die hohe Standardabweichung weist auf die erhebliche Streuung der Messwerte hin, weil das Torfwachstum neben klimatischen und standörtlichen Faktoren auch von der Art der torfbildenden Vegetation abhängt. Durch die Torfbildung (s. o.) wird der Atmosphäre dauerhaft Kohlenstoff entzogen, weil der als Torf festgelegte Kohlenstoff unter anaeroben Bedingungen von den meisten biogeochemischen Prozessen entkoppelt ist (Abbildung 3). Moore werden daher in der Klimadebatte als Senkensysteme bezeichnet. Im Gegensatz zu Wäldern, deren Senkenwirkung spätestens mit Erreichen des Klimaxstadiums begrenzt ist, in dem sich Wachstum und Abbau die Waage halten, wirken torfbildende Moore dauerhaft als kontinuierliche Senke, sofern die Klimabedingungen eine weitere Torfbildung ermöglichen.

Bei der Kohlenstoffspeicherung wird zwischen der **aktuellen** und der **langfristigen Kohlenstoffanreicherungsrate** unterschieden. Die aktuelle Rate ist das Ergebnis aus Photosynthese und mikrobieller Atmung, sie wird zum Beispiel über Gaswechselfmessungen oder ökophysiologische Untersuchungen (KUTSCH et

al. 2008) bestimmt. In der Klimadebatte ist aber die langfristige Kohlenstoffspeicherung von größerer Bedeutung, weil dieser Wert auf den im Torf akkumulierten Stoffvorräten basiert und Abbauprozesse mit berücksichtigt werden, denen die organische Biomasse beim Übergang von der aeroben (Acrotelm) in die anaerobe (Katotelm) Zone unterliegt. Die langfristige Kohlenstoffanreicherung wird aus datierten Torfproben und deren Kohlenstoffgehalten errechnet. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die langfristige Kohlenstoffanreicherung typischer Torfarten beziehungsweise Vegetationseinheiten. Danach speichern torfbildende Vegetationseinheiten langfristig zwischen 0,15 und 1,3 t Kohlenstoff pro Hektar und Jahr.

Aus Untersuchungen in finnischen Mooren ist bekannt, dass Niedermoore etwa $0,15 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und Hochmoore etwa $0,24 \text{ t Kohlenstoff ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ langfristig speichern, die Speicherraten nehmen dabei nach Norden hin ab (TOLONEN & TURUNEN 1996). Untersuchungen an naturnahen Mooren in Mecklenburg-Vorpommern bestätigen diese Zahlen tendenziell; sie zeigen aber auch, dass einige Vegetationseinheiten wie Erlen-Bruchwälder oder Braunmoosrasen besonders hohe langfristige Kohlenstoffakkumulationsraten aufweisen können (PRAGER et al. 2006).



Abbildung 3: Torf bildet sich, wenn durch Wassersättigung die jährlich produzierte Biomasse nicht vollständig abgebaut werden kann. In Torfen sind etwa ein Drittel der terrestrischen Kohlenstoffvorräte gespeichert (Foto: Bettina Holsten).

Tabelle 2: Langfristige Kohlenstoffakkumulation (LORCA) unterschiedlicher Torfarten

Torfart	Vegetationstyp	Wiederherstellbarkeit	LORCA (t C ha ⁻¹ a ⁻¹)	Quelle
Erlenbruchwaldtorf	Sehr nasser Erlenbruchwald	Mittelfristig	0,13 – 1,10	1
Erlenbruchwaldtorf (stark zersetzt)	Nasser Erlenbruchwald	Mittelfristig	0,28 – 1,27	1
Seggen-Braunmoostorf	Moosreiche Kleinseggenrieder	Langfristig	0,22 – 1,64	1
Seggentorf	Seggenried	Mittelfristig	0,24 – 0,38	1
Schilftorf	Schilfröhricht	Kurzfristig	0,75	1
Torfmoos-Torf	Torfmoosrasen	Langfristig	0,14 – 0,72	1
Torfmoos-Torf	Torfmoosrasen	Langfristig	0,89	1
Hochmoor	Finnland		0,24	2
Niedermoor	Finnland		0,15	2
Moore	Global		0,48 – 0,71	

1: PRAGER et al. 2006; 2: TOLONEN & TURONEN 1996

Erlenbruchwälder, Seggenrieder oder Schilfröhrichte sind auch kurz- bis mittelfristig durch Restitutionsmaßnahmen wieder herstellbar. Voraussetzung ist, dass die Wasserstände nach Vernässung sich in Geländehöhe befinden. Erfahrungen in der Restitution und Etablierung von Braunmoos-Seggenriedern oder Torfmoosrasen zeigen, dass diese Vegetati-

onseinheiten langfristig ebenfalls wieder herstellbar sind. Neben den hydrologischen Bedingungen müssen dafür aber auch die trophischen Bedingungen (Nährstoffversorgung) an die Ansprüche der Vegetationseinheiten angepasst werden. Letzteres gestaltet sich in der mit Nährstoffen überversorgten Kulturlandschaft Mitteleuropas zunehmend schwieriger.

Klimawirksamkeit von Moorböden

Um die Klimawirksamkeit von Ökosystemen zu ermitteln, müssen über einen Zeitraum von mindestens einem Jahr Spurengasflüsse zwischen der Atmosphäre und dem Boden der klimarelevanten Spurengase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) gemessen werden. Diese Spurengasflüsse können mit unterschiedlichen Messsystemen wie Hauben, Kammern oder Eddy-Covariance Methoden bestimmt werden (ALM et al. 2007b). Durch die Auswertung und Gruppierung dieser Daten hinsichtlich der Emissionen typischer Boden-Nutzungskombinationen in einer Klimaregion werden Emissionsfaktoren bestimmt, die zum Beispiel bei der Bilanzierung in den nationalen Inventarberichten verwendet werden können. In Tabelle 3 sind die Emissionsfaktoren für Moorböden Europas nach BYRNE et al. (2004) wiedergegeben, die Emissionsfaktoren anderer Zusammenstellungen (HÖPER 2007; ALM et al. 2007a; STRACK 2008; DRÖSSLER et al. 2008) bewegen sich in ähnlicher Größenordnung. Die Emissionsfaktoren sind bezogen auf Kohlenstoff beziehungsweise Stickstoff angegeben, zur Berechnung der Klimawirksamkeit müssen diese Werte mit Kohlendioxid-Äquivalenten umgerechnet werden. Nach diesen Daten sind die Emissionen aus Niedermoorböden aufgrund der leichter abbaubaren

organischen Substanz bei gleicher Nutzung höher als bei Hochmoorböden. Die Klimawirksamkeit nimmt dabei in der Reihenfolge naturnahe Standorte < Forsten < Grünland < Acker zu (Abbildung 4). Nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen wirkt der naturnahe Standort in Rzecin (Polen) als eine Senke für Treibhausgase, die übrigen naturnahen Standorte haben eine ausgeglichene Klimabilanz oder wirken als leichte Quelle.

Grundsätzlich sind alle Emissionsfaktoren für Boden-Nutzungskombinationen mit hohen Unsicherheiten behaftet, weil die Anzahl der Messpunkte je Kombination und die Messzeiträume gering sind. Die Faktoren weisen aber auf die relativen Größenordnungen der Spurengasflüsse bei unterschiedlichen Nutzungen und Entwässerungstiefen hin (SIRIN & LAINE 2008). Um diese Unsicherheit zu verkleinern, werden in Deutschland und Europa in diversen Verbundprojekten die Spurengasemissionen unterschiedlich genutzter Niedermoorböden mit einheitlichen Methoden erneut bestimmt, um so mittelfristig zu einer besseren Datengrundlage für die Bilanzierung zu kommen (DRÖSSLER et al. 2008). Aus diesen Untersuchungen wird eine bessere Einschätzung der Klimawirksamkeit von Grünlandstandorten erwartet.

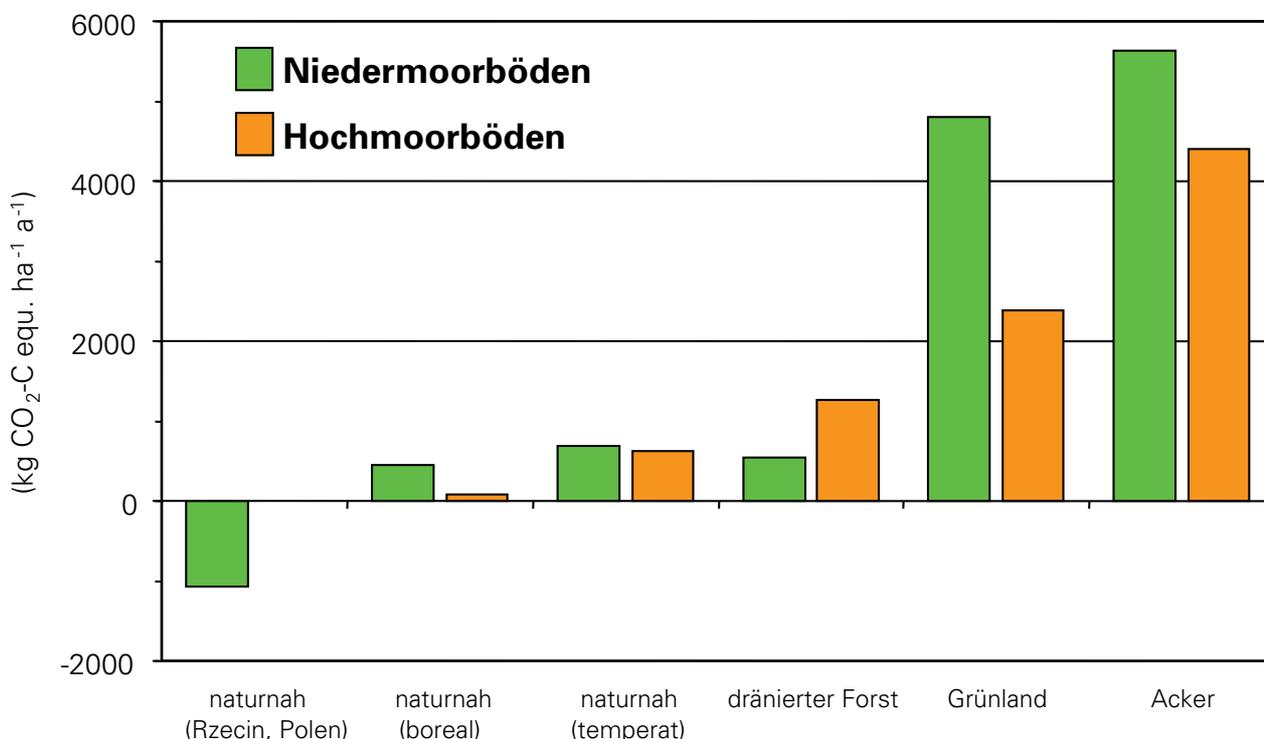


Abbildung 4a: Die Klimawirksamkeit von Moorböden wird von den Entwässerungstiefen, der Landnutzung und den Torfarten bestimmt (Daten: BYRNE et al. 2004)



Abbildung 4b:
Die Nutzung – besonders von Niedermoorböden – als Grünland hat eine deutlich stärkere Klimawirksamkeit als im naturnahen Zustand, ist unter diesem Gesichtspunkt aber noch besser als die Ackernutzung

Tabelle 3: Emissionsfaktoren von Moorböden in Europa nach BRYNE et al. (2004)

System		Spurengasemissionen			Klimawirksamkeit
		CO ₂ -C Wirksamkeit 100 a (kg C ha ⁻¹ a ⁻¹)	CH ₄ -C (kg C ha ⁻¹ a ⁻¹)	N ₂ O-N (kg N ha ⁻¹ a ⁻¹)	CO ₂ -C equivalent (kg CO ₂ -C equ. ha ⁻¹ a ⁻¹)
Niedermoor	naturnah (Rzecin)	-2000	120	0,1	-1070
	naturnah (boreal)	-490	120	0,112	442
	naturnah (temperat)	-400	142		685
	dränierter Forst	400	1	1,05	547
	Grünland	4120	0,4	5,05	4795
	Acker	4090	-0,2	11,61	5633
Hochmoor	naturnah (boreal)	-200	37,5	0	87
	naturnah (temperat)	710	174	-0,0112	618
	dränierter Forst	1100	20	0,04	1258
	Grünland	2350	2	0,1	2379
	Acker	4400	0	0	4400
	Torfabbau	1750	17,25	0,4	1935

Spurengasemissionen nach Vernässung

Um die Klimawirksamkeit und damit die Spurengasemissionen aus Moorböden zu verringern, ist in der Regel eine Vernässung notwendig. Durch die Vernässung ändern sich die hydrochemischen Verhältnisse im Bodenprofil und ehemals belüftete Bodenschichten gelangen unter einen anaeroben Einfluss. Durch diesen Wechsel kommt es häufig zu einem schnellen Abbau der im Oberboden vorhandenen, leicht abbaubaren organischen Substanz

und die Methanemissionen dieser Standorte können – zumindest bei Überflutung – sprunghaft zunehmen (HÖPER et al. 2008). Erste Messergebnisse zur kontinuierlichen Erfassung der Spurengasemissionen vernässter Niedermoorböden im Peenetal, Mecklenburg-Vorpommern, deuten aber daraufhin, dass dieser **Anstieg der Methanemissionen eine kurzfristige Systemreaktion** auf die veränderten hydrochemischen Verhältnisse ist.

Abbildung 5:
Moorböden werden in unregelmäßigen Abständen entwässert, um die durch Sackung aufgetretenen Höhenverluste und die sich daraus ergebenden Nutzungseinschränkungen auszugleichen



Sobald sich die Verhältnisse stabilisiert und sich eine an die neuen Standortverhältnisse angepasste Vegetation eingestellt hat, ist davon auszugehen, dass die Methanemissionen deutlich zurückgehen (AUGUSTIN & JOOSTEN 2007). Um einen drastischen Anstieg der Methanemission bei Vernässung zu vermeiden, ist es sinnvoll, vorher intensiv genutzte Flächen – sofern möglich – in mehreren Stufen zu vernässen und einen ganzjährigen Überstau zu vermeiden.

Moorböden und Wasserhaushalt

Neben ihrer Bedeutung als Kohlenstoffspeicher und -senke sind Moorböden auch für den Landschaftswasserhaushalt von Bedeutung. Mit ihren hohen Verdunstungsraten wirken Moore und Feuchtgebiete **kühlend** auf die Atmosphäre und beeinflussen so das regionale Klima (SOLANTIE 1999). Mit der hohen Wasserhaltekapazität der Torfe können Moore das Abflussgeschehen ausgleichen.

Während torfbildende Moore in die Höhe wachsen, führt Entwässerung zu einer **Sackung** der Geländeoberfläche. Durch die Mineralisation der organischen Substanz kommt es zu einem kontinuierlichen Höhenverlust, so dass die Wasserstände langsam wieder in Richtung Oberfläche ansteigen. Um eine Nutzung aufrecht zu erhalten, erfolgt in der landwirtschaftlichen Praxis in unterschiedlichen Zeitabständen eine erneute Entwässerung (Abbildung 5). Dieser Teufelskreis aus Entwässerung und Sackung ist in der Klimadebatte, besonders für Moorböden, deren Geländeoberfläche um den Meeresspiegel liegt, relevant (Abbildung 6, VERHOEVEN 2002). Bei gleichzeitig steigenden Meeresspiegeln und sinkenden Geländeoberflächen steigt damit auch der Aufwand für die Entwässerung. Als Anpassungsstrategie an steigende Meeresspiegel ist es daher auch notwendig, sackungsbedingte Höhenverluste in Niederungen mit Geländehöhen in oder unter Normal Null zu minimieren.

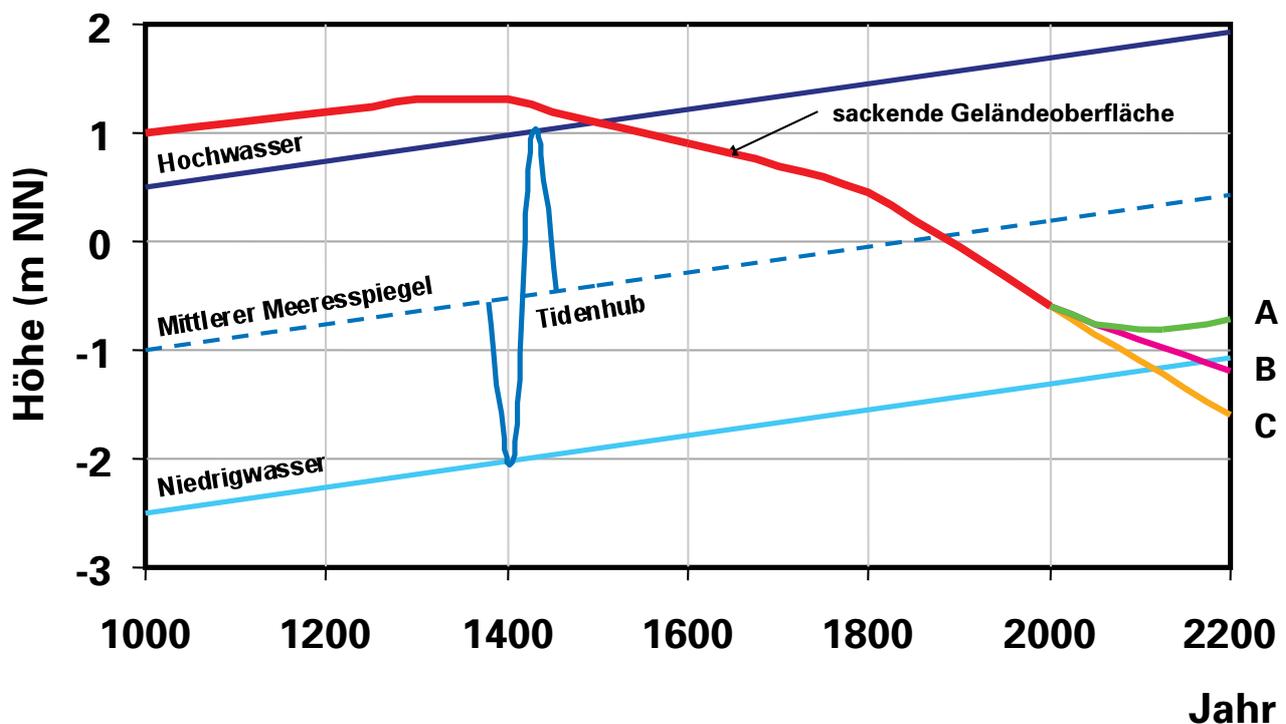


Abbildung 6: Grundsätzlicher Zusammenhang zwischen Meeresspiegelanstieg und Sackung der Moorbodenoberfläche. Die Entwicklung der zukünftigen Sackungsrate (A, B oder C, rechts im Bild) hängt von den wasserwirtschaftlichen Anpassungsstrategien ab (nach VERHOEVEN 2002, ergänzt).

Lokale Handlungsmöglichkeiten

Aus der Klimadebatte ergeben sich in Bezug auf Moorböden unter lokalen Gesichtspunkten sowohl Anpassungs- als auch Vermeidungsstrategien. Vermeidungsstrategien zielen darauf ab, die Emissionen klimawirksamer Spurengase zu verringern und gegebenenfalls die Senkenwirkung wiederherzustellen. Durch Extensivierung und Vernässung entwässerter Moorböden kann deren Klimawirksamkeit deutlich verringert werden. Die Wirkung der Maßnahmen hängt dabei wesentlich von den Ausgangsbedingungen der Standorte ab. Die Nutzungsumstellung tief entwässerter Moorböden, die gegenwärtig zum Beispiel für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen wie Mais oder Raps oder als Saatgrünland genutzt

werden, hin zu Grünland, bewirkt eine schnelle Minderung der hohen Kohlendioxidemissionen. Der Torfchwund und die Emissionen werden aber nicht gestoppt. Auf einigen Flächen kann auch die Senkenwirkung wachsender Moore wieder hergestellt werden, wenn es gelingt, torfbildende Pflanzengesellschaften wie Bruchwälder, Röhrichte oder Großseggenrieder auf den vernässten Standorten zu etablieren. Dieses Entwicklungsziel ist in einer dicht besiedelten Kulturlandschaft aber nur auf sorgfältig ausgewählten Flächen umsetzbar und bedarf einer fundierten hydrologischen und ökologischen Planung, um nicht durch spontan geplante Vernässungsmaßnahmen Restbestände seltener und gefährdeter Tier- und Pflanzenarten zu vernichten (VAN DUINEN et al. 2003).

Abbildung 7:
Durch die Vernässung von Niedermoorböden, wie hier in der Pohnsdorfer Stauung bei Preetz, wird die Etablierung einer erneut torfbildenden Vegetation gefördert. Gleichzeitig werden durch die Maßnahme Lebensräume für gefährdete Vogelarten geschaffen, sowie die Bedingungen für den Nährstoffrückhalt verbessert. Die Maßnahme dient somit neben den Zielen des Natur- und Gewässerschutzes auch dem Klimaschutz.



Grundsätzlich ist auch eine **land- und forstwirtschaftliche Nutzung** vernässter Moorböden mit den Zielen des Klimaschutzes vereinbar. Der Anbau von Erlenwertholz, Schilf als nachwachsender Rohstoff oder von Torfmossen ist bei ganzjährig hohen Wasserständen auch unter ökonomischen Gesichtspunkten möglich (WICHTMANN & SCHÄFER 2004; GAUDIG et al. 2008). Extensive Beweidung kann ebenfalls eine Nutzungsalternative zur herkömmlichen, auf tiefe Entwässerung beruhenden Nutzungsformen sein, wenn die Wasserstände leicht unter Flur liegen, um eine hinreichend trittfeste Narbe zu erhalten. Hierbei müssen an die Niederungsflächen ausreichend große trittfeste Mineralböden angrenzen, um bei hohen Wasserständen den Weidetieren Ausweichmöglichkeiten zu bieten.

Anpassungsstrategien zielen darauf ab, die Folgen des Klimawandels für die Gesellschaft zu mildern. Vor dem Hintergrund steigender Meeresspiegel und sackungsbedingter Höhenverluste ist es dringend notwendig, für allem für Moorböden, die um oder unter Meeresspiegelniveau liegen, Nutzungsformen zu etablieren, die weitere Höhenverluste minimieren, um Kosten zu sparen. Auch die kühlende Wirkung von Mooren auf das Lokalklima sowie der verbesserte Landschaftswasserhaushalt bieten wichtige Komponenten, um die Folgen des Klimawandels zu bekämpfen.

Schleswig-Holstein schenkt dem **Schutz und der Wiederherstellung von Mooren** seit langem hohe Aufmerksamkeit (EIGNER & SCHMATZLER 1991; DREWS et al. 2000; LÜTT 2004; TREPEL 2007). Neben dem Naturschutz, der sich zunächst auf die Sicherung und Vernässung von Hochmooren konzentrierte, kamen seit einem Jahrzehnt auch die Niedermoorböden in den Fokus. Das von der Wasserwirtschaft aufgelegte **Niedermoorprogramm** verfolgt das Ziel, durch Extensivierung und Vernässung die Nährstofffreisetzung dieser Systeme zu begrenzen und den Nährstoffrückhalt in der Landschaft zu verbessern, um die Nährstoffbelastung der

Oberflächengewässer und der Meere zu verringern. Im Rahmen dieses Programms werden der Ankauf und die Durchführung von Vernässungsmaßnahmen gefördert. Maßnahmenträger sind in der Regel Wasser- und Bodenverbände. Die Extensivierung und Vernässung von Moorböden ist auch als Maßnahme im Klimaaktionsprogramm der Landesregierung genannt (MLUR 2007).

Durch die Klimadebatte bekommt die Entwicklung umweltschonender Nutzungs- und Entwicklungskonzepte für Moorböden in Schleswig-Holstein zu den bereits bestehenden Zielsetzungen des Naturschutzes und der Wasserwirtschaft eine weitere Facette. Die hohen Übereinstimmungen zwischen den Zielen des Gewässerschutzes, Naturschutzes und des Klimaschutzes können erfolgreich zum Wohle der Moore und Moorböden genutzt werden.

Zusammenfassung

Moore und Moorböden sind ein global bedeutender Kohlenstoffspeicher und sofern sie Torf bilden, auch eine Kohlenstoffsenke. Für entwässerte Moorböden kann die Senkenwirkung mittelfristig wieder aktiviert werden, wenn diese ganzjährig vernässt werden und sich eine torfbildende Vegetation einstellt. Die Durchführung von Vernässungsmaßnahmen muss fundiert hydrologisch und ökologisch geplant und begleitet werden, um eventuell vorhandene Restpopulationen wertvoller Tier- und Pflanzenarten zu erhalten. Durch die Extensivierung insbesondere von ackerbaulich genutzten oder tief entwässerten Moorböden kann deren Klimawirksamkeit kurzfristig verringert werden. Hierdurch können auch sackungsbedingte Höhenverluste vermindert werden, dies ist vor allem für Moorböden mit Höhen um den Meeresspiegel als Anpassungsstrategie an steigende Küstenwasserstände erforderlich. Die Entwicklung und Umsetzung einer umweltgerechten Nutzung von Moorböden in Schleswig-Holstein dient sowohl dem Klima-, als auch dem Natur- und Gewässerschutz; diese Synergien sollten genutzt werden.

Summary: Relevance of mires to the climate debate

Mires and peatlands are globally important as carbon stores and – so long as they are accumulating peat – as active carbon sinks. The carbon sink function of drained peatland can be recovered through year-round re-wetting and consequent re-establishment of peat forming vegetation types. Re-wetting measures require sound hydrological and ecological planning to avoid the risk of further losses of threatened plant and animal species. The climate impact of drained deep peat soils, and those used for crop production, can be reduced significantly by reducing the intensity of land use. Such measures will also reduce losses of surface height due to subsidence. This is especially important for peatlands lying at altitudes close to sea level. Developing and implementing sustainable use for peatlands in Schleswig-Holstein supports the aims of climate policy as well as strategies for nature conservation and water management. These synergies should be realised.

Literatur

- ALM, J., SHURPALI, N.J., MINKKINEN, K., ARO, L., HYTÖNEN, J., LAURILA, T., LOHILA, A., MALJANEN, M., MARTIKAINEN, P.J., MÄKIRANTA, P., PENTTILÄ, T., SAARNIO, S., SILVAN, N., TUUTTILA, E.-S. & LAINE, J. (2007a): Emission factors and their uncertainty for the exchange of CO₂, CH₄ and N₂O in Finnish managed peatlands. *Boreal Environment Research* 12: 191-209.
- ALM, J., SHURPALI, N.J., TUUTTILA, E.-S., LAURILA, T., MALJANEN, M., SAARNIO, S. & MINKKINEN, K. (2007b): Methods for determining emission factors for the use of peat and peatlands flux measurements and modelling. *Boreal Environment Research* 12: 85-100.
- AUGUSTIN, J. & JOOSTEN, H. (2007): Peatland re-wetting and the greenhouse effect. - *International Mire Conservation Group Newsletter* 2007/3: 29-30.
- BRIDGHAM, S.D., MEGONIGAL, J.P., KELLER, J., BLISS, N.B. & TRETTIN, C. (2006): The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands* 26: 889-916.
- BYRNE, K.A., CHOJNICKI, B., CHRISTENSEN, T.R., DRÖSLER, M. & FREIBAUER, A. (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.
- DREWS, H., JACOBSEN, J., TREPPEL, M. & WOLTER, K. (2000): Moore in Schleswig-Holstein unter besonderer Berücksichtigung der Niedermoore - Verbreitung, Zustand und Bedeutung. *Telma* 30: 241-278.
- DRÖSLER, M., FREIBAUER, A., CHRISTENSEN, T. & FRIBORG, T. (2008) Observation and status of peatland greenhouse gas emission in Europe. In: *The Continental-Scale Greenhouse Gas Balance of Europe*. DOLMAN, H., VALENTINI, R. & FREIBAUER, A. (Eds.) Series: *Ecological Studies*, Vol. 203: 237-255.
- EIGNER, J. & SCHMATZLER, E. (1991): *Handbuch des Hochmoorschutzes. Bedeutung, Pflege, Entwicklung*. *Naturschutz aktuell* 4, 158 pp.
- GAUDIG, G., JOOSTEN, H. & KAMERMANN, D. (2008): Growing growing media: the promises of Sphagnum biomass. *Acta Horticulturae* 779: 165-172.
- HOOIJER, A., SILVIUS, M., WÖSTEN & PAGE, S. (2006): PEAT-CO₂, Assessment of CO₂ emissions from drained peatlands in SE Asia. *Delft Hydraulics report Q3943* (2006).
- 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): Restoration of peatlands and greenhouse gas balances. In: STRACK, M. (eds.): *Peatlands and Climate Change*. International Peat Society, Jyväskylä, 182-210.
- IMMIRZI, C.P., MALTBY, E. & CLYMO, R.S. (1992): The global status of peatlands and their role in carbon cycling. Report No. 11, Wetlands Research Group, Friends of the Earth, London, 145 pp.

- JESSEL, B. (2008): Zukunftsaufgabe Klimawandel – der Beitrag der Landschaftsplanung. *Natur und Landschaft* 83: 311-317.
- JOOSTEN, H. & CLARKE, D. (2002): The Wise Use of Mires and Peatlands - Background and Principles including a Framework for Decision-making. International Mire Conservation Group & International Peat Society. 304 pp.
- JOOSTEN, H. (2006): Moorschutz in Europa. Restauration und Klimarelevanz. In: BUND LANDESVERBAND NIEDERSACHSEN (Hrsg.): *Moore in der Regionalentwicklung*. BUND, Wagenfeld/Ströhen, pp. 35 - 43.
- JOOSTEN, H. (2008): What are peatlands? In: PARISH, F., SIRIN, A., CHARMAN, D., JOOSTEN, H., MINAYEVA, T., SILVIUS, M. & STRINGER, L. (Eds.) (2008): *Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report*. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen, 8-19.
- JUNGKUNST, H.F., FREIBAUER, A., NEUFELDT, H. & BARETH, G. (2006): Nitrous oxide emissions from agricultural land use in Germany - a synthesis of available annual field data. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169: 341 – 351.
- KUTSCH, W.L., HÖRMANN, G., & KAPPEN, L. (2008): Carbon and energy balances of different ecosystems and ecosystem complexes of the Bornhöved Lake District. In: FRÄNZLE, O., KAPPEN, L., BLUME, H.-P. & DIERSSEN, K. (Eds.) *Ecosystem organization of a complex landscape. Long-term research in the Bornhöved Lake District, Germany*, *Ecological Studies* 202, Springer, Berlin, 83-100.
- LÜTT, S. (2004): Die Renaturierung der Moore in Schleswig-Holstein in den letzten fünf- undzwanzig Jahren. *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung* 43: 91-97.
- MLUR (2007): *Sieh zu dass sich was dreht - Abschlussbericht Projektgruppe Klimawandel und Klimaschutz in Schleswig-Holstein*. Kiel, 72 pp.
- PAGE, S.E., SIEGERT, F., RIELEY, J.O., BOEHM, H.-D.V., JAYA, A. & LIMIN, S.H. (2002): The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature* 420: 61-65.
- PARISH, F., SIRIN, A., CHARMAN, D., JOOSTEN, H., MINAYEVA, T., SILVIUS, M. & STRINGER, L. (Eds.) (2008): *Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report*. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen.
- PRAGER, A., BARTHELMES, A. & JOOSTEN, H. (2006): A touch of tropics in temperate mires: on Alder carrs and carbon cycles. *Peatlands International* 2006/2: 26-31.
- RIELEY, J.O., WÜST, R.A.J., JAUHAINEN, J., PAGE, S.E., WÖSTEN, H., HOOIJER, A., SIEGERT, F., LIMIN, S.H., VASANDER, H. & STAHLHUT, M. (2008): Tropical peatlands: Carbon stores, carbon gas emissions and contribution to climate change processes. In: STRACK, M. (eds.): *Peatlands and Climate Change*. International Peat Society, Jyväskylä, 148-181.
- SIRIN, A. & LAINE, J. (2008): Peatlands and Greenhouse Gases? In: PARISH, F., SIRIN, A., CHARMAN, D., JOOSTEN, H., MINAYEVA, T., SILVIUS, M. & STRINGER, L. (Eds.) (2008): *Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report*. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen, 118-138.
- SOLANTIE, R. (1999): Charts of the climatic impact of the drainage of mires in Finland. (Tiivistelmä: Karttoja suo-ojitusten vaikutuksesta Suomen ilmastoon). *Suo* 50 (3-4): 103-117.
- SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (eds.) (2001): *Landschaftsökologische Moorkunde*. 2nd Ed. Schweizerbart, Stuttgart, Germany.
- STRACK, M. (eds.) (2008): *Peatlands and Climate Change*. International Peat Society, Jyväskylä.
- 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. (2007): Evaluation of the implementation of a goal-oriented peatland rehabilitation plan. *Ecological Engineering* 30: 167-175.
- VAN BEEK, C.L., HUMMELINK, E.W.J., VELTHOF, G.L. & OENEMA, O. (2004) Denitrification rates in relation to groundwater level in a peat soil under grassland. *Biology and Fertility of Soils* 39: 329-336.

- VAN DUINEN, G.A., BROCK, A.M.T., KUPER, J.T., LEUVEN, R.S.E.W., PEETERS, T.M.J., ROELOFS, J.G.M., VAN DER VELDE, G., VERBERK, W.C.E.P. & ESSELINK, H. (2003): Do restoration measures rehabilitate fauna diversity in raised bogs? A comparative study on aquatic macroinvertebrates. *Wetlands Ecology and Management* 11: 447-459.
- VERHOEVEN, J.T.A. (2002): Natte natuur in een schoon landschap. De ecologische functies van wetlands. Oratie Universiteit Utrecht, pp. 1- 42.
- WBGU (2003): Über Kioto hinaus denken – Klimaschutzstrategien für das 21. Jahrhundert. Berlin, 87 pp.
- WICHTMANN, W. & A. SCHÄFER (2004): Nutzung von Niederungsstandorten in Norddeutschland. *Wasserwirtschaft* 94 (5): 45-48.
- ZIEGLER, H. (2008): Adaptation versus mitigation: Zur Begriffspolitik in der Klimadebatte. *Gaia* 17: 19-24.

➤ **Dr. Michael Trepel**

Dezernat 41 – Fließgewässerökologie

Tel.: 0 43 47 / 704 – 445

mtrepel@lanu.landsh.de