

Klimaschutz durch Moorschutz

Schlussbericht des Vorhabens „Klimaschutz - Moornutzungsstrategien“ 2006-2010

Matthias Drösler (TUM-VegÖk), Wolfram Adelman (TUM-VegÖk), Jürgen Augustin (ZALF-AUG), Lindsey Bergman (TUM-VegÖk), Colja Beyer (LBEG), Bogdan Chojnicki (ZALF-AUG), Christoph Förster (TUM-VegÖk), Annette Freibauer (MPI-BGC), Michael Giebels (ZALF-AUG), Stefan Görlitz (IÖW), Heinrich Höper (LBEG), Jochen Kantelhardt (TUM-WDL), Horst Liebersbach (LBEG), Maria Hahn-Schöfl (MPI-BGC), Merten Minke (ZALF-AUG), Ulrich Petschow (IÖW), Jörg Pfadenhauer (TUM-VegÖk), Lena Schaller (TUM-WDL), Philipp Schägner (IÖW), Michael Sommer (ZALF-SOM), Angelika Thuille (MPI-BGC), Marc Wehrhan (ZALF-SOM)

TUM-VegÖk FKZ 01LS05046; IÖW FKZ 01LS05050; LBEG FKZ 01LS05048; MPI-BGC FKZ 01LS05051; TUM-WDL FKZ 01LS05047; ZALF FKZ 01LS05049

Endfassung vom 31. Januar 2013



Projektleitung:
Prof. Dr. Matthias Drösler
Vegetationsökologie
Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Am Hofgarten 4
85354 Freising
Tel: 08161 8626270
eMail: matthias.droesler@hswt.de

HOCHSCHULE
WEIHENSTEPHAN-TRIESDORF
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
VEGETATIONSÖKOLOGIE



Leibniz-Zentrum für
Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.



Projektpartner

bis 31.08.2011

TUM-VegÖk

Lehrstuhl für Renaturierungsökologie
(bis 1.09.2010 Vegetationsökologie)
Wissenschaftszentrum Weihenstephan,
Technische Universität München,
Dr. Matthias Drösler (Projektleitung)
Am Hochanger 6
85350 Freising
Tel. 08161 71 3715
drosler@wzw.tum.de

Ansprechpartner

ab 01.09.2011

HSWT-VÖK

Prof. Dr. Matthias Drösler (Projektleitung)
Professur für Vegetationsökologie
Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Am Hofgarten 4
85354 Freising
Tel. 08161 86 262 70
Fax 08161 86 262 97
matthias.drosler@hswt.de

IÖW

Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung
Dipl.Ökon. Ulrich Petschow
IÖW-Geschäftsstelle Berlin
Potsdamer Straße 105 D-10785 Berlin
Tel. 030 88459423
Fax 030 8825439
ulrich.petschow@ioew.de

LBEG

Landesamt für Bergbau Energie und Geologie
(ehemals NLfB) Dr. Heinrich Höper
Referat L3.4 Boden- und Grundwassermonitoring
Stilleweg 2
30655 Hannover
Tel 0511 643 3265
Fax 0511 643 53 3265
heinrich.hoeper@lbeg.niedersachsen.de
www.lbeg.niedersachsen.de

MPI

Max-Planck-Institut für Biogeochemie
Dr. Annette Freibauer
P.O.Box 100164,
07701 Jena

jetzt: vTI-AK, Bundesallee 50
D-38116 Braunschweig
Tel. 0531 596 2634
Fax 0531 596 2699
annette.freibauer@vti.bund.de

TUM-WDL

Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaus,
Wissenschaftszentrum Weihenstephan,
Technische Universität München,
Prof. Dr. Alois Heißenhuber
Prof. Dr. Jochen Kantelhardt
Alte Akademie
85350 Freising
Tel. 08161 714008
Fax 08161 714426
jochen.kantelhardt@boku.ac.at

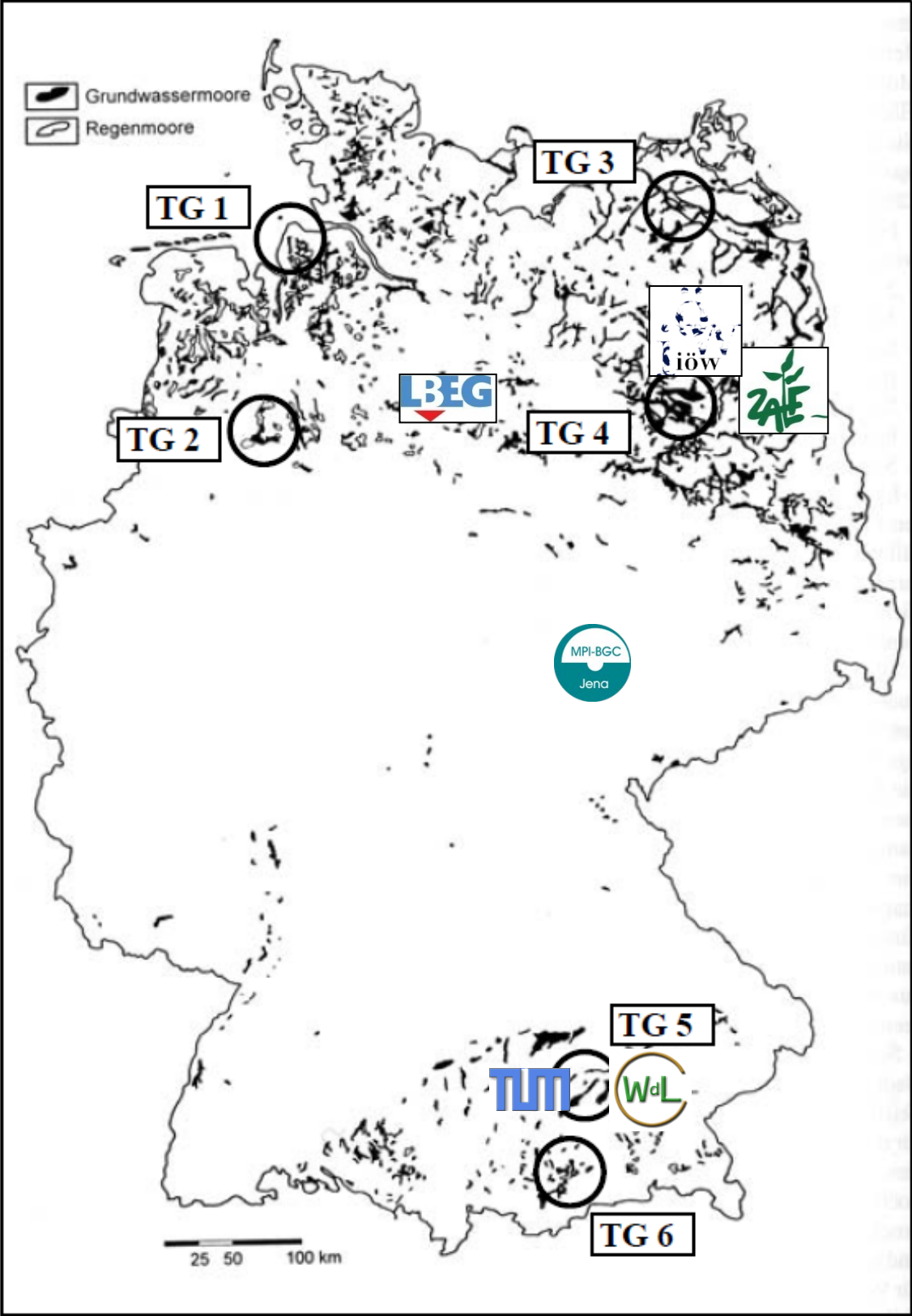
ZALF-AUG

Institut für Landschaftsstoffdynamik, Leibniz-
Zentrum für Agrarland-schaftsforschung
(ZALF) e.V.,
Prof. Dr. Jürgen Augustin
Eberswalder Str. 84
15374 Müncheberg
Tel 033432 82376
Fax 033432-82233
jaug@zalf.de

ZALF-SOM

Institut für Bodenlandschaftsforschung,
Leibniz-Zentrum für Agrarland-
schaftsforschung (ZALF) e.V.,
Prof. Dr. Michael Sommer
Eberswalder Str. 84
15374 Müncheberg
Tel. 033432 82400
Fax 033432-82233
sommer@zalf.de

Testgebiete und Partnerstandorte



Moorkarte aus Schopp-Guth (1999)

Kurzfassung des Projektberichts

Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis

Thünen - Institut für Agrarklimaschutz (AK)



Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis

Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Klimaschutz - Moornutzungsstrategien“ 2006-2010

Matthias Drösler, Annette Freibauer, Wolfram Adelman, Jürgen Augustin, Lindsey Bergman, Colja Beyer, Bogdan Chojnicki, Christoph Förster, Michael Giebels, Stefan Görlitz, Heinrich Höper, Jochen Kantelhardt, Horst Liebersbach, Maria Hahn-Schöfl, Merten Minke, Ulrich Petschow, Jörg Pfadenhauer, Lena Schaller, Philipp Schägner, Michael Sommer, Angelika Thuille, Marc Wehrhan

Arbeitsberichte aus dem TI-Institut für Agrarrelevante Klimaforschung (seit Januar 2013: Agrarklimaschutz)

04/2011

Braunschweig, Berlin, Freising, Jena, Müncheberg, Wien im April 2011

Autoren und Institutionen

Matthias Drösler¹, Annette Freibauer^{2,3}, Wolfram Adelman¹, Jürgen Augustin⁴, Lindsey Bergmann¹, Colja Beyer⁶, Bogdan Chojnicki⁴, Christoph Förster¹, Michael Giebels⁴, Stefan Görlitz⁵, Heinrich Höper⁶, Jochen Kantelhardt⁷, Horst Liebersbach⁶, Maria Hahn-Schöfl², Mer-ten Minke⁴, Ulrich Petschow⁵, Jörg Pfadenhauer³, Lena Schaller⁷, Philipp Schägner⁵, Michael Sommer⁸, Angelika Thuille², Marc Wehrhan⁸

¹ Professur für Vegetationsökologie, HSWT Weihenstephan-Triesdorf, Freising;
bis August 2011: Lehrstuhl für Renaturierungsökologie (bis 01.09.2010
Vegetationsökologie), Technische Universität München, Freising

² Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena

³ Institut für Agrarrelevante Klimaforschung (seit Januar 2013: Agrarklimaschutz), Thünen-
Institut, Braunschweig

⁴ Institut für Landschaftsstoffdynamik, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung,
Müncheberg

⁵ Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin

⁶ Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover

⁷ Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues der Technischen Universität München,
Freising; jetzt: Institut für Agrar- und Forstökonomie, Universität für Bodenkultur, Wien

⁸ Institut für Bodenlandschaftsforschung, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung,
Müncheberg

Adressen:

Prof. Dr. Matthias Drösler
Professur für Vegetationsökologie
Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Am Hofgarten 4
85354 Freising
Tel. (49) (0)8161 86 262 70
Fax (49) (0)8161 86 262 97
E-Mail: matthias.droesler[at]hswt.de

Dr. Annette Freibauer
Thünen – Institut für Agrarklimaschutz
(TI-AK) Bundesforschungsinstitut für
Ländliche Räume, Wald und Fischerei
Bundesallee 50
D-38116 Braunschweig
Telefon: (49) (0)531 596 2634
E-Mail: annette.freibauer[at]ti.bund.de

Die Arbeitsberichte aus dem Thünen-Institut für Agrarklimaschutz stellen vorläufige, nur ein-
geschränkt begutachtete Berichte dar.

Der vorliegende Arbeitsbericht kann unter
http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/bitv/dn049337.pdf
kostenfrei herunter geladen werden.

Zusammenfassung

Dränierete Moore sind die größte Einzelquelle für Treibhausgase außerhalb des Energiesektors in Deutschland. Der Bericht konzentriert sich auf Moore unter landwirtschaftlicher Nutzung, Naturschutzflächen und wiedervernässte Flächen. Sieben Nutzungskategorien konnten bezüglich ihrer Klimawirksamkeit unterschieden werden: Acker, Grünland mittlerer bis hoher Intensität, trockenes Extensivgrünland, nasses Extensivgrünland, trockene Hochmoorheide, naturnahe und renaturierte Moore, Überstausituationen. Die jährliche Treibhausgas-Bilanz von Mooren kann mit dem mittleren jährlichen Wasserstand und durch die Menge an Kohlenstoff, die mit dem Erntegut exportiert wird, beschrieben werden. Diese im Bericht gezeigte Abhängigkeitskurve eignet sich auch als Grundlage für die Quantifizierung der Klimaschutzwirkung von Moorschutzmaßnahmen in Deutschland.

Nur wenn die Wasserstände in Richtung der naturnahen Lage eingestellt werden, kann ein deutlicher Klimaschutzeffekt erzielt werden. Das Klimaschutzpotenzial pro Hektar ist in landwirtschaftlich genutzten Nieder- und Hochmooren ähnlich. Überstau während der Vegetationsperiode ist aber zu vermeiden bzw. auf möglichst kleine Flächen oder kurze Zeiträume zur Wiederbesiedelung durch Torfmoose zu beschränken. Wenn sich bei Überstau in nährstoffreichen Niedermooren Mudden bilden oder leicht zersetzbare Grasvegetation fault, können extrem hohe Methanemissionen entstehen.

Bei Nutzungsaufgabe und Wiedervernässung in naturnahen Zustand ergeben sich Treibhausgasminderungskosten zwischen 10 und 135 € pro Tonne CO₂. Für die Kalkulation der Werte wurde eine Maßnahmendauer von 20 Jahren, sowie durchschnittliche regionale Flächenwerte zugrunde gelegt. Soweit möglich, wurden ferner die Kosten für bzw. der Nutzen aus einem geänderten Wassermanagement berücksichtigt. Klimaschutz durch Moorschutz ist volkswirtschaftlich sinnvoll, da die Treibhausgasminderungskosten vergleichbar sind mit den Schadenskosten des Klimawandels und weitere Nutzen, z.B. für Biodiversität, Wasserschutz und Tourismus, entstehen.

Schlüsselwörter: Moor, Treibhausgase, Klimaschutz, Treibhausgasminderungskosten, Monitoring

Summary

Drained peatlands represent the largest source of greenhouse gases outside the energy sector in Germany. The report focuses on peatlands under agricultural use, areas under nature protection and rewetted peatlands. Seven peatland use categories could be distinguished in relation to their mean greenhouse gas emissions: cropland, grassland used with medium to high intensity, extensive dry grassland, extensive wet grassland, dry bog heathland, natural and restored near-natural peatlands, permanently flooded situations. The annual mean water table is a key driver of the greenhouse gas balance of peatlands. The annual greenhouse gas balance of peatlands can be described by the mean annual water table and the amount of carbon exported from the ecosystem by harvest. The response curve shown in this report can also be used to quantify the greenhouse gas mitigation effect of peatland restoration measures in Germany.

A significant greenhouse gas mitigation effect can only be achieved if the water table is adjusted to near-natural conditions. The greenhouse gas mitigation potential per hectare is similar in agricultural fens and bogs. Flooding during the vegetation should be avoided or restricted to small areas or short periods to allow the establishment of Sphagnum mosses. If organic mud forms in nutrient rich flooded fens or if easily degradable grass vegetation rots extremely high methane emissions may be released.

The abandonment of agricultural use together with rewetting to near-natural condition results in greenhouse gas abatement costs between 10 and 135 € per ton of CO₂. These values were calculated over a duration of the measure of 20 years and average regional area values. As far as possible, costs and benefits of changed water management were considered as well. The mitigation of climate change via peatland restoration is sensible at the level of national economy because the greenhouse gas abatement costs are comparable to the damage costs of climate change. Additional benefits also arise for biodiversity, water protection, tourism etc.

Key words: Peatland, greenhouse gases, climate mitigation, greenhouse gas abatement costs, monitoring

Inhaltsverzeichnis (Kurzfassung)

Autoren und Institutionen	
Zusammenfassung	i
Summary	ii
Verzeichnis der Abbildungen	II
Verzeichnis der Tabellen	II
1 Hintergrund und Ziel des Berichts	1
2 Ökologische Serviceleistungen von Mooren	1
3 Moore im Klimawandel	1
4 Moornutzung in Deutschland	2
5 Klimarelevanz deutscher Moore	3
6 Moore in der Klimapolitik	3
7 Unterscheidbare Moornutzungskategorien	4
7.1 Datengrundlage	4
7.2 Unterscheidbare Landnutzungskategorien	6
8 Treibhausgasbilanzen nach Nutzungskategorien und Moortypen im Überblick ..	7
9 Konsequenzen für eine klimafreundliche Moornutzung	9
10 Treibhausgasvermeidungskosten	11
Literaturverzeichnis	13
BMBF-Verbundprojekt „Klimaschutz - Moornutzungsstrategien“	14

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	Moorflächen in Deutschland nach GÜK 200 (BGR o. Jahr). Rot: Hochmoore, grün: Niedermoore.....	2
Abbildung 2:	Lage der Testgebiete (TG) und der für die Treibhausgas-Auswertung verwendeten weiteren Gebiete in Bayern und Polen	5
Abbildung 3:	Beispiele der unterscheidbaren Landnutzungs-kategorien.....	5
Abbildung 4:	Mittelwert, Minimum und Maximum der gemessenen Jahresmittelwasserstände (blau) und jährlichen Treibhausgasbilanzen (rot) nach Nutzungskategorien.....	8
Abbildung 5:	PEP-Modell (Peatland Emissions Predictor) - Abhängigkeit der jährlichen THG-Bilanzen der Standorte vom Jahresmittel des Wasserstands (WT_mean) und dem jährlichen Export von Kohlenstoff mit dem Erntegut.	9
Abbildung 6:	Relative Unterschiede der Treibhausgasbilanzen nach Nutzungskategorien gegenüber Intensivgrünland als Referenz für das Mittel aller Testgebiete und einzelne Niedermoorgebiete (grün) und ein Hochmoor (rot)	11

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Messergebnisse der Treibhausgasbilanzen nach Moortyp und Nutzungskategorie. Angaben sind Mittelwert (Minimum bis Maximum [Anzahl der untersuchten Testgebiete]). Die Wasserstände je Nutzungskategorie unterschieden sich nicht zwischen Niedermoor und Hochmoor.	8
------------	--	---

1 Hintergrund und Ziel des Berichts

Dieser Bericht fasst die Ergebnisse des Verbundprojektes „Klimaschutz-Moornutzungsstrategien – Abschätzung des Klimaentlastungspotenzials, der betriebswirtschaftlichen Effekte und des volkswirtschaftlichen Nutzens von alternativen Moornutzungen“ zusammen. Das Projekt wurde im Zeitraum 2006 bis 2010 im Forschungsprogramm Klimazwei des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Ziel des Berichts ist es, die Planung und Entwicklung von Moorschutzprojekten in Deutschland mit Kenngrößen, Leitplanken und Hinweisen zum Monitoring zu unterstützen, damit Wasser-, Natur- und Klimaschutz in Synergie umgesetzt werden können.

Der Bericht konzentriert sich auf Moore unter landwirtschaftlicher Nutzung, Naturschutzflächen und wiedervernässte Flächen. Flächen mit aktivem Torfabbau, Waldmoore und mit Sand kultivierte Flächen wie Sanddeck- und Sandmischkulturen sowie Anmoore werden nicht berücksichtigt. Diese Nutzungstypen werden aktuell in einem laufenden Verbundforschungsprojekt des Johann Heinrich von Thünen-Instituts untersucht („Berichterstattung organische Böden“).

2 Ökologische Serviceleistungen von Mooren

Moore erfüllen eine Vielzahl von ökologischen Serviceleistungen. Naturnahe Moore fördern den saisonalen Wasserrückhalt in der Landschaft, puffern das regionale Klima, dienen als Speicher für Kohlenstoff und teilweise als Puffer für Nährstoffe, haben eine wesentliche Funktion als Archiv für Vegetations-, Klima- und Menschheitsgeschichte der letzten 10.000 Jahre und stellen Lebensraum für besonders empfindliche, seltene Pflanzen und Tiere. Diese Umweltleistungen gehen durch Dränage und Nutzung zum Torfabbau oder zur landwirtschaftlichen Produktion weitgehend verloren, die Speicherfunktionen sogar vielfach in Niedermooren unwiederbringlich.

3 Moore im Klimawandel

Unter ungestörten Bedingungen sind Moore die einzigen Ökosystemtypen, die kontinuierlich und dauerhaft Kohlenstoff in signifikanten Mengen aufnehmen. Weltweit sind mit bis zu 550 Milliarden Tonnen Kohlenstoff 20 bis 30 Prozent des gesamten Bodenkohlenstoffs in Mooren gespeichert. Im natürlichen Zustand sind Moore klimaneutral. Austrocknung z.B. durch Klimawandel bzw. künstlich herbeigeführte Entwässerung führen zu einer Freisetzung des in den Mooren gebundenen Kohlenstoffs.

Unter dem Einfluss von Entwässerungsmaßnahmen und landwirtschaftlicher Nutzung emittieren Moore große Mengen an Kohlendioxid und teilweise Lachgas durch Torfschwund. Gedrainte Moore sind Hotspots für anthropogene Treibhausgase.

4 Moornutzung in Deutschland

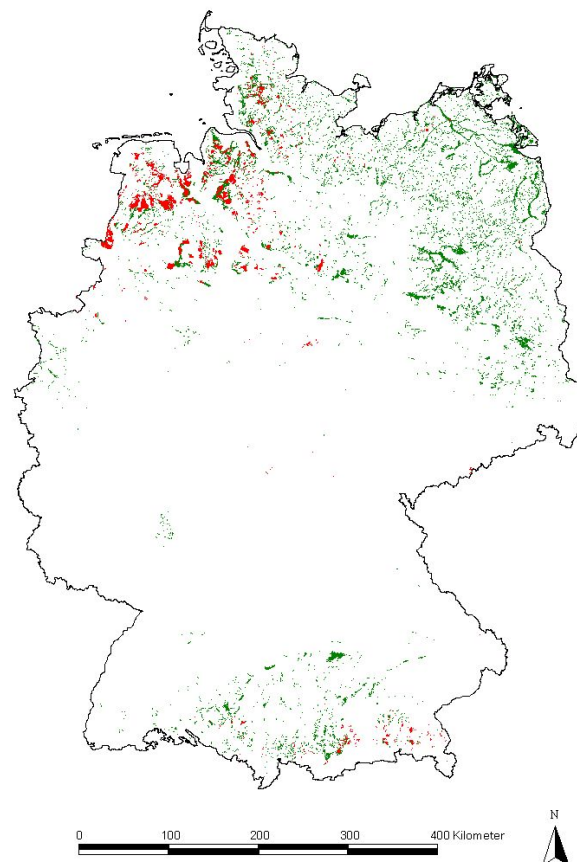
Die Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 (BGR 1997) weist 18.098 km² Moorfläche für Deutschland aus. Das sind 5,1 % der Gesamtfläche. Niedersachsen hat einen Anteil von 38,2 % an der deutschen Moorfläche, Mecklenburg-Vorpommern 20 %, Brandenburg 15,6 %, Bayern 10 % und Schleswig-Holstein 8,5 %. Die restlichen 7,7 % verteilen sich in den übrigen Bundesländern (Abbildung 1).

Verschneidet man die Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 mit der Landnutzung aus dem Digitalen Landschaftsmodell ATKIS, ergibt sich folgende Nutzungsverteilung: 71% der Moore sind landwirtschaftlich genutzt (32% Acker, 40% Grünland). Die landwirtschaftliche Fläche auf Mooren entspricht 8 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche (5 % der Ackerfläche, 14 % der Grünlandfläche).

Die Geologische Übersichtskarte 1:200.000 weist dagegen nur ca. 13.500 km² Moorfläche für Deutschland aus. Von diesen Flächen sind ca. 17% Acker und 50% Grünland.

Genauere aktuelle Flächen- und Nutzungsdaten sind in einem laufenden Verbundprojekt unter Beteiligung vieler Autoren dieses Berichts in Vorbereitung.

Abbildung 1: Moorflächen in Deutschland nach GÜK 200 (BGR o. Jahr). Rot: Hochmoore, grün: Niedermoore.



5 Klimarelevanz deutscher Moore

Im Nationalen Inventarbericht unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (NIR 2010) werden folgende Annahmen verwendet:

Mooracker emittiert 44,2 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Hektar und Jahr. Moorgrünland emittiert 22,2 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Hektar und Jahr. Landnutzungsänderungen, Torfabau und Moorwald werden ebenfalls berücksichtigt. Deren Treibhausgasemissionen sind aber relativ gering gegenüber den Emissionen aus Mooracker und Moorgrünland. Der im Nationalen Inventarbericht verwendeten Emissionsfaktor für Acker liegt im oberen Bereich der Messwerte des BMBF-Projekts. Der Emissionsfaktor für Grünland entspricht etwa den Messwerten für trockenes Extensivgrünland (siehe Kapitel 8).

Insgesamt emittieren die im Nationalen Inventarbericht unterstellten 18.098 km² Moorfläche 45,7 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr in Deutschland. Das entspricht 5,1 % der gesamten deutschen Treibhausgasemissionen und schließt alle Nutzungsformen ein. Dränierte Moore sind damit die größte Einzelquelle für Treibhausgase außerhalb des Energiesektors (NIR 2010).

6 Moore in der Klimapolitik

Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Mooren sind im Kyoto-Protokoll berücksichtigt. Dagegen ist die CO₂-Minderung auf landwirtschaftlich genutzten Mooren in der ersten Verpflichtungsperiode unter dem Kyoto-Protokoll (2008-2012) nicht als Klimaschutz anrechenbar, sondern nur die CO₂-Minderung beim Moorschutz unter Wald, bei Aufforstung und Entwaldung – bei ausreichender Datengrundlage zur Dokumentation. Die internationalen Verhandlungen über Klimaschutz ab 2013 laufen noch. Nach aktuellem Verhandlungsstand (März 2011) kann die Bundesregierung entscheiden, dass Deutschland freiwillig ab 2013 die CO₂-Quellen und –Senken aus der Bewirtschaftung von Acker und/oder Grünland als Klimaschutz im Sinne der internationalen Verpflichtungen anrechnet.

Das theoretische Emissionsminderungspotenzial einer klimafreundlichen Moornutzung durch Extensivieren und konsequentes Wiedervernässen auf naturnahe Wasserstände in Deutschland wird auf rund 35 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr bzw. 76 % der aktuellen Emissionen geschätzt (Freibauer et al. 2009).

Im Nationalen Inventarbericht unter der Klimarahmenkonvention und Kyoto-Protokoll können nur Maßnahmen berücksichtigt werden, die auf nationaler Ebene konsistent dokumentiert sind. Die Nachweisbarkeit von Aktivitäten und damit das Erfolgsmonitoring gewinnen zunehmend an Bedeutung, um Klimaschutzmaßnahmen perspektivisch für die nationale Klimapolitik oder für freiwillige CO₂-Märkte zu entwickeln.

Die derzeit bereits durch Moor- und Naturschutzprogramme umgesetzten Maßnahmen sind nicht ausreichend gebündelt und beschrieben. Teilweise liegen aber Erfolgsindikatoren wie Wasserstände vor und nach der Maßnahme sowie Vegetationsbeschreibungen auf lokaler Ebene vor, so dass in den nächsten Jahren mit einigen Anstrengungen in Zusammenarbeit mit den Bundesländern eine erste nationale Schätzung der Klimaschutzwirkung von Maßnahmen seit 1990 bzw. der aktuellen Situation in geplanten Maßnahmegebieten vorge-

nommen werden könnte. Grobe Schätzungen anhand von Nutzungskategorien und Landnutzungsänderungen sind sofort mit den hier präsentierten Daten möglich.

Für gebietsspezifische Berechnungen ist es zentral, die Emissionsfaktoren und Zusammenhänge mit Steuergrößen wie Wasserstand und Nutzungsintensität zu vervollständigen und modellhaft in die Fläche zu bringen.

7 Unterscheidbare Moornutzungskategorien

7.1 Datengrundlage

Die Daten zu Treibhausgasflüssen wurden im BMBF-Verbundprojekt „Klimaschutz: Moornutzungsstrategien“ (Projektbeschreibung: letzte Seite) gemessen und mit Messergebnissen aus weiteren Moorstandorten in Deutschland und Polen ergänzt, die mit vergleichbarer Methodik erhoben wurden. Damit liegt ein umfassender Datensatz aus drei Hochmooren und sieben Niedermooren aus allen wichtigen Moorregionen Deutschlands vor, in denen jeweils bis zu dreizehn verschiedene Landnutzungstypen untersucht wurden (Abbildung 2). Insgesamt umfasst der Datensatz 130 Einzeldaten zu Jahresbilanzen aller drei Treibhausgase in Mooren.

Die Daten wurden nach Hoch- und Niedermooren getrennt und Nutzungskategorien so abgeleitet, dass die Kategorien bezüglich Jahresmittelwasserstand, Ertrag und Stickstoffdüngung möglichst homogen waren. Sieben Nutzungskategorien wurden ausgewiesen: Acker, Grünland mittlerer bis hoher Intensität, trockenes Extensivgrünland, nasses Extensivgrünland, trockene Hochmoorheide, naturnahe und renaturierte Moore, Überstausituationen.

An allen Standorten wurde mit einheitlichen Methoden die Spurengase sowie erklärende Parameter gemessen. Die Messung des Gasaustauschs für die Gase CO₂, CH₄ und N₂O erfolgte nach der von Drösler (2005) beschriebenen Methodik mit manuellen Hauben. Der CO₂-Austausch wurde in ganztägigen Messkampagnen in mindestens ca. 4-wöchigem Rhythmus durchgeführt. Daraus wurden Abhängigkeitskurven zur photosynthetisch aktiven Strahlung und der Temperatur bestimmt und mit den für 0,5-Stundenschritte interpolierten Parametern die CO₂-Jahresbilanz modelliert. Das Ergebnis wurde um den C-Export durch Erntemaßnahmen und den C-Import durch organische Düngung zu C-Gesamtbilanzen verrechnet. Methan und N₂O wurden alle zwei Wochen gemessen und linear interpoliert.

Abbildung 2: Lage der Testgebiete (TG) und der für die Treibhausgas-Auswertung verwendeten weiteren Gebiete in Bayern und Polen

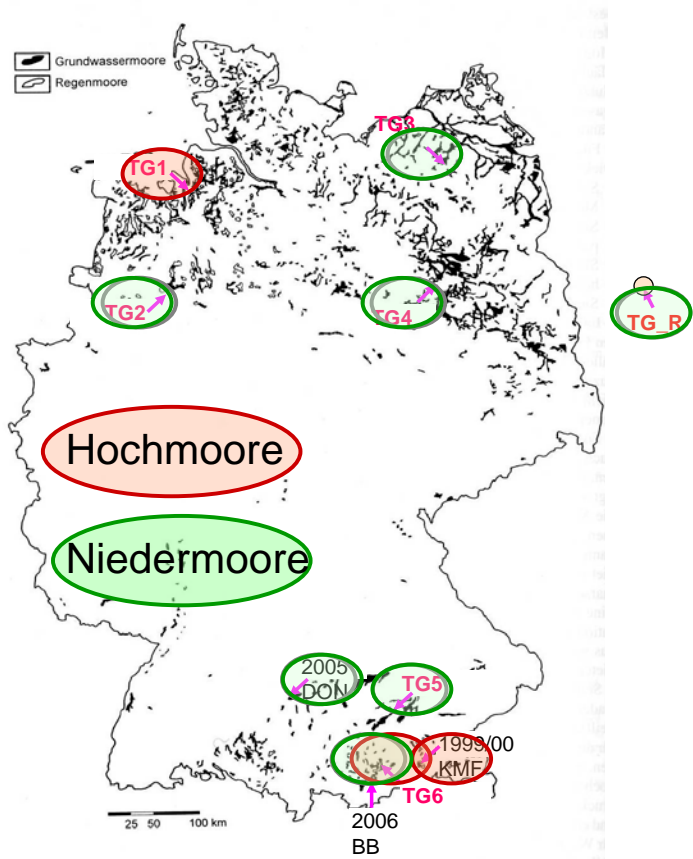


Abbildung 3: Beispiele der unterscheidbaren Landnutzungskategorien



7.2 Unterscheidbare Landnutzungskategorien

Beispiele für die im Folgenden beschriebenen Landnutzungskategorien sind in Abbildung 3 dargestellt.

Acker: Tiefe, aber variable Dränage, die in ungewöhnlich trockenen Jahren zu Trockenstress, in nassen Jahren aber unzureichend bis zum Ausfall der Ernte wirken konnte. Vorwiegend Sommerkulturen, v.a. Mais, Getreide und Hackfrüchte. Mittlere Düngergaben (ca. 150 kg N/ha). Die hohe Variabilität der Treibhausgasbilanzen (Abbildung 3) liegt v.a. an der unterschiedlichen Menge von Ernterückständen (z.B. Silomais versus Corn-Cob-Mix) und organischer Düngung.

Grünland hoher und mittlerer Intensität: Tiefe, aber variable Dränage vergleichbar mit Ackerstandorten. Saatgrünland oder regelmäßiger Umbruch mit Neuansaat, Bewirtschaftung mit zwei bis fünf Schnitten, wobei der erste Schnitt möglichst im Mai erfolgt, oder äquivalente Beweidung. Mittlere bis hohe Düngergaben (> 200 kg N/ha). Ziel ist die Produktion von hochwertigem Raufutter für die Milchproduktion.

Trockenes Extensivgrünland: Mäßige Dränage. Nutzung als Streuwiese, zur Mutterkuhhaltung oder keine Nutzung, maximal ein Schnitt oder äquivalente Beweidung, meist mit Naturschutzförderung. Häufig keine Düngung.

Nasses Extensivgrünland: Geringe Dränage, teilweise wiedervernässte oder grabennahe Standorte mit schwankendem, im Mittel aber relativ hohem Wasserstand. Nutzung als Streuwiese oder keine Nutzung, maximal ein Schnitt oder äquivalente Beweidung mit angepassten Extensivrassen, meist mit Naturschutzförderung. Meist deutlicher Seggenanteil.

Trockene Hochmoorheide: mäßig gedrainte degradierte Hochmoorheide ohne Torfmoose als Relikt früherer Dränagen für Torfstiche oder auf alten Torfstichen. Z.t. mit Moorbirken.

Naturnahe und renaturierte Moore: Standorte mit naturnahem Wasserstand. Naturschutzflächen, die langjährig weitgehend unberührt blieben oder in den letzten Jahren bis Jahrzehnten renaturiert wurden. Typische Vegetation sind in Niedermooren Groß- und Kleinseggenrieder und in Hochmooren Torfmoosrasen und Bult-Schlenkenkomplexe. Für Schilfröhrichte und Wald auf Niedermoor sind noch keine Daten vorhanden.

Überstau: Renaturierte Standorte und Grabensituationen, in denen das Wasser bis in den Sommer oder ganzjährig über der Geländeoberkante steht. Hier können sich nach vegetationsfreien Phasen im Niedermoor Schilf- und Rohrkolbenröhrichte ausbilden. Im Hochmoor werden große Überstau meist langsam mit flutenden Torfmoosrasen besiedelt.

8 Treibhausgasbilanzen nach Nutzungskategorien und Moortypen im Überblick

Die Messergebnisse der Treibhausgasbilanzen nach Moortyp und Nutzungskategorie sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Abbildung 4 veranschaulicht die Ergebnisse von Tabelle 1, wobei Hoch- und Niedermoor vereinfachend zusammengefasst wurden.

Die Treibhausgasbilanzen umfassen CO_2 , CH_4 und N_2O . Innerhalb der Nutzungskategorien wurden weite Spannen der Treibhausgasflüsse und Wasserstände gemessen, die im wesentlichen auf Standorteigenschaften, Schwankungen zwischen trockenen und nassen Jahren, Nutzungsintensität und die Beiträge von CH_4 und N_2O zur Treibhausgasbilanz zurückzuführen sind. Weitere standortspezifische Faktoren wie die Vegetationszusammensetzung, Biomasse, möglicherweise auch Torfeigenschaften oder Torfmächtigkeit bei flachgründigen Mooren und zeitlich dynamische Faktoren wie Sommer- und Winterwasserstände tragen zu der in Abbildung 4 und Abbildung 5 unerklärten Varianz bei. Diese Zusammenhänge sind Gegenstand der aktuellen Forschung. Der Mittelwert kann aber als robustes Ergebnis betrachtet werden. Die Unsicherheit bei den Nutzungskategorien Acker, Grünland intensiv / mittel und Grünland extensiv trocken beträgt ca. 20% für „mittlere, typische“ Zustände unabhängig vom Moortyp. Für die nasseren Nutzungskategorien sollte zwischen Hoch- und Niedermoor differenziert werden.

Der Jahresmittelwasserstand ist eine wesentliche Steuergröße für die Treibhausgasbilanz von Moorstandorten. Der Jahresmittelwasserstand alleine kann etwa die Hälfte der Varianz zwischen den Messergebnissen erklären. Bei gleichem Jahresmittelwasserstand ergibt sich aber noch eine weite Streuung, die von weiteren Einflussgrößen wie Nutzungstyp, Nutzungsintensität und möglichen weiteren Faktoren erklärt wird.

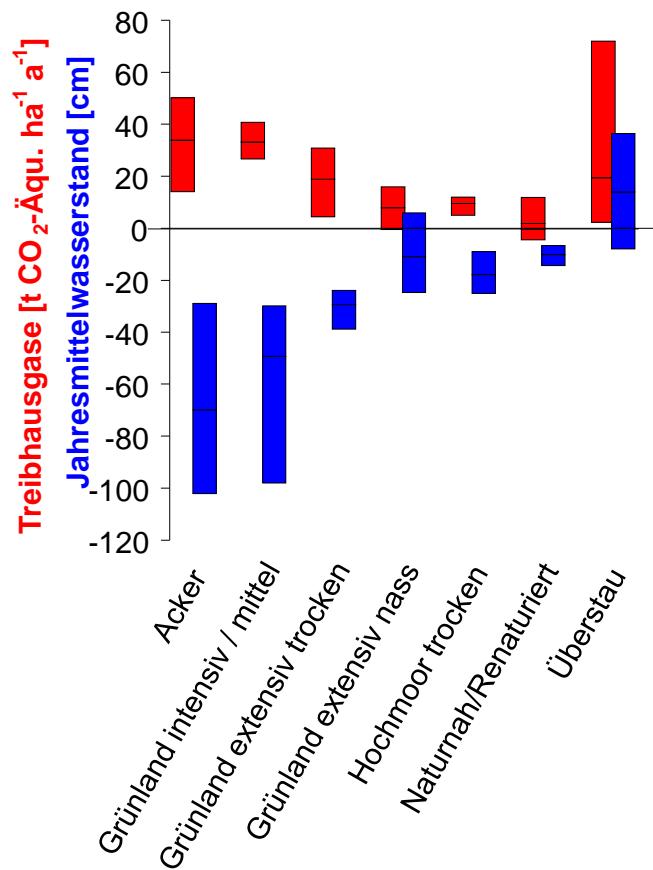
Die Nutzungsintensität lässt sich beschreiben durch die Menge an Kohlenstoff, die mit dem Erntegut exportiert wird. Diese bivariate Abhängigkeitskurve der jährlichen THG-Bilanzen (Abbildung 5) kann knapp drei Viertel der Varianz zwischen den Standorten erklären und ist damit robust, um Empfehlungen für Klimaschutz durch Moorschutz zu geben. Die Funktion eignet sich auch als Grundlage für die Bewertung der Klimaschutzwirkung von Moorschutzmaßnahmen in Deutschland.

Als Ergebnis des BMBF-Verbundprojektes wird daher für die Berechnung von Treibhausgasemissionen aus Mooren in Deutschland die Verwendung der Faktoren Jahresmittelwasserstand und Kohlenstoffexport als Indikator für die Nutzungsintensität gemäß Abbildung 5 empfohlen. Damit werden die wichtigsten Steuergrößen Wasserstand, Nutzung, Nutzungsintensität und Indikatoren für Emissionsrisiken erfasst.

Tabelle 1: Messergebnisse der Treibhausgasbilanzen nach Moortyp und Nutzungskategorie. Angaben sind Mittelwert (Minimum bis Maximum [Anzahl der untersuchten Testgebiete]). Die Wasserstände je Nutzungskategorie unterschieden sich nicht zwischen Niedermoor und Hochmoor.

	Niedermoor Tonnen CO ₂ -Äquivalente pro Hektar und Jahr	Hochmoor	Wasserstand cm
Acker	33,8 (14,2 bis 50,0 [4])	keine Daten	-70 (-29 bis -102)
Grünland intensiv / mittel	30,9 [21,3 bis 40,7 [5])	28,3 [1]	-49 (-39 bis -98)
Grünland extensiv trocken	22,5 (19,5 bis 30,9 [4])	20,1 [1]	-29 (-14 bis -39)
Grünland extensiv nass	10,3 (5,8 bis 16,3 [4])	2,2 (0 bis 4,4 [2])	-11 (6 bis -25)
Hochmoor trocken		9,6 (5,3 bis 12,1 [3])	-18 (-9 bis -25)
Naturnah/Renaturiert	3,3 [-4,3 bis 11,9 [5])	0,1 (-1,8 bis 2,9 [3])	-10 (-7 bis -14)
Überstau	28,3 [10,6 bis 71,7 [4])	8,3 [6,1 bis 10,4 [2])	14 (-8 bis 36)

Abbildung 4: Mittelwert, Minimum und Maximum der gemessenen Jahresmittelwasserstände (blau) und jährlichen Treibhausgasbilanzen (rot) nach Nutzungskategorien



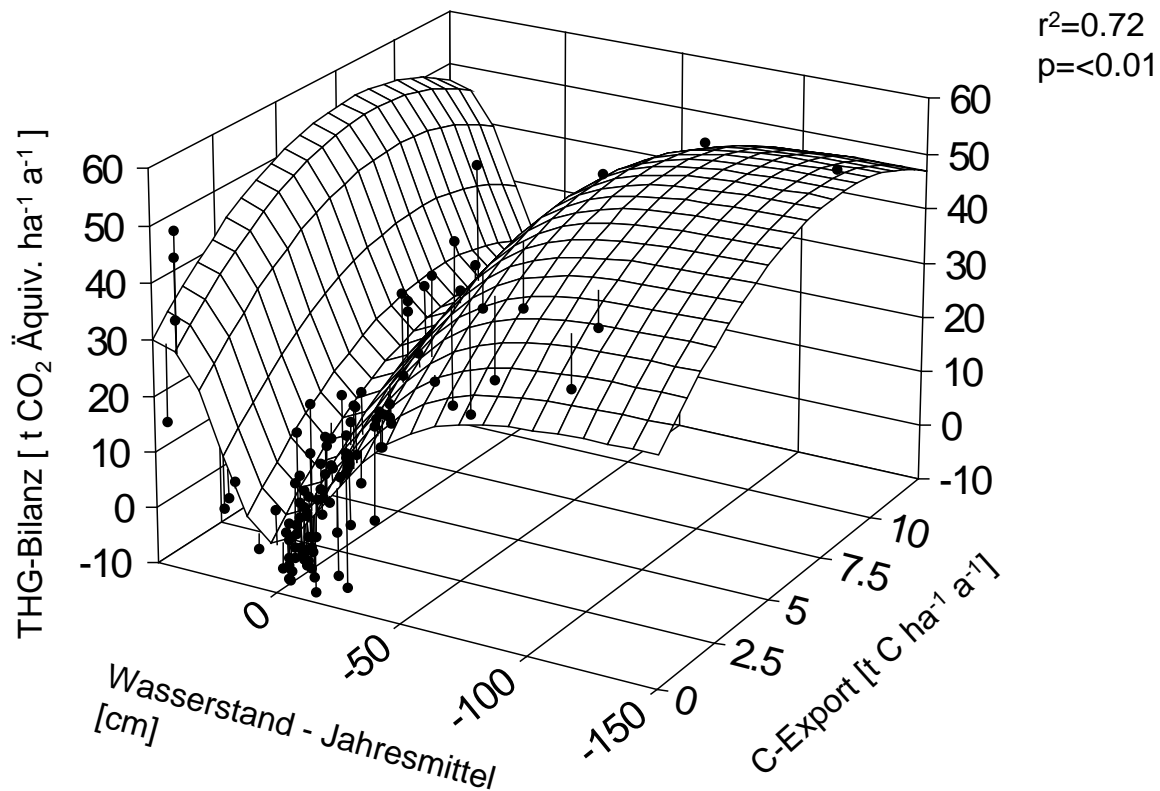


Abbildung 5: PEP-Modell (Peatland Emissions Predictor) - Abhängigkeit der jährlichen THG-Bilanzen der Standorte vom Jahresmittel des Wasserstands und dem jährlichen Export von Kohlenstoff mit dem Erntegut.

9 Konsequenzen für eine klimafreundliche Moornutzung

Die Messungen zeigen weite standort- und nutzungsabhängige Spannen in der Treibhausgasbilanz genutzter Moore. Die Nutzung von Moor als Acker und Intensivgrünland belastet das Klima am meisten. Eine Extensivierung kann Emissionen einsparen. Aber erst, wenn die Wasserstände angehoben werden, kann ein deutlicher Klimaschutzeffekt erzielt werden. Einsparungseffekte durch alternative Nutzungen mit nachwachsenden Rohstoffen und hohen Grundwasserständen sind noch nicht umfassend untersucht.

Je tiefer die Drainage, desto höher sind die CO₂-Emissionen. Allerdings erhöhen sich die CO₂-Emissionen bei Drainagetiefen unter 60-80 cm nicht mehr wesentlich. Das höchste Risiko für N₂O-Emissionen herrscht in Niedermooren bei stark schwankenden Wasserständen und einem mittleren jährlichen Grundwasserstand von 50 cm unter Flur.

Im BMBF-Projekt haben sich im Mittel der Testgebiete keine signifikanten Unterschiede der Treibhausgasemissionen zwischen Acker und Grünland ergeben (Abbildung 4). Allerdings wurden die höchsten Emissionen unter Acker und Unterschiede innerhalb einiger Testgebiete beobachtet (Abbildung 6). Dies war vor allem bei tiefer Drainage, geringen oder leicht

abbaubaren Ernterückstände wie bei Silomais, Rüben oder bei Strohabfuhr und geringen Mengen organischer Düngung der Fall. Selbst wenn die Kohlenstoffzufuhr durch Stroh und Wirtschaftsdünger die Kohlenstoffbilanz des Standorts verbessert, ist der Torfschwund höher als bei Grünlandnutzung bei vergleichbar intensiver Drainage. Eine Umwandlung von Acker zu Grünland kann somit den Torfschwund verringern.

Intensivgrünland ist (fast) so klimabelastend wie Ackernutzung. Grünlandnutzung zur Produktion von hochwertigem Grünfutter führt zu unerwartet hohen Treibhausgasemissionen von über 30 Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Hektar und Jahr, die weit über den derzeit in der nationalen Klimaberichterstattung verwendeten Emissionsfaktoren von 22 Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Hektar und Jahr liegen.

Extensivgrünland mit einem Jahresmittelwasserstand unter -20 cm hat nur in 50% der Testgebiete geringere Treibhausgasemissionen als Intensivgrünland. Offensichtlich gibt es zwar eine gewisse Verschiebung im Artenspektrum im Sinne des Naturschutzes, aber keinen sicheren Schutz des Torfkörpers. Stimulierend wirkt sich vor allem die sommerliche Wasserabsenkung, z.B. auch zur Durchführung von Pflegeschnitten, auf die Torfmineralisation aus.

Extensivgrünland mit einem Jahresmittelwasserstand über -20 cm hat in allen Testgebieten um 50 bis 75 % geringere Treibhausgasemissionen als Intensivgrünland.

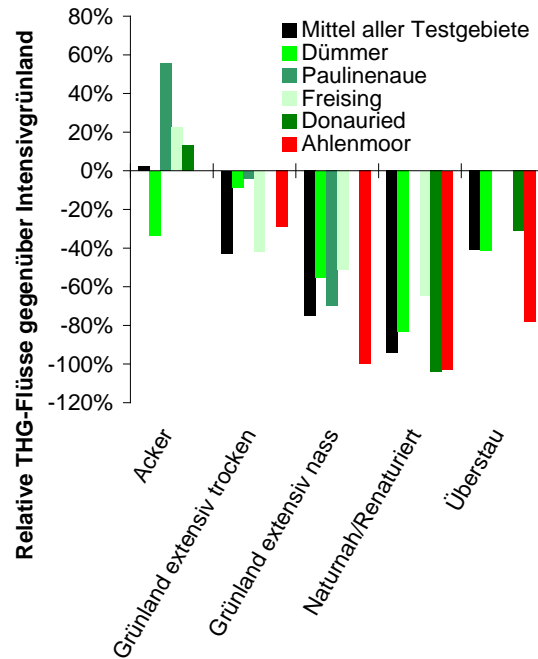
Naturnahe Flächen und solche mit einem Jahresmittelwasserstand um -10 cm sind klimaneutral oder mindestens um weitere 15 bis 25 % emissionsärmer als nasses Extensivgrünland. Dies ist aus Klimasicht der Optimalzustand.

Überstau während der Vegetationsperiode ist zu vermeiden bzw. auf möglichst kleine Flächen zu beschränken. Wenn sich bei Überstau in nährstoffreichen Niedermooren Mudden bilden oder leicht zersetzbare Grasvegetation fault, können extrem hohe Methanemissionen entstehen, die eine ähnliche oder höhere Klimawirkung wie die Ackernutzung haben können. In Hochmooren ist der Effekt geringer - vergleichbar mit Emissionen aus degradierten Heideflächen. Die Renaturierungspraxis mit großflächigem Überstau, z.B. nach Torfabbau, ist zu überdenken. Das Wassermanagement sollte so gestaltet werden, dass sich möglichst schnell Torfmoose einstellen. Wenn die Torfmoose aus wassergesättigten Flächen herauswachsen, kann, wie in natürlichen Mooren, das im gebildete Methan vor Erreichen der Oberfläche partiell wieder verbraucht werden.

Die Renaturierung von degradierten Hochmoorheiden hat ein bedeutendes Emissionsminderungspotenzial.

Das Klimaschutzpotenzial pro Hektar ist in Nieder- und Hochmooren ähnlich. Bei mäßiger und intensiver Drainage mit Jahresmittelwasserständen unter -20 cm unterscheiden sich die Treibhausgasbilanzen nicht zwischen Niedermooren und Hochmooren. In nasserer Situationen sind Hochmoore weitgehend klimaneutral oder bei Überstau geringe Treibhausgasquellen. Niedermoore dagegen bleiben auch im renaturierten Zustand geringe Treibhausgasquellen.

Abbildung 6: Relative Unterschiede der Treibhausgasbilanzen nach Nutzungskategorien gegenüber Intensivgrünland als Referenz für das Mittel aller Testgebiete und einzelne Niedermoorgebiete (grün) und ein Hochmoor (rot)



10 Treibhausgasvermeidungskosten

In den sechs Testgebieten wurden mit detaillierten Betriebs- und Expertenbefragungen Deckungsbeiträge der Moorflächen unter landwirtschaftlicher Nutzung sowie der Naturschutzflächen berechnet. Zusätzlich wurden Kosten für das Wassermanagement erhoben.

Die Flächenproduktivität bezüglich Nutzungsintensität der Moorfläche, Erträgen und Milchleistung war in den nordwestdeutschen Mooren höher als in den bayerischen Mooren und deutlich höher als in den nordostdeutschen Mooren. Dies spiegelte sich auch in den Pachtpreisen wider.

Für alle Testgebiete wurden Szenarien für eine klimafreundliche Moornutzung und Wiedervernässung berechnet. Dabei zeigte sich, dass die Treibhausgasvermeidungskosten am geringsten sind wenn

- Extensive, kaum oder nicht landwirtschaftlich genutzte Flächen vernässt werden; in diesem Fall sind die Treibhausgaseinsparung pro Hektar zwar teilweise gering, den Einsparungen stehen dann aber auch nur verhältnismäßig geringe Opportunitätskosten gegenüber, oder
- intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen vollständig bis zum naturnahen Zustand unter Nutzungsaufgabe vernässt werden; in diesem Fall kann den teilweise sehr hohen Opportunitätskosten eine sehr hohe Treibhausgaseinsparung pro Hektar gegenüber stehen.

Für die oben genannten Renaturierungssituationen liegen die Treibhausgasvermeidungskosten zwischen 10 und 135 € pro Tonne CO₂. Für die Kalkulation der Werte wurde eine Maßnahmendauer von 20 Jahren, sowie durchschnittliche regionale Flächenwerte inklusive Prämienzahlung zugrunde gelegt. Bei der Ermittlung der Kosten wurden die Kosten der Landwirtschaft, die bei Umstellung/Aufgabe der Flächennutzung entstehen würden, sowie -

soweit möglich - die veränderten Kosten der Entwässerung, bzw. der Wasserbereitstellung berücksichtigt. In anderen Renaturierungssituationen, insbesondere bei hohen Kosten für die Landwirtschaft und geringen CO₂-Einsparungen, können die CO₂-Minderungskosten deutlich höher ausfallen und Beträge bis zu über tausend €/t CO₂ erreichen. In günstigen Renaturierungssituationen erreichen die Treibhausgaserminderungskosten durch Moorschutz jedoch durchaus eine ähnliche Größenordnung wie der aktuelle CO₂-Preis im Emissionshandel (z.B. Leipziger Strombörse ca. 16 € pro Tonne CO₂, Stand 23.03.2011). In diesen Fällen kann Moorschutz auch wesentlich kostengünstiger als alternative Klimaschutzmaßnahmen wie z. B. die Förderung von Biokraftstoffen und Biogas sein.

Die Spannen, innerhalb derer die Treibhausvermeidungskosten liegen, unterscheiden sich regionsspezifisch deutlich. Für das bayerische Freisinger Moos liegen die CO₂-Vermeidungskosten beispielsweise zwischen 10 und 70 Euro. Würde die Zielstellung der landwirtschaftlichen Flächenprämien in Richtung einer Emissionsminderungsprämie weiterentwickelt und die Prämie den Landwirten damit auch bei Umnutzung bzw. Aufgabe der Nutzung erhalten bleiben, wären noch geringere CO₂-Vermeidungskosten zu erreichen.

Aus volkswirtschaftlicher Sicht sind die Preise im Emissionshandel gegenwärtig bei weitem zu niedrig, reflektieren sie doch nicht die anspruchsvollen Minderungsziele der Bundesregierung bis 2050, von daher tragen entsprechende Kostenansätze nicht hinreichend zur Erreichung der anspruchsvollen Klimaschutzziele bei. Zwar sind die Bandbreiten der Schätzungen von Vermeidungskosten und Schadenskosten der Klimagasemissionen sehr groß. Die Methodenkonvention des Umweltbundesamtes schlägt daher als Orientierungsgröße vor, bei öffentlichen Investitionen Schadenskosten durch Klimawandel von 70 € pro t CO₂-Äquivalent zu Grunde zu legen und Sensitivitätsrechnungen in der Bandbreite 20-280 € pro t CO₂-Äquivalent durchzuführen. Unter günstigen Renaturierungsbedingungen liegen die im Projekt berechneten CO₂-Minderungskosten innerhalb der Bandbreite der Schadenskosten. In diesem Fall ist Klimaschutz durch Moorschutz volkswirtschaftlich sinnvoll.

Literaturverzeichnis

- BGR, 1997. Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK 1000). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR. http://www.genesys-hannover.de/nn_337084/DE/Themen/Boden/Produkte/Karten/BUEK__1000.html
- BGR, ohne Jahr. Geologische Übersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:200 000 (GÜK200). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- Drösler, M., 2005. Trace gas exchange and climatic relevance of bog ecosystems, Southern Germany, PhD thesis, Chair of Vegetation Ecology, Department of Ecology, Technical University Munich, 179 pp., 2005.
- Freibauer, A., M. Drösler, A. Gensior, E.-D. Schulze, 2009. Das Potenzial von Wäldern und Mooren für den Klimaschutz in Deutschland und auf globaler Ebene. Natur und Landschaft 1/2009: 20-25.

BMBF-Verbundprojekt „Klimaschutz - Moornutzungsstrategien“

Titel: „Klimaschutz-Moornutzungsstrategien – Abschätzung des Klimaentlastungspotenzials, der betriebswirtschaftlichen Effekte und des volkswirtschaftlichen Nutzens von alternativen Moornutzungen“

Projektbeschreibung: Im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes „Klimaschutz: Moornutzungsstrategien“ wurden in sechs räumlich und strukturell sehr verschiedenen Testgebieten Treibhausgasflüsse in typischen aktuellen Landnutzungssystemen und perspektivisch klimafreundlichen Alternativen gemessen sowie Treibhausgasminderungskosten und die regionale Bereitschaft zur Umsetzung von Maßnahmen mit betriebswirtschaftlichen und sozioökonomischen Untersuchungen durch Betriebsbefragungen und Stakeholder-Workshops geprüft. Die Ergebnisse dienen der Unterstützung der Politik bei Entscheidungen zur Umsetzung von Moorschutzprogrammen und potenzieller zukünftiger Klimaschutzmaßnahmen im Moor.

Projektpartner:

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf: Professur für Vegetationsökologie; bis August 2011: Lehrstuhl für Renaturierungsökologie (bis 1.09.2010 Vegetationsökologie) der Technischen Universität München, Projektleitung: Prof. Dr. Matthias Drösler, matthias.droesler@hswt.de
Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues der Technischen Universität München
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover
Max-Planck-Institut für Biogeochemie (MPI-BGC), Jena
Institut für Ökologisches Wirtschaften (IÖW), Berlin
Zentrum für Agrarlandschaftsforschung – Institut für Bodenlandschaftsforschung (ZALF-BLF), Müncheberg
Zentrum für Agrarlandschaftsforschung – Institut für Landschaftsstoffdynamik (ZALF-LSD), Münchenberg

Laufzeit: 2006 – 2010

Förderung: 1,3 Millionen Euro

Langfassung des Projektberichts

Klimaschutz - Moornutzungsstrategien

Inhaltsverzeichnis - Hauptteil	16-21
0 Summary	23
1 Kurzdarstellung	25
1.1 Aufgabenstellung	25
1.2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	26
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens:	27
1.4 Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere	29
1.4.1 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden	29
1.4.2 Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste	29
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	30
1.5.1 Direkte Zusammenarbeit für die Durchführung des Projektes.....	30
1.5.2 Synergien mit Parallelprojekten	33
2 Eingehende Darstellung-- Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	35
2.1 AP 2.1 Identifikation von Testgebieten, Feinauswahl und Einrichtung der Messflächen (LBEG, TUM-VegÖk, ZALF-AUG, mit MPI, TUM-WDL, ZALF-SOM)	36
2.2 AP 2.3 Ermittlung des Spurengasaustausches (Federführung LBEG (TG1 & TG2), Federführung ZALF (TG3 & TG4), Federführung TUM-VegÖk, Beteiligung MPI (TG5 & TG6))	39
Spurengasaustausch TG1 und TG2 (LBEG)	41
Spurengasaustausch TG3 und TG4 (ZALF-AUG)	47
Spurengasaustausch TG5 und TG6 (TUM-VegÖk mit MPI)	57
Synthese Spurengasbilanzen aus allenTGs.	64
2.3 AP 2.4 Spurengase in Bodensäulen (Labor) (Federführung MPI mit ZALF-AUG, Beteiligung LBEG, TUM-VegÖk)	68
2.4 AP 2.5 Modellierung der Spurengasbilanzen (Federführung TUM-VegÖk, Beteiligung MPI)	82
2.5 AP 2.6 Regionalisierung und Hochskalierung der Spurengasbilanzen (ZALF-SOM)	88
2.6 AP 2.2 Szenarien (LBEG, MPI, TUM-VegÖk, TUM-WDL, ZALF-AUG, ZALF-SOM)	103
2.7 AP 2.7: Betriebswirtschaftliche Analyse der Landnutzungsszenarien für die jeweiligen Testgebiete (Federführung TUM-WDL)	112
2.8 AP 2.8 Volkswirtschaftliche Analyse der landnutzungsszenarien für die jeweiligen Testgebiete (Federführung IÖW)	128
2.9 AP 2.9: Gesamtökonomische Bewertung der Landnutzungsszenarien (gemeinsame Federführung TUM-WDL mit IÖW):	145
2.10 AP 2.10 Stakeholderbeteiligung (gemeinsame Federführung IÖW mit TUM-WDL, Beteiligung LBEG, TUM-VegÖk, MPI, ZALF)	161
2.11 AP 2.11 Politikberatung (gemeinsame Federführung MPI und TUM-VegÖk) 165	165
3 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	167
4 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	170
5 Erfolgte und geplante Veröffentlichung und Vorträge	172
Anhang I: Verwendete Literatur	181
Anhang II: Tabellen	189

Abbildungsverzeichnis - Hauptteil

Abb. 1: Lage der Testgebiete (Moorkarte aus Schopp-Guth, 1999)	26
Abb. 2: Strukturbild des Projektes, das die Kooperation und Arbeitsteilung der Partner skizziert und den Verbundcharakter des Vorhabens unterstreicht. Es sind nur die Partner mit Federführung für das jeweilige Arbeitspaket genannt.	27
Abb. 3: Wechselfeuchte Messfläche Z1 und überstaute Messfläche Z2 am Standort Zarnekow (TG3) mit automatischer Hubküvettenanlage zur Erfassung des Netto-CO ₂ -Austausches	38
Abb. 4: TG 1 Ahlenmoor - A1 – Intensivgrünland und A3 – vernässte Abtorfungsfläche	38
Abb. 5: TG 6 Mooseurach – ME 8 extensives Grünland und ME 9 renaturierter Torfmoosrasen	38
Abb. 6: Wasserstände TG1 Ahlenfalkenberg im Messzeitraum (Mai 2007 bis Juni 2009) in den Varianten A1 bis A6	43
Abb. 7: Wasserstände TG2 Dümmer-Hüde im Messzeitraum (Mai 2007 bis Juli 2009) in den Varianten D1 bzw. D2 und in D7 D8	44
Abb. 8: TG 1 Ahlenmoor: Mittelwert und Abweichung zwischen den beiden Messjahren für den Treibhausgasausaustausch, ermittelt als Globales Treibhauspotenzial (GWP, 100 Jahre)	45
Abb. 9: TG 2 Dümmer-Hüde: Mittelwert und Abweichung zwischen den beiden Messjahren für den Treibhausgasausaustausch ermittelt als Globales Treibhauspotenzial (GWP, 100 Jahre)	46
Abb. 10: Aktuelle Methanemissionen auf der wechselfeuchten und der überstaute Messfläche im Polder Zarnekow (TG 3) von 2005 bis 2009	48
Abb. 11: Aktuelle Lachgasemissionen auf der wechselfeuchten und der überstaute Messfläche im Polder Zarnekow (TG 3) von 2005 bis 2009	48
Abb. 12: Jährliche Netto-CO ₂ -C-Austauschraten (abzüglich des C-Exportes durch Ernte) auf der überstaute und der wechselfeuchten Messfläche im Polder Zarnekow (TG 3) von 2005 bis 2009	49
Abb. 13: Grundwasserstand und aktuelle Methanemission bei ausgewählten Nutzungsvarianten am Standort Paulinenaue (TG 4) in den Jahren 2007 bis 2009	50
Abb. 14: Zusammenhang zwischen mittlerem Grundwasserstand und jährlicher Methanemission bei den untersuchten Nutzungsvarianten am Standort Paulinenaue (TG 4) in den Jahren 2007 und 2008	51
Abb. 15: Jährliche Lachgasemissionen bei den untersuchten Nutzungsvarianten am Standort Paulinenaue (TG 4) in den Jahren 2007 und 2008.....	52
Abb. 16: Jährliche Netto-CO ₂ -Austauschraten (abzüglich C-Export durch Ente und/oder zuzüglich C-Import durch organische Düngung) bei den untersuchten Nutzungsvarianten am Standort Paulinenaue (TG 4) in den Jahren 2007 und 2008	53
Abb. 17: Zusammenhang zwischen jährlichen System-C-Bilanzen (Kombination von C-Gasaustauschraten mit C-Export und –Import), mittlerem Grundwasserstand und Landnutzung am Standort Paulinenaue (TG 4) in den Jahren 2007 und 2008	53
Abb. 18: Zusammenhang zwischen summarischer Klimawirkung (summarische CO ₂ -C-Äquivalentwerte wie bei Tab. 7) und der Landnutzung am Standort Paulinenaue (TG 4) in den Jahren 2007 und 2008	54
Abb. 19: Zusammenhang zwischen den System C-Bilanzen (Kombination von C-Gasaustauschraten mit C-Export und –Import) und der summarischen Klimawirkung (GWP, summarische CO ₂ -C-Äquivalentwerte wie bei Tab. 7) bei den untersuchten Nutzungsvarianten am Standort Paulinenaue in den Jahren 2007 und 2008	54

Abb. 20: Aktuelle und kumulierte CO ₂ -C-Gasflüsse bei der mit mittlerer Intensität genutzten Rohrglanzgraswiese im Zeitraum von 2007 bis 2010 (Reco = Ökosystematmung, GPP = Bruttoprimärproduktion, NEE = Netto-CO ₂ -Austausch, NEE cum = kumulierter Netto-CO ₂ -Austausch; senkrecht steigende Linien stehen für den C-Export durch Ernte).....	55
Abb. 21: Aktuelle und kumulierte CO ₂ -C-Gasflüsse beim Maisanbau im Zeitraum von 2007 bis 2010 (Reco = Ökosystematmung, GPP = Bruttoprimärproduktion, NEE = Netto-CO ₂ -Austausch, NEE cum = kumulierter Netto-CO ₂ -Austausch; senkrecht ansteigende Linien stehen für den C-Export durch Ernte).....	56
Abb. 22: Methanemission (in g CO ₂ -C Äquiv m ⁻² a ⁻¹) TG5 Freisinger Moos (2007, 2008).....	59
Abb. 23: Lachgasemission (in g CO ₂ -C Äquiv m ⁻² a ⁻¹) TG5 Freisinger Moos (2007, 2008).....	59
Abb. 24: Netto-Ökosystemaustausch inklusive C-Import-Export (in g CO ₂ -C Äquiv m ⁻² a ⁻¹) TG5 Freisinger Moos (2007, 2008).....	59
Abb. 25: Treibhausgasbilanz inklusive C-Import-Export (in g CO ₂ -C Äquiv m ⁻² a ⁻¹) TG5 Freisinger Moos (2007, 2008).....	59
Abb. 26: Methanemission (in g CO ₂ -C Äquiv m ⁻² a ⁻¹) TG6 Mooseurach (2007, 2008).....	62
Abb. 27: Lachgasemission (in g CO ₂ -C Äquiv m ⁻² a ⁻¹) TG6 Mooseurach (2007, 2008).....	62
Abb. 28: Netto-Ökosystemaustausch inklusive C-import-export (in g CO ₂ -C m ⁻² a ⁻¹) TG6 Mooseurach (2007, 2008).....	62
Abb. 29: Treibhausgasbilanz inklusive C-Import-Export (in g CO ₂ -C Äquiv m ⁻² a ⁻¹) TG6 Mooseurach (2007, 2008).....	62
Abb. 30: Mittlere Treibhausgasbilanzen der aller Standorte im Vergleich mit den Hochmoorstandorten (TG1 und TG6) entlang der Nutzungskategorien.	65
Abb. 31: Beiträge der Treibhausgasspezies zu den Gesamtbilanzen der Niedermoore (TG2 bis 5) entlang der Nutzungskategorien.....	66
Abb. 32: Inkubationen im Verlauf von 53 Tagen bei einer konstanten Temperatur von 15°C (Mittelwerte ± SD, n = 3). Drei organische Substrate (organisches Sediment, 'Torf mit Wurzeln' und 'nur Torf') aus der obersten Torfschicht werden miteinander verglichen (unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede hin, p < 0.001). Links: a) CO ₂ und b) CH ₄ -Konzentrationen Rechts: c) CO ₂ - und d) CH ₄ -Emissionen (Hahn-Schöfl et al. 2011).....	70
Abb. 33: Experimenteller Aufbau in der Klimakammer: intakte Moorsäulen mit Vegetation mit Isolation und Kühlung (a), Messkammern für Messung des CO ₂ -Austausches (b) Netto-Ökosystem-Austausch und c) Ökosystematmung). (Fotos: Maria Hahn-Schöfl)	72
Abb. 34: Tagesgang der Strahlungsintensität (Photosynthetisch aktive Strahlung PAR, oben), der Lufttemperatur (air temp, Mitte) und der Bodentemperatur in 2 cm Tiefe (soil temp, unten) in der Klimakammer bzw. in den Moorsäulen im Vergleich zum typischen Frühlingstag im Freisinger Moos (at sampling site).....	73
Abb. 35: Ökosystematmung (oben), GPP (Mitte) und NEE (unten) bei schrittweisem Anstieg des Wasserstandes während des 8-monatigen Inkubationsexperimentes 2.a getrennt nach den Temperaturstufen 13, 16, 19, 23 und 18°C (rot: Extensivwiese Seggen; blau = Intensivwiese Gräser); (Mittelwert n=6 und loess-Trendlinie); grau: Wasserstand.....	77
Abb. 36: Ökosystematmung, GPP und NEE bei dynamischer Veränderung des Wasserspiegels in kurzen Zyklen während des 7-monatigen Inkubationsexperimentes getrennt nach den Temperaturstufen 13, 16, 19, 23 und 18°C (rot: Intensivwiese Niedermoor; blau = Intensivwiese Hochmoor); (Mittelwert n=3; volle Symbole: CO ₂ -Fluss in trockenen Phasen);. grau: Wasserstand	78

Abb. 37: Methanflüsse im Experiment 2.a). Unterschiedliche Farben kennzeichnen unterschiedliche Temperaturstufen (blau: 13°C, grün: 19°C, rot: 23°C), die senkrechten Linien trennen die einzelnen Wasserstandsstufen	79
Abb. 38: Methanflüsse im zweiten Experiment. Unterschiedliche Farben kennzeichnen unterschiedliche Temperaturstufen (blau: 13°C, grün: 19°C, rot: 23°C), gelbe Abschnitte in dem unter den Flüssen dargestellten Balken kennzeichnen Trockenperioden, blaue Abschnitte Flutungsperioden. Die beiden linken Abb.en zeigen die Säulen mit kurzen Wasserstandszyklen, die rechten die mit langen.	80
Abb. 39: FSM (TG5): RECO, GPP, NEE und NEE cum auf site 2 und 9 (intensive Wiese mit 2-3 Schnitten) und site 5 (nasser Großseggenbestand) und site 13 (feuchtes Kalkkleinseggenried), dunkelgrauer Bereich oberhalb der x-Achse: RECO, hellgrauer Bereich unterhalb der x-Achse: GPP; dünne schwarze Zitterlinie um die x-Achse: NEE; dicke schwarze Linie: NEE kumuliert	84
Abb. 40: Wasserstand vs. Treibhausgasbilanz: Hochmoore	85
Abb. 41: Wasserstand vs. Treibhausgasbilanz: Niedermoore	86
Abb. 42: PEP-Modell (Peatland Emissions Predictor) - Abhängigkeit der jährlichen THG-Bilanzen der Hochmoor und Niedermoor vom Jahresmittelwasserstand (WT_mean) und dem jährlichen Export von Kohlenstoff mit dem Erntegut als Indikator für die Nutzungsintensität	87
Abb. 43: Landnutzungsverteilung der deutschen Moore nach ATKIS®	89
Abb. 44 (l): ASTER-Aufnahme vom 28.04.2007 mit Überlagerung der ATKIS® Polygone (Acker- und Grünland)	91
Abb. 45 (r): RapidEye-Aufnahme vom 02.08.09 Ausschnitt des TG-3 Peenetal mit überstauten Flächen (rot umrandet).....	91
Abb. 46: Beziehung zwischen mittlerem Grundwasserflurabstand und Höhe ü. NN im TG-4 Paulinenaue.....	92
Abb. 47: Modellierter, mittlerer Grundwasserflurabstand im TG-4 Paulinenaue (07/07 - 04/08)	92
Abb. 48: Einfluss auf die nationalen THG-Emissionen durch Verwendung verschiedener Emissionsfaktoren für Grünland. (a) Emissionsfaktor = 18,9 t CO ₂ äq ha ⁻¹ a ⁻¹ ; (b) Emissionsfaktor = 33,6 t CO ₂ äq ha ⁻¹ a ⁻¹	93
Abb. 49: Einfluss unterschiedlicher Emissionsfaktoren im Grünland auf die THG-Emissionen der TG-1 bis TG-6. (a) intensiv/mittel (EF=33,6 t CO ₂ äq ha ⁻¹ a ⁻¹), (b) extensive (EF=18,9 t CO ₂ äq ha ⁻¹ a ⁻¹)	94
Abb. 50: Abweichung der Grünlandnutzung (a) und Ackernutzung (b) in ATKIS® von den Angaben der Landwirte auf den befragten Flächen der TG-1 bis TG-6	95
Abb. 51: Verteilung der Landnutzung (Befragung der Landwirte, Fernerkundung, Ortskenntnis, Basis - DLM) und nutzungsspezifische Emissionsfaktoren im TG-4 Paulinenaue.....	96
Abb. 52: Gegenüberstellung der Ansätze zur Berechnung der THG-Emissionen auf nationaler Ebene und TG Ebene (ohne TG-6)	97
Abb. 53: Einfluss des mittleren Grundwasserflurabstands auf die THG-Emissionen verschiedener Nutzungen auf Moorstandorten (n. DRÖSLER, M., in prep.). Rote Linie: Im Szenario verwendetes Wertepaar (GWFA -10 cm; Emissionsfaktor 10 t CO ₂ äq ha ⁻¹ a ⁻¹).....	98
Abb. 54: Szenario: Von Umnutzung betroffene Flächen durch Anhebung des mittleren Grundwasser-flurabstands im TG-4	98
Abb. 55: TG-spezifische Emissionsfaktoren und Nutzungsverteilung aus ATKIS und Fernerkundungs-daten im TG-3 Peenetal.....	99

Abb. 56: Darstellung der Nutzungskategorien für das Testgebiet 1 Ahlenmoor als Ausgangsbasis für die Ermittlung der Treibhausgasemission im Gebiet und für die Szenarienberechnungen.....	100
Abb. 57: Darstellung der Nutzungskategorien für das Testgebiet 2 Dümmer als Ausgangsbasis für die Ermittlung der Treibhausgasemission im Gebiet und für die Szenarienberechnungen.....	102
Abb. 58: Bei den Berechnungen der gebietsspezifischen Szenarien für das Testgebiet 4 (Paulinenaue/Rhin-Havelluch) verwendete nutzungsspezifische Emissionsfaktoren	108
Abb. 59: Summarische Klimawirkung der Varianten des Status quo und der gebietsspezifischen Szenarien der Flächennutzung für das Testgebiet 4 (Rhin-Havelluch).....	108
Abb. 60: Flächenanteile der Nutzungskategorien im Freisinger Moos (nur Moorflächen; in ha; Stand 2008)	110
Abb. 61: Mittlere THG-Bilanzen der Nutzungskategorien (in t CO ₂ Äquiv. ha ⁻¹ a ⁻¹) im Freisinger Moos und Einsparungsbeiträge bei Umnutzung und Wiedervernässung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abb. 62: Minderung der Gebietsemissionen im Freisinger Moos TG5 durch Umnutzungskaskaden und Wiedervernässung	111
Abb. 63: Daten zu Betriebstyp und zur Organisation der betrieblichen Verfahren.....	115
Abb. 64: Flächenklassifizierung (Quelle: eigene Darstellung)	120
Abb. 65: Räumlich erfasste Parameter der Flächennutzung	121
Abb. 66: Lage der Flächen, Flächennutzung und Flächenintensität.....	122
Abb. 67: Vergleich Flächennutzung: Nutzung der MOOR-Flächen in den Testgebieten (Quelle: eigene Darstellung)	123
Abb. 68: Flächenstruktur der befragten Betriebe	124
Abb. 69: Klimarelevante Landnutzungsänderungen (Quelle: eigene Darstellung).....	150
Abb. 70: Umsetzungspotenziale klimaschonender Moorbewirtschaftung ¹	160
Abb. 71: Messplot zum Erfassen des Gasaustausches auf einem überstauten Torfstich in Weißrussland.....	168
Abb. 72: Lage der Testgebiete des BMBF-Projekts „Klimaschutz - Moornutzungsstrategien“ und des vTI-Projekts „Berichterstattung organische Böden“	169

Tabellenverzeichnis - Hauptteil

Tab. 1: Geplante (grau) und umgesetzte (grün) Bearbeitung des Projekts	28
Tab. 2: Messstandorte mit Moortyp und Grundwasserstand; Lage der TGs s. Abb. 2.....	37
Tab. 3: Steuerparameter für die Gasflüsse	39
Tab. 4: Physikalische und chemische Kennwerte der Moorprofile am Standort Ahlenmoor .	42
Tab. 5: Physikalische und chemische Kennwerte der Moorprofile am Standort Dümmer.....	42
Tab. 6: Mittlere und maximale Stickstoff- und Sulfatschwefelgehalte in 0-30 cm Tiefe zwischen dem 01.01.2008 und dem 30.06.2009	45
Tab. 7: Summarische Klimawirkung (GWP) der überstauten und der wechselfeuchten Messfläche im Polder Zarnekow (TG 3) in den Jahren 2005 bis 2009	49
Tab. 8: Messergebnisse der Treibhausgasbilanzen nach Moortyp und Nutzungskategorie.	65
Tab. 9: Übersicht zu den beiden Säulen-Inkubationen.....	69
Tab. 10: Überblick über die Experimente 2.a und 2.b	71
Tab. 11: Messprogramm bei den Experimenten mit Vegetation.....	75
Tab. 12: Flächenanteile der Landnutzungsklassen für die sechs TG - differenziert nach Moortyp	90
Tab. 13: Flächenanteile der Befragung an Moortypen und landwirtschaftlicher Nutzfläche in TG1 bis 5	95
Tab. 14: Ahlenmoor: Flächenanteil nach Nutzungskategorie und zugeordnete Emissionsfaktoren	101
Tab. 15: Dümmer: Flächenanteil nach Nutzungskategorie und zugeordnete Emissionsfaktoren	102
Tab. 16: Ahlenmoor: Ergebnis der Szenarienbetrachtung	105
Tab. 17: Dümmer Ergebnis der Szenarienbetrachtung.....	106
Tab. 18: Struktur der landwirtschaftlichen Betriebe in den Testgebieten.....	117
Tab. 19: Charakteristik der Testregionen.....	118
Tab. 20: Struktur der befragten Flächen (Quelle: eigene Darstellung)	119
Tab. 21 (I): Mengen- und Preisgerüste des Wassermanagements in den Testgebieten	140
Tab. 21 (II): Mengen- und Preisgerüste des Wassermanagements in den Testgebieten	141
Tab. 21 (III): Mengen- und Preisgerüste des Wassermanagements in den Testgebieten	142
Tab. 22: Durchschnitt ¹ , Minimum und Maximum der VE_{DBVH} und DB_{MF} des Futter- und Marktfuchtbaus sowie des Pachtpreises für entsprechende Ausgleichsflächen in den einzelnen Regionen. (€ pro Hektar ²)	147
Tab. 23: Durchschnittliche Einkommensverluste der Landwirtschaft entlang der Umnutzungskaskade auf Grundlage der „Veredelungswerte“ und Deckungsbeiträge (in € pro Hektar).....	148
Tab. 24: Mittlere Emissionsfaktoren nach Moortyp und Nutzungskategorie	149
Tab. 25: Landwirtschaftliche Einkommensverluste pro t eingespartes CO_2 -Äquivalent für die vierversprechendsten Vermeidungsstrategien auf Hochmoorstandorten.....	151
Tab. 26: Landwirtschaftliche Einkommensverluste pro t eingespartes CO_2 -Äquivalent für die vierversprechendsten Vermeidungsstrategien auf Niedermoorstandorten.....	152
Tab. 27: Stakeholderbeteiligung an den Workshops: (Anzahl der Beteiligten)	162
Tab. 28: Übersicht der Spurengasbilanzen assoziierter Flächen in den Jahren 1999, 2005 bzw. 2006 (Stand 2011).....	189
Tab. 29: Gesamtübersicht der Spurengasbilanzen im Jahr 2007 (Stand 2011)	190
Tab. 30: Gesamtübersicht der Spurengasbilanzen im Jahr 2008 (Stand 2011)	190

Danksagung

Am Anfang dieses Verbundvorhabens stand eine schon seit Jahren gereifte Forschungs-Idee, die Rolle der Moore im Klimawandel deutschlandweit systematisch zu untersuchen. Die Ausschreibung des BMBF zum klimazwei-Programm im Jahr 2005 schaffte nun die Gelegenheit, sich dieser Fragestellung umfassend mit einem Verbundvorhaben zu widmen. Daher sei an erster Stelle dem BMBF für die weitsichtige Ausschreibung und insbesondere für die Förderung dieses Vorhabens gedankt.

Dass es gelungen ist, aus einer Idee eine überzeugende Skizze und aus der Skizze einen umfassenden Antrag zu konzipieren, liegt auch und gerade an der von Anfang an sehr inspirierenden Zusammenarbeit des Konsortiums. Diese zuverlässige Kooperation war die Basis für eine erfolgreiche Verbundforschung über vier Jahre Projektlaufzeit. Mein ganz besonderer Dank gilt daher all den Projekt-Partnern (s. Autorenliste, alle nicht genannten unzähligen Helfer eingeschlossen), die sich die letzten Jahre sehr für dieses Projekt eingesetzt haben und mit hoher Motivation und großem Engagement, sowie der Bereitschaft, über die eigenen Disziplingrenzen hinauszudenken, zu einem großen Projekterfolg beigetragen haben.

Im ersten Jahr des Projekts haben wir einen Projektbeirat eingerichtet, der unseren Projektverlauf kritisch begleiten sollte. Die Mitglieder waren Dr. Rosemarie Benndorf (UBA), Dr. Uwe Lenschow (LUNG) und Dr. Jörg Gelbrecht (IGB). Für die konstruktiv-kritischen und immer hilfreichen Beiträge, für die aufgewendete Zeit und die wachsame Begleitung, gerade auch in kritischen Phasen des Projekts, sei Ihnen allen sehr herzlich gedankt.

Sowohl für die umfassende Erhebung von Spurengasbilanzen in Mooren als auch für die ökonomischen Untersuchungen waren wir (und sind wir weiterhin) auf die Kooperation mit Landnutzern angewiesen. Für das Interesse am Projekt, die Bereitschaft sich für unsere Anliegen Zeit zu nehmen und die Weitergabe von Informationen und Erfahrungen möchten wir uns ganz herzlich bedanken. Die Messung von Spurengasen nicht in einem Versuchsgutansatz sondern auf Privatflächen in der Real-Bewirtschaftung führt immer zu gewissen Bewirtschaftungseinschränkungen. Daher möchten wir uns sehr bei all den Landwirten und Landbesitzern bedanken, die uns den Zugang zu den Flächen ermöglicht und die regelmäßigen Messungen auf den Flurstücken akzeptiert haben. Ebenso sei auch den Naturschutzbehörden sehr gedankt, die uns die Genehmigungen erteilt haben, auf sensiblen, naturschutzfachlich wertvollen Flächen die Referenz-Untersuchungen durchzuführen.

Einen wesentlichen Input in das Projekt haben im Rahmen von Befragungen und Workshops auch eine Vielzahl von Verbänden, Institutionen und Behördenvertretern geleistet. Ihnen sei allen sehr herzlich gedankt. Wir haben im zweiten Stakeholderworkshop versucht, mit der gebietsspezifischen Darstellung der Ergebnisse des Projekts ein bisschen was von dem Aufwand zurückzugeben.

Für die fachliche und administrative Abwicklung stand uns für das BMBF der Projektträger-DLR zur Seite. Hier möchte ich mich insbesondere bei Herrn Dr. Klein, Herrn Dr. Schanz, Herrn Dr. Stuck sowie Frau Hill und Herrn Baudisch für die sehr gute Zusammenarbeit bedanken. Auch die Aktiven des Begleitprogramms am DIW seien herzlich bedankt.

Abschließend gilt mein besonderer Dank Dr. Andreas Gensior und Dr. Annette Freibauer vom vTI, die sich frühzeitig für die Vorbereitung eines Folgevorhabens eingesetzt haben. Die erfolgreiche Bearbeitung des BMBF-Vorhabens war die Voraussetzung für die inhaltliche Erweiterung und räumliche Ausdehnung der Untersuchungen im Rahmen des vTI-Vorhabens „Berichterstattung organische Böden“.

0 Summary

Drained peatlands represent the largest source of greenhouse gases outside the energy sector in Germany. This project is the first to assess the magnitude of the sources and sinks of a wide range of landuse types of peatlands in Germany on a spatially representative and methodologically unified basis. The research areas were spread over Germany according to the major peatland distribution areas and types of organic soils. The areas were located in the sectors south, north-west and north-east Germany. Within the research areas, the measurement-sites were selected to represent the most common and the potential future management activities. In every research area the same transparent chamber-techniques were applied, and the fluxes were used to parameterize a SWAT model to derive GPP, Reco and NEE balances over the year (see Drösler 2005). Methane and Nitrous oxide were measured with the same chamber approach. The measurement and modeling approaches of EFs were done by three groups: TUM-VegÖk (now HSWT-VÖK), LBEG and ZALF. Upscaling of emission factors was studied by ZALF, laboratory studies on the drivers were done by MPI, farm-level economy and stakeholders were studied by TUM-WDL, macro-economy by IÖW.

In total with inclusion of three previous studies, the data set comprises 130 site years of EF with complete sets of annual CO₂, CH₄ and N₂O balances. The project focused on peatlands under agricultural use, areas under nature protection and rewetted peatlands. Seven peatland use categories could be distinguished in relation to their mean greenhouse gas emissions: cropland, grassland used with medium to high intensity, extensive dry grassland, extensive wet grassland, dry bog heathland, natural and restored near-natural peatlands, permanently flooded situations. The range of emission factors (EF; mean CO₂eq. ha⁻¹ a⁻¹) was: cropland 33.8 t (fen), grassland intensive 30.9 (fen) and 28.3 (bog), grassland low intensity dry 22.5 (fen) and 20.1 (bog), grassland low intensity wet 10.3 (fen) and 2.2 (bog), heathland dry 9.6 (bog), natural/restored 3.3 (fen) and 0.1 (bog), and flooding 28.3 (fen) and 8.3 (bog).

The annual mean water table is a key driver of the greenhouse gas balance of peatlands. The annual greenhouse gas balance of peatlands can be described by the mean annual water table and the amount of carbon exported from the ecosystem by harvest. The response curve shown in this report can also be used to quantify the greenhouse gas mitigation effect of peatland restoration measures in Germany.

A significant greenhouse gas mitigation effect can only be achieved if the water table is adjusted to near-natural conditions, which is normally around 10 cm below the surface (yearly mean). The greenhouse gas mitigation potential per hectare is similar in agricultural fens and bogs. Flooding during the vegetation should be avoided or restricted to small areas or short periods to allow the establishment of Sphagnum mosses. If organic mud forms in nutrient rich flooded fens or if easily degradable grass vegetation rots extremely high methane emissions may be released.

The abandonment of agricultural use together with rewetting to near-natural condition results in greenhouse gas abatement costs between 10 and 135 € per ton of CO₂. These values were calculated over a duration of the measure of 20 years and average regional area values. As far as possible, costs and benefits of changed water management were considered as well. The mitigation of climate change via peatland restoration is sensible at the level of national economy because the greenhouse gas abatement costs are comparable to the

damage costs of climate change. Additional benefits also arise for biodiversity, water protection, tourism etc.

A follow-up project with a wider span of sites, including forests on organic soils and the whole range of organic soils with lower C-content, was initiated in 2009: Joint research project 'Organic soils' (Thünen-Institute for climate smart agriculture).

Key words: Peatland, greenhouse gases, climate mitigation, greenhouse gas abatement costs, monitoring

1 Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung

Klimaschutz zur Umsetzung der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie ist auf eine umfassende Einbeziehung aller Einsparpotentiale angewiesen. Die Landwirtschaft ist hierbei als größter Flächennutzer für den Klimaschutz ein potenziell relevanter Partner, vor allem, wenn es um die Ursachen und Vermeidungsstrategien von hot-spots von Treibhausgasemissionen geht.

Ziel und Aufgabenstellung dieses Verbundvorhabens war es, Synergien zwischen Moorschutz und Klimaschutz zu identifizieren, den Beitrag von alternativer Moornutzung zum Klimaschutz zu quantifizieren und die betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Effekte von auf Klimaschutz ausgerichteter Moornutzung und Renaturierung zu ermitteln.

Die Operationalisierung von Landnutzungsänderungen in Mooren für den Klimaschutz ist explizit als Ergänzung für technische Innovationen zum Klimaschutz gedacht. Weder stehen die unterschiedlichen Ansätze in Konkurrenz, noch sollen durch ein biologisches Maßnahmenbündel technische Maßnahmen zur Einsparung der fossilen Energieträger verzögert oder behindert werden. Vielmehr ist vor der Brisanz der derzeitigen Klimafolgen eine Strategie der vielfältigen Lösungsansätze zu verfolgen, um eine möglichst umfassende und schnelle Klimaentlastung zu erreichen.

- Im Unterschied zur klassischen, umstrittenen "C-Senke" durch Erhöhung von C-Vorräten in Mineralböden führt alternative, torferhaltende Landnutzung auf Mooren zu einer echten dauerhaften Emissionsminderung. Es ist aber dringend erforderlich, das tatsächliche Einsparpotenzial differenziert für die aktuellen und potenziellen Nutzungen mit zusätzlichen regional spezifischen Bilanz-Messungen abzusichern.
- Die anthropogenen Treibhausgasemissionen aus Mooren entsprechen ca. 4,5% der deutschen Gesamtemissionen und sind damit eine Hauptquelle. Diese muss aufgrund der Dimension der Emissionen detailliert und regionalisiert erfasst werden.
- Deutschland kann sich Emissionsminderungen durch alternatives Moormanagement unter Kapitel 4 (Landwirtschaft) des Inventars und Art. 3.4 (Kyoto Protokoll) anrechnen lassen. Für die Entscheidung sind belastbare Informationen über die nutzungsdifferenzierte Emissionsfaktoren mit Unsicherheitsangaben erforderlich.
- Über die Betrachtung der betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Effekte der derzeitigen und potenziellen Moornutzungen soll dieses Forschungsvorhaben die ökonomische Entscheidungsbasis für die Durchführung von Klimaschutzmaßnahmen durch alternative Moornutzung schaffen.

1.2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Der nationale Inventarbericht der BRD 2005 (NIR 2005) wies allein für CO₂ eine Emission von 10,1 Tg C a⁻¹ durch die Nutzung von Mooren als Acker bzw. Grünland aus. Demnach stellt die Moornutzung die größte Einzelquelle in der deutschen Landnutzung dar und der Moorschutz könnte in der Zukunft eine prioritäre Maßnahme für den Klimaschutz werden. Die Emissionsschätzung muss allerdings sowohl hinsichtlich der Flächenschätzungen der einzelnen Nutzungstypen als auch der Emissionsfaktoren als „best estimate“ angesehen werden, wobei die Emissionsfaktoren aus den bestehenden deutschen Messdaten abgeleitet wurden. Wegen der Lage in den gemäßigten Breiten mit nährstoffreicheren Bedingungen und der intensiven großflächigen Nutzung liegen die deutschen Emissionen aus der Moornutzung deutlich über dem europäischen Durchschnitt (Byrne et al., 2004).

Der größte Beitrag zum Ziel der Fördermaßnahme wäre über eine vollständige Renaturierung aller genutzten Moorflächen hin zu naturnahen Bedingungen erreichbar, gegebenenfalls auch über die vollständige Etablierung von nachwachsenden Rohstoffen. Die auf die Gesamt-Moorfläche hochgerechneten (konservativ geschätzten) Emissionsfaktoren von naturnahen Mooren erlauben eine quantitative Abschätzung einer Emissionsreduktion um 5,3 bis 11 Tg C-Äquiv. a⁻¹ (nach Byrne et al., 2004, Freibauer et al., 2009). Dies entspräche 11-20% der deutschen Verpflichtung zur Emissionsreduzierung. Damit liegt das Klimaentlastungspotenzial durch alternative Moornutzung deutlich über dem von Einzelmaßnahmen, die das Klimaschutzprogramm der Bundesregierung z.B. in den Bereichen Verkehr und Haushalte

beinhaltet.

Diese Voraussetzungen waren leitend, die Untersuchungen über Deutschland hinweg in 6 verschiedenen Mooregebieten durchzuführen (s. Abb. 1). Innerhalb der Mooregebiete sind verschiedene Einzelflächen untersucht worden, die nach den Kriterien (1) Repräsentativität für den Raum, (2) Potenzialnutzungen und hot-spots für Emissionen, (3) Wiederholung in verschiedenen Testgebieten, ausgewählt worden.

TG1: Ahlen-Falkenberger Moor, Hochmoor (Niedersachsen)

TG2: Niedermoore in der Dümmer-Region (Niedersachsen)

TG3: Peene-Flusstalmoor, Niedermoor (Mecklenburg-Vorpommern)

TG4: Rhin-Havelluch, Niedermoor (Brandenburg)

TG5: Freisinger Moos, Durchströmungsniedermoor (Bayern),

TG6: Mooseuracher Moore (Breitfilz), Hochmoor (Bayern)

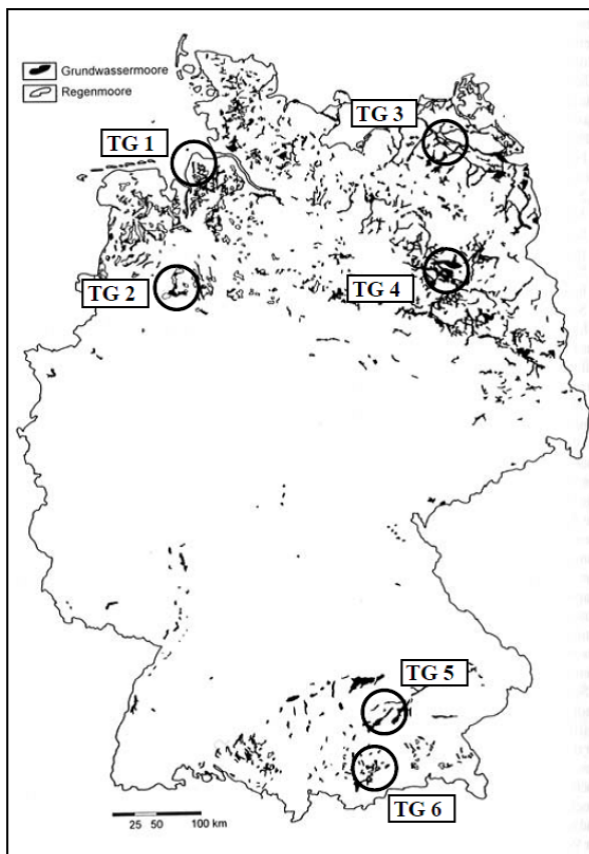


Abb. 1: Lage der Testgebiete (Moorkarte aus Schopp-Guth, 1999)

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens:

Das Vorhaben wurde in einzelne Arbeitspakete gegliedert, die miteinander verschränkt und aufeinander aufbauend konzipiert wurden (s. Abb. 2). In diesem Strukturbild des Projektverbundes entsprechen die vertikalen Säulen jeweils zwei Testgebieten, in denen die Messgruppen (NLfB (später Umbenennung in LBEG), ZALF-AUG und TUM-VegÖk) die den Spurengasaustausch bilanzierten, aktiv waren. Die Säulen repräsentieren das Objekt (TG, Nutzungsvarianten, Stakeholder etc.) der testgebietsbezogenen Untersuchungen der Messgruppen. Zugleich symbolisieren sie aber auch das Objekt für die testgebietsübergreifenden Untersuchungen der querschnittsorientierten Arbeitsgruppen. Die Messgruppen sind für ihre jeweiligen Gebiete Ansprechpartner für die querschnittsorientierten Arbeitsgruppen.

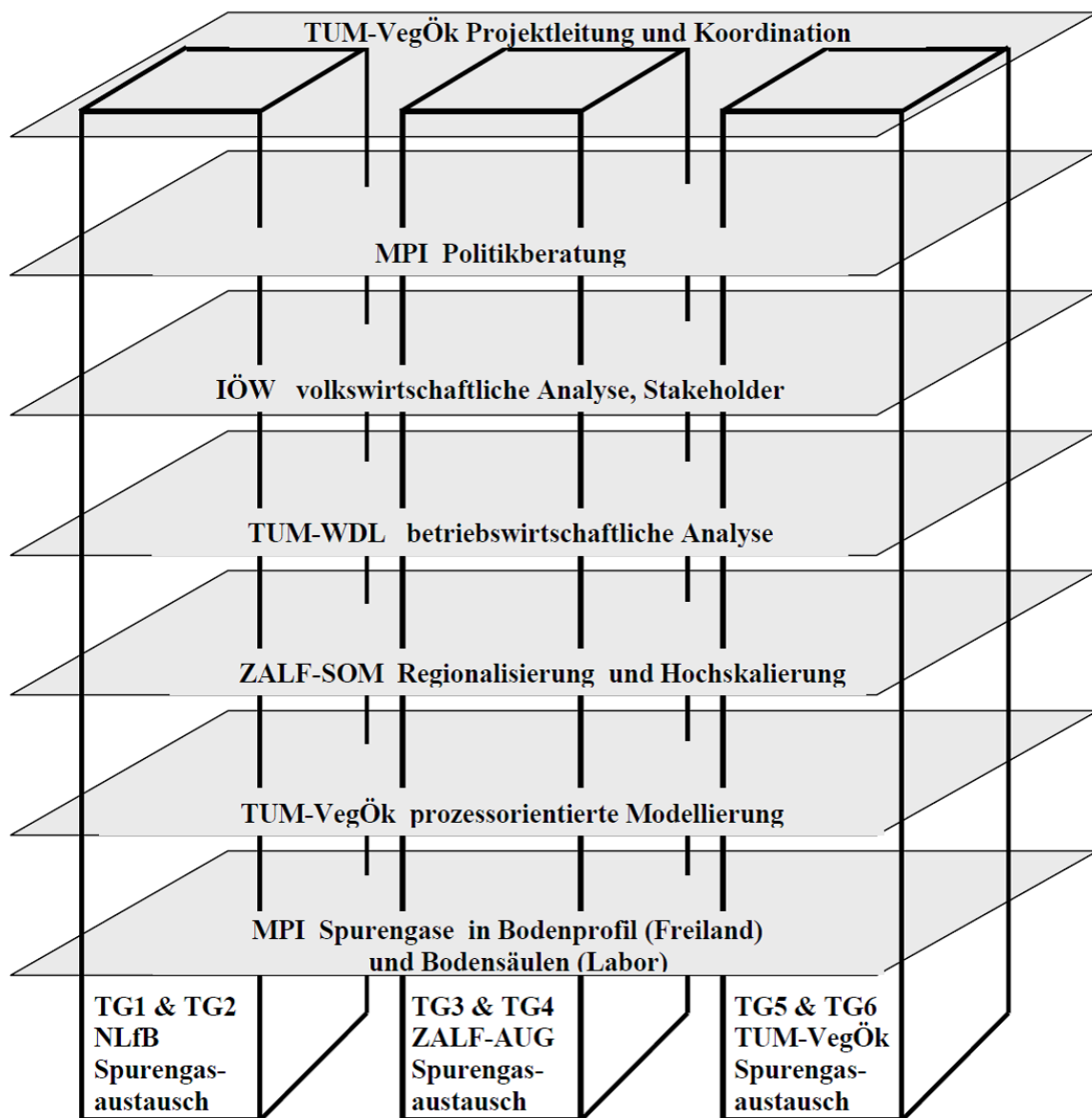
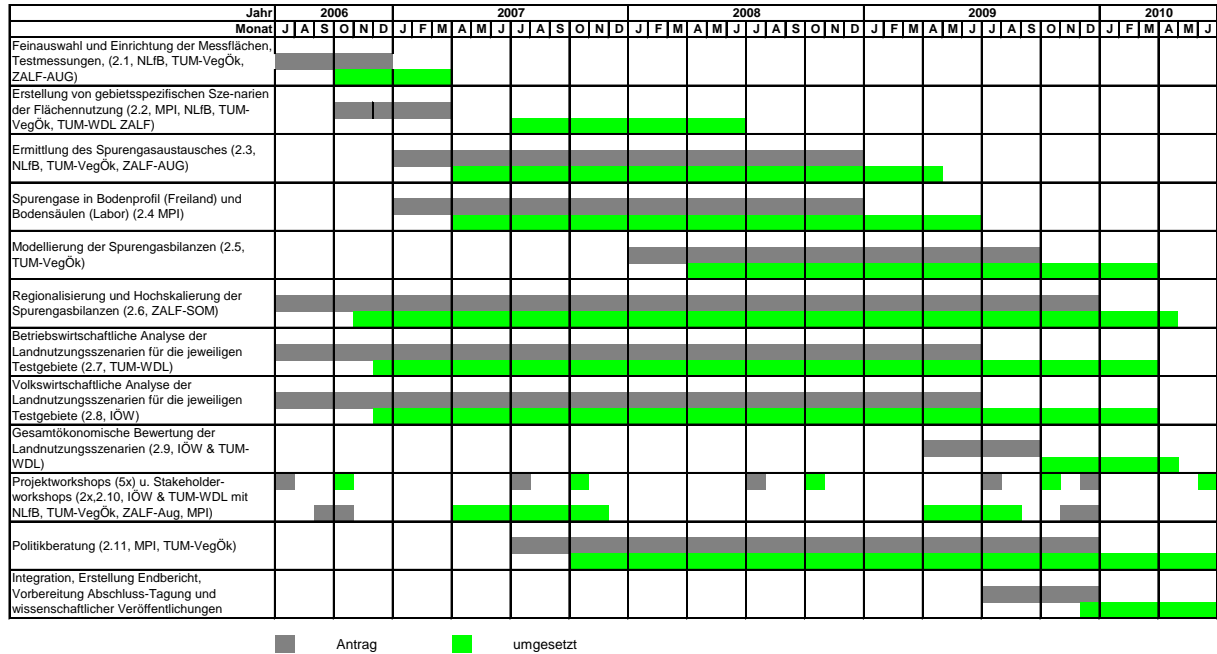


Abb. 2: Strukturbild des Projektes, das die Kooperation und Arbeitsteilung der Partner skizziert und den Verbundcharakter des Vorhabens unterstreicht. Es sind nur die Partner mit Federführung für das jeweilige Arbeitspaket genannt.

Das Vorhaben wurde entsprechend der Tab. 1 zur Antragstellung im Jahr 2005 für eine Laufzeit von 3,5 Jahren geplant. Gezeigt sind die einzelnen Arbeitspakete, in die das Projekt gegliedert wurde. Die grauen Balken entsprechen der ursprünglichen Planung der Bearbeitungszeit. Die grünen Balken geben den umgesetzten Ablauf wieder.



Tab. 1: Geplante (grau) und umgesetzte (grün) Bearbeitung des Projekts

Wesentlich für den erfolgreichen Abschluss des Vorhabens war die kostenneutrale Laufzeitverlängerung bis Mitte 2010. Diese ermöglichte den zielgerechten Abschluss der Bearbeitung mit dem öffentlichen Abschluss in Form einer 2-tägigen Abschluss-tagung in Freising 29./30.06.2010.

1.4 Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere

1.4.1 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Es wurden nur bekannte Verfahren für die Durchführung des Vorhabens genutzt. Ein Kernstück des Verbundvorhabens war die einheitliche Durchführung der Spurengasmessungen und Modellierungen. In allen Testgebieten kam die Standardmethode nach Drösler (2005) für Haubenmessungen und CO₂-Flussmodellierung zum Einsatz. Diese Verfahren sind vergleichbar mit den Standard-Methoden für Finnland nach Alm et al. (2007). Die Parameterliste der Steuerfaktoren die für die Erklärung der Messungen herangezogen wurden, entspricht der Parameterliste für Freilandmessungen nach EU-Projekten (CarboEurope).

1.4.2 Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Verwendete Fachliteratur siehe Referenzliste im Anhang I

Informationsdienste, Datensammlungen:

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), KTBL-Online-Datensammlung für Pflanzenbau und Tierhaltung

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik

Deutsche Landesgesellschaft für Landwirtschaft e.V. (DLG)

Zentralen Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft GmbH (ZMP).

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

1.5.1 Direkte Zusammenarbeit für die Durchführung des Projektes

IÖW

Im Rahmen des Vorhabens konnten keine Synergien zu anderen Projekten und Fördergebern genutzt werden.

LBEG

TG 1 Ahlenmoor

- Landkreis Cuxhaven, Untere Naturschutzbehörde
- Flächeneigentümer
- Moorinformationszentrum Ahlenmoor
- Wasser- und Bodenverband Ahlen-Falkenberger Moor
- Förderverein Ahlenmoor
- Wasser- und Landschaftspflegeverband Bederkesa
- Landvolkverband Land Hadeln
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen
- BUND-Regionalverband Unterweser

TG 2 Dümmer

- Flächeneigentümer und Pächter
- Landkreis Vechta, Untere Naturschutzbehörde
- Landkreis Diepholz, Regionalplanung und Kreisentwicklung
- NABU-Kreisgruppe Vechta e.V.
- Stiftung für Umwelt- und Naturschutz im LK Vechta
- NLWKN Betriebstelle Brake-Oldenburg, Naturschutzstation Dümmer
- GLL Meppen, Staatliche Moorverwaltung
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Oldenburg Süd
- Vechtaer Wasseracht
- Nieders. Landvolk Kreisverband Vechta
- Dümmerat der Landwirte
- Stadt Damme

MPI

AP 2.4:

Institut für Gewässerökologie u. Binnenfischerei Berlin (IGB)

Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Agrarrelevante Klimaforschung

AP 2.11: Details siehe AP 11 Politikberatung und Publikationen.

Internationale Zusammenarbeit:

Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Force on Inventories

Zusammenarbeit mit Behörden:

- Folgende Behörden wurden auf Anfrage bzw. durch eingeladene Vorträge beraten:
- Europäische Kommission, Generaldirektionen Umwelt und Landwirtschaft
- Bund
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)
- Bundesamt für Naturschutz (BfN)
- Bundesländer
- Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG)
- Umweltministerium Baden-Württemberg

Zusammenarbeit mit Verbänden:

- Folgende Verbände wurden auf Anfrage bzw. durch eingeladene Vorträge beraten:
- Deutscher Bauernverband (DBV)
- Bundesverband der Flächenagenturen in Deutschland e.V. (BFAD)
- Deutsche Vernetzungsstelle Ländliche Räume (DVS)
- Naturschutzbund Deutschland (NABU)

TUM-VegÖk**TG5:**

- Amt für Ländliche Entwicklung Oberbayern
- Amt für Landwirtschaft und Forsten Erding
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
- Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz
- Bayerischer Bauernverband
- Bund Naturschutz Kreisgruppe Freising
- Freisinger Stadtwerke Versorgungs-GmbH
- Gemeindeverwaltung Neufahrn b. Freising
- Jagdpächter
- Kreisfischereiverein Freising e.V.
- Landesbund für Vogelschutz, Kreisgruppe Freising
- Landesfischereiverband Bayern e.V.
- Referat für Arten- und Gewässerschutz
- Landratsamt Freising Sachgebiet Naturschutz und Landschaftspflege
- Landschaftspflegeverband Freising e.V.
- LEADER+ Geschäftsstelle
- HS&Z
- Wasserverband Moosach I
- Wasserwirtschaftsamt Freising
- WWA München

TG6:

- Forstamt Wolfratshausen
- Wasserwirtschaftsamt Weilheim
- LBV (Moorachse)
- BN (Moorachse)
- RegOBB (Moorachse)
- Landrat TÖL-WOR
- Landratsamt Tölz Sachgebiet Naturschutz und Landschaftspflege
- Kreisjagdverband Bad Tölz
- Kreisobmann BV
- Maschinenring Wolfratshausen e.V.

TUM – WDL***Bei der Befragung hat TUM WDL zusammengearbeitet mit:***

- Mareg Projektbüro, Herrnberchthelm 7, 97258 Ippesheim/ Franken
- Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Institut für Sozioökonomie, vertreten durch Prof. Dr. Klaus Müller, Eberswalder Straße 84, 15374 Münchenberg
- LMS Landwirtschaftsberatung Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein GmbH, Neue Reihe 45, 18209 Bad Doberan
- Naturschutzstation Dümmer, Am Ochsenmoor 52, 49448 Hüde
- Maschinenring Wolfratshausen e.V., Königsdorfer Straße 29b, 82515 Wolfratshausen
- Leader AG Freisinger Moos, Obere Hauptstr. 29, D 85354 Freising

1.5.2 Synergien mit Parallelprojekten

TUM, ZALF-AUG, ZALF-SOM, LBEG

vTI-Verbundprojekt „Organische Böden“ – Ermittlung und Bereitstellung von Methoden, Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren für die Klimaberichterstattung LULUCF/AFOLU (2009-2012)

Die im Projekt gewonnenen Daten sind für die Berichterstattung im Rahmen des Nationalen Inventarberichts von besonderem Interesse. Die meisten Standorte werden im Rahmen des vom Von-Thünen-Instituts für Agrarrelevante Klimaforschung (vTI-AK) geförderten Verbundprojektes weiter betrieben. Hierdurch wird es möglich, längere Zeitreihen zu gewinnen und eine noch bessere Abschätzung klimatischer und bewirtschaftungsbedingter Einflüsse auf die Treibhausgasbilanzen der Moorstandorte zu bekommen. Das vTI-Verbundprojekt baut direkt auf dem BMBF-Projekt auf und ergänzt Aspekte zu Waldmooren, Anmooren und nationalen Daten bezüglich Moorflächen, Landnutzung und Hydrologie.

TUM, BOKU (ehem. TUM-WDL), ZALF-AUG, ZALF-SOM

BfN-Forschungsvorhaben „Beitrag ausgewählter Schutzgebiete zum Klimaschutz und ihre monetäre Bewertung“ (2009-2011)

Aus dem BMBF-Vorhaben wird der aktuellste Kenntnisstand zur Abschätzung der Klimarelevanz der bisherigen naturschutzorientierten Maßnahmen in ausgewählten Großschutzgebieten in Deutschland eingebracht.

TUM

FORCAST TP4 Auswirkungen des Klimawandels auf ökologische Serviceleistungen von Grasland-Moorökosystemen (2009-2011)

Ziele des Vorhabens sind es, die Bedeutung des Zusammenwirkens von Standort, Pflanzenartenkombination und Klimawandel (vorrangig Temperatur und Wasserhaushalt) auf die ökologischen Serviceleistungen (Produktions- und Lebensraumfunktion und insbesondere Regulationsfunktion Kohlenstoffbindung und Klimaentlastung) in Mooren zu erforschen, die Vulnerabilität dieser Leistungen gegenüber (zukünftigen) Klimawandel-Extremen modellbasiert zu prognostizieren und Managementoptionen zur Anpassung der Moore an den Klimawandel zu identifizieren. Die Flächen BMBF-FSM 6-9 wurden in diesem Projekt weitergeführt.

TUM

LfU-Projekt Klimarelevanz von Moorrenaturierungen in Bayern Begleituntersuchungen, zur Abschätzung des Klimaentlastungspotenzials durch Moor-Renaturierungsmaßnahmen in Bayern (2008-2011)

Ziele:

Prüfung der Klimarelevanz von bereits erfolgten Moorrenaturierungen in Bayern im Rahmen von stoffhaushaltlichen Erfolgskontrollen. Dabei insbesondere Untersuchung bisher unterrepräsentierter Typen (Moorwälder, Landschaftspflegeflächen) und zeitlicher Entwicklungen (Veränderungen der Klimarelevanz von Renaturierungsflächen)

Beurteilung der Effizienz der bisherigen und im Rahmen von Klip2020 durchgeführten Renaturierungs-Maßnahmen für die Klimaentlastung, Abschätzung weiterer Potenziale und Entwicklung von Empfehlungen für die weitere Programmplanung.

TUM-vTI***GHG-Europe FP7, Task 2.1 peatland synthesis (2010-2013)***

Zusammenstellung EU-weiter Daten und Vergleich datenorientierte und prozeßorientierte Modellierung.

ZALF_AUG

In den Testgebieten 3 (Peenetalmoor) und 4 (Rhin-Havelluch) und deren Umfeld wurden bzw. werden mit dem gleichen methodischen Ansatz im Rahmen folgender Projekte Arbeiten durchgeführt, die die hier durchgeführten Untersuchungen ergänzen und erweitern:

- Einfluss der Rücküberstauung degradiertes Niedermoorstandorte des Peenetales auf die Dynamik der C-Umsetzungsprozesse und die Emission klimarelevanter Spurengase (CO₂, N₂O, CH₄)“. Projektträger: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Laufzeit: 2003-2008. Die hier durchgeführten Untersuchungen bildeten die Grundlage und den Ausgangspunkt für die im BMBF-Vorhaben fortgesetzten Messungen zur Klimawirkung des Überstaus von Niedermoorgrasland in Testgebiet 3.
- NitroEurope IP, EU-Projekt: The nitrogen cycle and its influence on the European greenhouse gas balance: Laufzeit: 2006-2011. Im Testgebiet 4 wurden hier ergänzend zu den auf Niedermoorstandorten durchgeführten Messungen die Klimawirkung und der N-Haushalt eines ähnlichen Spektrums an Landnutzungsvarianten bestimmt, welches sich auf Anmoorstandorten befand. Diese Arbeiten erfolgten gemeinsam mit Kollegen von der University of Life Science in Poznan (Polen).
- „Hydrologische Umgestaltung des Kleinen Landgrabens und des Tollensetales“, Teilprojekt „Klimawirkung von Niedermooren“ Projektträger: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Laufzeit: 2009-2012. Ausgehend von Ergebnissen des BMBF-Verbundes konzentrieren sich hier die Messungen auf alternative Varianten der Moornutzung (z.B. Erlenanbau und Rohrglanzgrasnutzung bei hohem Grundwasserstand) und der Renaturierung (z.B. Abtrag der obersten Torfschicht), über deren Klimawirkung noch keine Erkenntnisse vorliegen.

2 Eingehende Darstellung - Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen

Der Aufbau des Ergebniskapitels 2.1 folgt den Arbeitspaketen des Projektes (s. Tab. 1). Daher werden die Ergebnisse in der entsprechenden Reihenfolge unter Zuordnung zu den Partnern dargestellt. Einzig das AP 2.2 Szenarien wird in der Reihenfolge hinter das AP 2.6 eingestellt, da sich die Bearbeitung nicht nur auf die Szenarien-Entwicklung sondern auch auf die Bewertung der Emissionseinsparungspotenziale bezieht, die erst durch die Bearbeitung der AP 2.3 , 2.5 und 2.6 umfassend möglich wurde. Der Vergleich der Ziele für die einzelnen Arbeitskapitel mit dem erreichten Bearbeitungsstand wird im Wesentlichen an der Zeitschiene für die Bearbeitung der Arbeitspakete erfolgen (s. Tab. 1).

In der Darstellung Ergebnisse aus den Arbeitspaketen werden die Kürzel für die Partner verwendet, wie sie auch dem Projekt zugrunde gelegt wurden:

IÖW : Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin (PI: Ulrich Petschow)

MPI: Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena (PI: Dr. Annette Freibauer)

LBEG: Landesamt für Bergbau Energie und Geologie (ehemals NLfB), Hannover (PI: Dr. Heinrich Höper)

TUM-VegÖk: Lehrstuhl für Vegetationsökologie (seit 1.09.2010 Renaturierungsökologie), Freising (PI: Dr. Matthias Drösler)

TUM-WDL: Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaus, Freising (PI: Prof. Dr. Jochen Kantelhardt)

ZALF-AUG: Institut für Landschaftsstoffdynamik, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg (PI: Prof. Dr. Jürgen Augustin)

ZALF-SOM: Institut für Bodenlandschaftsforschung, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg (PI: Prof. Dr. Michael Sommer)

2.1 AP 2.1 Identifikation von Testgebieten, Feinauswahl und Einrichtung der Messflächen (LBEG, TUM-VegÖk, ZALF-AUG, mit MPI, TUM-WDL, ZALF-SOM)

Die Feinauswahl und Einrichtung der Messflächen konnte im Frühjahr 2007 in allen Testgebieten erfolgreich abgeschlossen werden. Im Einzelnen wurden folgende Aktivitäten durchgeführt:

- Beschaffung von Geräten und Material, Fertigstellen und Unterhalten der Bodenrahmen, Hauben und Verlängerungen; Erweiterung des tragbaren Infrarot-Gasanalyzers um einen Datenlogger inkl. Erfassungssoftware, Reparaturen oder Erneuerung von defekten Messeinrichtungen, Dichtigkeitskontrollen, Testmessungen, Optimierung der Messabläufe
- Technische Einrichtung der Versuchsstandorte, u. a. Aufbau von Stegen und Haubenlagern, Grabenübergängen, Zuwegungen, Wetterstationen.
- Feinauswahl der Versuchsstandorte, Abschluss von Pachtverträgen mit den Landeigentümern, Abstimmung bzgl. Bewirtschaftungsmaßnahmen, Beantragung von Betretungs- und Befahrungsgenehmigungen für Naturschutzgebiete

Die Auswahl der Messflächen richtete sich nach den Kriterien der

- Repräsentativität für die jeweiligen Testgebiete (Beispiele für dominierende Nutzungen)
- Potenzial (Nachwachsende Rohstoffe, Renaturierungen)
- Wiederholung in verschiedenen Testgebieten

Damit wurde ein umfassender Satz an Messstandorten ausgewählt, der ein weites Spektrum der Landnutzung in deutschen Mooren abdeckt. Insbesondere die Gruppen „Acker, Grünland und Renaturierungsflächen“ sind umfassend belegt worden. Mit insgesamt 46 Messflächen (sog. „sites“ oder „Standorte“, mit je 3-6 Wiederholungen, sog. „Plots“) war dies bis Anfang 2009 das umfassendste Messprogramm innerhalb eines Projektes zum Austausch klimarelevanter Spurengase in Mooren europaweit. Im Rahmen des Forstsetzungsprojekts „Berichterstattung organische Böden“ (2009-2012 vTI-gefördert) wurde die überwiegende Zahl an Messflächen weitergeführt und darüberhinaus noch erweitert, wodurch nun ein deutsches Verbundvorhaben mit einem noch größeren Flächenansatz bearbeitet werden kann.

Tab. 2 zeigt eine Zusammenstellung der Messvarianten. Insbesondere in den Testgebieten 4, 5 und 6 wurden die Messflächen gegenüber dem Antrag erweitert, was durch Co-Finanzierungen aus EU-Mitteln (TG4) oder Eigenmitteln (TUM) und Stiftungsgeldern (TG5 und TG6) möglich wurde. Die Vielfalt an Standorten und Nutzungsalternativen in deutschen Mooren machte diesen umfassenden Ansatz erforderlich, um über die wesentlichen Nutzungsvarianten vergleichende Aussagen treffen zu können.

Testgebiet (TG)	Messstandort – Variante	Moortyp: 1:Hochmoor 2:Niedermoor	Mittlerer Grundwasserstand (hoch < 30 cm mittel ~30-60 cm niedrig > 60 cm)
TG1	A1: intensive Wiese	1	niedrig
TG1	A2: vernässtes Extensivgrünland	1	mittel
TG1	A3: vernässte Abtorfungsfläche	1	hoch / vernässt
TG1	A4: Heidemoor, etw. trockener	1	mittel
TG1	A5: Heidemoor, etw. feuchter	1	hoch
TG1	A6: natürliches Hochmoor (Sphagnen-)	1	hoch
TG2	D1: Acker (Mais 2007)	2	niedrig
TG2	D2: intensives Wirtschaftsgrünland	2	niedrig
TG2	D7: Großseggenried, vernässt	2	hoch / vernässt
TG2	D8: Schilf-/Wasserschwadenröhricht	2	hoch
TG3	Z1: extensive Wiese	2	wechselfeucht
TG3	Z2: überstautes ehem. Grünland	2	überstaut (bis 40cm)
TG4	P1: extensive Wiese	2	mittel (2007 zt. überstaut)
TG4	P2: simul. Weide (drei N-Varianten)	2	mittel (2007 zt. überstaut)
TG4	P3: Weide – Trittstellen	2	mittel (2007 zt. überstaut)
TG4	P4: intensive Wiese	2	mittel (2007 zt. überstaut)
TG4	P5: Acker (Mais 2007)	2	niedrig
TG4	P6: Acker (Mais 2007)	2 (Anmoor)	niedrig
TG4	P7: extensive Weide	2 (Anmoor)	niedrig
TG4	P8: intensive Weide	2 (Anmoor)	niedrig
TG4	P9: extensive Wiese	2 (Anmoor)	niedrig
TG5	F1: extensive Weide	2	mittel
TG5	F2: intensive Wiese	2	mittel
TG5	F3: extensive Wiese	2	mittel
TG5	F4: Kleinseggenwiese	2	mittel
TG5	F5: Großseggenwiese	2	hoch
TG5	F6: Streuwiese (2008 gezielt vernässt)	2	mittel
TG5	F7: Streuwiese (Vergleichsbestand)	2	mittel
TG5	F8: intensive Wiese (2008 gezielt ver-	2	niedrig
TG5	F9: intensive Wiese (Vergleichsbe-	2	niedrig
TG5	F10: Acker (2007 Hafer)	2	niedrig
TG5	F11: Acker (2007 Roggen)	2	niedrig
TG5	F12: Weiden (Salix rubra)	2	niedrig
TG5	F13: Kalk-Kleinseggenried	2	hoch
TG6	M1: Hochmoorheide – degradiert	1	niedrig
TG6	M2: Hochmoorheide – renaturiert	1	mittel
TG6	M3: Sphagnenrasen auf Graben (ren.	1	hoch-überstaut
TG6	M4: Wollgras - auf ehem. Graben (ren.	1	hoch
TG6	M5: Sphagnenrasen (ren. 1993)	1	hoch
TG6	M6: Spirken (ren. 1993)	1	hoch
TG6	M7: extensive Wiese – degradiert	1	niedrig
TG6	M8: extensive Wiese – degradiert	1	niedrig
TG6	M9: Sphagnenrasen - ehem. Drain	1	hoch-überstaut
TG6	M10: ext. Wiese – ehem. Drain (ren.	1	hoch-überstaut
TG6	M11: Sphagnenrasen – Rücken (ren.	1	hoch
TG6	M12: ext. Wiese – Rücken (ren.) 1993)	1	hoch

Tab. 2: Messstandorte mit Moortyp und Grundwasserstand; Lage der TGs s. Abb. 2



Abb. 3: Wechselfeuchte Messfläche Z1 und überstaute Messfläche Z2 am Standort Zarnekow (TG3) mit automatischer Hubküvettenanlage zur Erfassung des Netto-CO₂-Austausches



Abb. 4: TG 1 Ahlenmoor - A1 – Intensivgrünland und A3 – vernässte Abtorfungsfläche

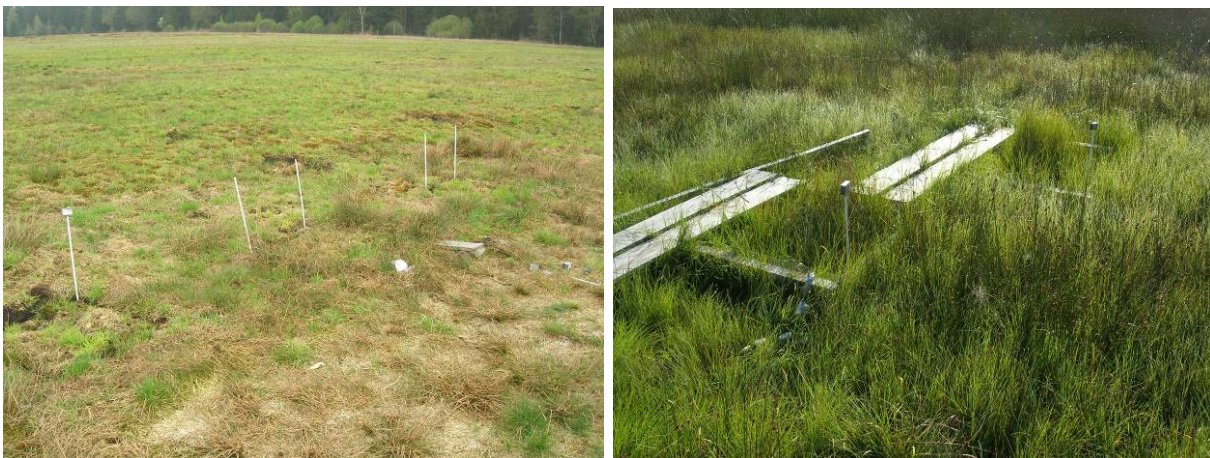


Abb. 5: TG 6 Mooseurach – ME 8 extensives Grünland und ME 9 renaturierter Torfmoosrasen

2.2 AP 2.3 Ermittlung des Spurengasaustausches (Federführung LBEG (TG1 & TG2), Federführung ZALF (TG3 & TG4), Federführung TUM-VegÖk, Beteiligung MPI (TG5 & TG6))

Erfassung der Steuerparameter für die Modellierung

Neben der Erfassung der Spurengasflüsse in ausreichender zeitlicher Auflösung und Güte ist es für die Modellierung Voraussetzung, dass ein umfassender Satz an Steuerparameter erhoben wird, die für die Erklärung und Modellierung der Flussraten verwendet werden können. Tab. 3 zeigt die regelmäßig bzw. kontinuierlich erhobenen Parameter bzw. die einmalig erhobenen Bodendaten in den sechs Testgebieten.

Parameter	Einheit	Auflösung	Parameter	Einheit	Auflösung
Klima			Boden		
photosynthetisch aktive Strahlung	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	kont. 0.5 h Auflösung	C,N,P Gesamtgehalte und pflanzenverfügbar	Mg/kg	1 mal/Jahr
Lufttemp. 200 cm	$^{\circ}\text{C}$	kont. 0.5 h Auflösung	Zersetzungsgrad (van Post)	H-Wert	Einmalig
Lufttemp. 20 cm	$^{\circ}\text{C}$	kont. 0.5 h Auflösung	Bodendichte	g/cm ³	Einmalig
Bodentemp. 2 cm	$^{\circ}\text{C}$	kont. 0.5 h Auflösung	C/N- Verhältnis		Einmalig
Bodentemp. 5 cm	$^{\circ}\text{C}$	kont. 0.5 h Auflösung	Vegetation		
Bodentemp. 10 cm	$^{\circ}\text{C}$	kont. 0.5 h Auflösung	Biomasse	gTM/m ²	diskont. (Kampagnen, i.d.R. alle 3-4 Wochen)
Bodentemp. 20 cm	$^{\circ}\text{C}$	kont. 0.5 h Auflösung			
Bodentemp. 50 cm	$^{\circ}\text{C}$	kont. 0.5 h Auflösung	LAI	M ² /m ²	indirekt aus Biomasse
Luftfeuchte	%	kont. 0.5 h Auflösung	Artenzusammensetzung und Deckungsgrade der Vegetation	Londo-Skala	Einmalig bzw. einmal pro Jahr
Wasser			Bewirtschaftung		
Niederschlag	mm	Tagessumme	Funktionelle Gruppen: Aerenchym	Londo-Skala bzw m ² /m ²	Einmalig bzw. einmal pro Jahr
Wasserstand	cm	diskont. (Kampagnen, i.d.R. alle 2 Wochen)	C-N Input auf die Flächen	kg/ha	zugeordnet zu Bewirtschaftungsgängen
pH-Wert		diskont. (Kampagnen, i.d.R. alle 2 Wochen)	C-N Export von den Flächen	kg/ha	zugeordnet zu Bewirtschaftungsgängen
Leitfähigkeit	$\mu\text{S cm}^{-1}$	diskont. (Kampagnen, i.d.R. alle 2 Wochen)			

Tab. 3: Steuerparameter für die Gasflüsse

Zudem wurden während der Spurengasmessungen an den jeweiligen Plots noch zusätzlich Bodentemperaturen, Wasserstände und PAR erhoben. Diese diskreten Werte dienen der Entwicklung von Lichtabhängigkeitskurven (NEE vs. PAR) und Atmungs-Temperaturkurven (REco vs. Temp.) pro Messkampagne und site. Die Standorte eines Testgebietes unterscheiden sich insbesondere in den oberflächennahen Bodentemperaturen und z.T. auch in

der Lufttemperatur in 20 cm signifikant voneinander. Daher werden mittels Regressionen mit den Temperaturkurven der Wetterstationen individuelle Temperaturkurven für die jeweiligen Standorte modelliert. Dies ist Voraussetzung, um insbesondere die temperaturgesteuerte Atmungsmodellierung für die jeweiligen Standorte anpassen zu können.

Die zeitliche Abdeckung der Erfassung der Steuerparameter (s. Tab. 3) als Eingangsgrößen für die Modellierung ist in allen Testgebieten in ausreichender Weise gegeben. Dies zeigen die beispielhaft dargestellten Modellierungen (s. AP 2.5), die auf kontinuierlichen Datensätzen (0,5 Stunden-Auflösung) der wesentlichen Steuerparameter aufsetzen. Die zeitliche Abdeckung, Auflösung und Güte der Erhebung der Steuerparameter qualifiziert die vorhandenen Datensätze über die Messgebiete hinweg als modellierungstauglich.

Spurengasaustausch TG1 und TG2 (LBEG)

Das Arbeitspaket wurde in vollem Umfang erledigt. Die wesentlichen Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt.

Fragestellungen und Untersuchungsschwerpunkte

TG1: Hochmoore (Messstandort Ahlenmoor, Landkreis Cuxhaven, Niedersachsen)

Vergleich der Treibhausgasemissionen von Intensivgrünland mit vernässtem Extensivgrünland

Treibhausgasemissionen aus naturnahen oder leicht degradierten Mooren als Referenz

Treibhausgasemissionen aus einer durch Überstau vernässten Abtorfungsfläche im Vergleich zu naturnahen Flächen

TG 2: Niedermoore (Messstandort Dümmer-Hüde, Landkreis Vechta, Niedersachsen)

Vergleich der Treibhausgasemissionen aus Acker und Grünland bei gleichen Grundwasserständen

Vergleich zwischen trockenem und vernässtem Extensivgrünland

Treibhausgasemissionen aus einem naturnahen Niedermoor (Röhricht)

An allen Standorten erfolgten eine Aufnahme des Bodenprofils nach bodenkundlicher Kartieranleitung und eine horizontweise Beprobung bis in den mineralischen Untergrund. Die Proben wurden von der Arbeitsgruppe ZALF-SOM, Müncheberg, auf Corg, CaCO₃, Nt, St, pH, CaCl₂, pflanzenverfügbare Nährstoffe (P, K und Mg) und die Einheitswasserzahl analysiert (Eigenanteil). Vom LBEG erfolgte die Analytik auf P- und K-Gesamtgehalte, Aschegehalt (zur Ermittlung des Substanzvolumens) und Lagerungsdichte. Die Standorte sind im Profil durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet (Tab. 4).

Pro Testgebiet wurde eine meteorologische Messstation aufgebaut. Hier werden die in Tab. 3 unter „Witterung“ aufgeführten Parameter halbstündlich aufgezeichnet. Somit lassen sich Tages- und Jahresgänge sehr detailliert verfolgen. An den Varianten wurden im Rahmen der Gasmessungen bzw. Probenahmen Grundwasserstände sowie Luft- und Bodentemperaturen manuell erfasst. Zwei bis dreimal jährlich wurden von allen Varianten Bodenproben aus 0-20 cm Tiefe gezogen und auf Nitrat und Ammonium untersucht. Beide Substanzen sind Substrat für N₂O-bildende Prozesse, Ammonium ist zudem ein Indikator für einen hohen Stoffumsatz unter Wassersättigung, wie er zumindest in TG1 in der Wasser überstauten Variante erwartet wird. Außerdem wurde Sulfat bestimmt.

POT	PUT	HORIZ	Bodenart/Torf-art	Roh-dichte	Substanz-volumen	Einheitswas-serzahl W ₁	Zerset-zungs-grad	Ct	Nt	St	CaCO ₃	pH _{CaCl2}	K	P	P _{DL}	K _{DL}	Mg _{CaCl2}
[cm]	[cm]			[g/cm ³]	[%]			[%]	[%]	[%]	[%]		%	%	[mg/100ml]	[mg/100ml]	[mg/100ml]
A1																	
0	15	Hv	Hhs	0,23	14,4	2,27	z2	47,2	2,1	0,5	0	3,6	0,04	0,11	3,9	5,9	13,7
15	55	Hw	Hhs	0,11	7,2	3,70	z2	49,7	1,0	0,4	0	3,3	0,01	0,02	0,3	0,6	12,9
55	140	Hr	Hhsy	0,09	5,5	4,10	z1	51,4	1,0	0,4	0	3,2	0,01	0,03	0,3	0,7	17,3
140	195	Hr	Hhs	0,08	4,8	3,52	z4	52,4	1,0	0,4	0	3,4	0,02	0,03	0,5	0,8	12,0
195	330	Hr	Hhs	0,09	5,3	4,00	z5	51,6	1,0	0,3	0,0	3,3			0,5	1,1	12,5
330	340	Gr	Ts3	1,75				0,3	0,0	0,0	0,1	3,7	0,26	0,01	1,9	6,2	13,5 x
A2																	
0	12	Hv	Hhs	0,27	16,6	1,34	z2	49,8	2,3	0,5	0	3,4	0,05	0,14	4,3	8,3	6,5
12	42	Hw	Hhs	0,11	7,0	3,22	z2	49,1	1,3	0,4	0	3,1	0,02	0,03	0,5	1,3	5,6
42	100	Hr	Hhs	0,08	5,2	3,93	z2	50,7	1,2	0,4	0	3,2	0,02	0,02	0,1	0,9	11,9
100	140	Hr	Hhs	0,07	4,2	4,23	z4	51,7	1,1	0,4	0	3,4	0,02	0,03	0,1	1,1	11,9
140	340	Hr	Hhs	0,07	4,1	4,32	z5	50,7	1,1	0,4	0,0	3,3	0,02	0,03	0,1	1,0	9,2
340	350	Gr	Sl2	1,64				0,6	0,0	0,0	0,0	3,6	0,09	0,01	3,7	3,2	3,9 x
A3																	
0	40	Hr	Hhs	0,11	6,6	2,72	z4	46,7	1,5	0,4	0	2,9	0,05	0,04	0,2	1,1	5,3
40	90	Hr	Hhs	0,09	5,7	3,77	z4	51,2	1,2	0,4	0	3,1	0,02	0,03	0,1	0,5	9,9
90	175	Wasser															
175	260	Hr	Hhs	0,08	5,2	5,10	z5	46,4	1,1	0,4	0	3,4	0,04	0,02	0,0	0,6	9,9
260	270	Gr	mSfs	1,34				0,5	0,0	0,1	0,0	3,8	0,06	0,01	0,6	2,4	7,1 x
A4																	
0	5	Hr	Hhsy	0,09	5,9	3,14	z2	49,0	2,7	0,3	0	2,9	0,07	0,07	0,7	4,8	6,3
5	20	Hv	Hhs	0,11	7,0	3,77	z4	49,7	2,2	0,5	0	2,7	0,04	0,05	0,4	2,5	6,4
20	57	Hw	Hhs	0,08	5,1	3,64	z4	49,5	1,5	0,7	0	2,9	0,02	0,03	0,1	0,6	5,9
57	200	Hr	Hhsy	0,05	2,9	4,58	z2	48,4	1,0	0,4	0,2	3,1	0,02	0,02	0,0	0,3	7,2
200	330	Hr	Hhsy				z2										
330	515	Hr	Hhsa				z3										
A5																	
0	17	Hr	Hhsy	0,06	3,9	4,88	z1	48,9	1,8	0,3	0	3,0	0,06	0,04	0,3	2,8	5,8
17	28	Hw	Hhs	0,06	3,9	4,63	z3	47,6	1,3	0,7	0	2,9			0,1	0,8	4,2
28	100	Hr	Hhsy	0,04	2,6	7,21	z1	49,4	1,1	0,7	0	3,2	0,02	0,02	0,0	0,2	4,5
57	200	Hr	Hhsy	0,05	2,9	4,58	z2	48,4	1,0	0,4	0,2	3,1			0,0	0,3	7,2
200	330	Hr	Hhsy				z2										
330	515	Hr	Hhsa				z3										
A6																	
0	55	Hr	Hhsy	0,05	2,9	4,95	z1	48,0	1,4	0,4	0	2,9	0,03	0,03	0,1	0,9	3,0
55	150	Hr	Hhsy	0,04	2,3	5,78	z5	49,9	1,3	0,7	0	3,2	0,01	0,02	0,0	0,3	5,1
150	400	Hr	Hhs	0,04	2,7	4,58	z5	53,7	1,4	0,5	0	3,4	0,01	0,02			

* = hier jeweils in mg / 100 g da kein Torfhorizont

Tab. 4: Physikalische und chemische Kennwerte der Moorprofile am Standort Ahlenmoor

POT	PUT	HORIZ	Bodenart/Torfart	Roh-dichte	Substanz-volumen	Einheitswas-serzahl W ₁	Ct	Nt	St	CaCO ₃	pH _{CaCl2}	K	P	P _{DL}	K _{DL}	Mg _{CaCl2}
[cm]	[cm]			[g/cm ³]	[%]		[%]	[%]	[%]	[%]		[%]	[%]	[mg/100ml]	[mg/100ml]	[mg/100ml]
D1																
0	30	Hvp	Hn	0,49	26,2	1,19	29,1	1,5	0,3	0	5,6	0,08	0,29	13,2	21,8	15,6
30	60	Hw	Hn	0,16	9,9	3,03	48,6	2,2	0,3	0	5,6	0,04	0,06	0,6	5,3	3,3
60	100	Hr	Hn	0,11	7,1	3,67	49,5	2,5	0,5	0	5,3	0,03	0,04	0,1	3,4	1,7
100	205	Hr	Hn	0,09	5,7	4,32	48,9	2,4	0,4	0	5,2			0,4	2,9	1,6
205	275	Fr	Fmu	0,65	27,6		3,8	0,2	0,5	7,6	7,5			<0,5	1,6	4,0 *
275	300	Gr	Su2	1,59			0,7	0,0	0,1	3,3	7,6			2,1	3,4	2,9 *
D2																
0	20	Hvp	Hn	0,41	22,5	1,32	30,9	1,7	0,3	0	5,4	0,06	0,38	12,4	12,5	17,4
20	60	Hw	Hn	0,16	10,1	3,11	47,1	2,1	0,3	0	5,4	0,04	0,08	0,8	5,0	4,4
60	110	Hr	Hn	0,11	6,9	4,08	49,7	2,5	0,4	0	5,1			0,1	3,4	1,9
110	205	Hr	Hn	0,09	5,7	4,32	48,9	2,4	0,4	0	5,2	0,04	0,06	0,4	2,9	1,6
205	275	Fr	Fmu	0,65	27,6		3,8	0,2	0,5	7,6	7,5	0,07	0,02	<0,5	1,6	4,0 *
275	300	Gr	Su2	1,59			0,7	0,0	0,1	3,3	7,6	0,11	0,01	2,1	3,4	2,9 *
D7																
0	30	Hvp	Hn	0,20	11,7	3,22	38,8	2,6	0,7	0	4,7	0,06	0,19	0,4	3,7	3,8
30	60	Hw	Hn	0,17	9,6	2,92	35,6	2,5	1,2	0	3,8	0,07	0,06	0,3	0,6	4,0
60	90	Hr	Hn	0,17	8,8	2,51	31,0	2,2	1,2	0	3,9	0,05	0,05	0,1	0,5	4,9
90	120	Fr	Fhh	0,18	9,4	2,23	27,1	1,8	1,1	0	4,4	0,05	0,07	0,3	0,5	5,1
120	160	Fr	Fmu	0,48	21,3	0,87	8,8	0,5	1,0	4,5	7,6	0,05	0,07	0,7	0,6	3,6
160	200	Fr	Fhh	0,26	12,3		17,9	1,2	0,9	2,5	7,5	0,06	0,07	0,3	0,7	3,2
200	210	Gr	mSfs	1,57			0,5	0,0	0,1	1,0	7,4	0,06	0,01	1,5	2,7	2,0 *
D8																
0	15	Hw	Hn	0,34	16,0	1,26	14,1	1,0	0,2	0	4,8	0,09	0,09	0,3	2,2	3,1
15	110	Hr	Hn	0,28	13,4	1,61	18,4	1,3	0,7	0	4,3	0,07	0,05	0,1	0,9	6,2
110	145	Fr	Fhh	0,22	10,7	1,86	12,6	1,4	0,9	0	4,1			0,2	0,5	5,9
145	230	Fr	Fmu	0,92	39,0		2,4	0,2	0,4	2,6	7,6			1,7	1,5	3,5 *
230	240	Gr	mSfs	1,48												

* = hier jeweils in mg / 100 g da kein Torfhorizont

Tab. 5: Physikalische und chemische Kennwerte der Moorprofile am Standort Dümmer

Die Messung des Gasaustauschs für die Gase CO₂, CH₄ und N₂O erfolgte nach der von Drösler (2005) beschriebenen Methodik. Kampagnen zur Messung des CO₂-Austauschs wurden an allen Standorten im 4-wöchigen Rhythmus durchgeführt. Für A1 wurde der Messabstand zwischen den Schnitten im 2. Jahr auf 2 bis 3 Wochen reduziert, um mindestens 2 Kampagnen zwischen den Schnitten zu haben. Für die Kampagnen wurden die für die Modellierung des Netto-Ökosystemaustauschs erforderlichen Modellparameter (alpha, GPmax, Rref und E0) ermittelt und zwischen den Kampagnen interpoliert. Die Bodentemperatur am Standort wurde aus Regressionsgleichungen zwischen den diskontinuierlich am Standort gemessenen Werte und den kontinuierlich an der Wetterstation gemessenen Werten halbstündlich berechnet. Unter Verwendung der Modellparameter, der modellierten Bodentemperatur sowie der halbstündlich gemessenen photosynthetisch aktiven Strahlung wurden die Ökosystematmung (REco), die Bruttoprimärproduktion (GPP) und der Nettoökosystemaustausch für CO₂ (NEE) ebenfalls halbstündlich ermittelt und zu Tages- und Jahreswerten aggregiert. Die NEE wurde um den C-Export durch Erntemaßnahmen und den C-Import durch organische Düngung korrigiert.

Ergebnisse und kurze Diskussion

Wasserstände

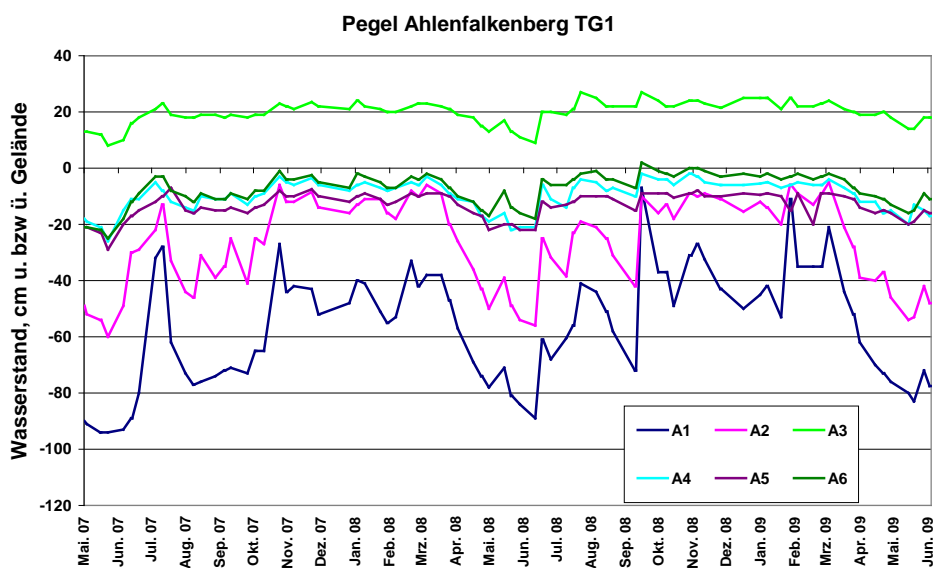


Abb. 6: Wasserstände TG1 Ahlenfalkenberg im Messzeitraum (Mai 2007 bis Juni 2009) in den Varianten A1 bis A6

Wie erwartet, wird in A3 ein kontinuierlicher Überstau von ca. 20 cm beobachtet (Abb. 6). Alle anderen Varianten zeigen Pegel, die sich unter Flur befinden. Bei A4 bis A6 werden relativ konstante Wasserstände zwischen 10 bis 20 cm unter Flur gemessen. Dagegen zeigt die drainierte intensiv landwirtschaftlich genutzte Variante A1 die größten Schwankungen in ihrem Pegel mit den tiefsten Absenkungen bis auf ca. 90 cm unter Flur im Sommer und einem darauf folgenden Anstieg auf ca. 10 cm im Winter. Die nur noch extensiv genutzte Variante A2 zeigt einen ähnlichen Wasserstandsverlauf im Jahr mit allerdings wesentlich geringeren Schwankungen, hier senkt sich der Pegel im Sommer maximal nur auf ca. 60 cm und im Winter steigt er an bis auf ca. 5 cm unter Flur.

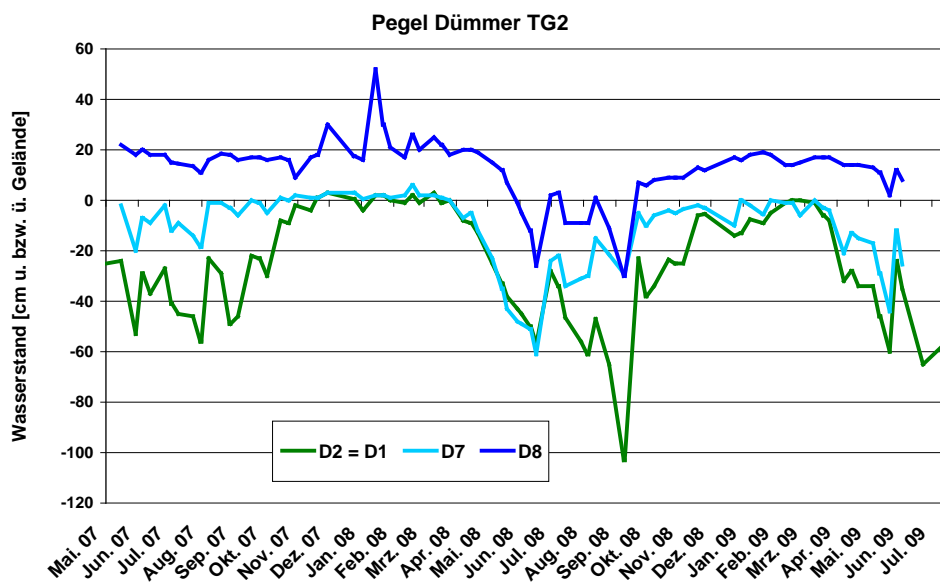


Abb. 7: Wasserstände TG2 Dümmer-Hüde im Messzeitraum (Mai 2007 bis Juli 2009) in den Varianten D1 bzw. D2 und in D7 D8

Im TG2 werden auf der Röhrichtfläche D8 die höchsten Wasserstände im Testgebiet gemessen, sie liegen hier zumeist bei ca. 20 cm über Flur, allerdings kam es dort durch die Trockenheit im Frühsommer und Herbst 2008 jeweils zu einer Absenkung bis 30 cm unter Flur (Abb. 7). Die größten Schwankungen im Wasserstand zeigt die landwirtschaftlich genutzten Variante D1 bzw. D2 (aufgrund der Ackernutzung war nur auf der daneben liegenden Fläche D2 ein Pegel), hier werden maximale Absenkungen von bis ca. 1 m unter Flur gemessen während der Wasserstand im Winter dort dann bis zur Oberfläche wieder ansteigt. Das Seggenried D7 liegt mit seinen Wasserständen zwischen diesen Varianten, zumeist liegt sein Wasserstand zwischen 0 und 20 cm unter Flur, allerdings kam es hier auch zu einer starken Absenkung jeweils im Frühsommer 2008 und 2009. Der danebenliegende Graben wurde geräumt und zur Erleichterung bzw. für die Durchführung der im Spätsommer anstehenden Pflegemaß wurde der Wasserstand der Variante D7 abgesenkt.

Stickstoff- und Sulfatschwefelgehalte im Boden

Die Nitratgehalte sind im gedüngten Acker auf Niedermoor (D1) am höchsten (Tab.). Die Grünlandstandorte A1, A2 und D2 zeigen relativ niedrige Werte, wobei A1 als einziger Standort gedüngt wurde, und die Werte auf eine relative verhaltene Düngung bei hohen Entzügen durch den Pflanzenbestand zurückzuführen sind. Erhöhte Ammoniumgehalte treten auf den nassen bzw. vernässten (A2, D7), und auf den naturnahen Standorten (A4, A5, D8) auf. Interessant ist, dass auf den sehr nassen Standorten (A3 und A6) die Werte wieder niedriger liegen. Sulfat tritt vor allem in den Niedermooren auf. Genutzte und aktuell (A1, D1, D2) oder historisch entwässerte Standorte (A2, D7) weisen höhere Werte auf als naturnahe und nasse Standorte (A3 bis A6, D8).

Variante	Nitrat		Ammonium		Sulfat	
	Mittelwert	Maximum	Mittelwert	Maximum	Mittelwert	Maximum
	kg N/ha		kg N/ha		kg S/ha	
A1	7,0	12,6	12,6	22,5	8,5	14,7
A2	8,9	17,6	16,1	26,0	8,5	13,0
A3	0,4	1,2	3,8	8,6	2,2	3,3
A4	0,5	1,3	19,0	30,4	2,1	2,6
A5	0,4	1,0	14,2	23,3	1,3	1,8
A6	0,4	1,1	2,8	10,6	0,9	1,5
D1	56,2	176,8	4,6	16,1	33,6	65,5
D2	20,5	40,1	5,3	13,6	29,2	51,5
D7	1,1	2,7	7,0	14,8	15,3	25,5
D8	0,7	1,7	32,8	55,7	9,9	16,2

Tab. 6: Mittlere und maximale Stickstoff- und Sulfatschwefelgehalte in 0-30 cm Tiefe zwischen dem 01.01.2008 und dem 30.06.2009

Jährlicher Treibhausgasaustausch

In Abb. 8 und Abb. 9 ist der Gasaustausch für die drei Treibhausgase als Globales Treibhauspotential über 100 Jahre (GWP 100) für die Varianten der beiden Standorte zusammengefasst. Es sind die Mittelwerte sowie die Spanne der beiden Jahreswerte dargestellt. Im Hochmoor weist das Intensivgrünland die höchsten Emissionen, v.a. als CO₂ auf.

Die vernässte Abtorfungsfläche A3 ist aufgrund der Methanfreisetzung eine Treibhausgasquelle. Die naturnahen Standorte A5 und A6 sowie das vernässte Extensivgrünland sind im Mittel Senken. Die degradierte Hochmoorfläche A4 weist deutliche höhere Emissionen auf als die naturnahen Standorte.

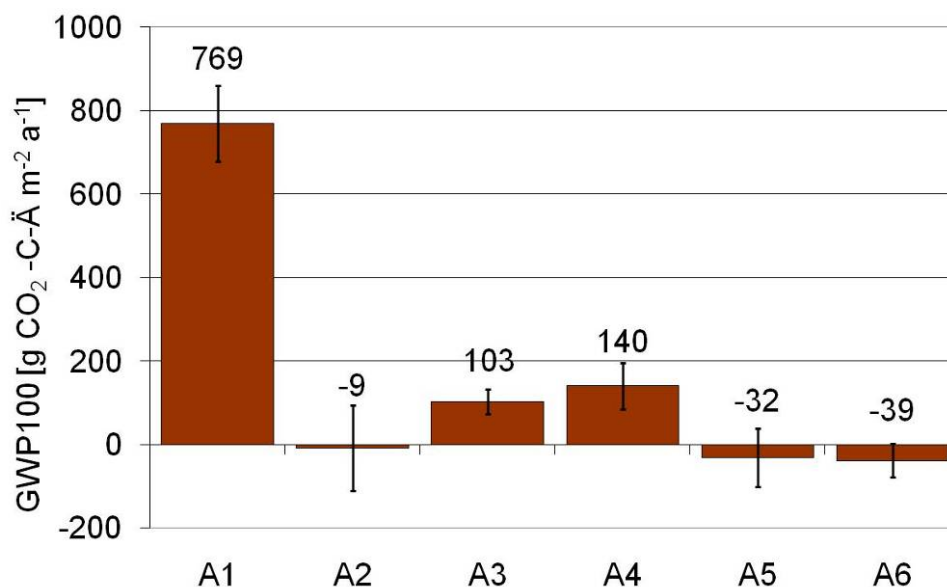


Abb. 8: TG 1 Ahlenmoor: Mittelwert und Abweichung zwischen den beiden Messjahren für den Treibhausgasaustausch, ermittelt als Globales Treibhauspotential (GWP, 100 Jahre)

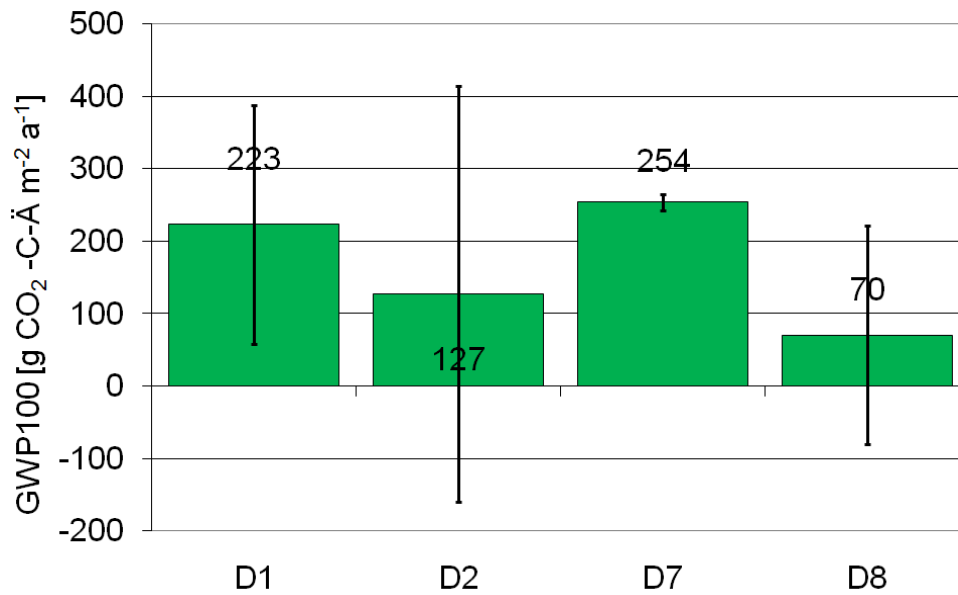


Abb. 9: TG 2 Dümmer-Hüde: Mittelwert und Abweichung zwischen den beiden Messjahren für den Treibhausgasaustausch ermittelt als Globales Treibhauspotenzial (GWP, 100 Jahre)

Am Dümmer ist der naturnahe Röhrriecht (D8) aufgrund der Methanemission ein schwache THG-Quelle im Mittel der beiden Jahre. Das vernässte Feuchtgrünland (D7) ist eine deutliche Quelle mit sehr ähnlichen Werten zwischen den beiden Jahren (Abb. 9).

Besonders auffällig sind die Messwerte der beiden landwirtschaftlich genutzten Standorte. Der Ackerstandort (D1) zeigt im Mittel eine THG-Emission ähnlich dem Feuchtgrünland (D7). Diese rel. geringe Emission könnte auf verschiedene Sachverhalte zurückgeführt werden:

Der Standort ist relativ nass. Es wurde Mais angebaut, der während der Vegetationsperiode als C4-Pflanze eine hohe CO₂-Aufnahmekapazität aufweist.

Es wurde 2007 der Mais erstmals Corn-Cob-Mix (CCM) geerntet, nachdem vorher über Jahre als Silomais geerntet worden war. Bei CCM wird nur das Maiskorn mit einem Teil der Spindel geerntet. Der Rest bleibt auf der Fläche und trägt vorübergehend zu einem Aufbau des Kohlenstoff-Pools im Boden bei. Mit der Zeit (wenige Jahre) sollte aber diese pflanzliche Substanz verstärkt abgebaut werden.

Auch die Ergebnisse des trockenen Extensivgrünlands sind besonders auffällig, v.a. im Hinblick auf die hohe Variation. Dies ist auf eine Totalherbizidanwendung des Landwirts zurückzuführen, die im ersten Jahr zu einer hohen CO₂-Freisetzung geführt hat. Im zweiten Jahr hat dann der Aufbau einer neuen Grünlandnarbe zu einer Festlegung von Kohlenstoff im Boden bewirkt. Im Mittel war dieser Standort eine leichte Quelle für CO₂.

Spurengasaustausch TG3 und TG4 (ZALF-AUG)

Standort Zarnekow (TG 3, Peeneflusstalmoor)

Die Messungen erfolgten über die gesamte Laufzeit des Vorhabens. Sie werden nun im Rahmen des nachfolgenden vTI-Vorhabens „Klimaberichterstattung organische Böden“ fortgeführt. Ungeachtet starker, im wesentlichen witterungsbedingter Schwankungen stellt die zu renaturierende Fläche (mittler Grundwasserstand: 30 cm über Geländeoberfläche) auch fünf Jahre nach Beginn der Überflutung noch eine extrem starke Quelle für Methan dar. Die Freisetzung hat sich 2009 offenbar in Folge des zeitweiligen Trockenfallens der Fläche noch einmal verstärkt. Auf der wechselfeuchten Fläche kam es dagegen nur im Fall eines sporadischen Überstaus zur Methanfreisetzung (Abb. 10). Die Lachgasemission unterliegt auf einem insgesamt sehr geringen Niveau ähnlichen starken Schwankungen wie die Methanemission. Bedingt durch den hier im Mittel niedrigeren Grundwasserstand (ca. 20 cm unter Geländeoberfläche) fielen die Flussraten auf der wechselfeuchten Variante aber deutlich höher als auf der überstauten Variante aus (Abb. 11).

Eine ausgeprägte Netto-CO₂-Aufnahme (CO₂-Senkenfunktion) war auf der überstauten Fläche nur im ersten Jahr der Messungen zu beobachten. Das ging wahrscheinlich auf die Bedeckung der Fläche mit dem später abgestorbenen Rohrglanzgrases zurück. Seit 2006 ist die überstaute Fläche oberhalb des Wasserspiegels frei von Vegetation. Das stellt offenbar die Ursache für die seither nur schwach ausgeprägte CO₂-Quellen oder –Senkenfunktion dar. Ungeachtet der völlig anderen Situation auf der wechselfeuchten Fläche verhielt sich der CO₂-Austausch aber sehr ähnlich (Abb. 12).

Vor allem wegen der Kombination aus durchgehend sehr hoher Methanemission mit fehlender CO₂-Senkenfunktion fällt die summarische Klimabilanz auf der überstauten Fläche entgegen allen Erwartungen auch fünf Jahre nach Beginn der Untersuchungen wegen der sehr hohen, positiven Werte („aufheizende Wirkung“) noch immer extrem schlecht aus. Im Vergleich dazu ergibt sich für die wechselfeuchte Variante trotz aller Schwankungen infolge der geringeren „positiven“ Werte eine deutlich günstigere Klimawirkung (Tab. 7). Bisher lässt sich noch nicht absehen, ob und wann sich die erhoffte stark reduzierte Klimawirkung der Renaturierung durch Überstau dieser sehr nährstoffreichen Niedermoore einstellt. Mit einiger Wahrscheinlichkeit wird sich eine deutliche CO₂-Senke erst nach Bedeckung der Wasserfläche mit Rohrkolben oder Schilf ausbilden. Damit ist innerhalb der nächsten fünf bis zehn Jahre zu rechnen. Das lässt sich z. B. die Fortführung der Messungen wie etwa im Rahmen des angeführten vTI-Vorhabens prüfen. Schwieriger gestaltet sich Klärung der Frage nach der Quelle und der Dauer der extrem hohen Methanemissionen. Eine wichtige Teilantwort darauf lieferten die AP. 2.4 beschriebenen Laborexperimente. Danach unterliegen die Reste des abgestorbenen Rohrglanzgrases einer sehr viel intensiveren Umsetzung zu CO₂ und CH₄ als der alte Torf. Die Bilanzierung des seit 2005 auf der überstauten Fläche über die Luft ein- und ausgetragenen Kohlenstoffs lässt aber vermuten, dass auch der laterale Antransport von Pflanzenresten aus dem Umfeld auf die überstaute Messfläche und ein durch die leicht abbaubaren Pflanzenreste selbst induzierte Umsetzung des alten Torfkohlestoffs („Priming-Effekt“) zu der permanent erhöhten Methanfreisetzung beitragen könnten. Die Klärung dieser Vermutung muss aber ebenfalls nachfolgenden Untersuchungen vorbehalten bleiben.

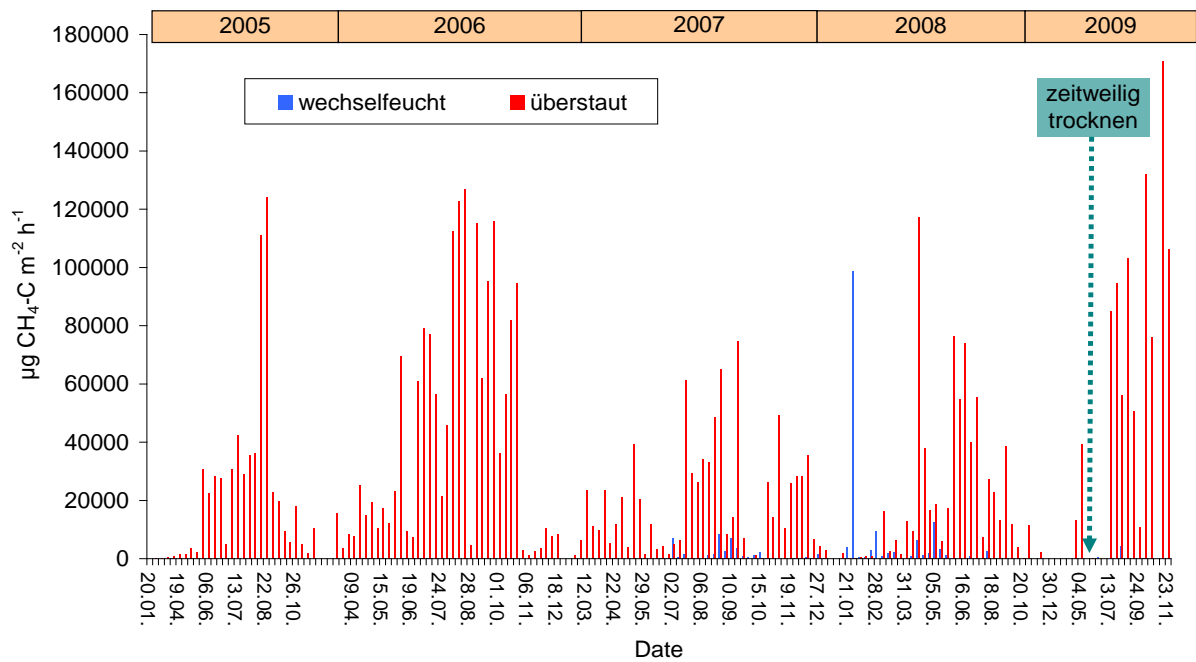


Abb. 10: Aktuelle Methanemissionen auf der wechselfeuchten und der überstauten Messfläche im Polder Zarnekow (TG 3) von 2005 bis 2009

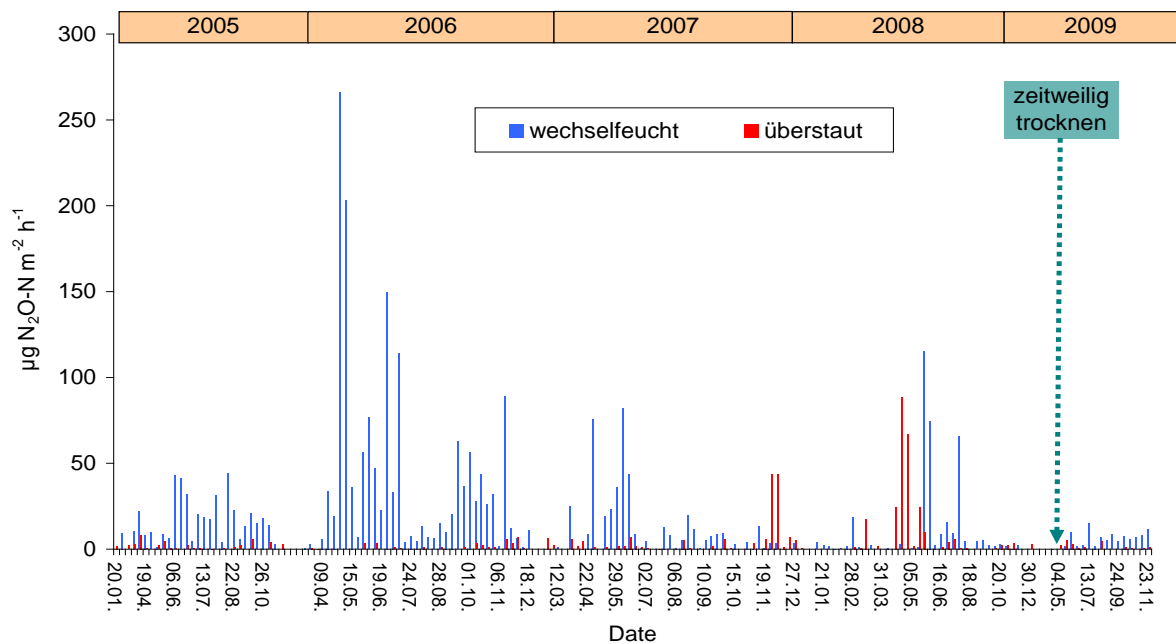


Abb. 11: Aktuelle Lachgasemissionen auf der wechselfeuchten und der überstauten Messfläche im Polder Zarnekow (TG 3) von 2005 bis 2009

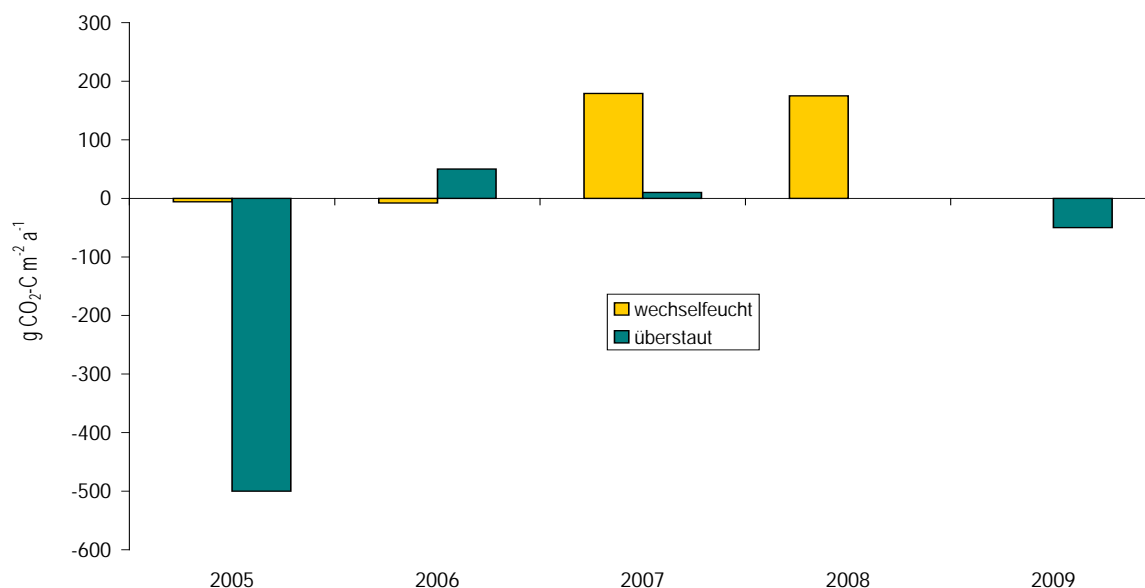


Abb. 12: Jährliche Netto-CO₂-C-Austauschraten (abzüglich des C-Exportes durch Ernte) auf der überstauten und der wechselfeuchten Messfläche im Polder Zarnekow (TG 3) von 2005 bis 2009

	Wechselfeucht CO ₂ -C-Äquivalente ¹ (g CO ₂ -C*m ⁻² *a ⁻¹)					Überstaut CO ₂ -C-Äquivalente ¹ (g CO ₂ -C*m ⁻² *a ⁻¹)				
	2005	2006	2007	2008	2009	2005	2006	2007	2008	2009
Spurengas										
CO ₂	-6	-8	179	175	0	-500	50	10	0	-50
CH ₄	0	0	63	279	-6	1524	2935	1283	1237	3439
N ₂ O	19	49	37	11	8	1	1	3	7	0
summarische Klimabilanz	13	41	279	465	2	1025	2986	1296	1244	3389

Tab. 7: Summarische Klimawirkung (GWP) der überstauten und der wechselfeuchten Messfläche im Polder Zarnekow (TG 3) in den Jahren 2005 bis 2009

¹ Relatives, auf CO₂ bezogenes Treibhauspotenzial der einzelnen Gase für einen Zeithorizont von 100 Jahren, nach den Angaben des Intergovernmental Panel on Climate Change von 1995 (Houghton et al.1996). Da hier CO₂-C-Äquivalente (gemäß Definition Faktor 1) angegeben werden, gelten für die anderen Gase folgende Umrechnungsfaktoren: CH₄ 7,6, N₂O 132,9. CO₂ abzüglich des C-Exportes durch Grasernte

Standort Paulinenaue (TG4 Rhin-Havelluch)

Die Untersuchungen erfolgten von Mai/Juni 2007 bis Ende 2009. Daraus ließen sich summarische Emissionsraten und Klimabilanzen für zwei vollständige Messjahre errechnen, die nachfolgend als 2007 und 2008 bezeichnet werden. Ebenso wie im Testgebiet 3 werden hier die Messungen im Rahmen des genannten vTI-Vorhabens bei einem teilweise veränderten Variantenspektrum fortgesetzt.

In den Messjahren fiel die Witterung im Testgebiet extrem unterschiedlich aus. Das Jahr 2007 war vom Frühjahr an durch extrem hohe Niederschläge geprägt (insgesamt 945 mm). Dadurch kam es zu einem für dieses entwässerte Moor atypischen, langen Überstau während des gesamten Sommers 2007 und des Winters 2007/2008 (Abb. 13). Als Folge dessen unterlag die Landbewirtschaftung speziell im Sommer 2007 gravierenden Einschränkungen. Ein großer Teil der Gras- und der Maisbestände konnte nicht abgeerntet werden bzw. ist auf dem Halm abgestorben. Demgegenüber gestaltete sich das Messjahr 2008 durchschnittlich bis trocken (insgesamt 351 mm). Demzufolge lagen die Grundwasserstände in diesen Jahren deutlich niedriger als 2007 (Abb. 13).

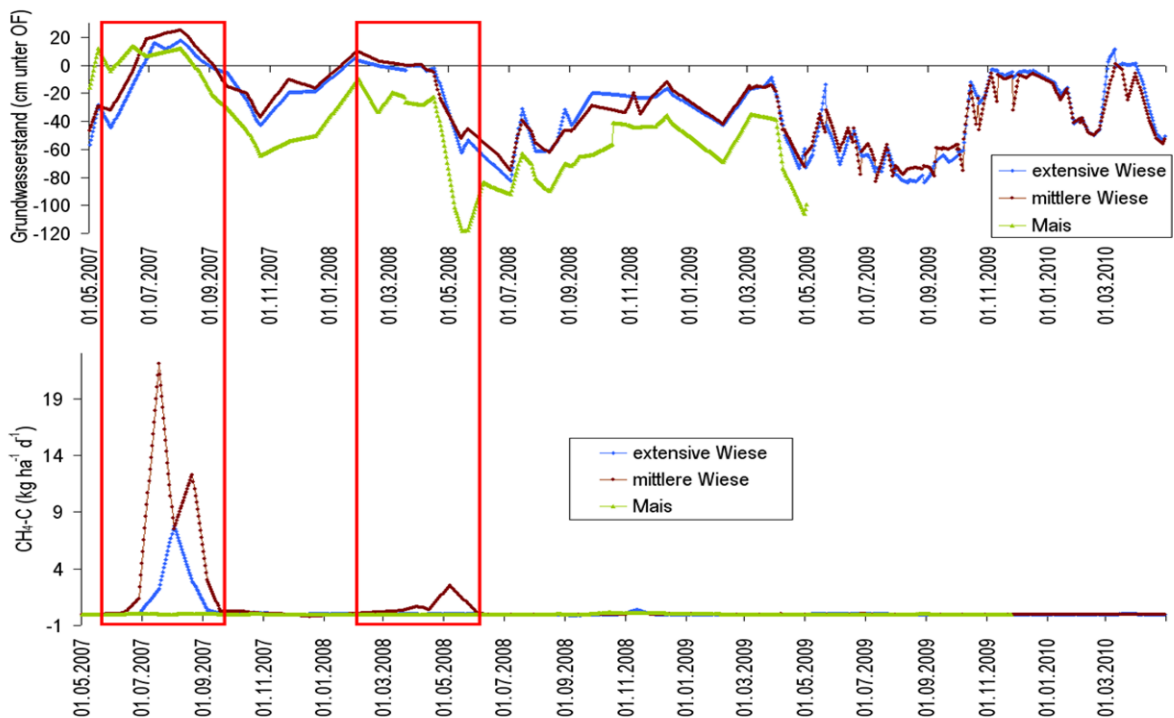


Abb. 13: Grundwasserstand und aktuelle Methanemission bei ausgewählten Nutzungsvarianten am Standort Paulinenaue (TG 4) in den Jahren 2007 bis 2009

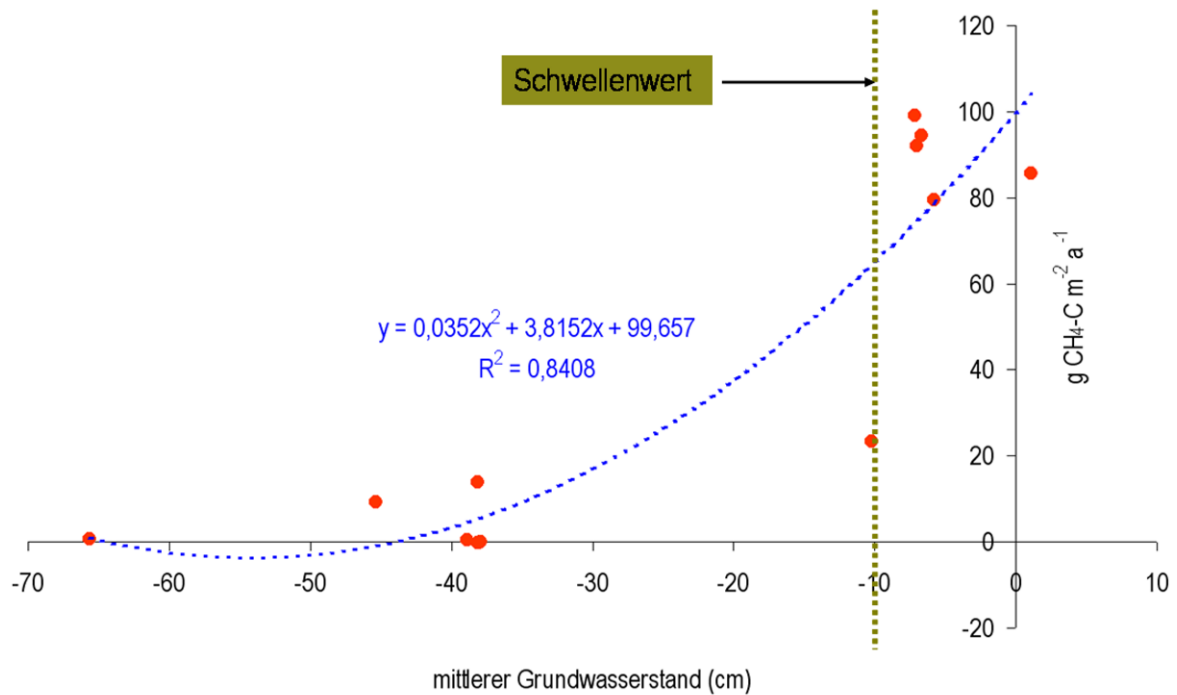


Abb. 14: Zusammenhang zwischen mittlerem Grundwasserstand und jährlicher Methanemission bei den untersuchten Nutzungsvarianten am Standort Paulinenaue (TG 4) in den Jahren 2007 und 2008

Analog zu den Befunden in Testgebiet 3 reagierte vor allem der Methanaustausch sehr deutlich auf die schwankenden Grundwasserstände. Das betraf nicht nur starken Anstieg der aktuellen Emissionen bei hohen Grundwasserständen (Abb. 13), sondern auch den deutlich positiv ausgeprägten Zusammenhang zwischen mittleren jährlichen Grundwasserständen und den kumulierten jährlichen CH_4 -Emissionsraten für die untersuchten Bewirtschaftungsvarianten. Hier wird auch der schon aus anderen Untersuchungen bekannte Befund bestätigt, dass die jährliche Methanemission oberhalb eines mittleren Grundwasserstandes von 10 cm unter Geländeoberfläche stark ansteigt (Abb. 14). Die jährliche Lachgasemission und der Netto- CO_2 -Austausch wurden ebenfalls stark von der Witterung beeinflusst. Beide Kenngrößen fielen im Mittel aller Varianten im trockenen Jahr 2008 höher als im nassen Jahr 2007 aus. Zugleich lässt sich aber aus den großen Unterschieden zwischen den Bewirtschaftungsvarianten ablesen, dass auch die Art und Intensität der Landnutzung von großer Bedeutung ist. Wie die besonders großen Unterschiede zwischen der Weidenutzung und allen anderen Varianten erkennen lassen, gilt das im besonderen Maße für die jährlichen Lachgasemissionen auf den Weideflächen. Ursache dafür war wahrscheinlich nicht nur die aktuelle Applikation von Rindergülle, welche nur 2008 erfolgte, sondern auch die lange Vorbelastung in Form intensiver Weidenutzung (Abb. 15 und 16).

Die System-C-Bilanz (d. h. die Veränderungen im C-Vorrat des Bodens, errechnet aus der Kombination der C-Gasflussmessungen mit dem landnutzungsbedingten C-Export und -Import) werden ebenfalls in sehr komplexer Weise vom Grundwasserstand, der Art der Nutzung und der aktuellen Witterung geprägt. Vor allem bei den mittleren Grundwasserständen des Jahres 2008 weisen die Nutzungsformen extrem große Unterschiede in den C-Bilanzen auf. Interessanterweise liegen die C-Verluste (positive Werte) bei relativ intensiver Schnittnutzung der Wiese häufig etwas niedriger als bei extensiver Schnittnutzung. Dennoch fielen C-Verluste im relativ trockenen Jahr 2008 im Vergleich zum sehr nassen Jahr 2007 deutlich

höher aus (Abb. 17). Da das Jahr 2008 viel eher die mittleren Klimaverhältnisse im TG 4 repräsentiert, muss davon ausgegangen werden, dass die hier beobachteten, extrem hohen C-Verluste typisch für die stark entwässerten und degradierten Niedermoorstandorte des Testgebietes sind. Eine Anpassung der Landnutzung kann diesem wohl nur dann effektiv begegnen, wenn sie mit einer Anhebung des Grundwasserstandes einhergeht.

Auf die summarische Klimawirkung hat der mittlere Grundwasserstand allerdings nur einen begrenzten Einfluss. Der Landnutzung und der aktuelle Witterung kommt hier eine deutlich größere Bedeutung zu. In der Regel, d. h. durchschnittlichen und trockenen Jahren, bestimmen der Netto-CO₂-Austausch (NEE) und die N₂O-Emission den die Klimabilanz. Nur im extrem nassen Jahr 2007 machte die CH₄-Emission auf den zeitweilig überstauten Varianten einen großen Teil der Klimawirkung aus. Insgesamt weisen die Varianten im Testgebiet im Mittel eine extreme negative Klimawirkung (positive Werte) auf (Abb. 18). Analog zum C-Bilanz gilt aber auch hier, dass eine angepasste Landnutzung ohne simultane Anhebung des Grundwasserstandes wahrscheinlich nur einen bescheidenen Beitrag zur dauerhaften Verringerung der Klimawirkung leisten kann.

Wie zusammenfassende Betrachtung der System-Kohlenstoffbilanz und der summarischen Klimabilanz zeigt, genügt keine der hier untersuchten Nutzungsvarianten per se den Anforderungen des Moor- und des Klimaschutzes. Vor allem die witterungsbedingte Anhebung des Grundwasserstandes im Jahr 2007 sorgte für eine Verminderung der Torfverluste und der aufheizenden Klimawirkung. Wie schon gesagt, fällt das bewirtschaftungsbedingte Reduktionspotenzial demgegenüber vergleichsweise gering aus. Sehr überraschend war dabei aber die die unerwartet günstige Wirkung des Maisanbaus (Abb. 19).

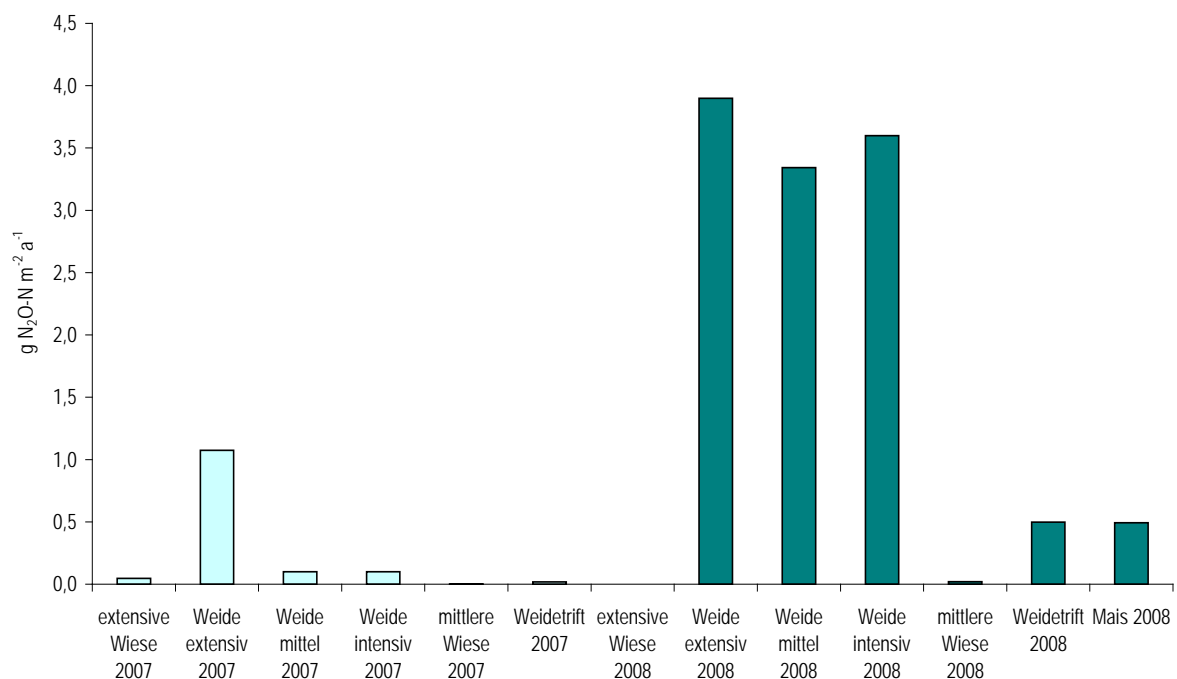


Abb. 15: Jährliche Lachgasemissionen bei den untersuchten Nutzungsvarianten am Standort Paulinenaue (TG 4) in den Jahren 2007 und 2008

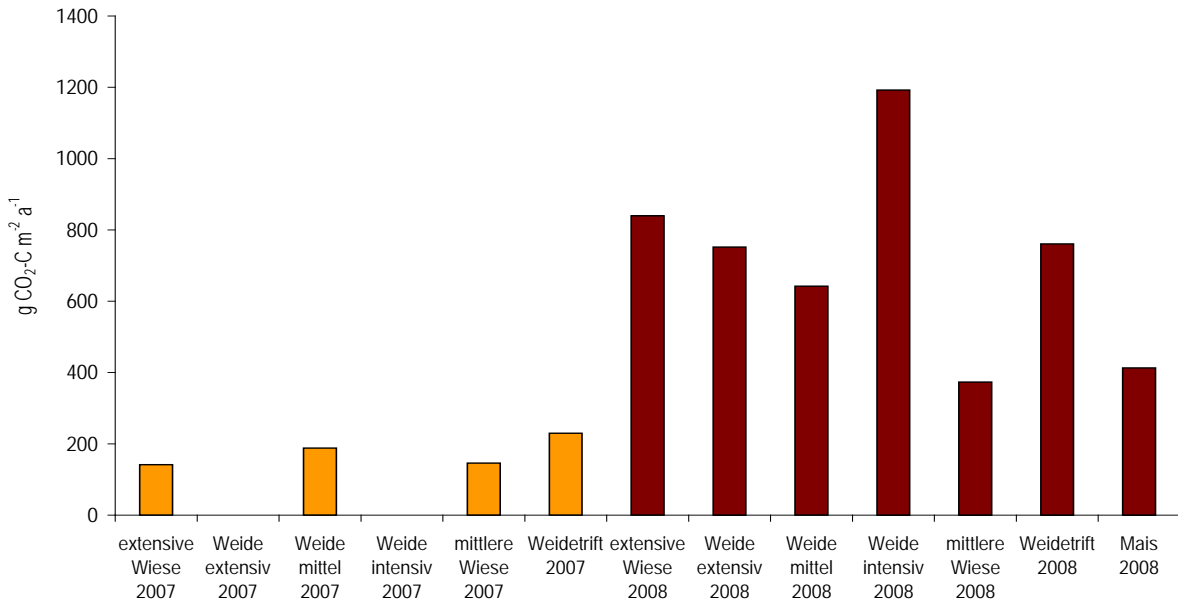


Abb. 16: Jährliche Netto-CO₂-Austauschraten (abzüglich C-Export durch Ente und/oder zuzüglich C-Import durch organische Düngung) bei den untersuchten Nutzungsvarianten am Standort Paulinenaue (TG 4) in den Jahren 2007 und 2008

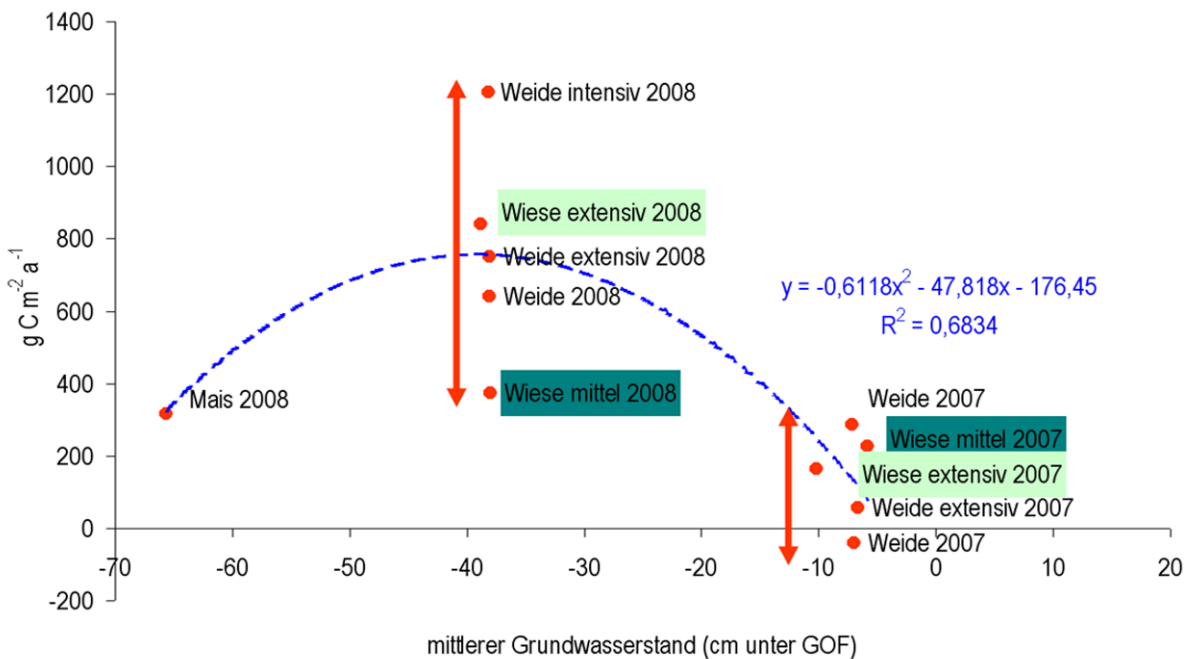


Abb. 17: Zusammenhang zwischen jährlichen System-C-Bilanzen (Kombination von C-Gasaustauschrate mit C-Export und -Import), mittlerem Grundwasserstand und Landnutzung am Standort Paulinenaue (TG 4) in den Jahren 2007 und 2008

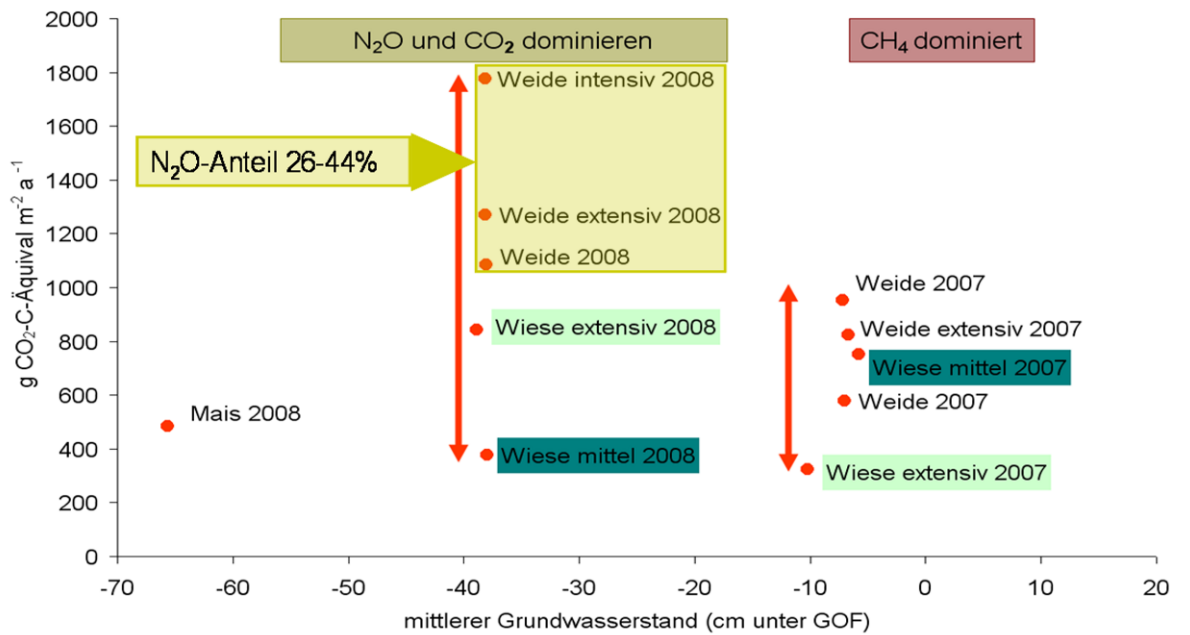


Abb. 18: Zusammenhang zwischen summarischer Klimawirkung (summarische CO₂-C-Äquivalentwerte wie bei Tab. 7) und der Landnutzung am Standort Paulinenaue (TG 4) in den Jahren 2007 und 2008

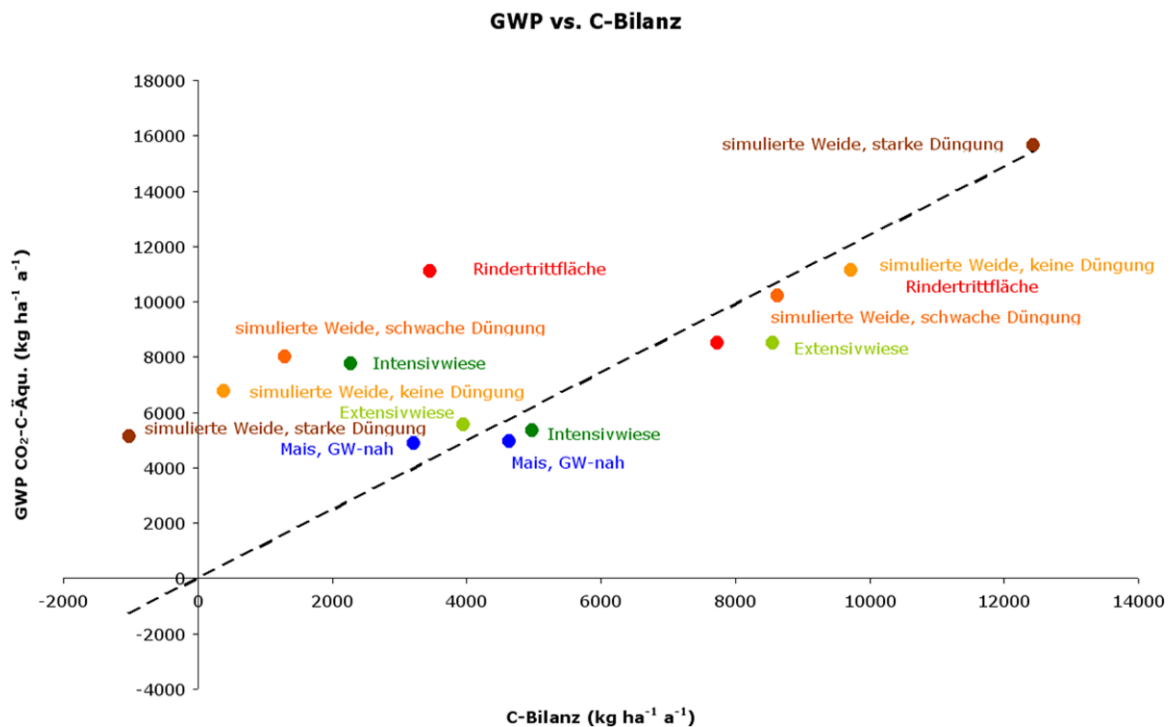


Abb. 19: Zusammenhang zwischen den System C-Bilanzen (Kombination von C-Gasaustauschraten mit C-Export und -Import) und der summarischen Klimawirkung (GWP, summarische CO₂-C-Äquivalentwerte wie bei Tab. 7) bei den untersuchten Nutzungsvarianten am Standort Paulinenaue in den Jahren 2007 und 2008

Ursache dafür ist vor allem eine unterschiedliche Intensität und jahreszeitliche Dynamik der aktuellen CO₂-Flüsse Ökosystematmung (RECO), die Bruttoprimärproduktion (GPP), aktuelle Netto-CO₂-Austauschrates (NEE) und der kumulierten Netto-CO₂-Austauschrates (NEE cu-

mulative). Das geht aus dem Vergleich der hier exemplarisch vorgestellten Varianten „Mittel intensive Wiese“ (Wiese mittlerer Intensität) und „Maismonokultur“ (Maisacker) hervor (Abb. 20 und 21). So weist die Wiese eine deutlich höhere und auch länger anhaltende Ökosystematmung als die Maisfläche auf. Das ist möglicherweise der Tatsache geschuldet, dass der Torf- und damit der Bodenkohlenstoffgehalt auf der Maisfläche deutlich geringer als bei der Wiesenfläche ist, d. h. es sich hier eigentlich nur noch um ein Anmoor handelt. Die Bruttoprimärproduktion hielt bei der Wiese ebenfalls deutlich länger als beim Mais an, dafür wies Letzterer wesentlich höhere Spitzenwerte auf. Es hat daher den Anschein, dass der Mais die in der Vegetationsperiode auftretenden Torfmineralisierungsverluste sehr effizient über den Neueintrag von Assimilatkohlenstoff in den Boden zu kompensieren vermag. Mit anderen Worten: die geringeren System-C-Verluste beim Mais resultieren vor allem aus dem besseren Zusammenspiel der C-Flüsse (Abb. 20 und 21). Aber nach wie vor sind eindeutige Aussagen darüber, ob bzw. inwieweit sich dieses Ergebnis überhaupt verallgemeinern lässt, erst nach der Durchführung weiterer Untersuchungen auf weiteren, speziell echten, Moorstandorten möglich. Es ist auch in Betracht zu ziehen, dass bei anderen Kulturen, welche nicht die Produktivität des Mais aufweisen und bei denen die bearbeitungsbedingten Mineralisierungsverluste deutlich höher sind, die System-C-Verluste und die Klimawirkung deutlich schlechter als beim Mais ausfallen könnten. Der Klärung dieser Frage wird ebenfalls im vTI-Vorhaben nachgegangen.

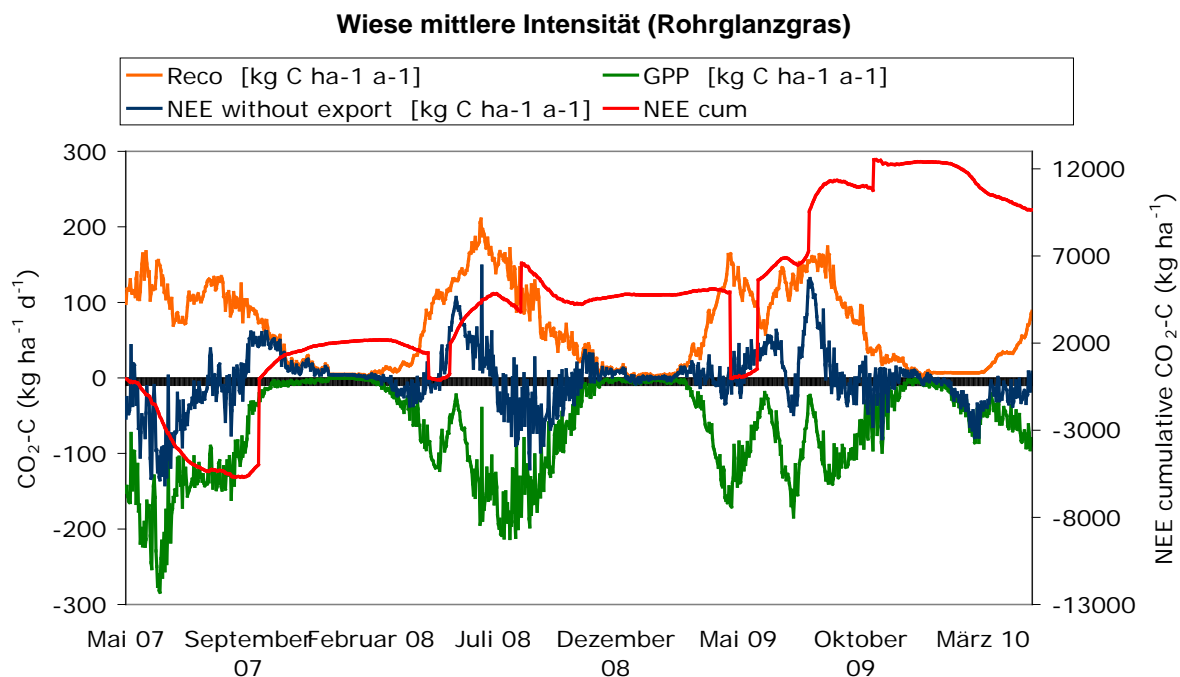


Abb. 20: Aktuelle und kumulierte $\text{CO}_2\text{-C}$ -Gasflüsse bei der mit mittlerer Intensität genutzten Rohrglanzgraswiese im Zeitraum von 2007 bis 2010 (Reco = Ökosystematmung, GPP = Bruttoprimärproduktion, NEE = Netto- CO_2 -Austausch, NEE cum = kumulierter Netto- CO_2 -Austausch; senkrecht steigende Linien stehen für den C-Export durch Ernte)

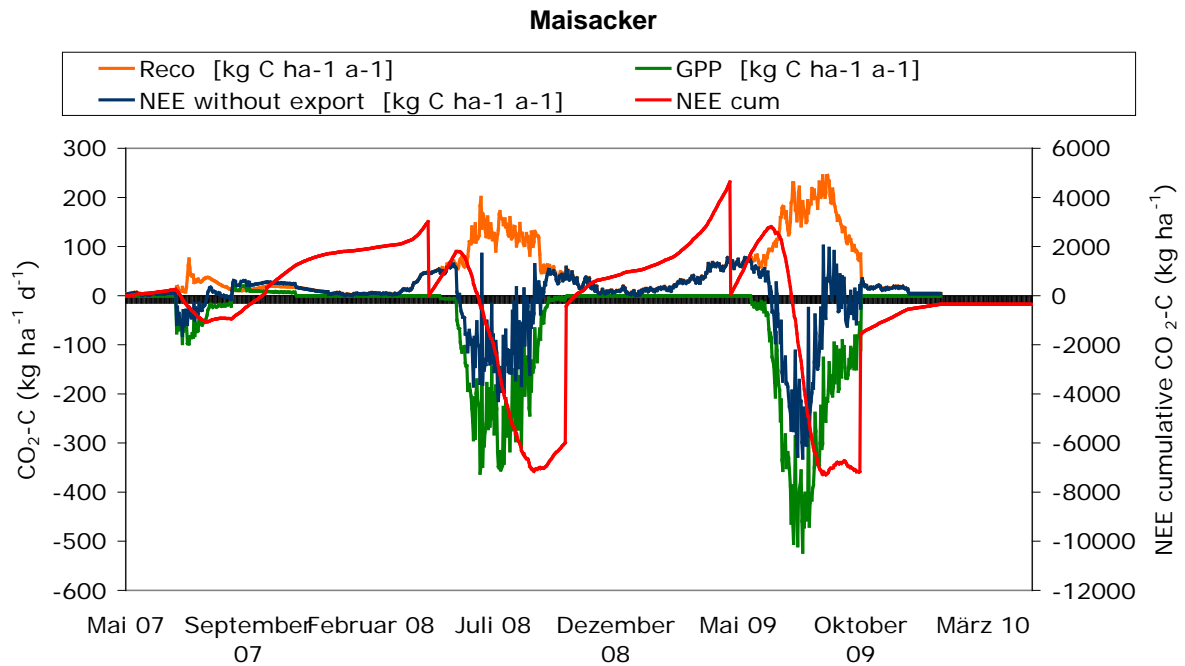


Abb. 21: Aktuelle und kumulierte CO₂-C-Gasflüsse beim Maisanbau im Zeitraum von 2007 bis 2010 (Reco = Ökosystematmung, GPP = Bruttoprimärproduktion, NEE = Netto-CO₂-Austausch, NEE cum = kumulierter Netto-CO₂-Austausch; senkrecht ansteigende Linien stehen für den C-Export durch Ernte)

Spurengasaustausch TG5 und TG6 (TUM-VegÖk mit MPI)

Das Arbeitspaket wurde vollständig entsprechend der Ziele und des Arbeitsprogramms bearbeitet. Im Folgenden sind wesentliche Ergebnisse in Text und Grafik dargestellt.

Fragestellungen und Untersuchungsschwerpunkte TG 5 Niedermoor Freisinger Moos, (Lkr. Freising, Bayern)

- Erfassung des Treibhausgasaustauschs von Ackernutzung auf Niedermoor
- Vergleich des Treibhausgasaustauschs von unterschiedlich intensiv genutzten Graslandökosystemen: Intensivgrünland, Extensiv-Grünland in Nutzung und naturschutzfachlich wertvollen Pflegeflächen
- Erfassung des Treibhausgasaustauschs von extensiven Beweidungsflächen
- Erfassung des Treibhausgasaustauschs von Perspektiv-Nutzungen (Weidenkulturen)

Material und Methoden

Die insgesamt 14 Messflächen (mit jeweils 3 Messplots) wurden über das Freisinger Moos nach vorhergehender Torf-Mächtigkeitanalyse repräsentativ verteilt (s. AP 2.1). Für die Bezeichnung der sites s. Tab. 2.

Methanmessungen und Lachgasmessungen wurden auf all diesen Flächen über die Messjahre 2007 und 2008 i.d.R. in 2 wöchigem Rhythmus durchgeführt. Die Methan-Analytik wurde vom Partner MPI übernommen.

Messungen des Austauschs von Kohlendioxid erfolgten abgestuft nach der Dynamik der Landnutzung in den einzelnen Messflächen. So wurden die Intensiv bewirtschafteten Grasländer in 2-3 wöchigem Rhythmus gemessen. Extensive Flächen dagegen in ca. 4 wöchigem Rhythmus. Daneben erfolgte die Erfassung der Erklärungsparameter nach der Parameterliste (s. Tab. 3).

Die erfassten Konzentrationsänderungen der Gase über die Zeit (dc/dt) wurden in Flussraten umgerechnet und dienten als kampagnenbezogene Eingangsgrößen für die Modellierung (s. AP 2.5).

Ergebnisse und Diskussion

Zur kompakteren Übersicht sind alle wesentlichen Ergebnisse der Flussraten auf der folgenden Seite in Abb. 22 - 25 dargestellt. Alle gasspezifischen Bilanzen sind unmittelbar in $g\ CO_2-C\ Äquiv.\ m^{-2}\ a^{-1}$ umgerechnet dargestellt.

Methan Bilanzen TG5:

Relevante Flüsse sind im Freisinger Moos nur in den extensiv genutzten bzw. Aus Naturschutzgründen gepflegten Flächen FSM5 (Großseggenried), FSM 13_1 und 13_2 (Kalkkleinseggenried) erfasst worden (s. Abb 22). Alle drei Flächen zeichnen sich durch dne höchsten Wasserstand (-20 bis -5 cm) aus und sind hinsichtlich der Vegetation von Seggen mit Aerenchym-Gewebe geprägt. Das Muster bleibt über beide Messjahre stabil. Die interannuelle Variabilität ist gering. Die Größenordnung der Flüsse bleibt aber unter den Emissionen naturnaher Niedermoorflächen.

Daneben fällt auf, dass auch aus der genutzten Weide FSM 1 ein relevanter Methanfluss mit 19 bzw 26 g CO₂-C Äquiv. m⁻² a⁻¹ emittiert wurde. Dies ist aber nicht dem bodenbürtigen Fluss zuzuordnen (der nahe bei 0 lag), sondern den errechneten Effekten der Beweidung. Dafür wurde das Herdengewicht vor und nach der Beweidungsperiode und die Weidedauer erfasst und nach der Berechnungsmethodik für die Berichterstattung eine flächenbezogene Methanemission durch die Wiederkäuer errechnet.

Lachgas Bilanzen TG5:

Im Gegensatz zu den Methanbilanzen unterscheiden sich die Lachgas-Bilanzen zwischen den beiden Messjahren deutlich. In 2007 zeigen die beiden Ackerflächen FSM 10 und FSM 11 erwartungsgemäß die höchsten Werte. Hier sind die höchsten Düngergaben zu verzeichnen. Überraschend ist, dass die ungedüngten ehemaligen Streuwiesenflächen auf FSM 6 und FSM 7 die nächst-höchsten Emissionen aufweisen. Dies korreliert mit hohen Nitrat-Werten im Grundwasser, die vermutlich von der angrenzenden, intensiv-Wiese herrühren, denen aber auf der extensiv-Fläche kein entsprechender Pflanzenentzug entgegensteht. Damit rangieren sie mit N₂O-N Emissionen von knapp 100 g C-Äquiv. m⁻² a⁻¹ noch deutlich vor den gedüngten intensiv-Grünländern wie FSM 8 und FSM 9 mit ca. 40 bis 60 g C-Äquiv. m⁻² a⁻¹. Die geringsten Emissionen weisen die naturnächsten Flächen FSM 13.1 und FSM 13.2 auf (Kalkkleinseggenried), die seit Jahrzehnten nur noch zur Pflege geschnitten werden und keinen Düngerinput erhalten. Diese deutliche Differenzierung der Standorte ist aber im Jahr 2008 nicht mehr so ausgeprägt sichtbar. Einzig die Äcker FSM 10 und FSM 11 bleiben die Flächen mit den höchsten Emissionen, wobei die Werte bei knapp einem Drittel der Vorjahresbilanzen liegen. Die im Vorjahr mit am geringsten emittierende Weiden-Fläche (FSM 12) gehört in 2008 zu den stärksten Emittenten. Generell zeichnet sich das Jahr 2008 durch geringere Lachgasemissionen und, bis auf die genannten Einzelflächen, durch generalisierte geringe N₂O-N Emissionen von 25-30 g C-Äquiv. m⁻² a⁻¹.

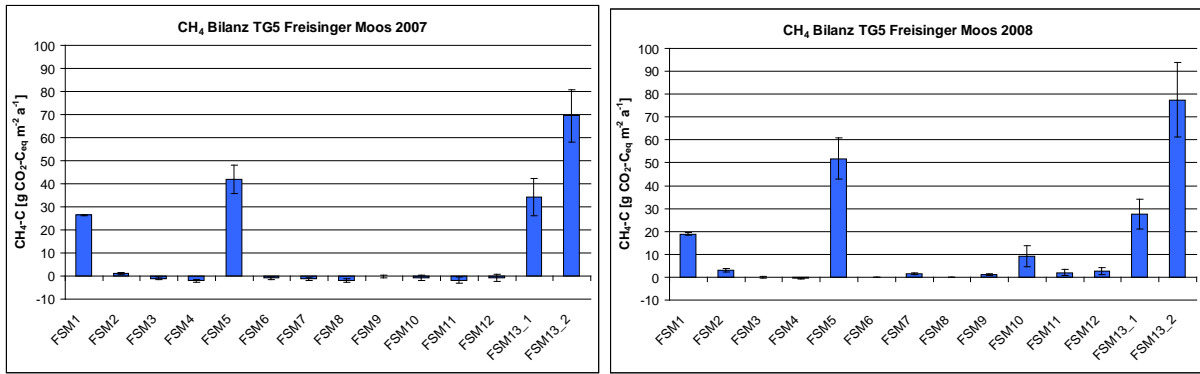


Abb. 22: Methanemission (in g CO₂-C Äquiv m⁻² a⁻¹) TG5 Freisinger Moos (2007, 2008)

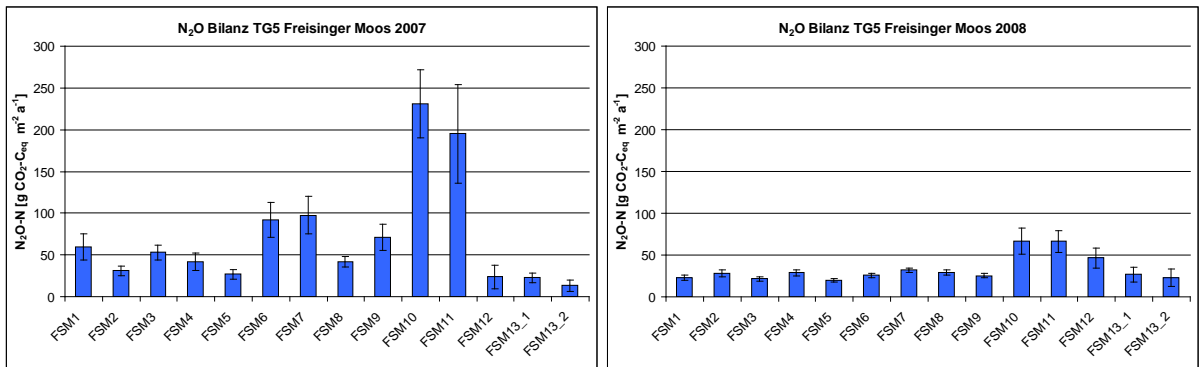


Abb. 23: Lachgasemission (in g CO₂-C Äquiv m⁻² a⁻¹) TG5 Freisinger Moos (2007, 2008)

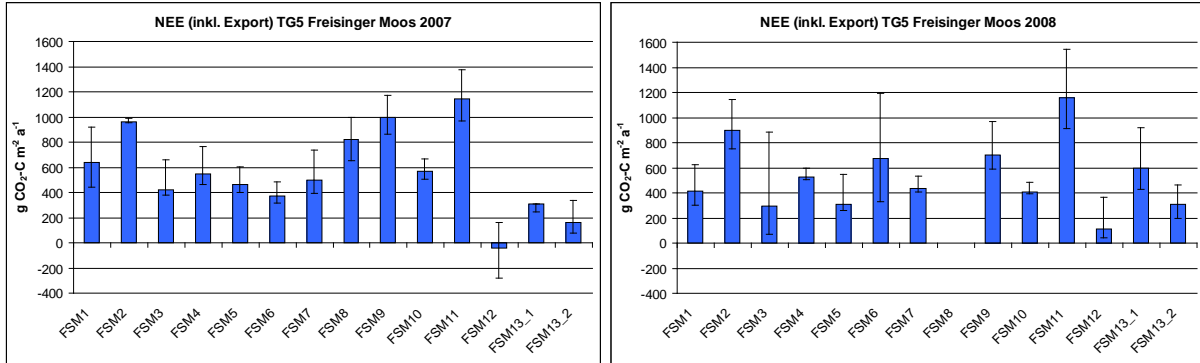


Abb. 24: Netto-Ökosystemaustausch inklusive C-Import-Export (in g CO₂-C Äquiv m⁻² a⁻¹) TG5 Freisinger Moos (2007, 2008)

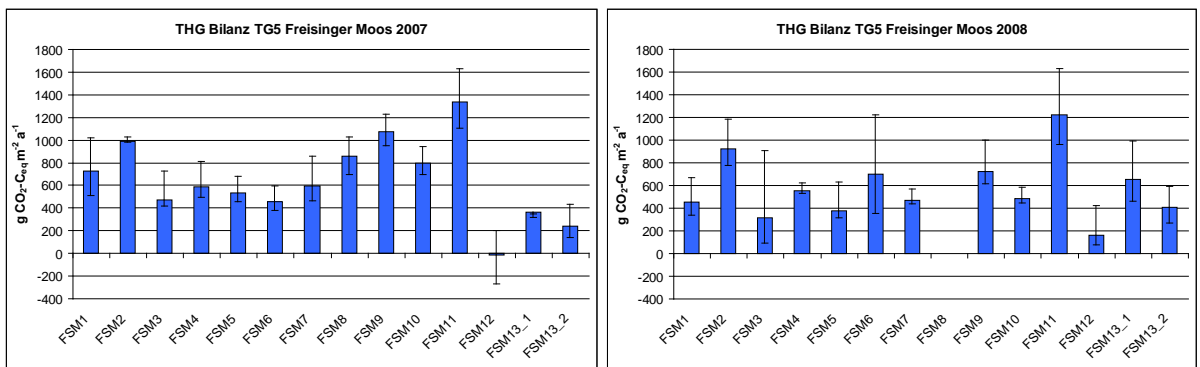


Abb. 25: Treibhausgasbilanz inklusive C-Import-Export (in g CO₂-C Äquiv m⁻² a⁻¹) TG5 Freisinger Moos (2007, 2008)

Netto-Ökosystemaustausch von Kohlendioxid (NEE) TG5:

Das NEE ist die Differenz zweier sehr großer Flüsse: GPP (Brutto-Photosynthese) und RECO (Ökosystematmung) (s. AP 2.5). Daher ist das NEE als kleiner Term besonders anfällig für prozentual geringe Änderungen der beiden großen Komponenten. In die Balken der Abb.24 sind Import (C aus org. Dünger) und Export (C in der Ernte) von Kohlenstoff bereits mit eingerechnet.

Bei der Betrachtung des NEE für beide Jahre 2007 wie 2008 fällt auf, dass nahezu alle Flächen einen Netto C Verlust aus dem System aufweisen (positive Werte). Einzig die Weidenfläche FSM 12 kann im Jahr 2007 im Mittel eine geringe Menge CO₂-C aufnehmen, wobei die Fläche statistisch nicht signifikant unterschiedlich von 0 ist.

Generell zeigt sich im Jahr 2007 eine Tendenz, dass die intensiver genutzten Grasländer FSM 2, FSM 8, FSM 9 und der Äcker FSM 11 die höchsten C-Verluste aufweisen mit Werte bis über 1100 g CO₂-C-Äquiv. m⁻²a⁻¹. Die extensiver genutzten Flächen FSM 3 bis FSM 7 oszillieren zwischen knapp 400 und knapp 600 g CO₂-C-Äquiv. m⁻²a⁻¹. Die geringsten Emissionen wurden für das naturnahe Kalkkleinseggenried (FSM 13.1 und 13.2) mit Werten zwischen ca. 180 und 300 g CO₂-C-Äquiv. m⁻²a⁻¹ ermittelt.

Im Jahr 2008 dagegen zeigt sich die eindeutige Tendenz des Vorjahres nicht in dem Maße: Der Acker FSM 11 und intensiv-Wiesen FSM 2 und FSM 9 sind zwar wie 2007 die Flächen mit den höchsten Verlusten. Unter den extensiven Flächen ist aber die interannuelle Variabilität deutlich höher und so erreichen die Emissionen der Extensiv-Wiese FSM 6 die Größenordnung der intensiv genutzten Wiese FSM 9. Andererseits halbiert sich die Emission des extensiv genutzten Großseggenriedes FSM 5 nahezu gegenüber 2007. Die geringsten Emissionen weisen wie auch 2007 die Weiden auf.

Treibhausgas-Bilanz (THG-Bilanz) TG5:

Die THG-Bilanz wird durch die Addition der CO₂-C Äquivalente der individuellen Gase ermittelt. Beim Vergleich der NEE-Bilanz (Abb. 24) mit der THG-Bilanz (Abb. 25) zeigt sich, dass der dominierende Beitrag aus dem NEE stammt und nur an den Flächen FSM 1, FSM 5 und FSM 13.1 und 13.2 die Methanemissionen einen relevanten Beitrag (bis zu 30% auf FSM 13.2) aufweisen. Im Jahr 2007 verstärken die Lachgasemissionen insbesondere auf den Äckern FSM 10 und FSM11 die THG-Bilanz ebenfalls um bis zu 30%. Aber auch auf FSM 6 und FSM 7 tragen sie mit ca. 20% zur THG-Bilanz bei.

Fragestellungen und Untersuchungsschwerpunkte TG 6 Hochmoor Mooseurach bei Königsdorf (Landkreis Bad Tölz - Wolfratshausen, Bayern)

- Treibhausgasaustausch entlang von Chronosequenzen: Vergleich von unterschiedlich alten Renaturierungsstadien (1993 und 2005) in einer Hochmoorheide mit einer degradierten und entwässerten Referenzfläche.
- Trennung des Effekts von Wiedervernässung und Management auf den Treibhausgasaustausch von (ehemaligem) Extensiv-Grünland auf Hochmoor.

Material und Methoden

Als Ausgangssituation diente das als Landschaftsexperiment 1993 angelegte Renaturierungsgebiet Mooseurach. Hier wurden verschiedene Varianten der Hochmoorrenaturierung im Landschaftsmaßstab durchgeführt. Dabei ist aber nicht das gesamte Moor renaturiert worden: Die Maßnahmenflächen grenzen direkt an Nicht-Behandlungsflächen, was eine sehr günstige Ausgangssituation für den kleinflächigen Vergleich von verschiedenen experimentellen Varianten ermöglicht.

Die insgesamt 12 Messflächen (mit jeweils 3 Messplots) wurden innerhalb des Breitfilzes aufgeteilt in ME 1-6 innerhalb der Hochmoorheidestadien und ME 7-12 in den (ehemaligen) Hochmoorgrünlandflächen. Für die Bezeichnung der sites s. Tab. 2.

Methanmessungen und Lachgasmessungen wurden auf all diesen Flächen über die Messjahre 2007 und 2008 i.d.R. in 2 wöchigem Rhythmus durchgeführt. Die Methan-Analytik wurde vom Partner MPI übernommen. Messungen des Austauschs von Kohlendioxid erfolgten i.d.R. in 3 wöchigem Rhythmus. Daneben erfolgte die Erfassung der Erklärungsparameter nach der Parameterliste (s. Tab. 3). Die erfassten Konzentrationsänderungen der Gase über die Zeit (dc/dt) wurden in Flussraten umgerechnet und dienten als kampagnenbezogene Eingangsgrößen für die Modellierung (s. AP 2.5).

Ergebnisse und Diskussion

Zur kompakteren Übersicht sind alle wesentlichen Ergebnisse der Flussraten auf der folgenden Seite in Abb. 26 – 29 dargestellt. Alle gasspezifischen Bilanzen sind unmittelbar in $g\ CO_2-C\ Äquiv.\ m^{-2}\ a^{-1}$ umgerechnet dargestellt.

Methan Bilanzen TG6:

In Mooseurach differenzieren die Methan-Emissionen zwischen den sites deutlich. Die trockene Hochmoorheide (ME 1) und die 2005 wiedervernässte (aber immer noch trockene Hochmoorheide (ME 2) weisen ebenso wie das entwässerten extensive Hochmoorgrünland (ME 7 und ME 8) keine oder sehr geringe Methan-Emissionen auf. Dies gilt sowohl für das Jahr 2007 als auch für 2008 (s. Abb 26). Die höchsten Emissionen sind auf den angestauten ehemaligen Schlitzgräben (ME 3 und ME 4) sowie über den unterbrochenen Dränagen des wiedervernässten Hochmoorgrünlandes (ME 9 und ME 10) zu verzeichnen. Diese hohen Emissionen sind einerseits mit Jahresmittel-Wasserständen zwischen -5 und -15 cm und andererseits der Präsenz von aerenchymhaltiger Vegetation auf den Flächen ME 4 (*Eriophorum vaginatum*), ME9 (*Carex canescens*) und ME10 (*Juncus effusus*) zu erklären. Die alten Renaturierungsflächen ME 5 und ME 6 erreichen geringe Methanflussraten von naturnahen Torfmoosrasen. Die interannuelle Variabilität der Methan-Bilanzen scheint im Hochmoor

Mooseurach etwas größer als im Niedermoor Freisinger Moos (s.o.). Die höchsten Emissionen liegen in derselben Größenordnung wie im Freisinger Moos.

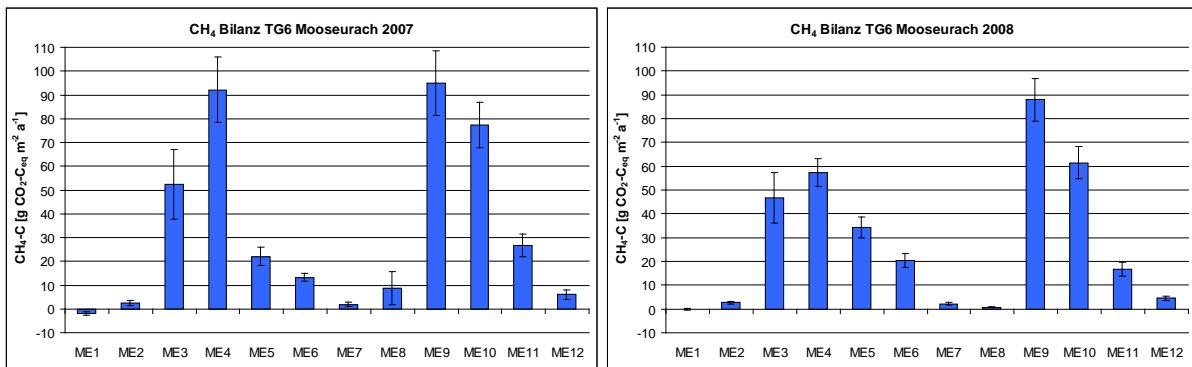


Abb. 26: Methanemission (in g CO₂-C Äquiv m⁻² a⁻¹) TG6 Mooseurach (2007, 2008)

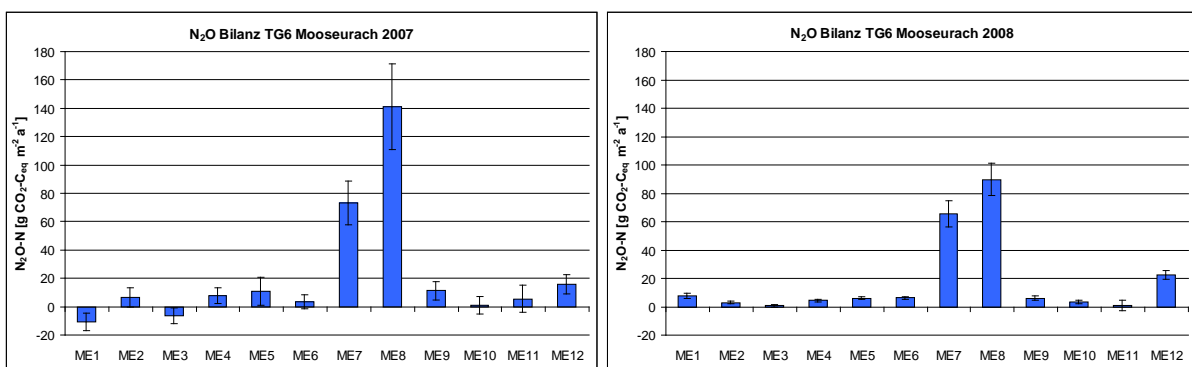


Abb. 27: Lachgasemission (in g CO₂-C Äquiv m⁻² a⁻¹) TG6 Mooseurach (2007, 2008)

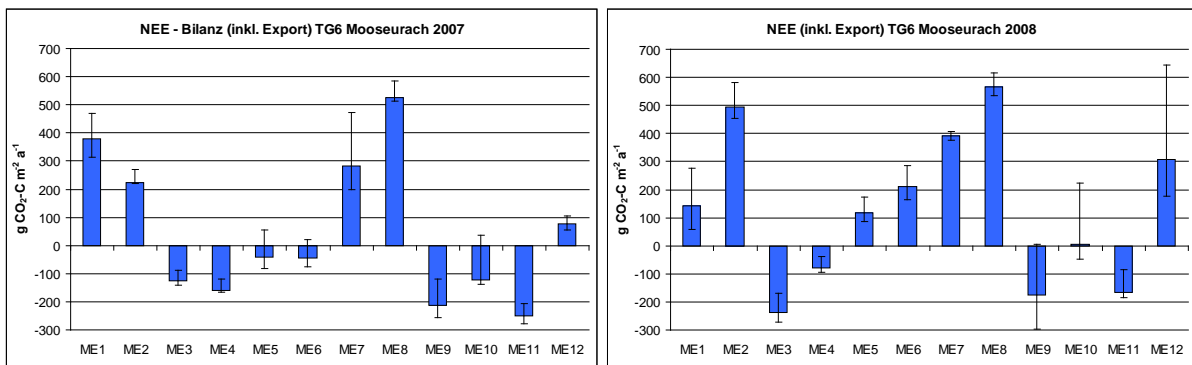


Abb. 28: Netto-Ökosystemaustausch inklusive C-import-export (in g CO₂-C m⁻² a⁻¹) TG6 Mooseurach (2007, 2008)

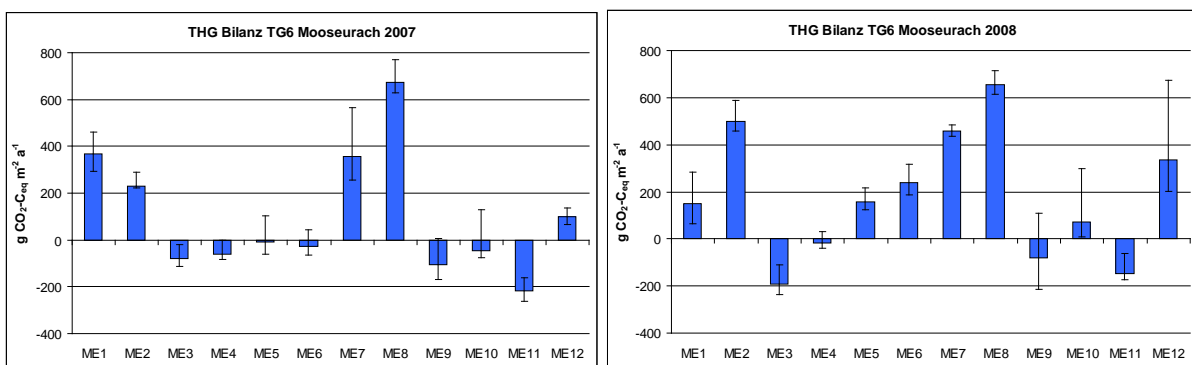


Abb. 29: Treibhausgasbilanz inklusive C-Import-Export (in g CO₂-C Äquiv m⁻² a⁻¹) TG6 Mooseurach (2007, 2008)

Lachgas Bilanzen TG6:

Generell gilt, dass Hochmoore geringere Lachgasemissionen aufweisen als Niedermoore. Dies wird im Vergleich von TG5 und TG6 auch bestätigt. Nur die Flächen ME7 und ME8 zeigen im Hochmoor von Mooseurach relevante Lachgasflüsse. Diese beiden Flächen sind durch die geringsten Wasserstände (-20 bis -35 cm), ehemalige Kalkung und Düngung, sowie jährliche Bewirtschaftung geprägt. Zudem sind die Torfe oberflächlich verdichtet. Alle anderen Flächen zeigen keine für die gesamte Klimawirkung der Flächen relevanten Lachgasemissionen. Zwischen den beiden Untersuchungsjahren von 2007 und 2008 ergibt sich kein nennenswerter Unterschied in diesem Bild (s. Abb 27).

Netto-Ökosystemaustausch von Kohlendioxid (NEE) TG6:

In Mooseurach treten erstmals Flächen auf, in denen das NEE negative Werte einnimmt, d.h. das System wirkt als CO₂-C Senke. In 2007 ist das ausgeprägt in den Flächen ME3 und ME4 sowie ME9 bis ME11 der Fall (s. Abb 28). In 2008 ist die Senkenwirkung in ME3 noch stärker, in ME4 ME9 und ME11 dagegen etwas geringer.

Grundsätzlich ist diese Netto-Senkenwirkung für CO₂ aus zwei Gesichtspunkten bemerkenswert: Erstens die Tatsache an sich, dass durch die Wiedervernässung nicht nur eine verringerte Emission sondern eine Netto-Senke erzeugt werden konnte. Zweitens ist die Größenordnung relevant, denn mehr als 200 g CO₂-C m⁻² a⁻¹ Senkenwirkung ist ca. 3 mal so viel wie unter naturnahen Bedingungen langfristig in Hochmooren eingebunden wird. Dies ist vermutlich ein Überschießender Effekt durch die dynamische Vegetationsentwicklung auf den renaturierten Flächen. Allerdings ist diese Wirkung durchaus hohen interannuellen Schwankungen ausgesetzt: So fungieren die alten Renaturierungsflächen ME5 und ME6 im Jahr 2007 als moderate Senken, während sie im Jahr 2008 zu mittleren Quellen werden (mit ca. 120-200 g CO₂-C m⁻² a⁻¹). Dies ist weniger durch mittlere Wasserstände erklärbar, denn diese unterschieden sich zwischen den Jahren kaum, als vermutlich durch trocken warmen Bedingungen im Frühjahr 2008, die zu Vitalitätseinschränkungen der Torfmoose geführt haben.

Die höchsten CO₂-C Verluste weisen die Flächen mit den tiefsten Wasserständen (ME1, ME2, ME7 und ME8) auf. Im Vergleich der Jahre ist hier die Variabilität in den bewirtschafteten Flächen geringer als in den nicht bewirtschafteten. Insgesamt sind die maximalen Emissionen aber ca. bei der Hälfte der maximalen Emissionen aus dem Niedermoor Freisinger Moos.

Treibhausgas-Bilanz (THG-Bilanz) TG6:

Die THG-Bilanzen folgen weitgehend den NEE-Bilanzen (s. Abb 29). Die Klimawirksamkeit des entwässerten Hochmoorgünlands (ME7 und ME8) wird durch die Lachgasemission noch verstärkt. Auf den Flächen ME3 bis ME6 und ME9 bis ME11 wirken die Methanemissionen differenziert auf die Klimawirksamkeit ein: So kippt z.B. die Fläche ME10 von einer leichten NEE-Senke zu einer THG-Quelle. Aber auf den Flächen ME3, ME9 und ME11 kann die hohe CO₂-C Aufnahme die Methanemissionen überkompensieren, wodurch die Flächen einen Netto-Kühlungseffekt ausüben. Da sich naturnahe Moore mehr oder weniger klimaneutral verhalten ist dieser Effekt vermutlich eine transiente Entwicklung nach Renaturierung.

Synthese Spurengasbilanzen aus allen TGs

Die Synthese umfasst die Daten zu Treibhausgasflüssen aus dem BMBF-Verbundprojekt. Messergebnisse aus drei weiteren Moorstandorten in Deutschland und Polen wurden ergänzt, die mit vergleichbarer Methodik erhoben wurden. Damit liegt ein umfassender Datensatz aus drei Hochmooren und sieben Niedermooren aus allen wichtigen Moorregionen Deutschlands vor, in denen jeweils bis zu vierzehn verschiedene Landnutzungstypen untersucht wurden. Insgesamt umfasst der Datensatz 130 Einzeldaten zu Jahresbilanzen aller drei Treibhausgase in Mooren.

Differenzierbare Nutzungskategorien

Die Daten wurden nach Hoch- und Niedermooren getrennt und Nutzungskategorien so abgeleitet, dass die Kategorien bezüglich Jahresmittelwasserstand, Ertrag und Stickstoffdüngung möglichst homogen waren. Sieben Nutzungskategorien wurden ausgewiesen: Acker, Grünland mittlerer bis hoher Intensität, trockenes Extensivgrünland, nasses Extensivgrünland, trockene Hochmoorheide, naturnahe und renaturierte Moore, Überstausituationen.

Kurzcharakteristik der Nutzungskategorien:

1. Acker: Tiefe, aber variable Dränage, die in ungewöhnlich trockenen Jahren zu Trockenstress, in nassen Jahren aber unzureichend bis zum Ausfall der Ernte wirken konnte. Vorwiegend Sommerkulturen, v.a. Mais, Getreide und Hackfrüchte. Hohe Düngergaben. Die hohe Variabilität der Treibhausgasbilanzen (Tab. 1) liegt v.a. an der unterschiedlichen Mengen von Ernterückständen (z.B. Silomais versus Corn-Cob-Mix) und organischer Düngung.
2. Grünland hoher und mittlerer Intensität: Tiefe, aber variable Dränage vergleichbar mit Ackerstandorten. Saatgrünland, Bewirtschaftung mit zwei bis fünf Schnitten, wobei der erste Schnitt möglichst im Mai erfolgt, oder äquivalente Beweidung. Ziel ist die Produktion von hochwertigem Raufutter für die Milchproduktion.
3. Trockenes Extensivgrünland: Mäßige Dränage. Nutzung als Streuwiese, zur Mutterkuhhaltung oder keine Nutzung, maximal ein Schnitt oder äquivalente Beweidung, meist mit Naturschutzförderung.
4. Nasses Extensivgrünland: Geringe Dränage, teilweise wiedervernässte oder grabennahe Standorte mit schwankendem, aber quasi naturnahem Wasserstand. Nutzung als Streuwiese oder keine Nutzung, maximal ein Schnitt oder äquivalente Beweidung mit angepassten Extensivrassen, meist mit Naturschutzförderung. Meist deutlicher Seggenanteil.
5. Trockene Hochmoorheide: mäßig gedränzte degradierte Hochmoorheide ohne Torfmoose als Relikt früherer Dränagen für Torfstiche oder auf alten Torfstichen.
6. Naturnahe und renaturierte Moore: Standorte mit naturnahem Wasserstand. Naturschutzflächen, die langjährig weitgehend unberührt blieben oder in den letzten Jahren bis Jahrzehnten renaturiert wurden. Typische Vegetation sind in Niedermooren Groß- und Kleinseggenrieder, Schilfröhrichte und Rohrkolben und in Hochmooren Torfmoosrasen.
7. Überstau: Renaturierte Standorte und Grabensituationen, in denen das Wasser bis in den Sommer oder ganzjährig über der Geländeoberkante steht. Die Vegetation ist oft nicht an die Nässe angepasst oder fehlend.

Emissionsfaktoren je Nutzungskategorie und Moortyp

Bei intensiver Nutzung und Drainage ergaben sich keine deutlichen Unterschiede zwischen Hoch- und Niedermooren bezüglich der Klimawirkung. Erst im feuchten, naturnahen und überstautem Zustand liegt die Klimawirkung der Hochmoore deutlich unter der von Niedermooren.

	Niedermoor <i>Tonnen CO₂-Äquivalente pro Hektar und Jahr</i>	Hochmoor	Wasserstand <i>cm</i>
Acker	33,8 (14,2 bis 50,0 [4])	keine Daten	-70 (-29 bis -102)
Grünland intensiv / mittel	30,9 [21,3 bis 40,7 [5]]	28,3 [1]	-49 (-39 bis -98)
Grünland extensiv trocken	22,5 (19,5 bis 30,9 [4])	20,1 [1]	-29 (-14 bis -39)
Grünland extensiv nass	10,3 (5,8 bis 16,3 [4])	2,2 (0 bis 4,4 [2])	-11 (6 bis -25)
Hochmoor trocken		9,6 (5,3 bis 12,1 [3])	-18 (-9 bis -25)
Naturnah/Renaturiert	3,3 [-4,3 bis 11,9 [5]]	0,1 (-1,8 bis 2,9 [3])	-10 (-7 bis -14)
Überstau	28,3 [10,6 bis 71,7 [4]]	8,3 [6,1 bis 10,4 [2]]	14 (-8 bis 36)

Tab. 8: Messergebnisse der Treibhausgasbilanzen nach Moortyp und Nutzungskategorie. Angaben sind Mittelwert (Minimum bis Maximum [Anzahl der untersuchten Testgebiete]). Die Wasserstände je Nutzungskategorie unterschieden sich nicht zwischen Niedermoor und Hochmoor.

THG-Bilanzen - Hochmoore

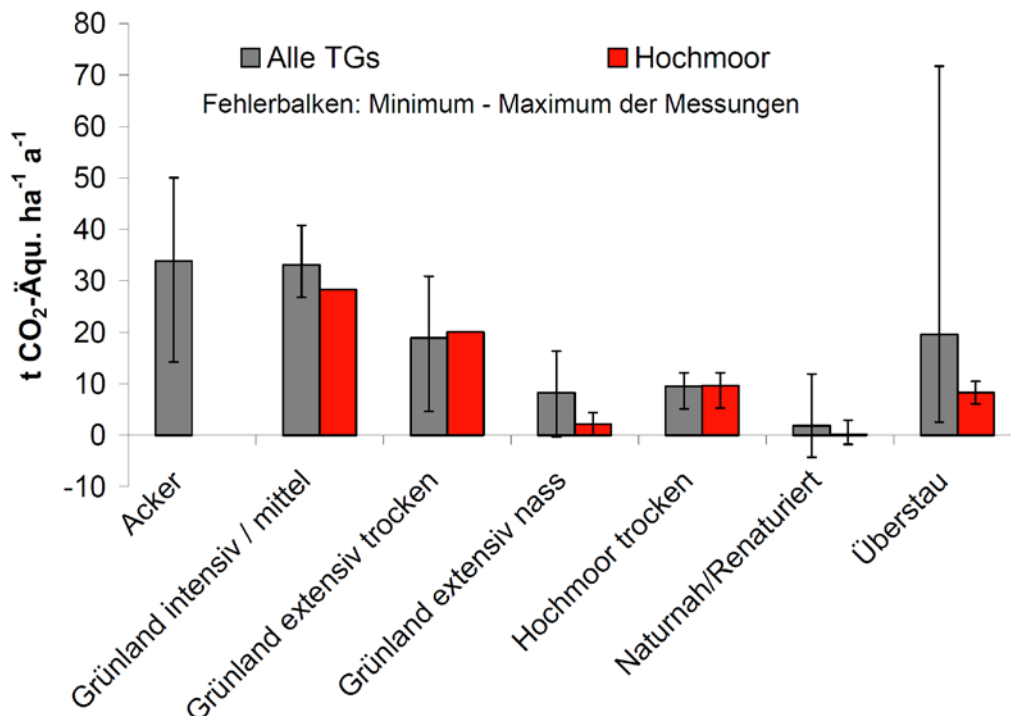


Abb. 30: Mittlere Treibhausgasbilanzen der aller Standorte im Vergleich mit den Hochmoorstandorten (TG1 und TG6) entlang der Nutzungskategorien.

In Abb. 30 sind die THG-Bilanzen der Hochmoore im Vergleich zum Gesamtmittel über alle Testgebietsstandorte hinweg dargestellt. Auffällig ist, dass auch im Hochmoor die intensiveren Varianten der Grünlandnutzung zu hohen Emissionen von nahezu 30 t CO₂-Äquiv. ha⁻¹a⁻¹ neigen. Die durch den Überstau ausgelösten Emissionen sind dagegen deutlich geringer als bei dem durch die Niedermoore geprägten Durchschnittswert über alle Testgebiete hinweg. Damit scheint das Risiko der Emissionsförderung durch Überstau auf den Hochmooren geringer als auf den Niedermooren.

Die Differenzierung der Treibhausgase zeigt, dass in gedrähten Situationen CO₂-Emissionen die Treibhausgasbilanz dominieren (Differenz zwischen THGs und CH₄, N₂O in Abb. 31). Unter Intensivnutzung wird auch N₂O in Mengen emittiert, die deutlich über in Mineralböden üblichen Raten liegen können. Methan tritt erst ab naturnahen Wasserständen auf und wird in Überstausituationen bilanzbestimmend (Abb. 31).

THG-Bilanzen - Niedermoore

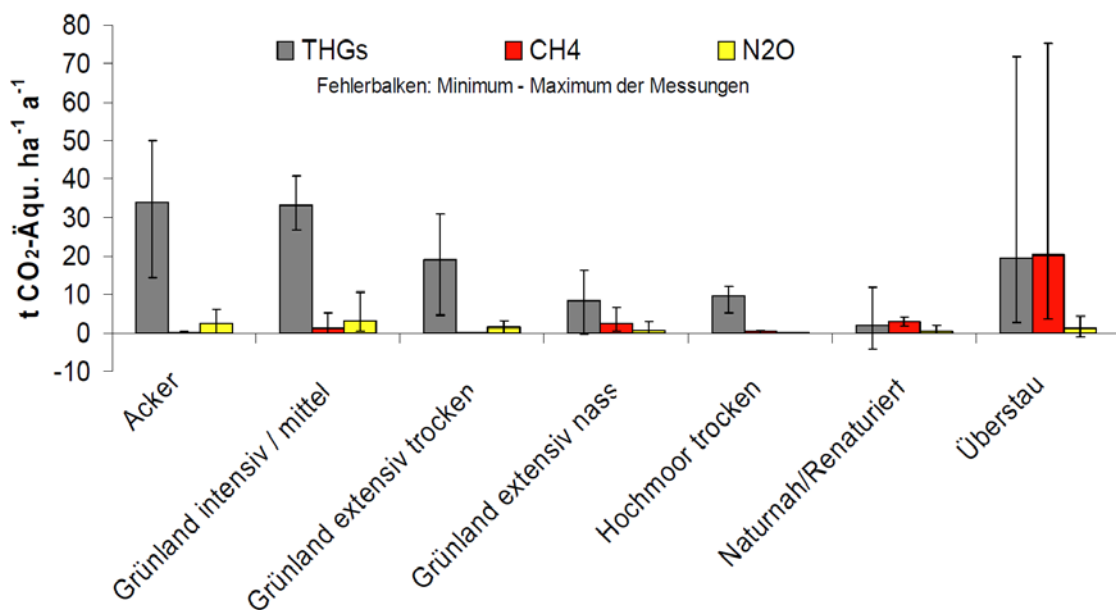


Abb. 31: Beiträge der Treibhausgasspezies zu den Gesamtbilanzen der Niedermoore (TG2 bis 5) entlang der Nutzungskategorien

Konsequenzen für eine klimafreundliche Moornutzung

Die Messungen zeigen weite standort- und nutzungsabhängige Spannen in der Treibhausgasbilanz genutzter Moore. Die Nutzung von Moor als Acker und Intensivgrünland belastet das Klima am meisten. Eine Extensivierung kann Emissionen einsparen. Aber erst, wenn die Wasserstände angehoben werden, kann ein deutlicher Klimaschutzeffekt erzielt werden (Abb.en 30 und 31, Tab. 8). Einsparungseffekte durch alternative Nutzungen mit nachwachsenden Rohstoffen und hohen Grundwasserständen sind noch nicht umfassend untersucht.

Ergebnisse im Detail (Abb.en 30 und 31, Tab. 8):

1. Je tiefer die Dränage, desto höher sind die CO₂-Emissionen. Allerdings erhöhen sich die CO₂-Emissionen bei Dränagetiefen unter 60-80 cm nicht mehr wesentlich. Das höchste Risiko für N₂O-Emissionen herrscht in Niedermooren bei stark schwankenden Wasserständen und einem mittleren jährlichen Grundwasserstand von 50 cm unter Flur.
2. Eine Umwandlung von Acker zu Grünland mindert den Torfschwund. Ackernutzung hat die höchsten Treibhausgasemissionen, bei tiefer Dränage, geringen oder leicht abbaubaren Ernterückstände wie bei Silomais, Rüben oder bei Strohabfuhr und geringen Mengen organischer Düngung. Selbst wenn die Kohlenstoffzufuhr durch Stroh und Wirtschaftsdünger die Kohlenstoffbilanz des Standorts verbessern, ist der Torfschwund höher als bei Grünlandnutzung bei vergleichbar intensiver Dränage.
3. Intensivgrünland ist (fast) so klimabelastend wie Ackernutzung. Grünlandnutzung zur Produktion von hochwertigem Grünfutter führt zu unerwartet hohen Treibhausgasemissionen von über 30 Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Hektar und Jahr, die weit über den derzeit in der nationalen Klimaberichterstattung verwendeten Emissionsfaktoren von 22 Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Hektar und Jahr liegen.
4. Extensivgrünland mit einem Jahresmittelwasserstand unter -20 cm hat nur in 50% der Testgebiete geringere Treibhausgasemissionen als Intensivgrünland. Offensichtlich gibt es zwar eine gewisse Verschiebung im Artenspektrum im Sinne des Naturschutzes, aber keinen sicheren Schutz des Torfkörpers.
5. Extensivgrünland mit einem Jahresmittelwasserstand über -20 cm hat in allen Testgebieten um 50 bis 75% geringere Treibhausgasemissionen als Intensivgrünland.
6. Naturnahe Flächen und solche, die in einen naturnahen Zustand mit einem Jahresmittelwasserstand um -10 cm sind klimaneutral oder mindestens um weitere 15 bis 25% emissionsärmer als nasses Extensivgrünland. Dies ist aus Klimasicht der Optimalzustand.
7. Überstau während der Vegetationsperiode ist zu vermeiden bzw. auf möglichst kleine Flächen zu beschränken. Wenn sich bei Überstau in nährstoffreichen Niedermooren Mudden bilden oder leicht zersetzbare Grasvegetation fault, können extrem hohe Methanemissionen entstehen, die eine ähnliche oder höhere Klimawirkung wie die Ackernutzung haben können. In Hochmooren ist der Effekt geringer - vergleichbar mit Emissionen aus degradierten Heideflächen. Die Renaturierungspraxis mit großflächigem Überstau, z.B. nach Torfabbau, ist zu überdenken.
8. Die Renaturierung von degradierten Hochmoorheiden hat ein bedeutendes Emissionsminderungspotenzial.
9. Das Klimaschutzpotenzial pro Hektar ist in Nieder- und Hochmooren ähnlich. Bei mäßiger und intensiver Dränage mit Jahresmittelwasserständen unter -20 cm unterscheiden sich die Treibhausgasbilanzen nicht zwischen Niedermooren und Hochmooren. In nasseren Situationen sind Hochmoore weitgehend klimaneutral oder bei Überstau geringe Treibhausgasquellen. Niedermoore dagegen bleiben auch im renaturierten Zustand geringe Treibhausgasquellen.

2.3 AP 2.4 Spurengase in Bodensäulen (Labor) (Federführung MPI mit ZALF-AUG, Beteiligung LBEG, TUM-VegÖk)

Ziele dieses Arbeitspaketes sind (1) die Produktionsraten und -bedingungen für CO₂, CH₄ und N₂O im Bodenprofil zu erfassen, und (2) an Bodensäulen aus den sechs Testgebieten im Laborversuch wesentliche Steuerparameter für den Spurengasaustausch (z.B. Wasserstand, Strahlung, Temperatur) zu manipulieren, um im Freiland nicht vorhandene Bedingungen abzudecken.

Ziele dieses Arbeitspaketes waren (1) die Produktionsraten und -bedingungen für CO₂, CH₄ und N₂O im Bodenprofil zu erfassen, und (2) an Bodensäulen aus den sechs Testgebieten im Laborversuch wesentliche Steuerparameter für den Spurengasaustausch (z.B. Wasserstand, Strahlung, Temperatur) zu manipulieren, um im Freiland nicht vorhandene Bedingungen abzudecken.

Die Methoden in diesem Arbeitspaket wurden auf der Basis neuer Forschungsergebnisse modifiziert, ohne die Ziele des Arbeitspaketes zu ändern:

- Laborexperimente an Moorsäulen ohne Vegetation in enger Zusammenarbeit mit ZALF-AUG.
- Laborversuche mit Bodensäulen mit Vegetation wurden nur für ausgewählte Testgebiete durchgeführt, bei denen eine aktuelle Wiedervernässung und stark ausgeprägte Vegetationsgradienten (z.B. Süßgräser versus Seggen) einen engen Bezug zwischen Management und CH₄-Emissionen haben. Dabei stand das Prozessverständnis für Risikosituationen für hohe CH₄- oder N₂O-Emissionen im Vordergrund, um die Ableitung von Leitplanken für eine klimafreundliche Wiedervernässung von Mooren zu unterstützen.

Es wird im Folgenden über zwei Säulen-Inkubationen berichtet:

- Substrate ohne Vegetation
- Intakte Bodensäulen mit Vegetation

	1. Substrate ohne Vegetation	2. Intakte Bodensäulen mit Vegetation
Ziel	Bedeutung unterschiedlicher Substrate für die Bildung von CH ₄ und CO ₂	Umweltbedingungen simulieren, die im Feld nicht möglich sind
Substrat	Drei unterschiedliche organische Substrate aus überstautem Niedermoor; Bodenmischprobe; entnommen von TG 3	2.a) Intakte Bodensäulen aus einem Niedermoorstandort (TG5), Vergleich zwischen an Vernässung angepasster, aerenchymatischer Seggenvegetation (Standorte 6, 7 Extensivwiese) mit nicht an Vernässung angepasster Süßgrasvegetation (Standorte 8, 9 Intensivwiese) bei schrittweisem Anheben des Wasserstands bis zum Überstau 2.b) Intakte Bodensäulen aus einem Niedermoorstandort (TG5, Standorte 8, 9 Intensivwiese wie in 2.a) und einem Hochmoorstandort (TG1, Standort A1 Intensivwiese) zur Regulation der N ₂ O- und CH ₄ -Emission durch fluktuierenden Wasserstand
Replikate	3	2.a) 6 bzw. 2.b) 3
Dauer Inkubation	53 Tage	2.a) 8 Monate bzw. 2.b) 7 Monate
Wasserstand	Permanent volle Wassersättigung	2.a) Anheben des Wasserstandes in 5 Stufen; 2.b) Wechsel des Wasserstands zwischen Trockenphasen und Überflutungsperioden in zwei Rhythmen

Vegetation	ohne	mit (v.a. Seggen und Süßgräser)
Messparameter Säulenoberfläche	Gasaustausch (CO ₂ , CH ₄)(Photoakustik Multigas Monitor)	Gasaustausch (CH ₄ , N ₂ O, CO ₂ : NEE, Reco)(geschlossene Hauben-Methode wie im Freiland)
Messparameter im Bodenprofil	Ein Punkt im Bodenprofil: Gassonden Porenwasserchemie	An 5 Punkten im Bodenprofil: Redoxpotential Bodenwasser Bodentemperatur

Tab. 9: Übersicht zu den beiden Säulen-Inkubationen

Substrate ohne Vegetation

Experimente zur Stoffdynamik überstauter Moore: C-Quellen für CH₄ und CO₂ Freisetzung (Laborexperimente mit Moorproben bei voller Wassersättigung ohne Pflanzen nach Differenzmethode; gleichzeitig Vorstudie für Machbarkeit der Freiland-Profilmessungen; Zusammenarbeit MPI-BGC, ZALF-AUG und Institut für Gewässerökologie u. Binnenfischerei Berlin (IGB))

Um die mögliche Ursache für zeitweilig auftretende hohe Methanfreisetzung in einem überstauten Niedermoorgrasland zu untersuchen, sollte die Bedeutung verschiedener, hier anzutreffender organischer Substrate für die Bildung von CH₄ und CO₂ in einem Modellexperiment ermittelt werden.

Die Entnahme der zu untersuchenden organischen Substrate erfolgte im April 2007 an einem degradierten und mit Rohrglanzgras bestandenen Niedermoor im Tal der Peene (Polder Zarnkow westlich von Demmin, Mecklenburg-Vorpommern) und umfasste:

- eine Organomudde (aus frisch abgestorbenem Pflanzenmaterial gebildet),
- ein mit intakten Rohrglanzgraswurzeln durchsetzter, stark degradiertes Niedermoor, und
- ein stark degradiertes Niedermoor ohne frische Pflanzenreste.

Die durchmischten Proben wurden in speziellen Bodensäulen bei konstanter Temperatur für die Dauer von 53 Tagen im Labor inkubiert. Es wurden der CH₄- und der CO₂-Gasaustausch an der Säulenoberfläche, die Konzentration von CH₄ und CO₂ im Porenwasser sowie relevante chemische Parameter im Porenwasser bestimmt.

Der Beitrag des MPI waren die Messungen der Konzentration von CH₄ und CO₂ im Porenwasser (Bau und Einsatz der Kammann-Sonden, Entwicklung der Methode zur Probenentnahme, Messung am GC), sowie die Bestimmung der mikrobiellen Biomasse, C- und N-Gehalte der verschiedenen Substrate und pH der Bodenlösung. Das Inkubations-Experiment sowie die Gasmessungen am GC wurden am ZALF in Müncheberg durchgeführt, die Analyse aller anderen Parameter erfolgte am MPI-BGC in Jena. Die Ergebnisse dieses Experimentes wurden unter der Federführung des MPI statistisch ausgewertet, erweitert mit Ergebnissen von Voruntersuchungen von ZALF-AUG und IGB und zu einer Publikation zusammengefasst. Die Publikation wurde in Biogeosciences Discussions veröffentlicht und ist mit Stand vom 20.03.2011 mit minor revisions akzeptiert (Hahn-Schöfl et al., 2011).

Die Ergebnisse dieses Inkubationsexperimentes (Abb. 32) können als Indikator für das Bildungspotential von CH₄ und CO₂ aus bestimmten Substraten verwendet werden. Die ursprüngliche Graslandvegetation am Standort war nicht an die permanent überfluteten Verhältnisse nach Renaturierung angepasst und starb ab, was zur Ausbildung der Organomudde-Schicht führte. Dieses frische organische Material hat ein extremes Potential für CH₄-

Bildung. Die CH_4 -Freisetzung könnte hoch bleiben, zumindest solange die eutrophen und überfluteten Verhältnisse andauern.

Im Gegensatz dazu scheint reiner Torf ohne jegliches frisches Pflanzenmaterial relativ inert zu sein. Signifikante CH_4 -Emissionen können daher von reinen Torfschichten unter permanent überfluteten Verhältnissen nicht erwartet werden, solange leicht abbaubares Material fehlt.

Die Bildung CH_4 und CO_2 aus Torf kann dann erwartet werden, wenn leicht abbaubares organisches Material verfügbar ist, z.B. aus der Rhizodeposition, von frischen Pflanzenwurzeln. Jedoch, wird die CH_4 -Bildung dann, abhängig von der Verfügbarkeit alternativer Elektronenakzeptoren, verzögert einsetzen und der verfügbare Kohlenstoff-Pool ist eingeschränkter im Vergleich zu der neu gebildeten Organomudde.

Wichtigste Ergebnisse: Extrem hohe Freisetzungspotenziale von CH_4 und CO_2 sind gebunden an leicht abbaubare Pflanzenreste bzw. frische Organomudden. Dabei beginnt die Methanogenese praktisch direkt nach der Flutung. Wiedervernässte Torfsubstrate, selbst solche mit Wurzelresten, emittieren erst signifikant mit mehrwöchiger Verzögerung und mit einem Freisetzungspotenzial von CH_4 und CO_2 , das mit naturnahen Standorten vergleichbar ist.

Für Klimaschutz durch Moorschutz bedeutet dies, dass zur Muddebildung neigende Vegetation während der Vegetationsperiode nicht überstaut sein darf.

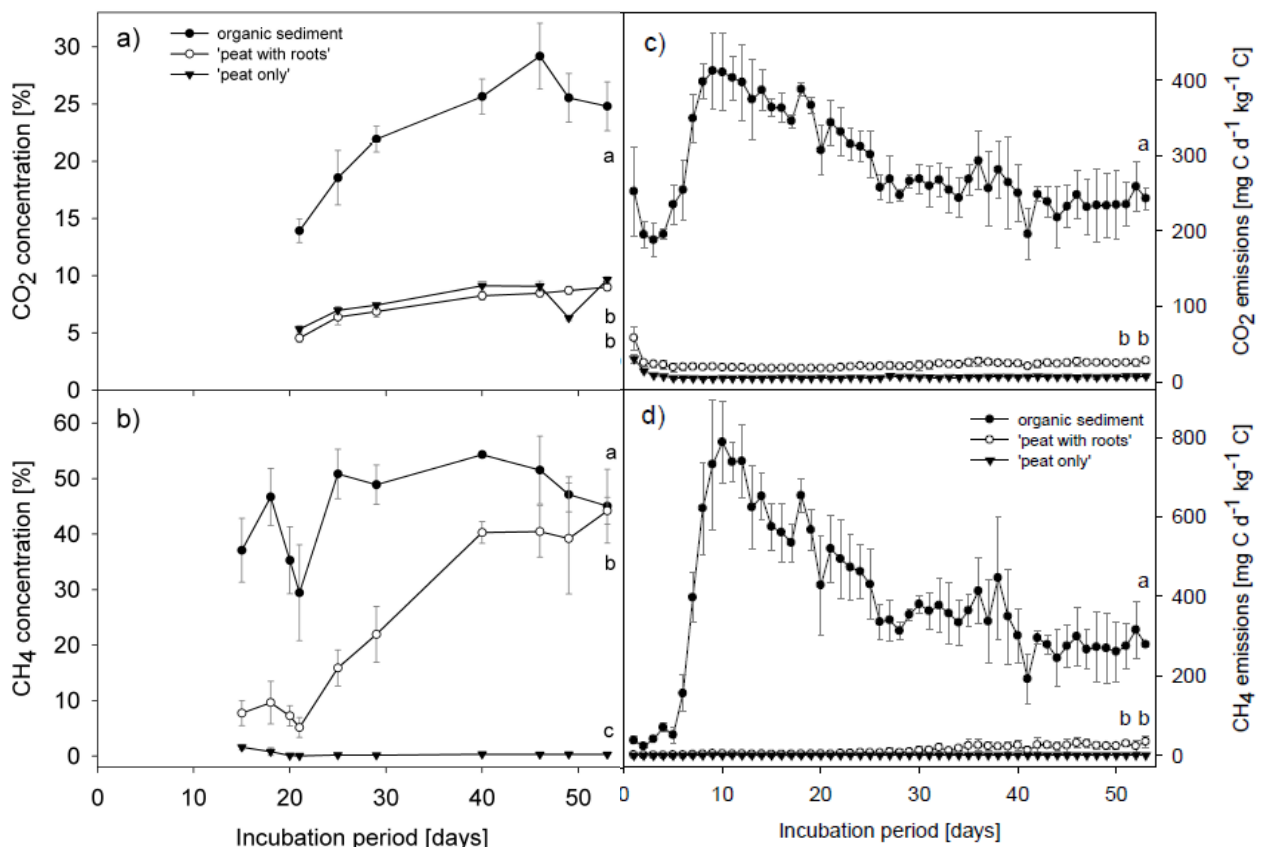


Abb. 32: Inkubationen im Verlauf von 53 Tagen bei einer konstanten Temperatur von 15°C (Mittelwerte \pm SD, $n = 3$). Drei organische Substrate (organisches Sediment, 'Torf mit Wurzeln' und 'nur Torf') aus der obersten Torfschicht werden miteinander verglichen (unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede hin, $p < 0.001$). Links: a) CO_2 und b) CH_4 -Konzentrationen Rechts: c) CO_2 - und d) CH_4 -Emissionen (Hahn-Schöfl et al. 2011)

Intakte Bodensäulen mit Vegetation

Die Laborversuche mit Bodensäulen mit Vegetation wurden für ausgewählte Testgebiete durchgeführt, bei denen eine aktuelle Wiedervernässung und stark ausgeprägte Vegetationsgradienten (z.B. Süßgräser versus Seggen) einen engen Bezug zwischen Management und CH₄-Emissionen haben.

Fragestellung:

- Bedingungen (Wasserstand) simulieren, die im Feld nicht möglich sind bzw. wo keine Modellierung mit den Feld-Messdaten möglich ist, Messung der Emissionen von CO₂, CH₄ und N₂O sowie von steuernden Parametern, Vergleich mit den Feldmessungen
- Steuergrößen der Aufnahme und Abgabe von N₂O und (verzögerten) Methanemission nach Trockenheit/Wechselfeuchte, bei sukzessiver Wiedervernässung mit statischem Wasserspiegel: Substratqualität, Wasserchemie, aerenchymhaltige Biomasse, Dauer bzw. Periodik von trockenen und überstauten Phasen
- Extreme Vernässung: CH₄-Trade-off-Effekte von Überstau bei aktiver Vegetation

Zur Klärung dieser Fragestellung wurden zwei Experimente durchgeführt (Tab. 10). Die Moorsäulen hatten jeweils einen Durchmesser von 16 cm und eine Höhe von 50 cm.

Experiment 2.a In einem ersten Experiment wurde der Wasserstand schrittweise von -30 cm unter der Bodenoberfläche auf +5 cm über der Bodenoberfläche angehoben, dabei wurden 6 Säulen einer extensiv genutzten Fläche (Vegetation: Seggen) und 6 Säulen aus einer angrenzenden intensiv genutzten Wiese (Vegetation: Süßgräser) miteinander verglichen.

Experiment 2.b Im zweiten Experiment wechselten Überstau und Trockenperioden in zwei verschiedenen Rhythmen. Inkubiert wurden hier je sechs Säulen aus der Intensivwiese des ersten Experiments und 6 Säulen mit Hochmoorsubstrat (ebenfalls Intensivwiese).

	Experiment 2.a	Experiment 2.b
Beprobte Standorte	Niedermoor TG 5 Freisinger Moos: Intensivwiese (Süßgräser) versus Extensivwiese (Seggen)	Niedermoor TG 5 Freisinger Moos: Intensivwiese versus Hochmoor TG 1 Ahlen-Falkenberger Moor: Intensivwiese
Daten	Probenahme 22.04.2008; Inkubation von Juli 08 bis Februar 09 (8 Monate)	23. und 25.03.2009; Inkubation von Mai 09 bis Nov. 09 (7 Monate)
Wasserstand	Monatliche schrittweise Anhebung: -30, -20, -10, -5, 0, +5 cm	Dynamischer Wechsel: Kurzer Zyklus: -45 cm für 2 Wochen; +5 cm für 1 Woche; Langer Zyklus: -45 cm für 1 Woche; +5 cm für 6 Wochen

Tab. 10: Überblick über die Experimente 2.a und 2.b

Entwicklung des experimentellen Aufbaus

Inkubationsexperimente mit Vegetation sind anspruchsvoll durchzuführen, weil die Laborbedingungen möglichst praxisnah gestaltet werden müssen. Dies betrifft die wesentlichen Steuergrößen des Pflanzenwachstums und der Treibhausgasflüsse: Temperatur- und Strahlungsdynamik, Stabilisierung der Wasserstände in den sehr saugfähigen Torfen, Miniaturisierung von Messeinrichtungen für Redoxpotenziale, pH-Wert und die Gewinnung von Boden-

lösung und die Anpassung der im Freiland verwendeten Haubentechnik auf die Laborbedingungen.

Der experimentelle Aufbau wurde bis Mitte 2008 am MPI-BGC entwickelt und validiert. Die wesentlichen Schritte und Ergebnisse sind in der Diplomarbeit von Jan Heinichen "Entwicklung eines Laborexperiments mit Mesokosmen zum Einfluss der Wiedervernässung auf Treibhausgasemissionen aus gedrähten Mooren" dokumentiert (Heinichen 2008).

Im Folgenden wird kurz der experimentelle Aufbau im Hinblick auf die wesentlichen Steuergrößen und Messungen dargestellt (Abb. 33).

Aufbau und Steuerung der Klimakammer

Für das Säulenexperiment wurde am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena eine Klimakammer (Abb. 33) zur Verfügung gestellt.



Abb. 33: Experimenteller Aufbau in der Klimakammer: intakte Moorsäulen mit Vegetation mit Isolation und Kühlung (a), Messkammern für Messung des CO_2 -Austausches (b) Netto-Ökosystem-Austausch und c) Ökosystematmung). (Fotos: Maria Hahn-Schöfl)

Die eingestellten Temperatur- und Strahlungsbedingungen entsprechen einem typischen sonnigen Frühlingstag im Freisinger Moos. Dazu wurden acht Programmstufen für die Klimakammer eingestellt, die sich täglich wiederholen (Abb. 33). Die eingestellten Temperaturen lagen im Bereich von 10 bis 23 °C. Die relative Luftfeuchtigkeit betrug 75 % während der Dunkelphase in der Nacht und 50 % zwischen 7.30 Uhr und 19.00 Uhr, bei angeschalteten Lampen. Die PAR-Werte in der Kammer liegen während der Lichtphase im Bereich von ca. 400 bis 1100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

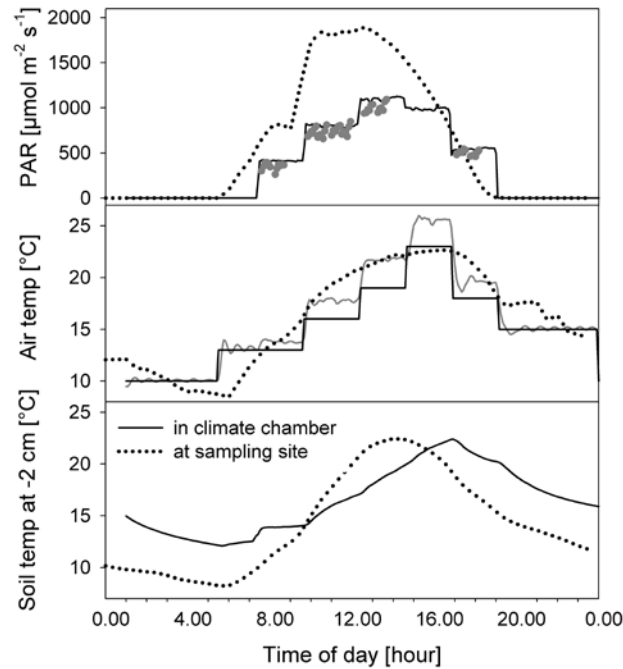


Abb. 34: Tagesgang der Strahlungsintensität (Photosynthetisch aktive Strahlung PAR, oben), der Lufttemperatur (air temp, Mitte) und der Bodentemperatur in 2 cm Tiefe (soil temp, unten) in der Klimakammer bzw. in den Moorsäulen im Vergleich zum typischen Frühlingstag im Freisinger Moos (at sampling site)

Aufbau des Experiments und Durchführung der Messungen

Bodentemperaturgradient: Um den Temperaturgradient zu erreichen, der dem im Freisinger Moos entspricht, bedurfte es eines Kühlsystems, welches die Temperatur in den Bodensäulen regelt. Die Bodensäulen wurden stark isoliert und die unteren 10 cm mit Wasser gekühlt. Die Bodentemperaturen wurden in verschiedenen Tiefen der Bodensäulen kontinuierlich gemessen und über einen Campell Datalogger aufgezeichnet. Hierzu wurden in jeder der 12 Bodensäulen Temperatursensoren 2, 5, 10 und 30 cm unter der Bodenoberfläche installiert.

Messung und Einstellung des Wasserstands in den Bodensäulen: In jeder Moorsäule wurde eine Möglichkeit zur Flutung und Drainage der Bodensäulen geschaffen. Am unteren Ende der Säulen wurden direkt über der Bodenplatte der PE-Rohre Anschlüsse für Schläuche angebracht, die zur Flutung und Entwässerung der Bodensäulen dienten. Zur Überwachung des Wasserstands wurde ein Pegelrohr für manuelle Lichtlot-Messungen in die Säulen eingebaut. Bei Wasserständen von -10 cm bis +5 cm funktionierte dieses System gut, bei der Wasserstandsstufe -30 cm war ein genaues Einstellen des Wasserniveaus in den Säulen schwierig, so dass hier stärkere Schwankungen des Wasserstands im Experiment 2.a auftraten.

Während des Experiments 2.b konnte der Wasserstand jeder Säule mittels eines in das Pegelrohr abgesenkten Sensors und einer Pumpe halbautomatisch geregelt werden. Die Pumpen stellten sicher, dass der Wasserstand nicht zu stark unter den Soll-Wasserstand sank. Das Absenken des Wasserstands beim Übergang von Flutungs- zu Trockenperioden erfolgte über eine Handpumpe. Hier ergab sich die Schwierigkeit, dass aus dem wassergesättigten Torfkörper über längere Zeit Wasser nachfloss – dadurch konnte am ersten Tag nach Absenken des Pegels der Sollwasserstand noch nicht kontinuierlich gehalten werden.

Gasflussmessungen: Die Konstruktion der für die Messungen der Treibhausgasflüsse entworfenen Messhaube orientierte sich an dem Design der von Drösler (2005:17ff.) entwickelten kühlbaren Haube, so dass die Messungen mit denen im Freiland vergleichbar sind. Die transparente Messhaube für die Messung bestand aus 3 mm dickem Plexiglas XT mit einem durchschnittlichen Transmissionsgrad von 94,6%. Die lichtundurchlässigen Messhauben wurden diese aus 3 mm dicken, weißen Kömatex PVC-Hartschaumplatten gefertigt, die mit silberfarbener Folie beklebt wurden, um absolut lichtundurchlässige Hauben zur Verfügung zu haben. Die Messhauben hatten einen quadratischen Grundriss mit 30 cm Kantenlänge und waren 40 cm hoch. Die Berechnung der Gasflüsse und die Modellierung der Funktionsparameter für Ökosystematmung und Photosynthese erfolgte mit den gleichen Verfahren wie für die Freilandmessungen.

Die maximale Verschlusszeit der Haube betrug 3 Minuten für die CO₂-Messung (transparente und lichtundurchlässige Haube) und 90 Minuten für die CH₄-Messung (lichtundurchlässige Haube). Die Temperaturdifferenz zwischen der Hauben- und der Außenluft konnte unter Verwendung des Kühlsystems auf Werte von weniger als 1°C begrenzt werden.

Im Verlauf von Experiment 2.a) wurden über 5189 einzelne CO₂-Messungen (Messdauer: 3 Minuten) durchgeführt, bei Experiment 2.b) waren es 4478 Einzelmessungen. Bei den Temperaturstufen in der Klimakammer 13, 18, 19, 23°C wurde durchschnittlich 8 Mal im Monat gemessen, bei der Stufe 16°C 12 Mal.

Zur effektiven Handhabung der großen Datenmengen wurde eine Datenbank (MySQL) aufgebaut. Die Bearbeitung der Rohmessdaten, die Berechnung der CO₂-Flüsse, die Regressionen nach Lloyd & Taylor und Michaelis & Menten erfolgte mittels eigens dafür programmierter Funktionen im Programm R 2.10.0 (R Development Core Team).

Für die Berechnung der CO₂-Flüsse wurde ein semi-automatisches Verfahren zur Auswahl eines geeigneten Teilabschnittes aus der 3-minütigen Messung (Bestimmung von $dc*dt^{-1}$) eingeführt, wobei folgende Qualitätskriterien in Betracht gezogen wurden, und mittels quadratischer Funktion ($y = a+bx+cx^2+e$) berechnet:

- steilster Abschnitt der Kurve,
- Residualfehler (als Maß für die Kurvenanpassung),
- die Länge des Teilabschnittes,
- Autokorrelation and Normalverteilung der Residuen.

Für den Zeitpunkt jeder CO₂-Messung wurden die gemessenen Bodentemperaturen aus dem Datensatz herausgefiltert.

Für jeden Messtag wird eine Regression von Reco vs. Temperatur erstellt, wobei die Lufttemperatur in der Messkammer sowie die Bodentemperaturen in -2, -5, -10 und -30 cm Tiefe berücksichtigt werden. Basierend auf der Gleichung nach Lloyd und Taylor (1994) erfolgt die Berechnung der Parameter Respirationsrate bei Referenztemperatur [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$] Rref and Aktivierungsenergie [K] E0. Reco wird basierend auf der Gleichung nach Lloyd und Taylor (1984) modelliert und vom (gemessenen) NEE abgezogen:

$$\text{NEE (gemessen)} - \text{Reco (modelliert)} = \text{GPP}$$

Anschließend wird für jeden Messtag eine Regression von GPP vs. PAR basierend auf der rektangulären hyperbolischen Funktion nach Michaelis und Menten (1913) erstellt und die

Parameter maximale Rate der Kohlenstoff Fixierung bei PAR infinit [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$] GPmax and maximale Steigung von GPP versus PAR α errechnet.

Tab. 11 gibt einen Überblick über die durchgeführten Messungen und die verwendete Methodik. Darin sind auch die Methoden für die Messung der photosynthetisch aktiven Strahlung PAR und weiterer erklärender Variabler beschrieben.

Parameter	Methode	Häufigkeit
CO ₂ -Austausch an Bodenoberfläche (NEE, Reco)	flow-through closed chamber method; LI-COR 6262 + Datalogger	Verschlusszeit = ca. 3 Min; Datenaufzeichnung alle 2 Sek. Erstes Experiment: 8 mal pro Monat für 13°, 18°, 19° und 23°C, 12 mal pro Monat bei 16°C Zweites Experiment: lange Zyklen: 4-5 Mal pro Monat alle Temperaturstufen, zusätzlich 5-6 mal pro Monat bei 16°C. Kurze Zyklen: 5-6 Mal pro Monat alle Temperaturstufen, zusätzlich 5-7 Mal pro Woche bei 16°C.
CH ₄ + N ₂ O - Austausch an Bodenoberfläche	static closed chamber method; Luft aus der Kammer wird mittels Pumpe in Vials gebracht, Analyse am GC	Verschlusszeit = 90 Min., 4 Messpunkte. Erstes Experiment: 1 Tag pro Woche bei 19°C-Stufe und 23°C-Stufe, die Hälfte der Säulen 1 Tag pro Woche bei 13°C-Stufe Zweites Experiment: Lange Zyklen: je 5 mal pro Monat bei 13° bzw. 23°C. Kurze Zyklen: 10-12 mal pro Monat bei 19°C.
PAR	LICOR-Sensor	Messung zunächst händisch; direkt nach CO ₂ -Messung: 1 Tag pro Woche bei allen Licht/Temperatur-Stufen, ab August 2008 automatisch bei allen Messungen mit der transparenten Haube durch einen integrierten PAR-Sensor, Datenaufzeichnung alle 2 Sek
Temperatur im Inneren der Messhaube	Pt100 (doppelt strahlungsgeschützt)	Datenaufzeichnung gleichzeitig mit CO ₂ -Messung alle 2 Sek.; mit transparenten bzw. nicht-transparenten Messhauben: je 1 Tag pro Woche bei allen Licht/Temperatur-Stufen
Bodentemperatur	mit 105T-Thermoelement-Fühler + Datalogger	Messung kontinuierlich, in 4 Bodentiefen bei jeder der 12 Bodensäulen (in 2, 5, 10 und 30 cm unter der Bodenoberfläche); automatische Datenaufzeichnung alle 5 Minuten
Redox-Potential	Pt-Elektroden, Ag/AgCl Referenzelektrode + Datalogger	Messung kontinuierlich, in 5 Bodentiefen bei jeder der 12 Bodensäulen (in 5, 10, 15, 20 und 30 cm unter der Bodenoberfläche); automatische Datenaufzeichnung alle 5 Minuten
Lufttemperatur und PAR in Phytokammer	Klimastation mit Temperaturfühler; PAR-Sensor	Messung kontinuierlich, automatische Datenaufzeichnung alle 5 Minuten
Bodenwasser	Rhizone	Rhizone in 5 Bodentiefen bei jeder der 12 Bodensäulen (in 5, 10, 15, 20 und 30 cm unter der Bodenoberfläche); Probenahme: monatlich aus Mischproben von mehreren Säulen nach Tiefen getrennt; Analyse von gelöstem S, Fe, Mn, Nitrat, Nitrit, (NH ₄ ⁺), Phosphat, Sulfat Beim zweiten Experiment je nach Wasserstand 2-3 Entnahmen pro Monat, Ansäuerung mit HCl.
Menge an Aerenchym	Anzahl der Aerenchym-Blätter bestimmen	1 x monatlich
Biomasse	Photos der Vegetation von oben und von der Seite	In beiden Experimenten einmal pro Monat.
Substratqualität		Bodenanalysen am Ende des Experimentes, getrennt nach Tiefenstufen: Nmin, KAK, Porenvolumen, Bodendichte.

Tab. 11: Messprogramm bei den Experimenten mit Vegetation

Ergebnisse der CO₂-Messungen

Experiment 2.a: schrittweises Anheben des Wasserstandes bis mehrwöchiger Überstau

Ökosystematmung (Reco; Abb. 35): Reco setzt sich aus heterotropher und autotropher Atmung zusammen. Positive Werte bedeuten eine Freisetzung von CO₂ von Boden / Pflanzen in die Atmosphäre. Reco der Intensivwiese (Süßgräser) war höher als der Extensivwiese (Seggen). Reco nahm mit der Anhebung des Wasserstandes in beiden Systemen kontinuierlich ab, bis ein Wasserstand von 0 cm erreicht war (Anstau). Während des Überstatus blieb Reco der Extensivwiese niedrig, während Reco der Intensivwiese tendenziell wieder anstieg. Die Befunde werden durch den Trend von Rref (sinkt mit steigendem Wasserstand) und E0 (steigt mit steigendem Wasserstand) bestätigt.

Reco unterscheidet sich nachts nicht zwischen den beiden Behandlungen und ist bei hohen Strahlungswerten bei den Gräsern größer als bei den Seggen. Reco sowie Rref und E0 konvergieren tendenziell bei nassen Bedingungen (z.B. -5 cm).

Bruttoprimärproduktion (GPP; Abb. 35): GPP ist ein Maß für die Biomasseproduktion der Pflanzen bzw. die CO₂-Aufnahme durch Photosynthese und hängt von der photosynthetisch aktiven Strahlung ab.

GPP der Seggen und Süßgräser war recht ähnlich mit etwas höheren Maxima bei den Süßgräsern. GPP der Seggen und Süßgräser nahm mit ansteigendem Wasserspiegel kontinuierlich ab (d.h. nahm positivere Werte an). Während des Überstaus nahm die GPP der Seggen wieder leicht zu (nahm negativere Werte an) und schien sich verglichen mit der weiterhin abnehmenden GPP der Süßgräser etwas zu erholen.

Die Ergebnisse der Anpassung der GPP-Daten an die Michaelis & Menten Funktion zeigte, dass die maximale Rate der Kohlenstofffixierung bei unendlicher Einstrahlung (GPmax) bis zu einem Wasserstand von 0 cm abnahm (positivere Werte annahm), und dann bei den Seggen mit reichlich Streuung wieder zunahm (negativere Werte erreichte), während sie bei den Süßgräsern verhältnismäßig stabil blieb. Ab einem Wasserstand von -5 cm unterschieden sich die GPmax-Werte der Seggen und Süßgräser. Die maximale Steigung von GPP gegenüber PAR (α) war bei den Seggen höher und blieb über die gesamte Inkubationsperiode hinweg relativ stabil.

Netto-Ökosystemaustausch (NEE; Abb. 35): NEE der Seggen und Süßgräser war zu Beginn des Experiments ähnlich und divergierte dann bei wassergesättigten Bedingungen und Überstau. Bei den Seggen blieb NEE mit zunehmendem Wasserstand relativ stabil.

NEE der Süßgräser nahm mit zunehmendem Wasserstand bis zu einem Niveau von 0 cm zu (negativere Werte; Zunahme der CO₂-Aufnahme durch das Ökosystem) und sank dann wieder (positivere Werte; Verringerung der CO₂-Aufnahme und/oder zunehmende Atmung). Das Optimum der CO₂-Aufnahme der Süßgräser lag bei einem Wasserstand von -10/-5 cm (am stärksten negative Werte für NEE), zuvor waren die Bedingungen zu trocken, danach zu nass.

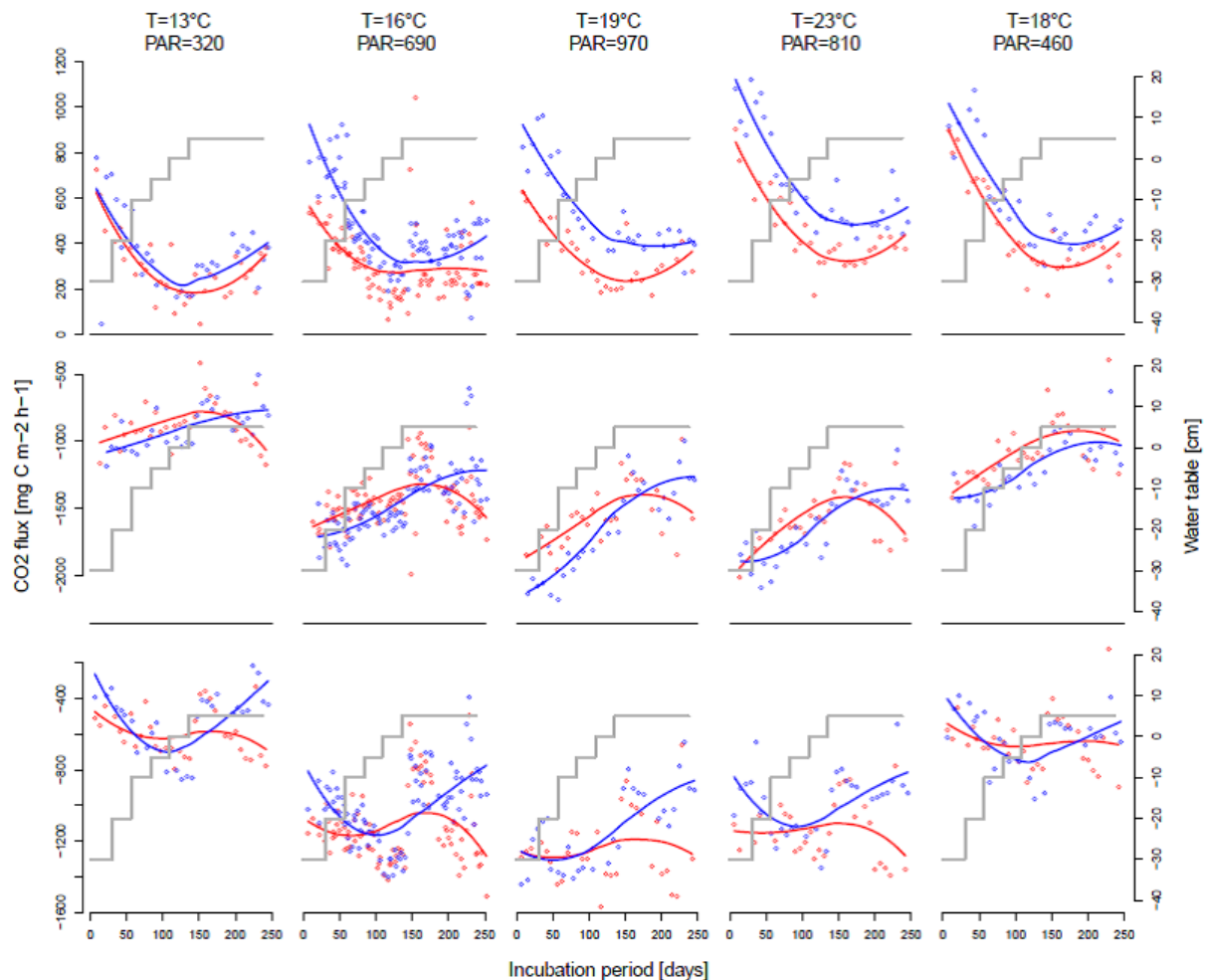


Abb. 35: Ökosystematmung (oben), GPP (Mitte) und NEE (unten) bei schrittweisem Anstieg des Wasserstandes während des 8-monatigen Inkubationsexperimentes 2.a getrennt nach den Temperaturstufen 13, 16, 19, 23 und 18°C (rot: Extensivwiese Seggen; blau = Intensivwiese Gräser); (Mittelwert $n=6$ und loess-Trendlinie); grau: Wasserstand

Experiment 2.b: Dynamische Wechsel zwischen Trockenheit und Überstau

Ökosystematmung (Reco; Abb. 36): Bei Beginn der Trockenphase stieg die Ökosystematmung sprunghaft an (auch gut sichtbar bei Rref). Beim Beginn der Trockenphase stieg die Ökosystematmung sprunghaft an (auch gut sichtbar bei Rref). Reco war im Hochmoor größer als im Niedermoor in den Überflutungsphasen, jedoch nicht sichtbar in den Trockenphasen.

Photosynthese (GPP; vgl. Abb. 36): Es war ein deutlicher Anstieg der Photosyntheseleistung innerhalb der ersten 50-80 Tage zu beobachten (Erklärung: Entwicklung und Wachstum der Vegetation). Das Hochmoor zeigte eine wesentlich höhere maximale Photosyntheseleistung als das Niedermoor. GPP wurde nicht vom Wechsel zwischen Überflutungs- und Trockenphasen beeinflusst.

Netto-Ökosystemaustausch (NEE; vgl. Abb. 36): In den Trockenphasen wurde der Netto-Ökosystem-Austausch stark durch die erhöhte Ökosystematmung bestimmt (Werte werden sprunghaft positiver). Während der ersten 50-80 Tage wurde NEE durch die stärker werdende Photosyntheseleistung geprägt.

Es war ein Unterschied in der NEE zwischen Hochmoor (NEE größer) und Niedermoor sichtbar, wobei die stärkere Photosyntheseleistung des Hochmoorgrünlands die stärkere

Reco überkompensierte. Der Unterschied war bei den langen Zyklen deutlicher als bei den kurzen.

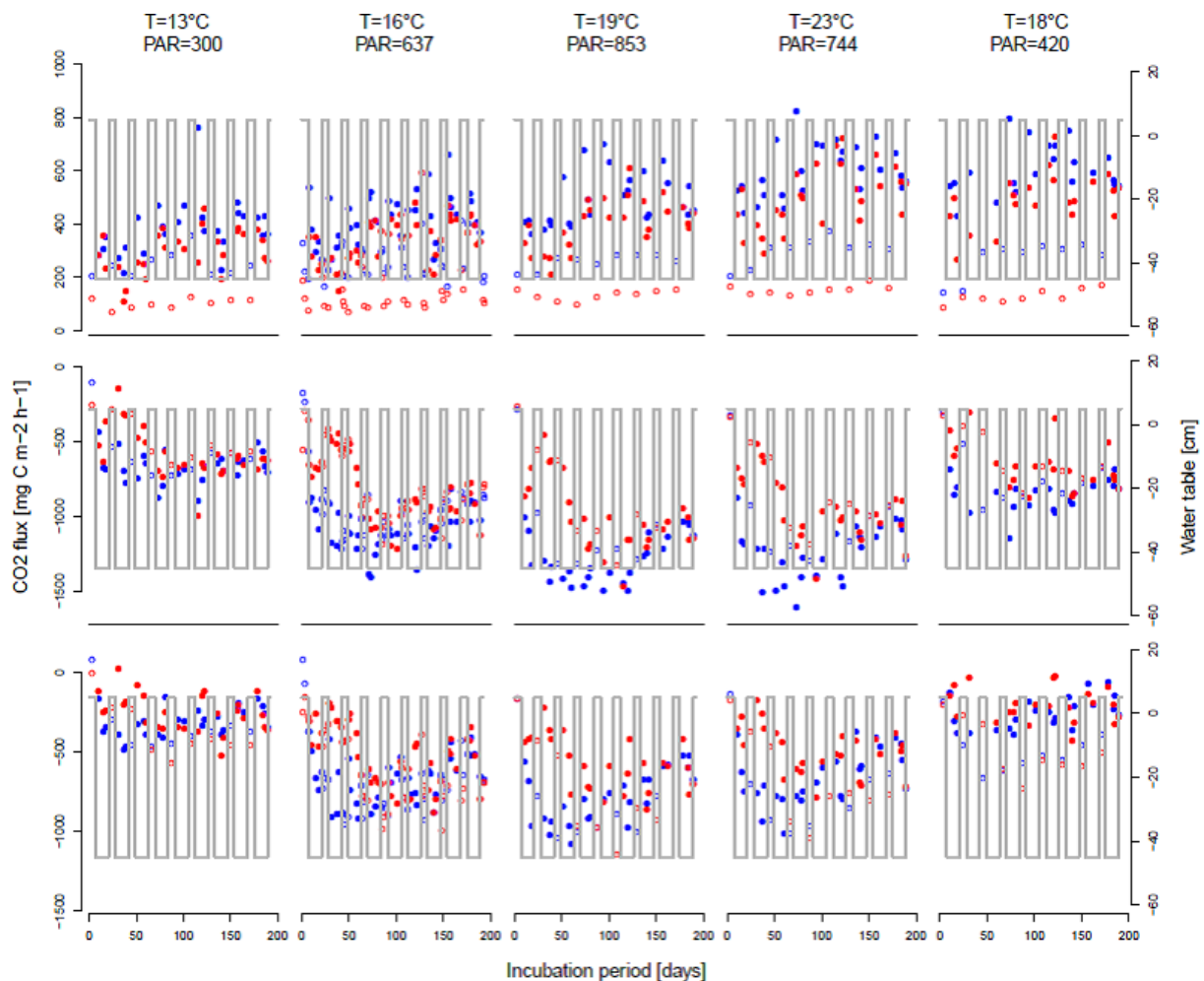


Abb. 36: Ökosystematmung, GPP und NEE bei dynamischer Veränderung des Wasserstands in kurzen Zyklen während des 7-monatigen Inkubationsexperimentes getrennt nach den Temperaturstufen 13, 16, 19, 23 und 18°C (rot: Intensivwiese Niedermoor; blau = Intensivwiese Hochmoor); (Mittelwert $n=3$; volle Symbole: CO_2 -Fluss in trockenen Phasen);. grau: Wasserstand

Wichtigste Ergebnisse: In allen Varianten führte eine Absenkung des Wasserstands zu einer sofortigen, starken, reproduzierbaren Erhöhung von Reco um mehrere hundert $\text{mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$. Demnach tritt Torfschwund unmittelbar bei Austrocknung des Torfkörpers in Hoch- und Niedermooren auf.

Ergebnisse der Methanmessungen

Experiment 2.a: schrittweises Anheben des Wasserstandes bis mehrwöchiger Überstau

Im Experiment wurden die Methan- und Lachgasflüsse der intensiven Wiese (Süßgräser) mit denen der extensiven Wiese (Seggen) verglichen. Wichtige untersuchte Parameter waren das Einsetzen messbarer Methanflüsse in Abhängigkeit vom Wasserstand und der Zeitdauer des Experiments sowie die maximalen Raten der Methanproduktion.

Sowohl für die Seggen- als auch für die Süßgras-Säulen ergab sich dabei ein erster deutlicher Anstieg der Methanflüsse ab dem Wasserstand -5 cm (Temperaturstufen 13°C, Süßgras: 0 cm). Nach längerem Überstau im Januar/Februar konnte kein signifikanter Anstieg mehr festgestellt werden (vgl. Abb. 37).

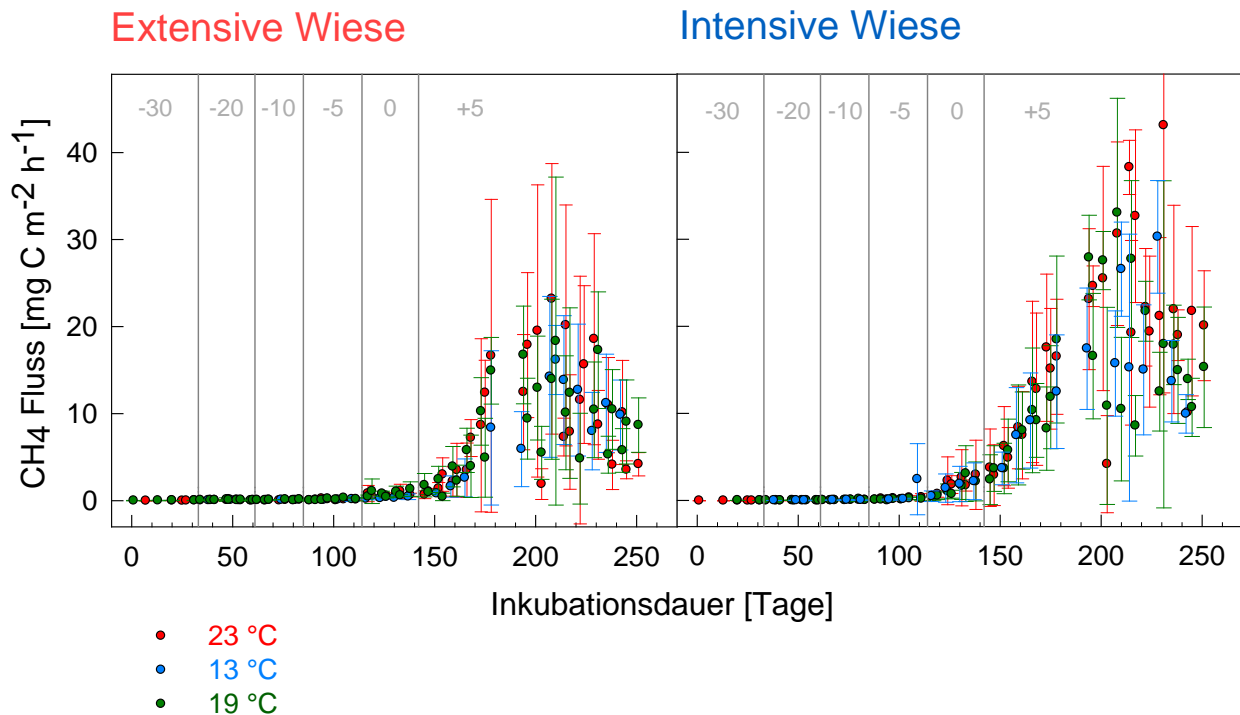


Abb. 37: Methanflüsse im Experiment 2.a). Unterschiedliche Farben kennzeichnen unterschiedliche Temperaturstufen (blau: 13°C, grün: 19°C, rot: 23°C), die senkrechten Linien trennen die einzelnen Wasserstandsstufen

Ein t-Test zum Vergleich der Methanflüsse, die in der zweiten Phase der Flutungsperiode nach über 4 Wochen Überstau erreicht wurden, zeigte in den Mesokosmen der Intensivwiese mit 20,6 mg C m⁻² h⁻¹ doppelt so hohe Werte als in denen der Extensivwiese mit 11,2 mg C m⁻² h⁻¹. Es ist unklar, ob dies ein Effekt einer Sauerstoffzufuhr durch die Aerenchyme der Seggen oder des zunehmenden Absterbens der Süßgräser ist.

Experiment 2.b: Dynamische Wechsel zwischen Trockenheit und Überstau

Wasserstandsänderungen in **langen Zyklen** (6 Wochen Überflutung – 1 Woche trocken):

Die Methanflüsse der Hoch- und Niedermoorsäulen stiegen in jeder Überstauperiode und im allgemeinen von einer zur nächsten Überstauperiode an. Offensichtlich reichte die einwöchige Trockenzeit nicht aus, um die Redoxsysteme vollständig zu regenerieren.

Eine Korrelationsanalyse für die langen Zyklen der Hoch- und Niedermoorsäulen zeigte signifikante Zusammenhänge zwischen den Methanflüssen und der Dauer des Experiments sowie der Temperatur. Zusätzlich wurden über t-Tests innerhalb einer Flutungsperiode jeweils die beiden Temperaturen 13°C und 23°C miteinander verglichen. Mit zunehmender Dauer des Experiments wurde der Einfluss der Temperatur auf die Methanflüsse der Hochmoorsäulen deutlicher. Für die Niedermoorsäulen nahm der Einfluss der Temperatur mit zunehmender Dauer des Experiments dagegen ab (Abb. 38 rechts).

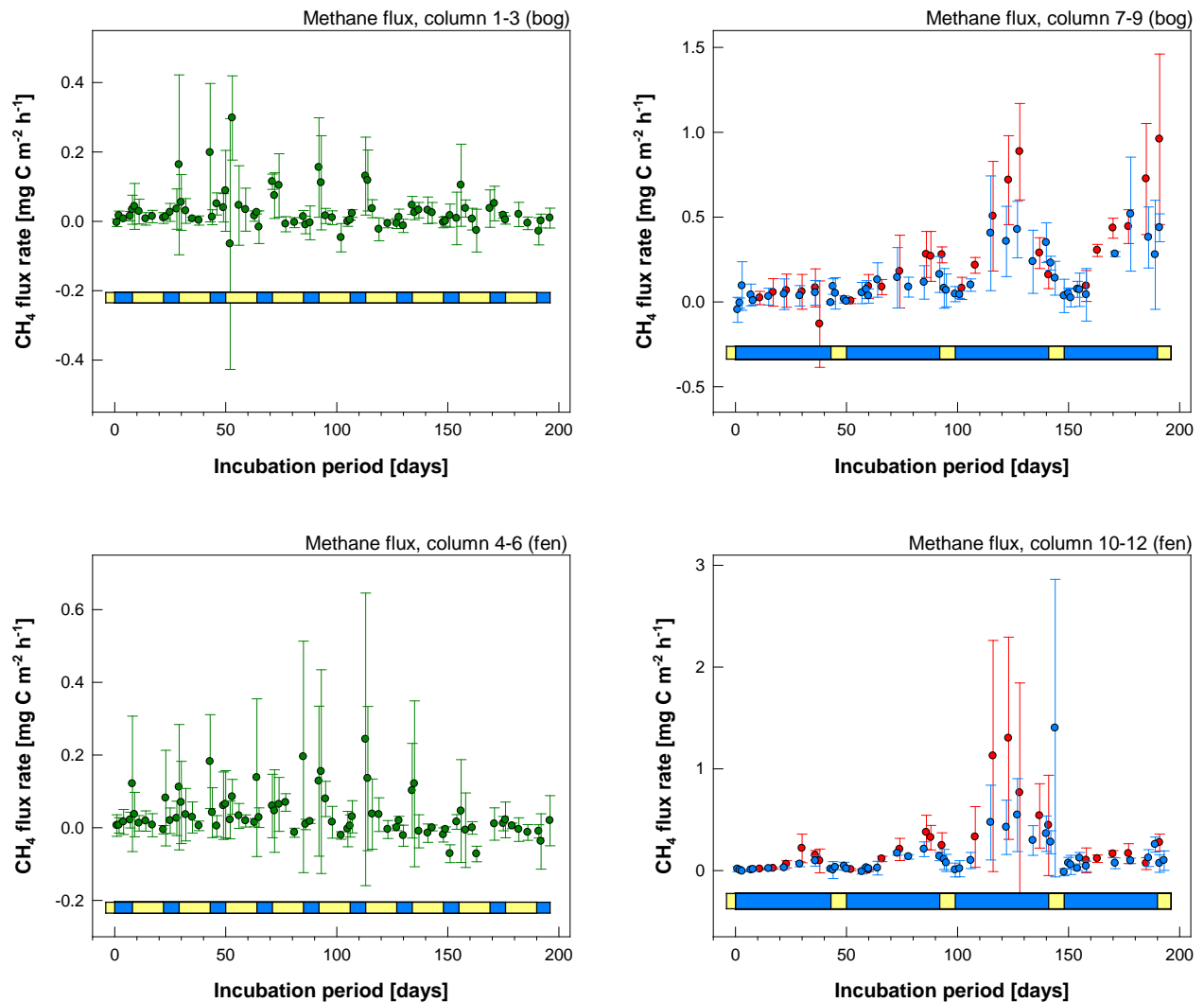


Abb. 38: Methanflüsse im zweiten Experiment. Unterschiedliche Farben kennzeichnen unterschiedliche Temperaturstufen (blau: 13°C, grün: 19°C, rot: 23°C), gelbe Abschnitte in dem unter den Flüssen dargestellten Balken kennzeichnen Trockenperioden, blaue Abschnitte Flutungsperioden. Die beiden linken Abb.en zeigen die Säulen mit kurzen Wasserstandszyklen, die rechten die mit langen.

Wasserstandsänderungen in **kurzen Zyklen** (1 Woche Überflutung – 2 Wochen trocken):

Diejenigen Säulen die einem Wechsel von zweiwöchigen Trockenphasen und einwöchigen Überflutungsphasen ausgesetzt waren, zeigen die höchsten Methanflüsse jeweils in den ersten drei Tagen der Trockenphasen, während sie unter Überstaubedingungen gering bleiben. Eine einwöchige Flutung war offenbar nicht ausreichend, um die Methanproduktion in Gang zu setzen, aber ein „Memory-effekt“ bewirkte zu Beginn der Trockenphasen noch höhere Flüsse. Allerdings sind diese Unterschiede bei den Hochmoorsäulen wegen der hohen Variabilität zu Beginn der Trockenphasen statistisch nicht signifikant. Bei den Niedermoorsäulen dagegen sind die Methanflüsse in den ersten drei Tagen nach Absenkung des Wasserstands signifikant höher als während des Rests der Trockenperioden und auch im Vergleich zu den Überstauphasen. Hier anzumerken, dass das Absenken des Wasserstands mithilfe von Pumpen nicht immer sofort gelang. Auch nach Abpumpen des Wassers aus den Überflutungswannen war der Torfkörper der Säulen noch für einige Tage wassergesättigt.

Vergleich zwischen den Experimenten 2.a und 2.b

Vergleicht man den Anstieg der Methanflüsse aus den Niedermoorsäulen mit denjenigen des Experiments 2.a, so zeigt sich, dass bei unterbrochenen Flutungsphasen der Anstieg mit einer geringeren Rate erfolgt. Im ersten Experiment betrug die Steigung des ln des Methanflusses 0,055 (Seggen, Süßgras 13°C und 23°C) bzw. 0,068 (Süßgras, 19°C). Im zweiten Experiment erreichte die Anstiegsrate mit ca. 0,029 nur etwa die Hälfte dieser Werte. Diese Unterschiede sind signifikant. Ein nicht-kontinuierlicher Überstau bei der Renaturierung von Moorflächen hat daher das Potential, die Methanemissionen signifikant zu verringern.

Wichtigste Ergebnisse: Signifikante Methanemissionen traten erst bei Anstau (0 cm) auf. Die Methanemissionen stiegen exponentiell mit der Zeit des Überstaus an und erreichten im System mit Seggen – an Anstau angepasste Vegetation - bei Überstau ein Maximum mit anschließend tendenziell geringeren Emissionen. Im System mit Süßgräsern – nicht an Anstau angepasster Vegetation – blieben die CH₄-Emissionen konstant hoch. Die Emissionshöhe war mit Freilandwerten bei ähnlichen Temperaturbedingungen in Mooren ohne Mudde (naturnahe Niedermoore) vergleichbar. Eine Trockenphase von einer Woche kann die CH₄-Emissionen deutlich reduzieren. Der Anstiegsrate ist ungefähr halbiert. Nach einer Woche Überstau treten signifikant erhöhte CH₄-Emissionen auf, die allerdings erst nach ca. 4 Wochen eine Höhe erreichen, die mit naturnahen Niedermooren vergleichbar ist. In Mooren ohne Muddeauflage ist ein Überstau von bis zu vier Wochen im Frühjahr offensichtlich aus Klimaschutzsicht unbedenklich.

Ergebnisse der Lachgasmessungen

Die Lachgasflüsse im **Experiment 2.a** blieben während der gesamten Versuchsdauer des ersten Experiments niedrig unter $0,1 \text{ mg N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ und zeigten keinen Zusammenhang mit dem Wasserstand und nur bei den Süßgräsern schwach mit der Temperatur.

Die Lachgasflüsse blieben im **Experiment 2.b** ähnlich wie schon im Experiment 2.a) gering. Nach den anfänglichen Schwankungen beim Einrichten der Säulen in der Klimakammer lagen die Flüsse bei den kurzen Zyklen mit kleineren Abweichungen zwischen 0 und $0,2 \text{ mg N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. In den Trockenphasen war die Variabilität der Flüsse höher als während des Überstaus und erreicht Flussraten bis $0,8 \text{ mg N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Wichtigste Ergebnisse: Die Lachgasflüsse waren ähnlich wie bei den Freilandmessungen und insgesamt gering. Wassertandsfluktuationen führten zu einer kurzfristigen, geringfügigen Erhöhung der N₂O -Flüsse. Konstante Wasserstände reduzieren tendenziell N₂O -Flüsse. Bei Anstau bzw. Überstau tritt kein signifikanter N₂O -Fluss auf.

2.4 AP 2.5 Modellierung der Spurengasbilanzen (Federführung TUM-VegÖk, Beteiligung MPI)

Die Fluss-Modellierung wurde von allen Messteams (LBEG, ZALF-AUG, MPI) nach einer von TUM-VegÖK (Drösler 2005) entwickelten Vorgehensweise innerhalb der AP 2.3 und 2.4 durchgeführt. Im Rahmen des AP 2.5 wurde diese Methodik an alle Teams weitergeben und verfeinert. Insofern sind die CO₂-Bilanzen, die in den Kapiteln zu AP 2.3 und AP 2.4 wiedergegeben wurden auf der Basis der hier dargestellten Methodik entwickelt worden. Beispiele für daraus hervorgehende Verlaufsgrafiken werden hier dargestellt. CH₄ und N₂O sind innerhalb des Vorhabens klassisch extrapoliert worden. Eine weitergehende statistische oder prozeßorientierte Modellierung wurde auf das Nachfolge-Projekt (vTI-Projekt) verlagert.

Die weitergehende Gesamtmodellierung bezieht sich auf die Erklärung der Spurengasbilanzen mit flächenbezogenen Skalierungsparametern. Diese wird im Anschluss an die CO₂-Modellierung erläutert.

Modellierung des Kohlendioxidaustauschs (TUM-VegÖk mit LBEG und ZALF-AUG)

Der Netto-Ökosystemaustausch von Kohlendioxid (NEE) ist die Summe verschiedener und z.T. entgegengesetzt gerichteter, gleichzeitig ablaufender CO₂-Flüsse.

Bei Abwesenheit von Strahlung ist das NEE der Ökosystematmung (RECO) gleichzusetzen. RECO setzt sich zusammen aus der Summe von heterotropher (Rh) und autotropher (Ra) Atmung. Der wesentliche Steuerfaktor für RECO ist die Temperatur. Die Reaktionsgeschwindigkeit der Ökosystematmung gegenüber der Temperatur lässt sich meist mit Exponentialfunktionen beschreiben. Die Gleichung von Lloyd & Taylor (1994) hat sich dabei als eine weit verbreitete Kurvenanpassung von RECO vs. Temp. bewährt und etabliert (s. z.B. Reichstein et al. 2002, Drösler 2005).

Bei Anwesenheit von Strahlung setzt sich das NEE aus der Summe von RECO und der Brutto-Primär-Produktion (GPP) der Photosynthese zusammen. GPP ist dem RECO entgegengesetzt. Mit den transparenten Hauben (wie auch mit Eddy-Kovarianz-Techniken) kann nur das NEE direkt gemessen werden. NEE hängt sowohl von der Strahlung als auch von der Temperatur ab, wie auch die rektangulär hyperbolische Anpassungsfunktion nach Michaelis & Menten (1913) zeigt. Daher weisen NEE vs. PAR - Funktionen i.d.R. in den höheren Strahlungsbereichen eine temperaturbedingte Streuung der Werte durch den Einfluss des RECO auf.

Ziel der Modellierung ist, das NEE in seinem zeitlichen Verlauf zu ermitteln. Allgemein ergibt sich das zu modellierende NEE nach:

$$\text{NEE} = \text{RECO} + \text{GPP} \quad (1)$$

(Unter der Konvention, dass GPP ein negatives Vorzeichen hat und damit, wenn $GPP (*-1) > RECO$ ist (Aufnahme in das System), auch das NEE negatives Vorzeichen erhält).

Für die Modellierung von NEE ist es nach Formel (1) erforderlich die jeweiligen RECO- und GPP-Werte unter den jeweils herrschenden Strahlungs- und Temperaturbedingungen zu ermitteln.

Kampagnenspezifische Parametrisierung: RECO vs. Temp

Mittels der über den Tagesgang der Temperatur verteilten abgedunkelten Hauben-Messungen werden kampagnenspezifische Parametrisierungen der Lloyd & Taylor (1994) – Funktion durchgeführt. Damit sind die modellierungsrelevanten Parameter R_{ref} (Referenzatmung bei 10°C) und E_o (Aktivierungsenergie) für diese Kampagne und diesen Standort bestimmt. Diese Vorgehensweise wird je Kampagne für verschiedene Temperaturstufen durchgeführt, um diejenige Temperatur mit der besten Erklärung der Varianz der Ökosystematmung zu identifizieren. Diese sog. „best fit“ Temperatur kann sich im Laufe des Jahres ändern. So ist klassischerweise im Winter und Frühjahr die Bodentemperatur in 2 oder 5 cm Tiefe der beste Parameter zur Erklärung der Ökosystematmung während im Sommer und meist auch im Herbst, die bodennahe Lufttemperatur in 20 cm Höhe die Atmungsraten am besten erklärt.

Kampagnenspezifische Parametrisierung: GPP vs. PAR

Nach Formel (1) ist für die Berechnung des NEE die Ermittlung des GPP Voraussetzung. GPP wird errechnet, indem von den über den Messtag erfassten NEE-Werten die zur jeweiligen Messzeit gegebenen RECO-Werte abgezogen werden. Diese RECO-Werte werden aus den RECO-Temperatur Abhängigkeiten modelliert. Schließlich werden den ermittelten GPP-Werten die jeweilige gemessene Strahlung gegenübergestellt und Lichtabhängigkeitskurven (GPP vs. PAR) nach der rektangulär hyperbolischen Funktion von Michaelis und Menten (1913) berechnet. Ergebnis sind die modellierungsrelevanten Parameter α (maximale Steigung bei $PAR=0$) und GP_{max} (maximale Aufnahme bei Steigung 0) für diese Kampagne und diesen Standort bestimmt.

Die Eingangsgrößen für die Modellierung sind diese in den Kampagnen ermittelten Parametersätze für die GPP vs. PAR - und RECO vs. Temp. – Abhängigkeiten, also α und GP_{max} , sowie R_{ref} und E_o . Diese Parameter werden linear oder nichtlinear zwischen den Kampagnen interpoliert, um einen individuellen Parametersatz für jeden 0,5h-Zeitschritt zu erhalten. Weitere Eingangsgrößen sind ein Klimafeld in 0,5h-Auflösung. Für jeden Zeitschritt werden dann das RECO und das GPP nach Lloyd & Taylor (1994) und Michaelis & Menten (1913) errechnet und aus der Summe das NEE gebildet.

Als Ausgabegrößen erhält man damit pro 0,5h-Zeitschritt einen Wert für GPP, RECO, NEE und kumuliertes NEE. Das kumulierte NEE am Ende des Jahres entspricht dann der site-spezifischen Austauschbilanz.

Die im Folgenden beispielhaft dargestellten Verlaufsgrafiken der Modellierung zeigen die für jeweils einen site und 2 Jahre die Verläufe der verschiedenen Ausgabegrößen. Diese werden bestimmt durch das komplexe Zusammenwirken von Wasserstand, Vegetation, Phänologie, Bewirtschaftung und Wetter.

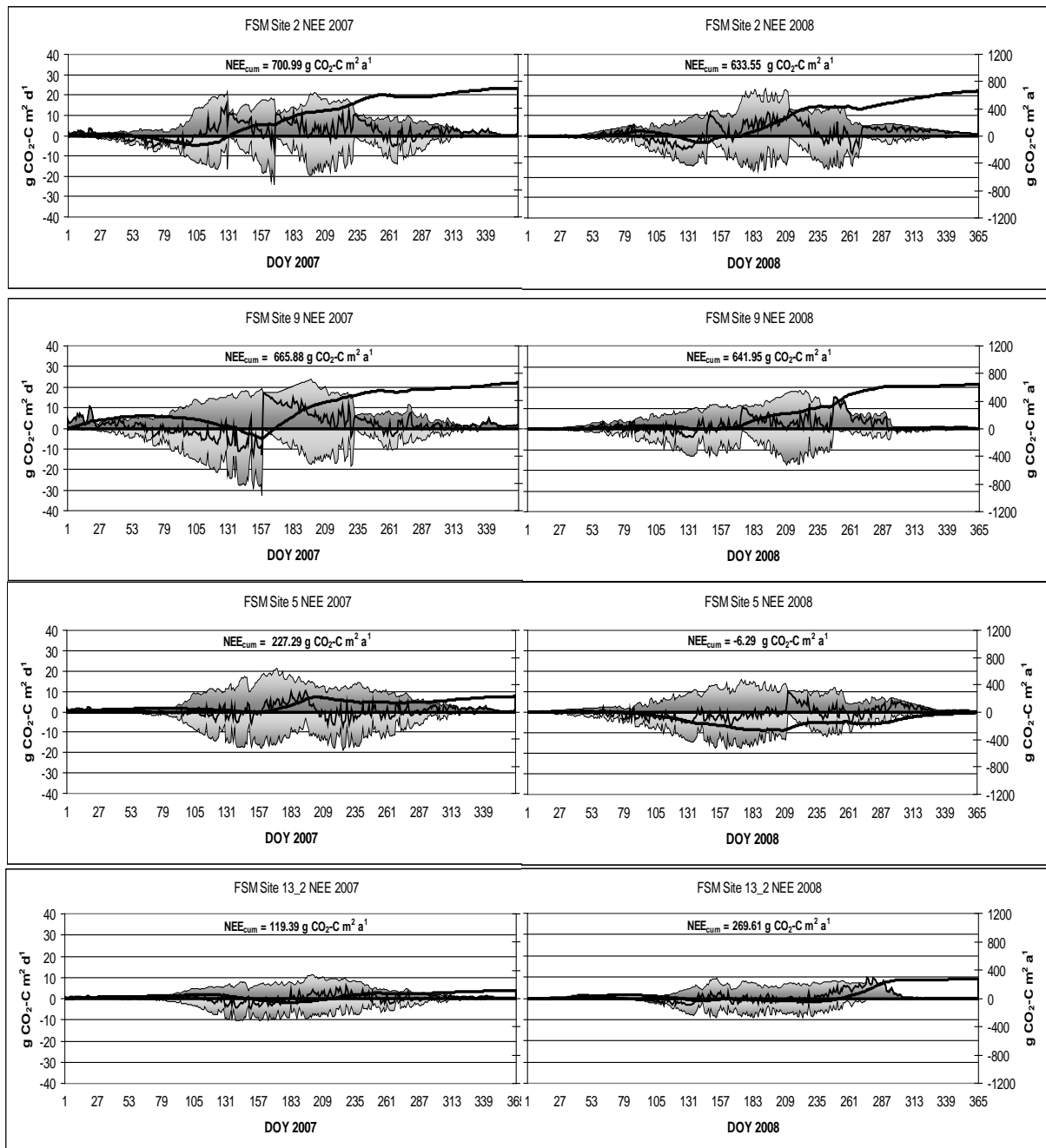


Abb. 39: FSM (TG5): RECO, GPP, NEE und NEE cum auf site 2 und 9 (intensive Wiese mit 2-3 Schnitten) und site 5 (nasser Großseggenbestand) und site 13 (feuchtes Kalkkleinseggenried), dunkelgrauer Bereich oberhalb der x-Achse: RECO, hellgrauer Bereich unterhalb der x-Achse: GPP; dünne schwarze Zitterlinie um die x-Achse: NEE; dicke schwarze Linie: NEE kumuliert

Wie in Abb. 39 erkennbar, verhalten sich die sites sehr individuell: In den intensiven Wiesenflächen sind die Schnitt-Events schön erkennbar. Trotz unterschiedlicher Nutzungsrhythmen und Jahre liegen die Emissionen zwischen den Jahren und im Vergleich der sites sehr nahe beieinander: 630 – 700 g CO₂-C m⁻² a⁻¹. Die extensiv genutzten Flächen (sites 5 und 13) zeigen grundsätzlich geringere Verluste als die intensiven sites, weisen aber auch eine höhere interannuelle Variabilität auf. Dies liegt vermutlich dominierend an dem stärkeren Effekt von Wasserstandschwankungen auf Flächen mit flurnahem Wasserstand.

Modellierung der Gesamtklimawirkung (THG-Bilanz)

Die Modellierung der CO₂-Flüsse auf Halbstundenbasis führt zum kumulierten Netto-Ökosystemaustausch pro Jahr auf site-Ebene. Durch die Zusammenführung mit den CH₄-Bilanzen (in CO₂-Äquivalenten), den N₂O-Bilanzen (in CO₂-Äquivalenten) und der Einrechnung des Import- und Exportbetrages für C wird die Gesamtklimawirkung pro site errechnet.

Die Herausforderung für die räumliche Modellierung ist, diese THG-Bilanzen in die Fläche zu modellieren. Die Entwicklung von prozeßorientierten Verfahren für die räumliche Modellierung der Spuerengasflüsse wird derzeit im Rahmen des EU-Projektes „GHG-Europe“ verfolgt. Dies war nicht Thema des BMBF-Projektes. Hier ist der Weg verfolgt worden, robuste Beziehungen zwischen den THG-Bilanzen und funktionell verknüpften Steuerfaktoren auf der Basis eines einzigartigen deutschlandweiten Datensatzes zu identifizieren. In Form einer Meta-Analyse wurden verschiedene Steuerfaktoren zur Erklärung der Bilanzen getestet. Der Datensatz wurde in Hochmoore und Niedermoore getrennt. In einem einfaktoriellen Modell stellt sich der mittlere Jahreswasserstand als beste Erklärungsvariable heraus. Er ist eine wesentliche Steuergröße für die Treibhausgasbilanz von Moorstandorten. Der Jahresmittelwasserstand alleine kann in den Hochmooren ca. 60% der Varianz zwischen den Messergebnissen erklären (s. Abb. 40), in den Niedermooren wird etwa die Hälfte der Varianz zwischen den Messergebnissen erklärt (s. Abb. 41).

Treibhausgasbilanz vs. WT - Hochmoore

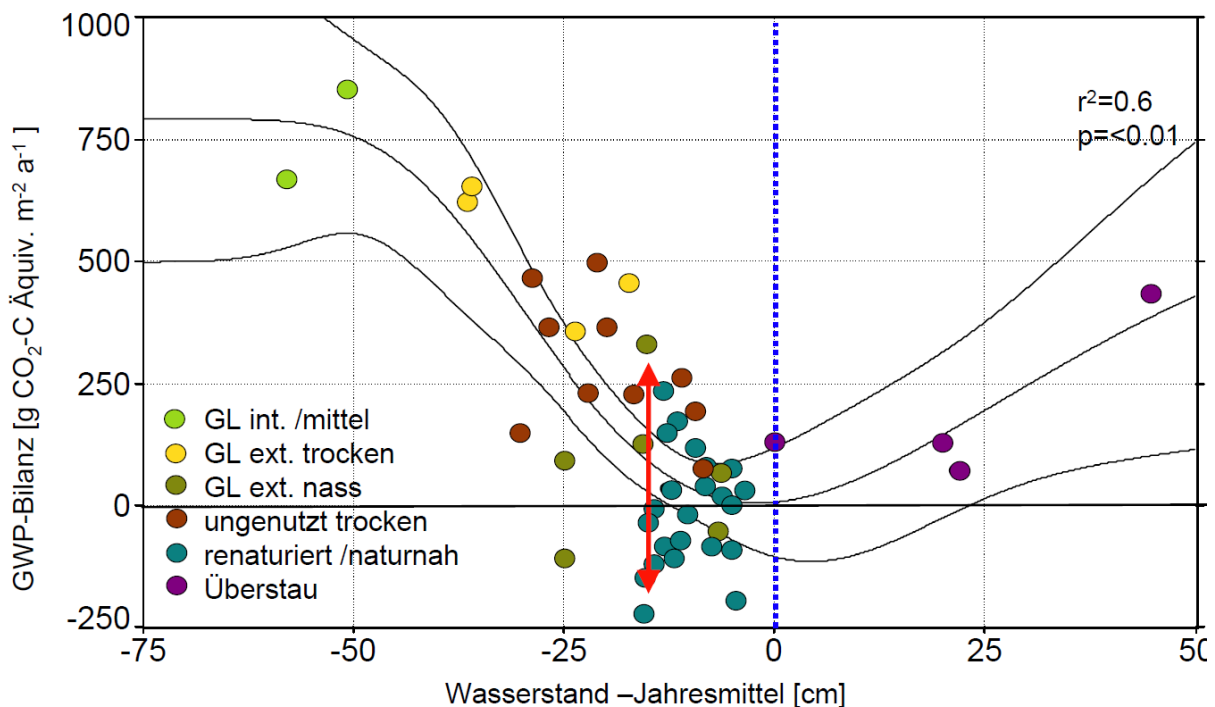


Abb. 40: Wasserstand vs. Treibhausgasbilanz: Hochmoore

Aus den Abb. 40 und 41 geht hervor, dass die geringste Klimabelastung bei mittleren Wasserständen knapp unter der Geländeoberfläche (Faustzahl -10 cm) erreicht werden kann. Geringere Wasserstände (Entwässerung) führen zu einem raschen Anstieg der Klimawirk-

samkeit durch vermehrte CO₂- und auch N₂O-Emissionen. Höhere Wasserstände, d.h. in Richtung Geländeoberkante oder gar Überstau, führen dagegen auch zu einem Ansteigen der Klimawirksamkeit, was an den exponentiell ansteigenden CH₄-Emissionen liegt. Nur innerhalb des optimalen Wasserstandsbereichs sind einzelne Standorte nicht nur klimaneutral, sondern können sogar als Netto-Klimakühler wirken (negativ-Werte unterhalb der x-Achse; s. Abb. 40 und Abb. 41).

Bei gleichem Jahresmittelwasserstand ergibt sich aber noch eine weite Streuung, die von weiteren Einflussgrößen wie Nutzungstyp, Nutzungsintensität und möglichen weiteren Faktoren wie z.B. Vegetation, Managementrhythmen, Wasserstandsdynamik, Torfeigenschaften etc. erklärt wird. D.h. es können bei gleichem Wasserstand Nutzungs- und Vegetationstypen ganz unterschiedlicher Kategorien mit weit streuendem THG-Potenzial auftreten (vertikale Variabilität, s. Pfeile in Abb. 40 und Abb. 41). Andererseits kann ein vergleichbarer Nutzungstyp mit vergleichbarer THG-Bilanz bei ganz unterschiedlichen Wasserständen auftreten. Dies wird z.B. in den Hochmooren deutlich bei der Nutzungskategorie „ungenutzt trocken“ (s. Abb 40). Bei den Niedermooren ist dieser Effekt besonders auffällig in der Nutzungskategorie „intensives Grünland“ (s. Abb. 41). In beiden Fällen führt eine einfaktorische wasserstandsabhängige Modellierung der THG-Bilanz zu erheblichen Unsicherheiten. Die Unsicherheiten steigen aber insbesondere dann erheblich, wenn der gerade in den flächenrelevanten Nutzungstypen unsichere Erklärungsparameter Wasserstand über eine sekundäre Flächeninformation, wie z.B. den Vegetationstyp, abgeleitet wird.

Treibhausgasbilanz vs. WT - Niedermoore

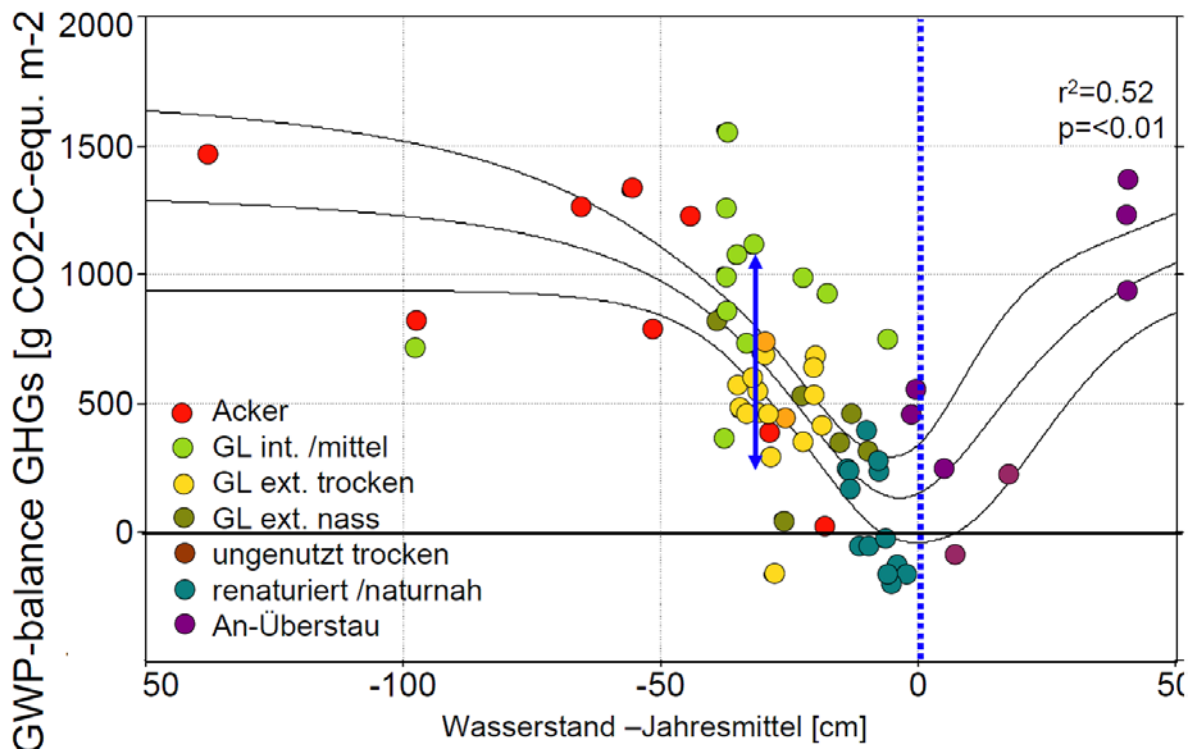


Abb. 41: Wasserstand vs. Treibhausgasbilanz: Niedermoore

Daher wurde es möglich, auf der Basis des umfassenden BMBF-Datensatzes einen mehrfaktoriellen Ansatz für die Erklärung der THG-Bilanzen und damit potentiell für die räumliche Modellierung zu entwickeln. Dabei stellte sich die Nutzungsintensität als weiterer Erklärungsparameter heraus. Die Nutzungsintensität lässt den Indikator der Menge an Kohlenstoff, die mit dem Erntegut exportiert wird, erfassen. Denn beispielweise führen höhere Schnitthäufigkeiten auf intensiv genutzten Flächen zu größerem Kohlenstoff-Export von den Flächen. Der Export wiederum ist eine Größe, die relativ einfach direkt oder indirekt zu bestimmen ist.

Diese bivariate Abhängigkeitskurve der jährlichen THG-Bilanzen (Abb. 42) kann knapp drei Viertel der Varianz zwischen den Standorten erklären und ist damit robust, um Empfehlungen für Klimaschutz durch Moorschutz zu geben. Mit dieser Funktion ist es erstmals möglich, Flächenansätze von THG-Einsparungsszenarien in die Fläche zu modellieren. Dies wurde in einem laufenden Vorhaben (LfU-Bayern) bereits erstmals im März 2011 erfolgreich getestet. Die Funktion eignet sich daher als Grundlage für die Bewertung der Klimaschutzwirkung von Moorschutzmaßnahmen in Deutschland.

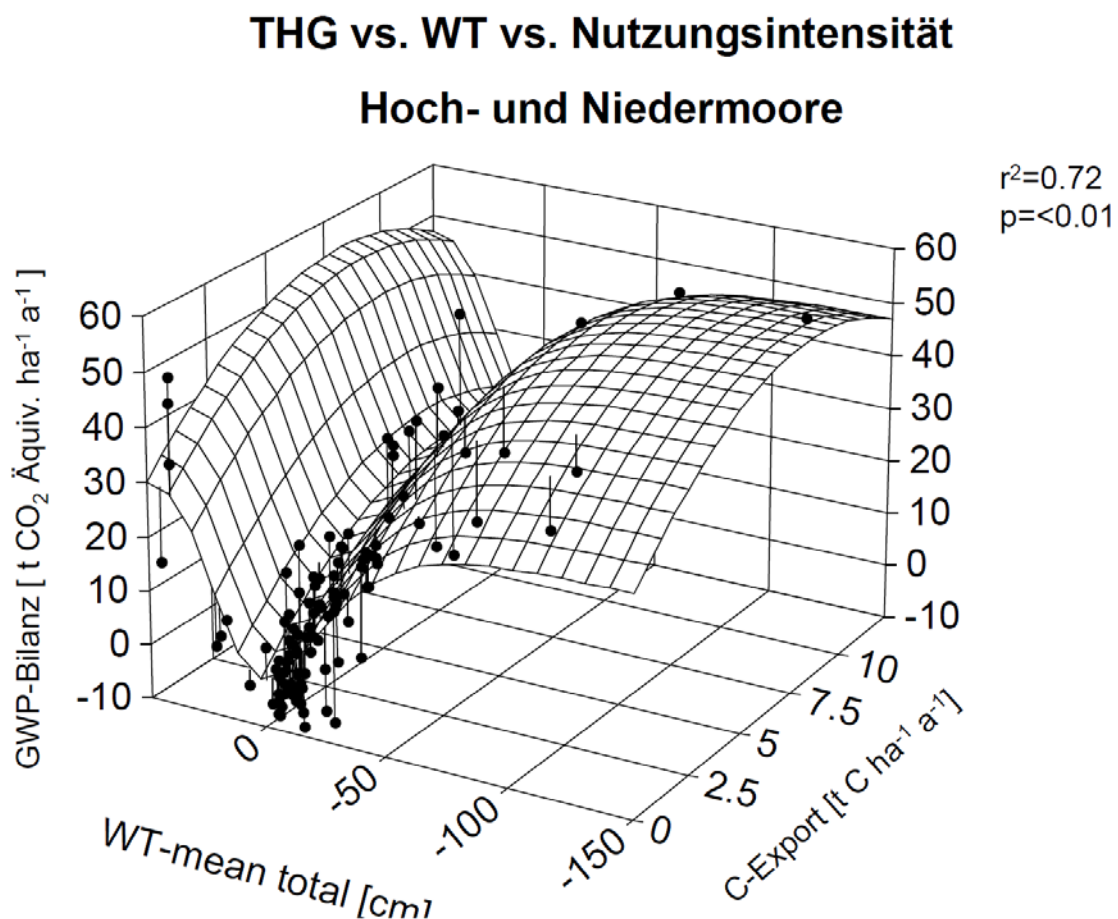


Abb. 42: **PEP-Modell (Peatland Emissions Predictor)** - Abhängigkeit der jährlichen THG-Bilanzen der Hochmoor und Niedermoore vom Jahresmittelwasserstand (WT_mean) und dem jährlichen Export von Kohlenstoff mit dem Erntegut als Indikator für die Nutzungsintensität

2.5 AP 2.6 Regionalisierung und Hochskalierung der Spurengasbilanzen (ZALF-SOM)

Methoden

National verfügbare Karten zur Moorverbreitung

Die bisherigen nationalen Abschätzungen der Emissionen klimarelevanter Spurengase beruhen auf einer Verschneidung räumlich detaillierter Landnutzungsinformationen (ATKIS) mit Angaben aus der Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK 1000). Dies führt zu inhaltlichen und maßstabsbedingten Unsicherheiten. Durch die Nutzung der flächendeckend vorhandenen Geologischen Übersichtskarte 1:200.000 (GÜK 200) im Projekt konnte eine räumlich differenziertere Darstellung der (potentiellen) Moorflächen – unterteilt in Hochmoor (Hh), Niedermoor (Hn) und Moor (H, undifferenziert) – erzielt werden. Insgesamt ist in der BÜK 1000 eine größere Moorfläche ausgewiesen als in der GÜK 200. Die Moorfläche in Deutschland beträgt nach BÜK 1000 13.076 km² Niedermoor und 4.872 km² Hochmoor. Die GÜK 200 weist dagegen nur 10.336 km² Niedermoor sowie 3.148 km² Hochmoor aus. Während in der BÜK 1000 größere zusammenhängende Moorflächen ausgewiesen sind, stellen sich die Moorflächen der GÜK 200 wesentlich kleinteiliger und differenzierter dar, d.h. wo die BÜK 1000 ein Moorpolygon ausweist, sind in der GÜK 200 oft mehrere kleinere Moore verzeichnet. Zusätzlich sind in der GÜK 200 häufig kleinere Moorflächen an Orten verzeichnet, an denen die BÜK 1000 keine Moore ausweist. Ein Vergleich höher aufgelöster Moorkarten mit der GÜK 200 erbrachte für Schleswig-Holstein eine 70%ige Übereinstimmung, für Mecklenburg-Vorpommern immerhin 60% Übereinstimmung. Hier war ein Großteil der Abweichungen durch Lagefehler bedingt, d.h. ein Moorkörper wurde in beiden Kartenwerken ausgewiesen, doch lagen die Polygone nicht übereinander, sondern wiesen einen räumlichen Versatz auf.

National verfügbare Landnutzungsinformationen - ATKIS®

Das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS®) wird seit 1990 von den Landesvermessungsämtern und dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) aufgebaut. Aufgabe ist seitdem die kontinuierliche Erfassung, Aktualisierung und Darstellung von Erscheinungsformen, Sachverhalten und Topographie in einem digitalen Landschaftsmodell (DLM). Im sog. Basis DLM sind die wichtigsten Landschaftsobjekte nach einem hierarchisch aufgebauten Objektartenkatalog (ATKIS-OK) generalisierungsfrei im Maßstab 1:10.000 – 1: 25.000 dargestellt.

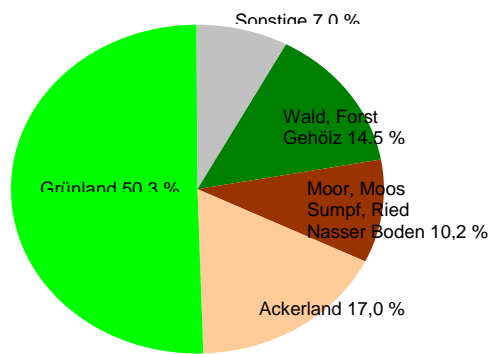


Abb. 43: Landnutzungsverteilung der deutschen Moore nach ATKIS®

ATKIS® Daten auf nationaler Ebene - Landnutzung auf Mooren

Zur Abschätzung der nationalen Verteilung der wichtigsten Landnutzungen auf Moor wurden die Objektarten (OBA) Ackerland, Grünland, Wald/Forst, Gehölz, Moor/Moos, Sumpf/Ried, Nasser Boden extrahiert. Alle übrigen Flächen wurden zu einer Klasse Sonstige zusammengefasst. Aus der Verschneidung mit der GÜK 200 ergibt sich eine Verteilung, die zu ca. 67 % von Grün- Ackernutzung geprägt ist (Abb. 43). Naturnahe bzw. renaturierte Moore sind nur noch auf ca. 10 % der Fläche vertreten.

ATKIS® Daten auf TG-Ebene

Die Auswertung des Basis DLM erfolgte für die Bundesländer, in denen sich die TG befinden. Für die Regionalisierung von THG - Emissionen aus Mooren sind nur die ATKIS® Objektgruppen und -arten von Bedeutung, die mit Emissionsfaktoren belegt werden können.

TG	Moortyp	Klasse	Fläche [ha]	Fläche [%]	Moortyp	Fläche [ha]	Fläche [%]	
1 - Ahlen-Falkenberg	Hochmoor	Grünland	2552,6	66,3			97,8	
		Ackerland	102,4	2,7				
		Wald	102,1	2,7				
		Moor/Moos	1005,8	26,1				
2 - Dümmer	Niedermoor	Grünland	3315,8	57,4	Hochmoor	133,9	32,7	95,3
		Ackerland	1891,7	32,8		129,4	31,6	
		Wald	183,8	3,2		93,9	22,9	
		Moor/Moos	188,8	3,3		33,0	8,1	
3 - Peenetal	Niedermoor	Grünland	2118,2	80,4			96,2	
		Ackerland	86,4	3,3				
		Wald	263,8	10,0				
		Sumpf/Ried	64,9	2,5				
4 - Paulinenaue	Niedermoor	Grünland	1555,2	60,6			99,2	
		Ackerland	922,7	36,0				
		Wald	106,8	2,4				
		Sumpf/Ried	17,7	0,1				
5 - Freising	Niedermoor	Grünland	548,6	79,9	Anmoor	374,1	64,2	96,4
		Ackerland	56,4	8,2		172,1	29,5	
		Wald	66,7	9,7		15,7	2,7	
		Moor/Moos	7,5	1,1		0,0	0,0	
6 - Mooseurach	Niedermoor	Grünland	270,0	41,8	Hochmoor	109,5	21,7	98,2
		Ackerland	8,0	1,2		0,0	0,0	
		Wald	288,2	44,6		220,2	43,6	
		Moor/Moos	42,3	6,6		166,0	32,9	

Tab. 12: Flächenanteile der Landnutzungsklassen für die sechs TG - differenziert nach Moortyp

Die räumliche Abgrenzung der TG erfolgte auf der Grundlage der GÜK 200. In Tab. 12 sind die nach Moortypen getrennten Verteilungen der emissionsrelevanten Nutzungen für alle TG zusammengestellt. Die Flächenanteile der OBA Wald, Forst und Gehölz wurde in der Landnutzungsklasse Wald zusammengefasst. Auf TG-Ebene kann abgeschätzt werden, welche Qualität die Hochrechnungen der THG-Emissionen auf nationaler Ebene haben. Dazu bedarf es zusätzlicher Datenquellen mit höherer Informationsdichte und Aktualität zur Moornutzung, als sie inhaltlich und maßstabsbedingt über das Basis DLM zur Verfügung stehen. „Klassische“ Methoden der Datenerhebung wie Geländekartierungen in Verbindung mit Befragungen der Landwirte sind aktuell und auf die Zielgröße konzentriert, beispielsweise Bewirtschaftungsintensitäten im Grünland oder Fruchtfolgen im Ackerbau. Im Projekt wurden diese Befragungen durchgeführt und in die Auswertung einbezogen (TG-Ansatz). Nachteilig wirkt sich aber die Integration der Daten in bestehende Kartenwerke aus, die befragte Flächen in der Regel nicht parzellenscharf abbilden. Mit Methoden der Fernerkundung lassen sich diese Lücken schließen. Mit Hilfe von Satellitenbildern lassen sich Nutzungsgrenzen im Rahmen der optischen Auflösung exakt darstellen.

Nutzung von Fernerkundungsdaten auf TG-Ebene

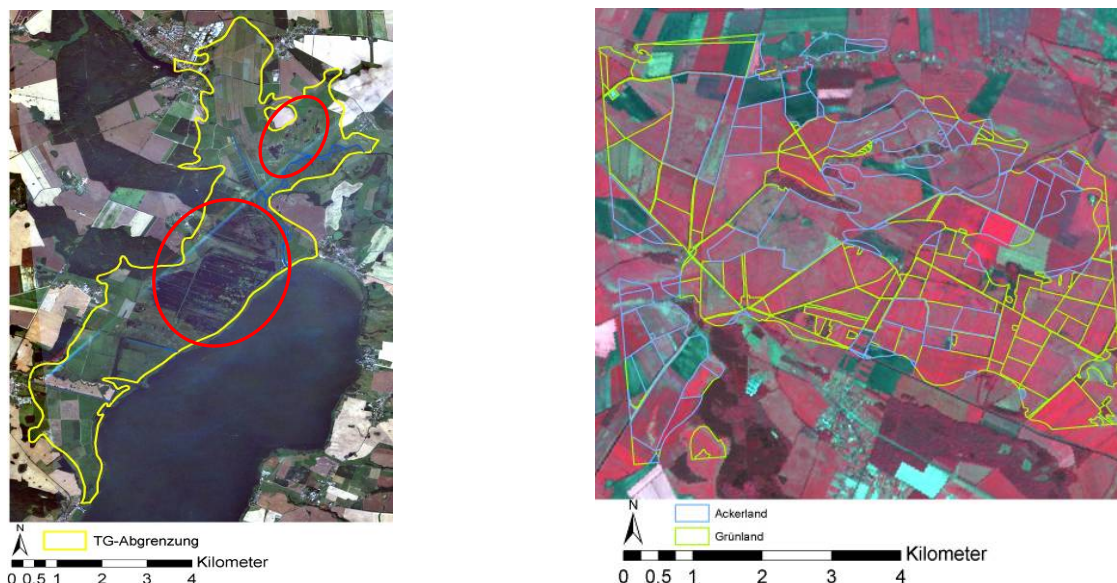


Abb. 44 (l): ASTER-Aufnahme vom 28.04.2007 mit Überlagerung der ATKIS® Polygone (Acker- und Grünland)

Abb. 45 (r): RapidEye-Aufnahme vom 02.08.09 Ausschnitt des TG-3 Peenetal mit überstauten Flächen (rot umrandet)

Für die Abgrenzung landwirtschaftlicher Flächen wurde auf Archivaufnahmen des ASTER – Radiospektrometers an Bord des TERRA – Satelliten zurückgegriffen. Am Beispiel von TG4 Paulinenaue zeigt der Vergleich der Geometrien aus dem Basis DLM mit einer ASTER-Aufnahme vom 28.04.2007 ein kleinräumiges Nutzungsmuster (Abb. 44). Ursache für die unterschiedlichen Geometrien ist die Begrenzung von Flächen im Basis DLM auf der Grundlage von Feldblöcken, in denen mehrere Parzellen zusammengefasst und einer Nutzung zugewiesen werden. Unsicherheiten können dann auftreten, wenn unterschiedliche Nutzungen innerhalb eines Feldblocks stattfinden oder seit der letzten Aktualisierung Umnutzungen vorgenommen wurden. Neben ASTER – Daten wurden auch Aufnahmen des deutschen Satellitensystems RapidEye verwendet. Das seit März 2008 verfügbare System besteht aus fünf baugleichen Satelliten mit identischer Sensorausstattung. Im Rahmen des Projekts wurde RapidEye nur im TG3 Peenetal eingesetzt. Die Daten wurden radiometrisch, atmosphärisch und geometrisch korrigiert. Ziel war die möglichst exakte Abschätzung der wiedervernässten bzw. ganzjährig überfluteten Polderflächen, die in ATKIS® als Grünlandflächen ausgewiesen sind. Abb. 45 zeigt das TG-3 in einer Aufnahme vom 02.08.2009. Die Überflutungsbereiche sind gut zu identifizieren (rot umrandete Bereiche).

Nutzung digitaler Höhenmodelle zur Regionalisierung von Wasserhaushaltsgrößen

Neben den optischen Sensoren wurde ein weiteres Fernerkundungsinstrument eingesetzt. Für das TG-4 Paulinenaue wurden ein hochaufgelöstes, digitales Höhenmodell (DHM) mit einem flugzeuggestützten Laser-Scanner generiert. Der relative Höhenfehler beträgt ± 15 cm bei einer Auflösung von 2 Meter. Zielstellung im Projekt war die räumlich differenzierte Abschätzung mittlerer Grundwasserflurabstände über eine lokale Kalibrierung mittels Grundwasserpegel. Weiterhin sollte die Wirkung von Wiedervernässungsszenarien auf die THG -

Bilanzen überprüft werden. Das TG-4 Paulinenaue ist aufgrund der Ausstattung mit insgesamt 58 Grundwasserpegeln für eine lokale Kalibrierung des DHM gut geeignet. Die Auswertung der Pegelmessungen zeigte, dass sich die Grundwasserflurabstände zwar im Niveau unterscheiden, die Ganglinien jedoch zeitlich parallel verlaufen. Aufgrund der hydrogeologischen Bedingungen und der räumlichen Nachbarschaft der Pegel kann dieser Versatz mit den unterschiedlichen Höhenlagen der Pegel gedeutet werden. Für die Ableitung der mittleren Grundwasserflurabstände wurden die Zeitreihen von 28 Pegeln (ohne fehlende Messwerte) über den Zeitraum der Gasflussmessungen gemittelt (Juli 2007 – April 2008) und der absoluten Höhe [m ü. NN] gegenübergestellt (Abb. 46). Wie vermutet erwiesen sich der mittlere Grundwasserflurabstand und die Höhenlage der Pegel als hoch korreliert ($r^2 = 0,97$; $p < 0,0001$).

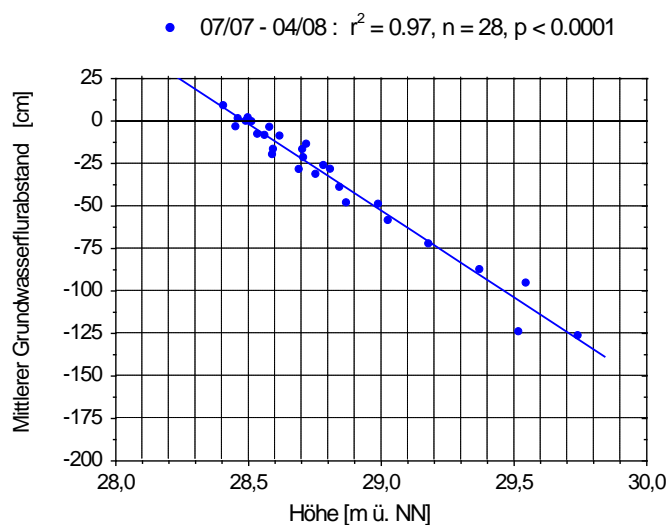


Abb. 46: Beziehung zwischen mittlerem Grundwasserflurabstand und Höhe ü. NN im TG-4 Paulinenaue

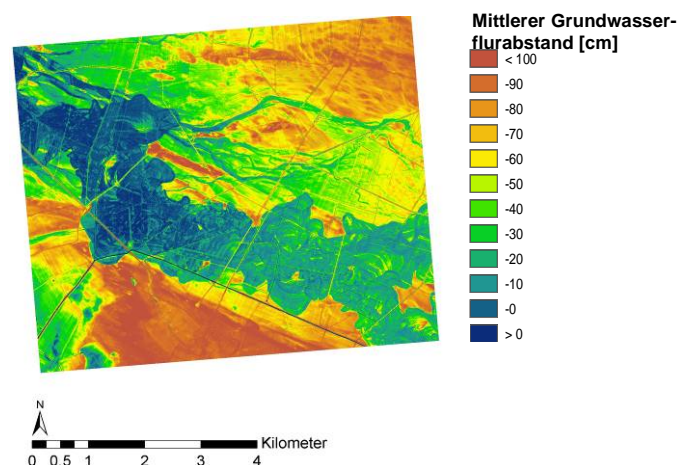


Abb. 47: Modellierter, mittlerer Grundwasserflurabstand im TG-4 Paulinenaue (07/07 - 04/08)

Mit den Kalibrierungsfunktionen ließen sich mittlere Grundwasserflurabstände für die zwei Messperioden im DHM-Ausschnitt regionalisieren. In der Abb. 47 ist die Situation für den Zeitraum von Juli 2007 bis April 2008 dargestellt. In diesem lag der Niederschlag mit 930 mm deutlich über dem langjährigen Durchschnitt.

Ergebnisse

Klimawirkung der Moornutzung – die THG-Emissionen auf nationaler Ebene

Unsere Abschätzung zu den deutschlandweiten THG-Emissionen aus Mooren (GÜK 200) ergaben Gesamtemissionen von **19 bis 28 Mt CO₂äq pro Jahr** (ATKIS-Landnutzung, Emissionsfaktoren aus BMBF-Projekt). Die Schwankungsbreite und damit die Unsicherheit dieser Berechnungen resultiert in erster Linie aus den unterschiedlichen Emissionsfaktoren für Grünland bzw. der unbekanntenen, nationalen Verteilung verschiedener Nutzungsintensitäten. So schwanken die Emissionsfaktoren zwischen 8 t CO₂äq ha⁻¹ a⁻¹ für nasse, extensiv genutzte Grünlandflächen und 47 t CO₂äq ha⁻¹ a⁻¹ für Weiden bzw. intensiv genutztes Grünland. Unter der Annahme eines mittleren Emissionsfaktors von 19 t CO₂äq ha⁻¹ a⁻¹ (arithmetisches Mittel aus allen Grünlandnutzungen) reduzieren sich die nationalen THG-Emissionen um 9 Mt CO₂äq a⁻¹ bzw. 30% gegenüber dem Szenario, nach dem alle Grünlandflächen eine hohe bis mittlere Bewirtschaftungsintensität aufweisen (34 t CO₂äq ha⁻¹ a⁻¹).

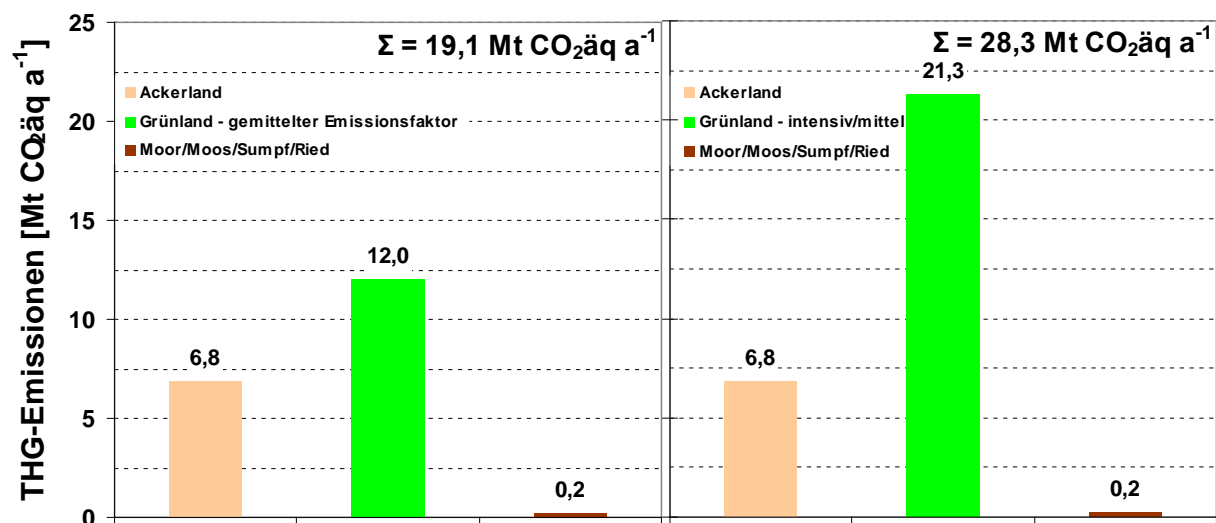


Abb. 48: Einfluss auf die nationalen THG-Emissionen durch Verwendung verschiedener Emissionsfaktoren für Grünland. (a) Emissionsfaktor = 18,9 t CO₂äq ha⁻¹ a⁻¹; (b) Emissionsfaktor = 33,6 t CO₂äq ha⁻¹ a⁻¹

Vergleich des nationalen Ansatzes mit hochaufgelösten Informationen (TG-Ebene)

Um den Einfluss der relativ groben, dafür flächendeckend zur Verfügung stehenden Informationen zu den Aktivitätsdaten auf die Hochrechnungen zu quantifizieren, wurden Berechnungsansätze mit unterschiedlichstem Differenzierungsgrad zur Landnutzung (LN) auf Ebene der 6 Testgebiete (TG) durchgeführt: (i) nationaler Ansatz, (ii) LN aus Befragungen, (iii) maximale Differenzierung unter Hinzuziehung der Fernerkundung und lokalem Expertenwissen.

Zusätzlich wurden in zwei Gebieten (TG-3, TG-4) Varianten gerechnet, die den Wasserhaushalt mit berücksichtigen.

THG-Emissionen aus den Testgebieten auf der Grundlage von ATKIS®

Die Abb.en 49 a und b zeigen die absoluten THG-Emissionen der Testgebiete unter Verwendung der ATKIS-Landnutzungskategorien. Zunächst wird die Höhe der Gesamtemission durch die TG-Größen bestimmt. Bezogen auf die Fläche weisen die von Hochmoor dominierten TG niedrigere THG-Emissionen auf als die TG mit Niedermoor. Bei gleichem Moortyp sind die Unterschiede in den THG-Emissionen zwischen den Gebieten gering. Die beiden Varianten der Emissionsfaktoren auf Grünland haben unterschiedliche Auswirkungen auf die Gesamtemission der TG. Die Annahme eines mittleren Emissionsfaktors bedeutet zwischen 28 % weniger THG-Emissionen im TG-4 Paulinenaue und 43 % im TG-6 Mooseurach – dies im Vergleich zur Annahme, dass alle Flächen mit mittlerer bis hoher Intensität bewirtschaftet werden. Bezogen auf die THG-Emission je Hektar ergeben sich fast identische, relative Unterschiede - 28 % im TG-4 Paulinenaue und 41 % im TG-6 Mooseurach.

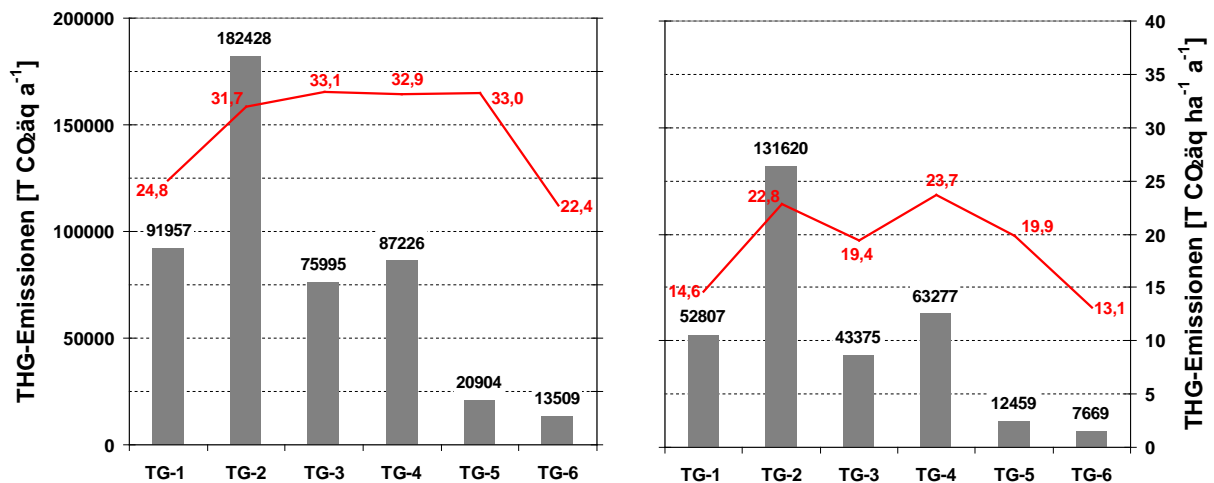


Abb. 49: Einfluss unterschiedlicher Emissionsfaktoren im Grünland auf die THG-Emissionen der TG-1 bis TG-6. (a) intensiv/mittel (EF=33,6 t CO₂äq ha⁻¹ a⁻¹), (b) extensive (EF=18,9 t CO₂äq ha⁻¹ a⁻¹)

Vergleich der Landnutzungskategorien nach ATKIS® mit Angaben der Landwirte

Im Rahmen des BMBF-Projekts wurden Befragungen der Landwirte zur Bewirtschaftung durch den Lehrstuhl f. Wirtschaftslehre des Landbaues der TU München vorgenommen (L. Schaller). Als Kartenrundlage wurden der TU TG-übergreifende Gebietsausschnitte aus dem Basis DLM (OBA Ackerland und Grünland) zur Verfügung gestellt. Im Teilprojekt wurden nur die Befragungsergebnisse der TG-Flächen, getrennt nach Moortypen, ausgewertet. TG-6 Mooseurach wurde dabei nicht berücksichtigt, da sich die meisten befragten Flächen außerhalb des TG befanden. Der Anteil der befragten Flächen lag zwischen 12 % und 39 % der TG-Gesamtfläche. Bezogen auf den Flächenanteil der Acker- und Grünlandnutzung nach ATKIS® innerhalb der TG lag der Flächenteil zwischen 14 % und 42 % (Tab. 13).

TG	1 - A.-Falkenberg	2 - Dümmer Hn	2 - Dümmer Hh	3 - Peenetal	4 - Paulinenaue	5 - Freising Hn	5 - Freising Hm
Befragte Fläche [ha]	1012,2	711,2	61,5	929,7	995,7	226,2	147,2
Anteil a. Gesamtmoorfläche [%]	26,3	12,3	14,9	35,3	38,8	33,0	25,3
Anteil a. Acker-Grünlandnutzung [%]	38,1	13,7	23,4	42,2	40,2	37,4	26,9

Tab. 13: Flächenanteile der Befragung an Moortypen und landwirtschaftlicher Nutzfläche in TG1 bis 5

Der Vergleich der Befragungsergebnisse mit den ATKIS®-Nutzungen liefert für alle TG ein einheitliches Bild. Mit Ausnahme der Anmoorflächen im TG-5 werden in ATKIS® durchschnittlich 7 % weniger Flächen als Grünland ausgewiesen als von den Landwirten angegeben (Abb. 50 (a)). Durchschnittlich 6 % höher ist dafür der Anteil der Ackernutzung (Abb. 50 (b)). 70 % der Zugewinne bei der Grünlandnutzung gehen zu Lasten der Ackernutzung. Nur 25 % der Grünlandflächen werden den Angaben der Landwirte zufolge ackerbaulich genutzt. Daran hat das TG-4 Paulinenaue mit 15 % den Hauptanteil. Richtung und geringe Schwankungsbreite der Abweichungen lassen auf einen Trend zunehmender Umnutzung von Ackerflächen in Grünland schließen.

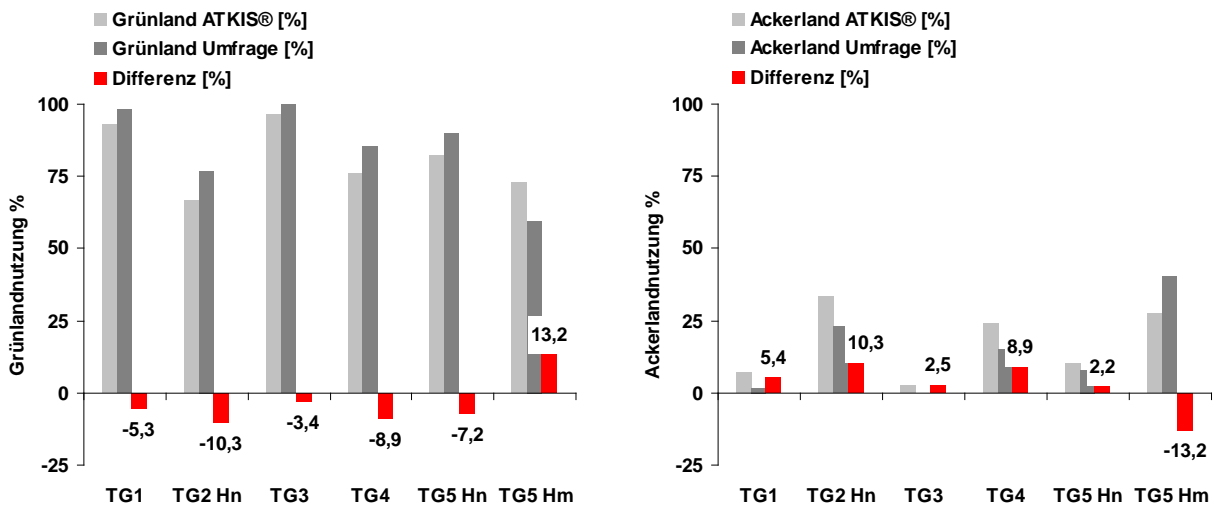


Abb. 50: Abweichung der Grünlandnutzung (a) und Ackernutzung (b) in ATKIS® von den Angaben der Landwirte auf den befragten Flächen der TG-1 bis TG-6

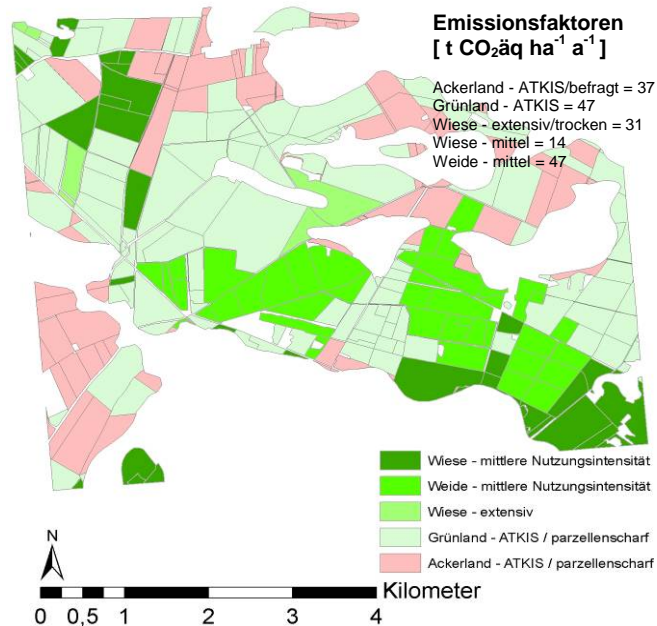


Abb. 51: Verteilung der Landnutzung (Befragung der Landwirte, Fernerkundung, Ortskenntnis, Basis - DLM) und nutzungsspezifische Emissionsfaktoren im TG-4 *Paulinenaue*.

THG-Emissionen aus den Testgebieten bei maximaler Information zur Landnutzung

Für eine möglichst exakte Abschätzung der Landnutzung, z.T. auch der Bewirtschaftung, wurden die verfügbaren Informationen zur Landnutzung aus den Befragungen der Landwirte (Intensität), der Fernerkundung (Flächenanteile) und den Ortskenntnissen der TG-Verantwortlichen zusammengefasst und mit den nutzungsspezifischen, im Projekt ermittelten Emissionsfaktoren verrechnet. Abb. 51 zeigt die parzellenscharfe Nutzungsverteilung der Acker- und Grünlandflächen im TG-4 *Paulinenaue*. Flächen, deren Nutzung weder durch Befragung der Landwirte noch durch Satellitenbildauswertung verändert wurde, entsprechen der Nutzung aus dem Basis DLM. Den Grünlandflächen wurde eine für das TG übliche Weidenutzung zugewiesen. Nach diesem Berechnungsansatz werden aus dem TG-4 *Paulinenaue* insgesamt ca. 100.000 t CO₂ äq pro Jahr emittiert. Verglichen mit den vereinfachten Berechnungen für die nationale Ebene (Basis DLM, einheitliche Emissionsfaktoren für Grünland) bedeutet dies eine Zunahme um 14 % - bei angenommener, einheitlich hoher / mittlerer Nutzungsintensität im Grünland - bzw. um 57 %, wenn der mittlere Emissionsfaktor für alle Grünlandkategorien (19 t CO₂ äq a⁻¹) angesetzt wird. Als Ursache hierfür lässt sich der hohe Anteil an Weideflächen identifizieren, die einen lokal gemessenen Emissionsfaktor von 47 t CO₂ äq ha⁻¹ a⁻¹ aufweisen. Mit Ausnahme von TG-6 *Mooseurach* (keine Befragung) sind in Abb. 52 die nationalen Berechnungsansätze (zwei Nutzungsvarianten Grünland) dem TG-Ansatz gegenüber gestellt. Der TG-Ansatz ergab für TG-1, TG-3 und TG-5 höhere THG-Emissionen als für den nationalen Ansatz mit mittlerem Emissionsfaktor für das Grünland; jedoch deutlich niedrigere Emissionen wenn der mittlere Emissionsfaktor intensiver / mittlerer Nutzung zugrundegelegt wird. Lediglich im TG-2 *Dümmer* lagen die berechneten THG-Emissionen unter denen der nationalen Nutzungsvarianten. Ursache ist der hohe Flächenanteil extensiver Grünlandnutzung auf feuchten Standorten mit niedrigem Emissionsfaktor.

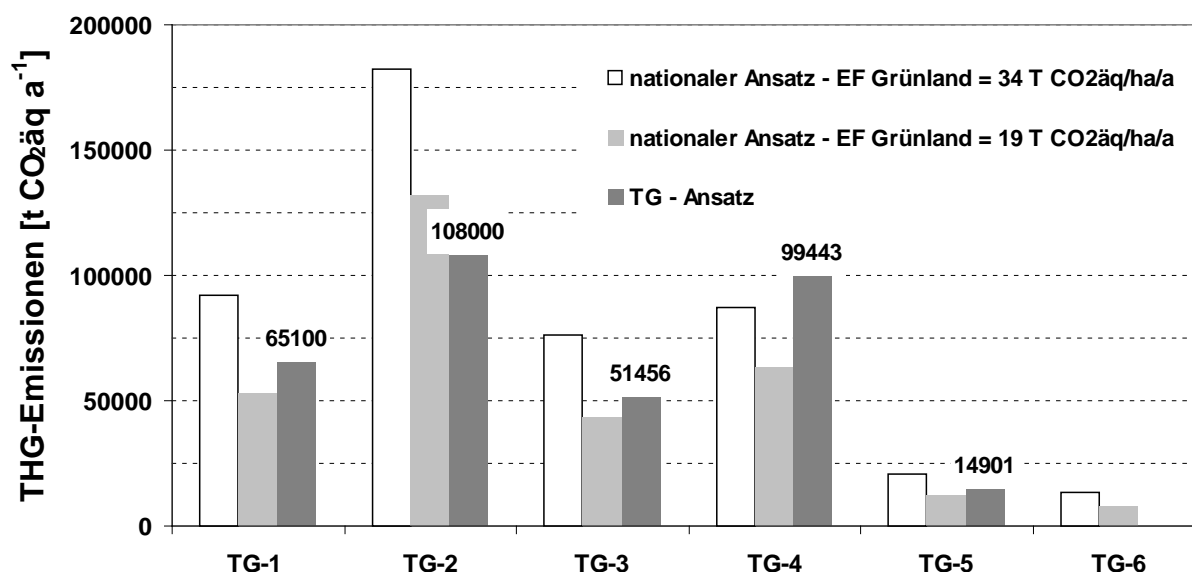


Abb. 52: Gegenüberstellung der Ansätze zur Berechnung der THG-Emissionen auf nationaler Ebene und TG Ebene (ohne TG-6)

Der Einfluß einer Einbeziehung des Wasserhaushaltes bei der Berechnung der THG-Emissionen – Fallstudie Grundwasseranstieg im TG-4 Paulinenaue

Neben der Landnutzung sind Wasserhaushalt und –management weitere, wichtige Steuergrößen der THG-Emissionen. Nach bisherigen Erkenntnissen sollte es bei mittleren Grundwasserflurabständen zwischen -20 cm und 0 cm zu einer deutlichen Reduktion der THG-Emissionen kommen (Abb. 53, aus DRÖSLER, M. et al., 2005). Im TG-4 Paulinenaue wurde daher simuliert, welche Wirkung eine Anhebung des mittleren Grundwasserflurabstands auf ein Niveau von > -10 cm unter Flur auf die THG-Emissionen hat (Abb. 54). Als Regionalisierungsgrundlage dienten Höhenangaben aus dem DHM, die in enger Beziehung zu dem Grundwasserflurabstandes an 28 bzw. 49 Pegeln standen. Anhebungen des mittleren Grundwasserspiegels bedeuten längere Überstauphasen, die letztlich eine Extensivierung der Grünlandnutzung und Umnutzung von tiefer gelegenen Ackerflächen in extensiv genutztes Grünland zur Folge haben werden. Entsprechend wurden für diese Flächen auch niedrigere Emissionsfaktoren angesetzt. Bei einer Realisierung dieses Szenarios wären davon etwa 7 % der Ackerflächen und 41 % der Grünlandflächen betroffen (Realnutzung aus Fernerkundungsdaten). Die Ergebnisse der verschiedenen Regionalisierungsansätze machen deutlich, dass neben verbesserten Methoden der THG-Messung präzisere Landnutzungsinformationen für die Abschätzung der nationalen Emissionen erforderlich sind. Die Flächen mit Grundwasseranhebung wurden mit dem maximalen Emissionsfaktor von $25 \text{ t CO}_2\text{äq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ belegt (Abb. 53, rote Linie). Die Berechnung der THG-Emissionen für die übrigen Flächen (mittlerer Grundwasserflurabstand < -10cm) erfolgte auf der Grundlage des hochauflösenden TG-Ansatzes und den dazugehörigen, z.T. lokal ermittelten, nutzungsspezifischen Emissionsfaktoren. Im Ergebnis würde die Anhebung des Grundwasserflurabstandes eine Reduktion der Gesamtemission von $10.000 \text{ t CO}_2\text{äq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf $81.000 \text{ t CO}_2\text{äq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erzielen.

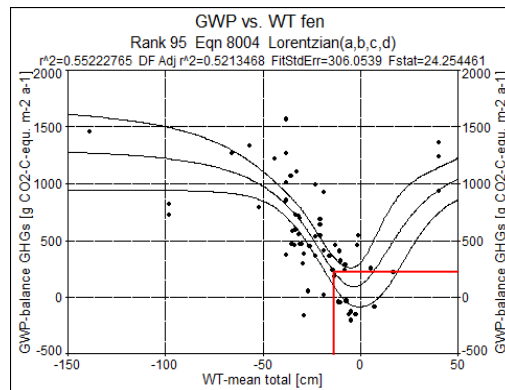


Abb. 53: Einfluss des mittleren Grundwasserflurabstands auf die THG-Emissionen verschiedener Nutzungen auf Moorstandorten (n. DRÖSLER, M., in prep.). Rote Linie: Im Szenario verwendetes Wertepaar (GWFA -10 cm; Emissionsfaktor $10 \text{ t CO}_2\text{äq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)

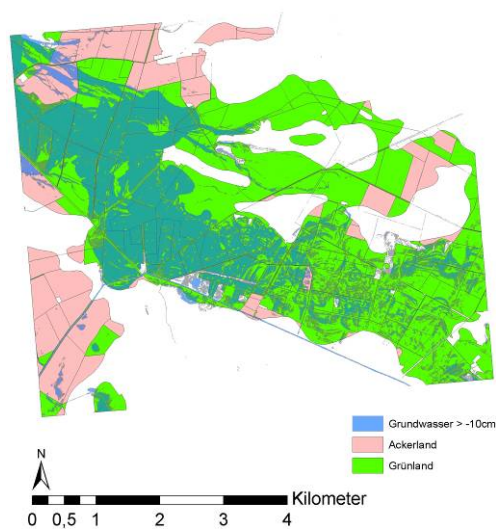


Abb. 54: Szenario: Von Umnutzung betroffene Flächen durch Anhebung des mittleren Grundwasserflurabstands im TG-4

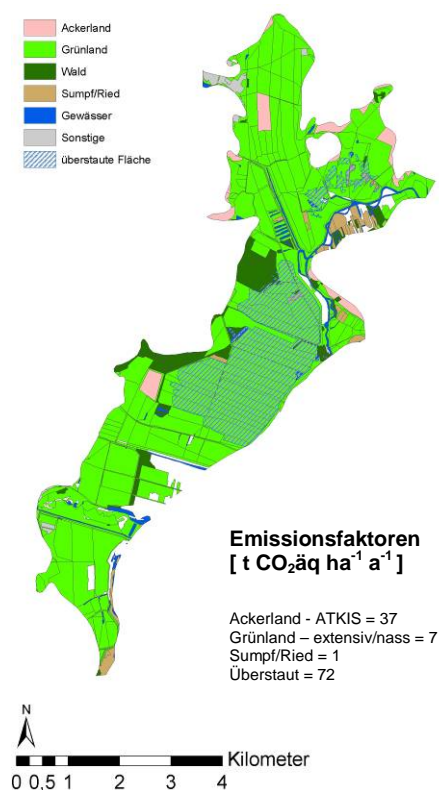


Abb. 55: TG-spezifische Emissionsfaktoren und Nutzungsverteilung aus ATKIS und Fernerkundungsdaten im TG-3 Peenetal

Der Einfluß einer Einbeziehung des Wasserhaushaltes bei der Berechnung der THG-Emissionen - Fallstudie Wiedervernässung in TG-3 Peenetal

Die Abb. 55 zeigt die aktualisierte Moornutzungskarte für das TG-3 Peenetal. Nach den Fernerkundungsdaten sind im TG-3 538 ha der im Basis DLM als Grünland ausgewiesenen Flächen aktiv überstaut worden (Moorschutz-programm Mecklenburg-Vorpommern). Ersetzt man den Emissionsfaktor des Grünlands für diese Flächen mit dem lokal bestimmten Emissionsfaktor überstauter Flächen von 72 t CO₂äq ha⁻¹a⁻¹ führt das gegenüber dem nationalen Berechnungsansatz (Grünland mit 19 t CO₂äq ha⁻¹a⁻¹) zu einem Anstieg der THG-Emissionen von 43.375 t CO₂äq a⁻¹ auf 51.500 t CO₂äq a⁻¹. Der moderate Anstieg von rund 19% ergibt sich aus der extensiven Nutzung der überwiegend nassen Grünlandflächen. Der Emissionsfaktor für diesen Nutzungstyp liegt mit 7 t CO₂äq ha⁻¹a⁻¹ deutlich unter dem Mittelwert für den nationalen Ansatz. Ein Teil der hohen THG-Emissionen aus den überstauten Flächen wird dadurch kompensiert. Um jedoch die Klimawirkung der Gesamtmaßnahmen korrekt bestimmen zu können, muss die Betrachtung auf das gesamte, von der Renaturierung betroffene Gebiet im Peenetal ausgedehnt werden. Das wird, wie erwähnt im Rahmen eines ergänzenden, vom Bundesamt für Naturschutz geförderten Vorhabens derzeit durchgeführt.

LBEG

Es wurden kartographische Unterlagen zu Bodenverbreitung und zur Landnutzung (ATKIS) für die Testgebiete 1 und 2 bereitgestellt. Es erfolgt eine Mitarbeit beim Ground truthing im Rahmen der Auswertung von Informationen aus der Fernerkundung. Unter Verwendung von Informationen aus der Biotopkartierung des Landes Niedersachsen und des Landkreis Cuxhaven wurden naturnahe Standorte Nutzungskategorien zugeordnet. Anhand dieser Informationen und unter Verwendung regionaler Emissionsfaktoren wurde die Ist-Situation der THG-Emissionen in den beiden Testgebieten 1 und 2 ermittelt.

Das Ahlenmoor ist durch die Dominanz des Intensivgrünlands geprägt (49 %). Daneben gibt es aber auch noch einen hohen Anteil an naturnahen Standorten (5 %), an extensiv genutzten oder extensivierten Standorte ohne und mit Vernässung (ca. 20 %) und an vernässten Abtorfungsflächen bzw. durch Überstau vernässten degradierten Flächen (16 %). Die Gesamtemission auf 3.849 ha wird mit 65.100 t CO₂ pro Jahr beziffert.

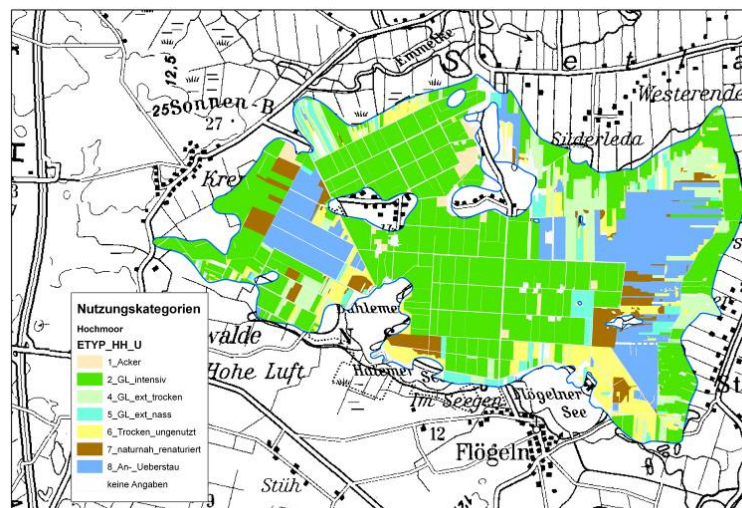


Abb. 56: Darstellung der Nutzungskategorien für das Testgebiet 1 Ahlenmoor als Ausgangsbasis für die Ermittlung der Treibhausgasemission im Gebiet und für die Szenarienberechnungen

Nutzungskategorie	Fläche	Anteil	Emissionsfaktoren
	ha	%	t CO ₂ /ha/a
1_Acker (Sanddeckkultur)	51	1,3	nicht bewertet
2_GL_intensiv	1895	49,2	28,2
4_GL_extensiv_trocken	313	8,1	20,1
5_GL_extensiv_nass	142	3,7	0,0
6_trocken_ungenutzt	308	8,0	5,3
7_naturnah_renaturniert	194	5,0	-0,8
8_An-Überstau	626	16,3	6,1
k_A	320	8,3	
Summe	3849	100,0	

Tab. 14: Ahlenmoor: Flächenanteil nach Nutzungskategorie und zugeordnete Emissionsfaktoren

Im Testgebiet 2 „Dümmer“ dominiert das Grünland mittlerer Intensität (44 %) gefolgt von einem rel. hohen Anteil an Ackerland (31 %) (Abb. 57; Tab. 15). Im Bereich südlich des Dümmer sind große Flächen vernässt worden (10 % des Projektgebietes). Die naturnahen Areale nehmen zusammen mit überstauten Flächen nur einen kleinen Anteil von ca. 3 % ein. Die Gesamtemission auf 5.860 ha im aktuellen Zustand wird auf 107.300 t CO₂/Jahr geschätzt.

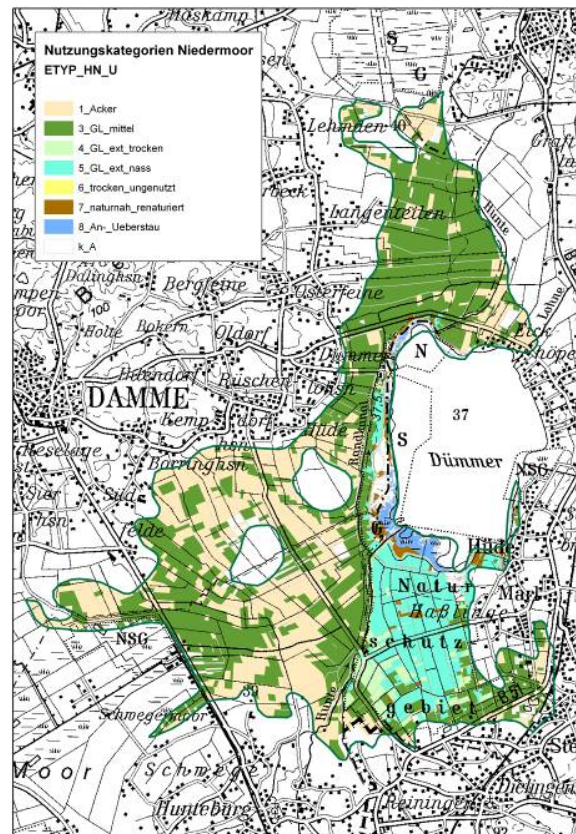


Abb. 57: Darstellung der Nutzungskategorien für das Testgebiet 2 Dümmer als Ausgangsbasis für die Ermittlung der Treibhausgasemission im Gebiet und für die Szenarienberechnungen.

Nutzungskategorie	Fläche	Anteil	EF
	ha	%	t CO ₂ /ha/a
1_Acker	1796	30,7	24,3
3_GL_mittel	2560	43,7	21,3
4_GL_extensiv_trocken	142	2,4	19,5
5_GL_extensiv_nass	585	10,0	9,5
6_Trocken_ungenutzt	15	0,3	7,8
7_naturnah_renaturlert	102	1,7	3,5
8_An_Überstau	80	1,4	12,5
k_A	580	9,9	
Summe	5860	100,0	

Tab. 15: Dümmer: Flächenanteil nach Nutzungskategorie und zugeordnete Emissionsfaktoren

2.6 AP 2.2 Szenarien (LBEG, MPI, TUM-VegÖk, TUM-WDL, ZALF-AUG, ZALF-SOM)

TG1 und TG 2 (LBEG, mit Träger- und Nutzerorganisationen aus den Testgebieten)

Das Arbeitspaket wurde wie geplant erledigt. Es wurden folgende Aktivitäten durchgeführt. Verschneidung von Informationen zur Moorverbreitung (Bodenkarte, geologische Karte) und zur Bodennutzung (ATKIS), Darstellung der Ist-Situation. Einbeziehung von Informationen aus der Biotopkartierung des Landes Niedersachsen sowie des Landkreises Cuxhaven für eine bessere Differenzierung der extensiv genutzten, vernässten oder naturnahen Bereiche. Sichtung und Diskussion vorliegender Renaturierungspläne mit den Naturschutzbehörden (LK Cuxhaven, NLWKN).

Entwicklung von Szenarien im Hinblick auf (a) ex-post-Betrachtungen zur Beurteilung der Klimawirksamkeit vergangener Maßnahmen; (b) eine optimierte Renaturierung aufgelassener, degradierter Moore, (c) eine Nutzungsumwandlung von Acker zu Grünland, (d) eine Extensivierung der Grünlandnutzung und (e) eine vollständige und optimierte Vernässung aller Moorflächen.

Diskussion mit Stakeholdern und Weiterentwicklung der Szenarien. Hierzu wurden in jedem der beiden Testgebiet 2 Stakeholder-Workshops, zu Projektbeginn und kurz vor Projektende (im Mai 2009), durchgeführt. Teile der Szenarien sowie Grundlagen zur Kostenermittlung wurden durch Einzelgespräche mit Stakeholdern, u.a. Landkreis Cuxhaven, Wasser- und Bodenverbände, sowie mit dem NLWKN, Naturschutzstation Dümmer, konkretisiert.

Methodik der Szenarienbetrachtung

Die Berechnung von Szenarien konnte erst durchgeführt werden, nachdem die Messungen der Treibhausgasflüsse (AP2.3) abgeschlossen und ausgewertet waren. Emissionsfaktoren wurden für definierte Nutzungskategorien in der Regel nach den gebietsspezifisch gemessenen Emissionen entwickelt (vgl. Tab. 14). Waren bestimmte Nutzungskategorien im Gebiet nicht abgedeckt, wurden die Emissionsfaktoren von vergleichbaren Standorten aus dem Gesamtvorhaben abgeleitet.

Zunächst wurden die Treibhausgas-Emissionen im aktuellen Zustand quantifiziert (vgl. Tab. 14 oder Abb. 56). Als nächstes wurde eine Ex-Post-Betrachtung dargestellt, d.h. es wurden vergangene Maßnahmen, in der Regel seit 2000, im Hinblick auf ihre Klimawirksamkeit bewertet. Hier wurde jeweils Flächen mit Änderung der Nutzungskategorie die Differenz der THG-Emission zwischen vorhergehender aktueller Nutzung zugewiesen. Es wurden 2 Szenarien im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung gerechnet:

Optimierung der überstauten oder degradierten Bereiche bzw. des Extensivgrünlands im Hinblick auf die THG-Emission. Diese Flächen befinden sich häufig schon in Besitz der öffentlichen Hand bzw. lassen sich ohne starke Eingriffe in die Landnutzung vernässen.

Komplette Vernässung des Ahlenmoores durch Extensivierung und Vernässung des Intensivgrünlands. Diese Maßnahme wird hohe Kosten für Landerwerb und Veränderungen an der Infrastruktur verursachen, die im Teilprojekt „Volkswirtschaft“ (IÖW) erfasst werden.

Es werden im Folgenden jeweils die betroffenen Flächen, die spezifische Emissionsminderung und die zu erreichende mittlere Emission im Testgebiet je Szenario dargestellt.

Für das Ahlenmoor stellt sich die Situation wie folgt dar (Tab. 16):

Derzeit beträgt die mittlere THG-Emission 18,4 t CO₂-Äquivalente pro Jahr (Szenario B. status quo).

Vergangene Maßnahmen haben auf 853 ha stattgefunden und die mittlere THG-Emission von 20 auf 18,4 t CO₂-Äquivalente pro Jahr reduziert (Szenario A).

Die Optimierung von bereits vernässten, degradierten oder extensivierten Bereichen würde auf 1247 ha eine weitere Emissionsminderung bewirken, so dass die mittlere Gebietsemission auf 14,9 t CO₂-Äquivalente pro Jahr absinkt. (Szenario C)

Eine komplette Vernässung des Intensivgrünlandes, die zusammen mit Szenario C Maßnahmen auf 3142 ha zur Folge hätte, würde das gesamte Gebiet von einer Quelle in eine schwache Senke für Treibhausgase in Höhe von -0,8 t CO₂-Äquivalente pro Jahr verwandeln.

	Nutzung, vorher	Nutzung, nacher	Emissionsminderung	betroffene Fläche ¹	mittlere Emission
			t CO ₂ -Äq./ha / Jahr	ha	t CO ₂ -Äq./ha / Jahr
A. Ex-Post-Betrachtung					
Ex-Post1	Abtorfung, trocken	Abtorfung, Überstau	-0,8	-853	20,0
Ex-Post2	ExtensivGL, trocken	An- / Überstau	13,9	-403	20,1
Ex-Post3	Intensivgrünland	ExtensivGL, trocken	8,2	-228	19,4
Ex-Post4	Intensivgrünland	ExtensivGL, nass	28,3	-71	19,0
B. Status quo					18,4
C. Optimierung der vernässten bzw. degradierten Bereiche bzw. des ExtensivGL					
Kaskade1	An- / Überstau	naturnah	6,9	626	17,2
Kaskade2	Hochmoor, ungenutzt	naturnah	6,1	934	16,7
Kaskade3	ExtensivGL, trocken	ExtensivGL, nass	20,1	1247	14,9
D. Renaturierung intensiv landwirtschaftlich genutzter Flächen					
Kaskade4	Intensivgrünland	ExtensivGL, trocken	8,2	3142	10,8
Kaskade5	ExtensivGL, trocken	ExtensivGL, nass	20,1	3142	-0,3
Kaskade6	ExtensivGL, nass	naturnah	0,8	3142	-0,8

Tab. 16: Ahlenmoor: Ergebnis der Szenarienbetrachtung

¹ Flächenwerte kumuliert, negative Werte für Ex-Post-Betrachtung (d.h. Ex-Post insgesamt 853 ha, Zukunftsszenarien max. 3142 ha betroffen)

Für TG 2 „Dümmer“ ergeben sich folgende Ergebnisse (Tab. 17):

Derzeit beträgt die mittlere THG-Emission 20,5 t CO₂-Äquivalente pro Jahr (Szenario B. status quo).

Vergangene Maßnahmen haben auf 726 ha stattgefunden und die mittlere THG-Emission von 21,8 auf 20,5 t CO₂-Äquivalente pro Jahr reduziert (Szenario A).

Die Optimierung des Extensivgrünlands würde auf 742 ha nur eine unwesentliche Emissionsminderung bewirken, so dass die mittlere Gebietsemission auf 19,4 t CO₂-Äquivalente pro Jahr absinkt. (Szenario C)

Die Umwandlung von Ackerland in Grünland und die vollständige Vernässung des Intensivgrünlandes, die zusammen mit Szenario C Maßnahmen auf 5098 ha zur Folge hätte, würde

das gesamte Gebiet in eine lediglich noch schwache Quelle für Treibhausgase in Höhe von 3,7 t CO₂-Äquivalente pro Jahr verwandeln. Für Niedermoore entspricht das dem naturnahen Ausgangszustand.

Die Abschätzungen zeigen, dass in beiden Gebieten bereits erfolgte Landnutzungsänderungen und Extensivierung einen erheblichen Beitrag zur Reduktion des THG-Flusses geliefert haben. Reine Extensivierungsmaßnahmen ohne Vernässung haben nur einen untergeordneten Einfluss auf die Klimagasfreisetzung. Die vollständige Vernässung der Gebiete würde, unter Vernachlässigung der Machbarkeit, die stärkste Reduktion der Flüsse bewirken. Den zu erwartenden hohen technischen und betriebswirtschaftlichen Kosten stände ein entsprechend hoher volkswirtschaftlicher Nutzen einer langfristig reduzierten Treibhausgasfreisetzung gegenüber.

	Nutzung, vorher	Nutzung, nacher	Emissionsminderung	betroffene Fläche¹	mittlere Emission
			t CO ₂ -Äq./ha / Jahr	ha	t CO ₂ -Äq./ha / Jahr
A. Ex-Post-Betrachtung					
Ex-Post 1:	Intensivgrünland	ExtensivGL, trocken	1,8	-726	21,8
Ex-Post 2:	ExtensivGL, trocken	ExtensivGL, nass	9,9	-585	21,6
B. Status quo					20,5
C. Optimierung der Extensivgrünlands (GL)					
Kaskade1	ExtensivGL, nass	naturnah	6,0	600	19,8
Kaskade2	ExtensivGL, trocken	naturnah	16,0	742	19,4
D. Renaturierung der intensiv landwirtschaftlich genutzter Flächen					
Kaskade3	Acker	Intensivgrünland	3,0	2538	18,3
Kaskade4	Intensivgrünland	ExtensivGL, trocken	1,8	5098	16,8
Kaskade5	ExtensivGL, trocken	ExtensivGL, nass	9,9	5098	8,6
Kaskade6	ExtensivGL, nass	naturnah	6,0	5098	3,7

Tab. 17: Dümmer Ergebnis der Szenarienbetrachtung

¹ Flächenwerte kumuliert, negative Werte für Ex-Post-Betrachtung (d.h. Ex-Post insgesamt 726 ha, Zukunftsszenarien max. 5098 ha betroffen)

Szenarien TG 3 & 4 (ZALF-AUG)

Zusammen mit der Arbeitsgruppe ZALF-SOM, Dr. Lenschow vom Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (Leiter der Arbeitsgruppe Koordination Moorschutz und Initiator und Koordinator des Moorschutzprogrammes in Mecklenburg-Vorpommern), Prof. Schalitz von der ZALF-Forschungsstation Paulinenaue (Leiter der Forschungsstation und Experte für die Situation der Landnutzung im Rhin-Havelluch) wurde daran gegangen, erste Entwürfe für die gebietsspezifischen Szenarien zu erstellen. Es zeigte sich, dass sich die Situation in Mecklenburg-Vorpommern (Testgebiet 3) sehr stark von der in Brandenburg (Testgebiet 4) unterscheidet. Während in Mecklenburg-Vorpommern im Zuge der Renaturierung bereits Niedermoorflächen im großem Stil wiedervernässt wurden (ca. 10000 ha, speziell in den Flusstalmooren), steht Brandenburg diesbezüglich erst ganz am Anfang. Hier dominiert Grünlandnutzung mit starker Tendenz zur Intensivierung als Folge der Förderung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe bzw. von Energiepflanzen, speziell für die Biogasproduktion. Zurückzuführen ist das sowohl auf Unterschiede in den natürlichen Gegebenheiten (so verfügt z. B. Mecklenburg-Vorpommern anders als Brandenburg über eine Vielzahl leicht wiedervernässbarer Flusstalmoore) als auch in den sozioökonomischen und politischen Rahmenbedingungen. Angesichts der Tatsache, dass die im Testgebiet 3 (Peenetalmoor) untersuchten Varianten typisch für Verhältnisse sind, wo die Renaturierungsmaßnahmen bereits weitgehend abgeschlossen sind (siehe auch AP 2.6, Durchführung von Stakholderworkshops)u, wurde entschieden, hier auf die Entwicklung von gebietsspezifischen Szenarien der Flächenutzung zu verzichten. In Rahmen eines ergänzenden, vom Bundesamt für Naturschutz geförderten Vorhabens soll jedoch unter Federführung von Matthias Drösler jedoch versucht werden, die Umfang der Klimawirkung aller Renaturierungsmaßnahmen im gesamten Peenetalmoor abzuschätzen (siehe Ausführungen von TUM-VegÖk).

Für das Testgebiet 4 (Rhin-Havelluch) wurden nach Auswertung aller Daten der Gasflussmessungen gemeinsam mit der Arbeitsgruppen ZALF-SOM, TUM-WDL, IÖW Berlin, der Projektleitung und Herrn Dr. Behrendt, dem jetzigen Leiter der Forschungsstation Paulinenaue im Frühjahr gebietsspezifische Szenarien zur Flächennutzung entworfen. Die nutzungsspezifischen Emissionsfaktoren basieren vorrangig auf den Ergebnissen der eigenen Messungen im Testgebiet. In den Fällen, wo für zukünftig relevante Nutzungsformen (z. B. extensive Nutzung bei hohem Grundwasserstand) keine eigenen Messwerte vorlagen, wurde auf den Fundus der im Projektkonsortium ermittelten Resultate zurückgegriffen (Abb. 58). Der Status quo wurde bezieht sich auf ein Jahr mit normal trockener Witterung. Dem wurden 3 gebietsspezifische Szenarien der möglichen zukünftigen Moornutzung gegenübergestellt. Je höher die Nummer der Szenarien ist, umso geringer ist darin die Intensität der Nutzung und umso höher fällt (vermutlich) das Klimaentlastungspotenzial aus. Gleichzeitig nimmt jedoch der Aufwand zur Regulation des Grundwasserstandes deutlich zu. Im Detail stellt sich das wie folgt dar:

Status quo

Normal trockenes Jahr (2008): Gesamtfläche trocken (niedriger Grundwasserstand im Sommer), differenzierte Nutzung

Szenarien

Szenario 1: Gesamtfläche wird auf mittlere Wiesennutzung trocken umgestellt

Szenario 2: Wasserstand wird im Winter auf Bodenoberfläche angehoben, er sinkt im Sommer bis - 10 cm unter Geländeoberfläche bei tiefer gelegenen Flächen: nasse Grünlandnutzung auf den tiefer gelegenen Flächen, Restfläche Wiesennutzung mittel trocken

Szenario 3: Renaturierung der Gesamtfläche, der Grundwasserstand wird auf der Gesamtfläche konstant auf -10 cm unter der Geländeoberfläche eingestellt.

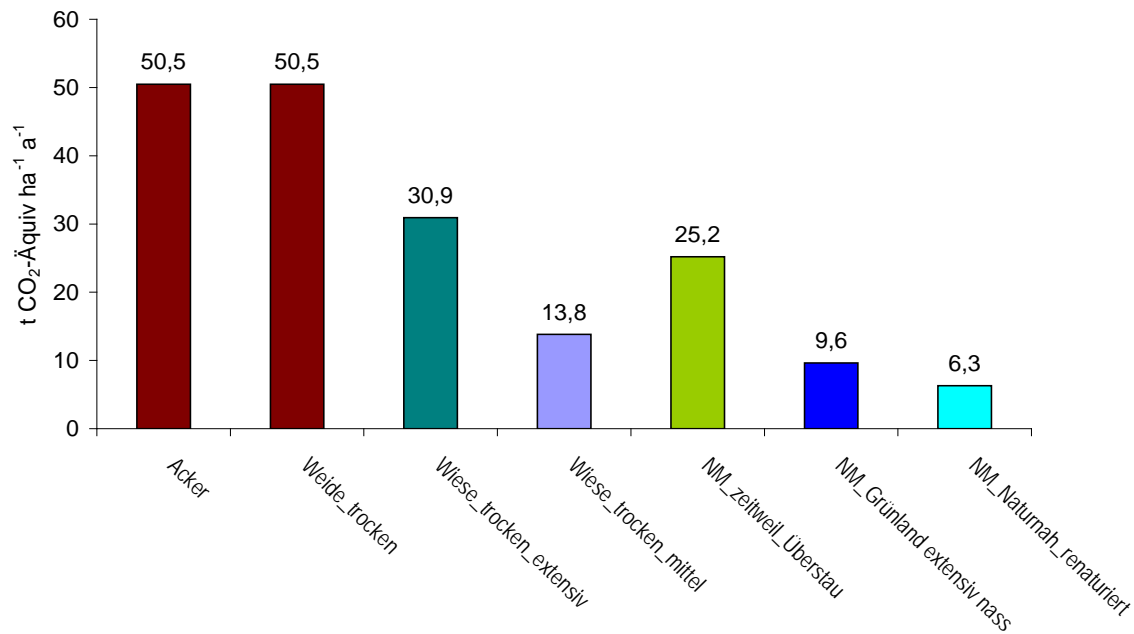


Abb. 58: Bei den Berechnungen der gebietsspezifischen Szenarien für das Testgebiet 4 (Paulinenaue/Rhin-Havelluch) verwendete nutzungsspezifische Emissionsfaktoren

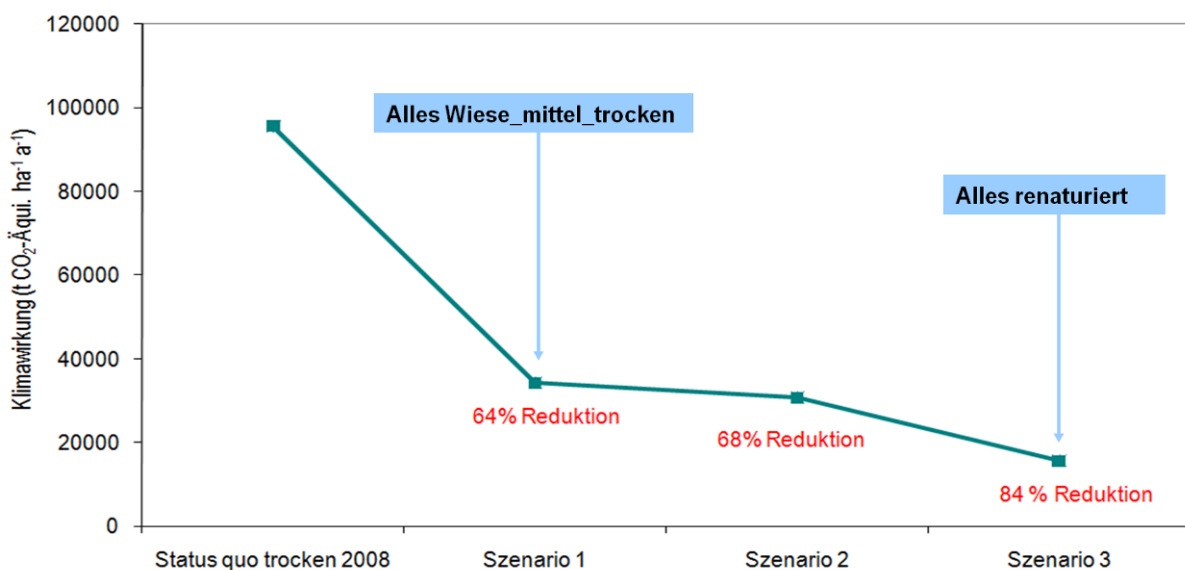


Abb. 59: Summarische Klimawirkung der Varianten des Status quo und der gebietsspezifischen Szenarien der Flächennutzung für das Testgebiet 4 (Rhin-Havelluch)

Die Ergebnisse der Szenarienbetrachtung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Bereits die Umstellung der Gesamtfläche auf eine mittel intensive Wiesenutzung (Szenario 1) könnte eine Reduktion der Klimawirkung um 64% bewirken (Abb. 59). Besonders interessant ist dabei, dass dies sogar mit einem Gewinn von + 26,3 €/t CO₂-Äquivalent einhergeht. Ursache dafür ist, dass sich mit einer mittel intensiv bewirtschafteten Wiese höhere Deckungsbeiträge erzielen lassen als bei allen anderen Nutzungsformen. Der Torfabbau ließe sich allerdings bei diesem Szenario nicht vollständig stoppen.

Eine weitere Reduktion der Klimawirkung auf 16% des Wertes beim Status quo ist nur bei vollständiger Renaturierung und damit dem vollständigen Verzicht auf Nutzung zu erreichen (Szenario 3, Abb. 59). Die Einkommensverluste der Landwirte und der bei der Gewährleistung eines konstant hohen Grundwasserstandes entstehende Aufwand führen jedoch dazu, dass die Minderung der Klimawirkung pro Tonne CO₂-Äquivalent 43,4 € kosten würde. Allerdings wäre bei diesem Szenario ein vollständiger Stopp des Torfabbaus bzw. eine erneute Torfbildung sicher gestellt.

Szenarien TG5 (TUM-VegÖk)

Für die Abschätzung der Klimaenlastung durch Umnutzungs- und Wiedervernässungsszenarien im Freisinger Moos (TG 5) dienten folgende Grundlagen. Die Nutzungen wurde auf der Basis der aktuellsten Nutzungskartierung (Leader-Projekt) mit Stand 2008 in die durch das Projekt gebildeten Nutzungskategorien eingeteilt und der jeweilige Flächenumgriff bestimmt. Dabei sind nur Flächen einbezogen worden, die auf Moor im Sinne der bodenkundlichen Definition (KA 4) liegen. Eine entsprechende Moorgrenzenkarte wurde mit der Nutzungstypenkarte überlagert. Ergebnis war eine nutzungstypenbezogene Gesamtflächenstatistik (s. Abb. 60). Nicht mit einbezogen sind Waldflächen, die einerseits mit unter 10 % keinen großen Flächenanteil im TG 5 ausmachen. Andererseits wurden im Rahmen des BMBF-Projektes Waldflächen nicht untersucht, weshalb hier bisher keine THG-Bilanzen vorliegen. Diese Lücke wird im Folgeprojekt (vTI-Projekt) derzeit gefüllt.

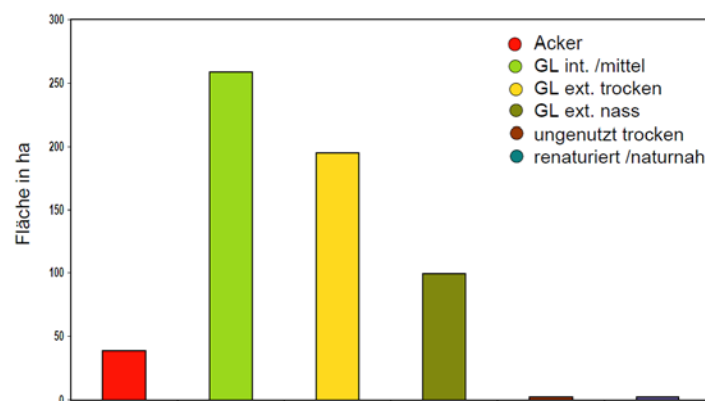


Abb. 60: Flächenanteile der Nutzungskategorien im Freisinger Moos (nur Moorflächen; in ha; Stand 2008)

Für die unterscheidbaren Nutzungskategorien liegen gebietspezifische THG-Bilanzen vor. Diese ordnen sich entlang der Nutzungskategorien von den höchsten Emissionen aus dem Acker über die intensiven, zu den extensiven Grünländern und schließlich den wiedervernässten/renaturierten Typen. In Abb. 61 sind die jeweiligen THG-Bilanzen und der (theoretische) Einsparungsbetrag beim Übergang von einem zum nächsten Nutzungstyp angegeben. Konzeptionell basiert dies auf einem Status-Quo-Vergleich ohne Berücksichtigung von Übergangsphasen. Dies ist eine robuste und gängige Vorgehensweise bei einem klassischerweise unterstellten Projektzeitraum von 20 Jahren, der den Endzustandsvergleich erlaubt.

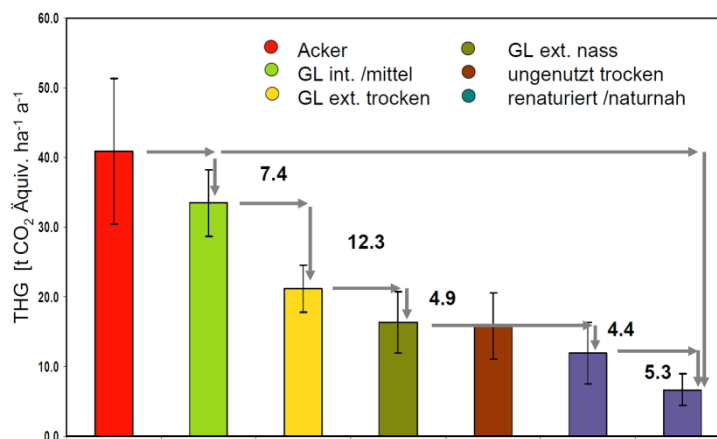


Abb. 61: Mittlere THG-Bilanzen der Nutzungskategorien (in t CO₂ Äquiv. ha⁻¹ a⁻¹) im Freisinger Moos und Einsparungsbeiträge bei Umnutzung und Wiedervernässung

Die Ermittlung der Minderungsbeträge der Gebietsemissionen wurde in einem schrittweisen Szenarienvorgehen durchgeführt. Erst wurde die Basislinie ermittelt, die der derzeitigen Gesamtemission des Gebietes entspricht. Es wird davon ausgegangen, dass sich diese Emissionen bei konstanter Nutzung als konstante Basislinie extrapolieren lassen. Dann erfolgten verschiedene Szenariestufen: Es wurde zur Flächenoperationalisierung der Umnutzungsszenarien vereinfachend davon ausgegangen, dass bei jedem Umnutzungsschritt, die jeweils höhere Emissionsklasse (intensivere Nutzungsform) komplett in die nächst extensivere übergeht. So werden beispielsweise alle Ackerflächen im ersten Szenarienschritt in int. Grünland umgewandelt und steigern damit den Flächenanteil dieser Nutzungsform an der Gesamtfläche. Im nächsten Schritt werden dann die intensiven Grünlandflächen komplett extensiviert usw. Die damit einhergehende stufenweise Umnutzung bis zur Wiedervernässung ist vermutlich nicht unrealistisch, da gerade für die letzten Stufen der Wiedervernässung arrondierte Flächen vorhanden sein müssen, die erst nach einer zeitaufwändigen Vorlaufphase erreichbar sind. Die Umnutzung und Extensivierung kann dagegen bei entsprechender finanzieller Ausgestaltung unmittelbar erfolgen. In Abb. 62 sind die Stufen mit den reduzierten Gebietsemissionen und dem jeweils steigenden Flächenanteil der Umnutzung-Wiedervernässungsklassen dargestellt. Die Gebietsemissionen betragen ca. 16.000 t CO₂-Äquiv/Jahr als Basislinie. Auffällig ist, dass die Umwandlung der gesamten Ackerflächen zu int. Grünland eine relativ geringe Minderung der Gebietsemissionen auslöst. Dies liegt daran, dass die Ackerfläche im Freisinger Moos relativ gering ist (s. Abb. 60), und damit der pro ha relevante Einsparungsbetrag von über 7 t durch den geringen Flächenübergang nicht wesentlich zum Tragen kommt. Entlang der Emissionsminderungskurve beschreibt die Steigung die Effizienz der Maßnahmen. Für den Gesamteffekt ist aber auch wichtig, welche Größenordnungen der Einheiten umgewandelt werden können und da kann bereits eine Extensivierung auf großer Fläche eine erhebliche Emissionsminderung bewirken. Die vollständige, unter Klimagesichtspunkten optimale Renaturierung führt rechnerisch zu einer Minderung der Gebietsemissionen im Freisinger Moos von ca. 12.000 t pro Jahr. Dies entspricht einer Einsparung von ca. 4 % der Gesamtemissionen der Stadt Freising auf nur ca. 600 ha Fläche.

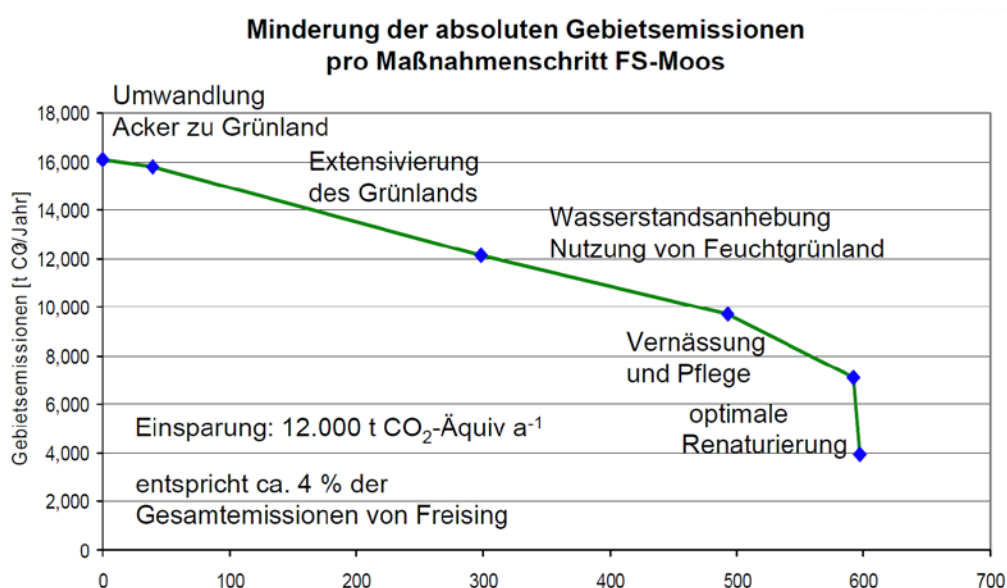


Abb. 62: Minderung der Gebietsemissionen im Freisinger Moos TG5 durch Umnutzungskaskaden und Wiedervernässung

2.7 AP 2.7: Betriebswirtschaftliche Analyse der Landnutzungsszenarien für die jeweiligen Testgebiete (Federführung TUM-WDL)

Innerhalb des AP 2.7 ermittelte TUM WDL die ökonomischen Konsequenzen klimafreundlicher Moorbewirtschaftungsmaßnahmen. Das Arbeitspaket wurde über die Projektlaufzeit im Rahmen einer Doktorandenstelle (BAT IIa/2) bearbeitet.

Das methodische Vorgehen innerhalb des Arbeitspaketes 2.7 gliederte sich in folgende Arbeitsschritte:

- Literaturanalyse, Ermittlung und Analyse statistischer Daten und explorative Expertenbefragung
- Befragung repräsentativer Betriebe
- Modellierung der zu erwartenden betriebswirtschaftlichen Konsequenzen der verschiedenen Landnutzungsszenarien.

Literaturanalyse, Analyse statistischer Daten und explorative Expertenbefragung

Sowohl in Vorbereitung auf die Befragung repräsentativer Betriebe als auch zur Erweiterung der ökonomischen Datenbasis der Betriebsbefragungen fanden im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Studie Literaturanalysen, Analysen statistischer Daten sowie explorative Expertenbefragungen statt. Hier wurde insbesondere gebietsbezogene Literatur ermittelt und ausgewertet, die sich konkret auf die ökonomischen und ökologischen Gegebenheiten in den untersuchten Mooren bezieht. Untersucht wurden dabei die Entwicklung der jeweiligen Moorregion, Geschichte der landwirtschaftlichen Nutzung, spezifische Eigenschaften der jeweilig vorhandenen Moortypen, derzeitige Nutzung und Nutzbarkeit, Wasserdargebot / Möglichkeiten der Wiedervernässung, Degradierungsgrad und vorhandene Moorschutzkonzepte (Mecklenburg-Vorpommern, Bayern, Niedersachsen)

Zur Erfassung der relevanten und repräsentativen Betriebstypen, in die Befragung miteinbezogen werden sollen, erfolgte eine statistische Datenrecherche bezüglich der Themen 1) „Struktur und Sozioökonomik der regionalen Landwirtschaften“ sowie 2) „Regionaler Landnutzung“. Als Datenbasis hierfür diente die deutsche Officialstatistik (Datenbanken „Destatis/Genesis Online und „Statistik Regional“ des statistischen Bundesamts Deutschland). Untersuchungseinheit war dabei sowohl Landkreis- als auch Gemeindeebene. Im Rahmen dieser Erhebung wurden zudem regionale Daten zu landwirtschaftlichen Erträgen, Kosten und Erlösen ermittelt.

Themenbereiche der Datenrecherche

Allgemeine strukturelle Daten	Daten zur regionalen landwirtschaftlichen Struktur: Sozioökonomik, Betriebsgrößen, Betriebssysteme („betriebliche Ausrichtung“), Betriebsstrukturen der Betriebssysteme
Landnutzung	Daten zur regionalen Flächennutzung: Regionale Flächenstruktur, Anteile Grünland, Ackerfläche, Sonderkulturen, Forst; Kulturanteile auf Acker, etc.
Ertragsdaten	Daten zu landwirtschaftlichen Erträgen und Erlösen: durchschnittliche Hektarerträge der einzelnen Kulturen, durchschnittliche Hektarerträge des Grünlandes, durchschnittliche Erzeugerpreise für die einzelnen Marktfrüchte

Landwirtschaftliche Kalkulationsdaten, die ergänzend zu den Daten der Eigenerhebung (Betriebsbefragungen) für die Berechnung der landwirtschaftlichen Einkommenseinbußen verwendet wurden, stammen von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), von der deutschen Landesgesellschaft für Landwirtschaft e.V. (DLG) und von der Zentralen Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft GmbH (ZMP). Spezielle Planungs- und Bewertungsdaten zur Mutterkuhhaltung stammen vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Insbesondere bei den regionalen Daten zu Kosten und Erzeugerpreisen sowie Erträgen wurde nach Möglichkeit der 5 Jahresdurchschnitt der aktuellsten verfügbaren Daten herangezogen. Zur Ergänzung der allgemein zugänglichen Daten, insbesondere im Falle von Datenlücken und zur Recherche aktueller Pacht- und Kaufpreise landwirtschaftlicher Grundstücke, erfolgten Gespräche mit Experten aus Forschungseinrichtungen, Ministerien, Ämtern und Verbänden. Die befragten Experten vertreten in erster Linie die Fachgebiete Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Naturschutz.

Befragung repräsentativer Betriebe

Zur Erhebung spezifischer Betriebsdaten moorbewirtschaftender Betriebe wurden umfassende Betriebsbefragungen durchgeführt. Insgesamt waren 116 Betriebe an den Befragungen beteiligt. Im niedersächsischen Testgebiet TG 1 „Ahlenmoor“ wurden 19, im niedersächsischen TG 2 „Dümmer“ 20 Betriebe befragt. Im Mecklenburg-Vorpommerschen Testgebiet TG 3 „Peenetal“ erfolgte die Befragung auf 17 Betrieben. Im brandenburgischen TG 4 „Rhin-Havelluch“ wurden 20 Betriebe befragt und in den bayerischen Testgebieten TG 5 „Freisinger Moos“ und TG 6 „Mooseurach“ konnten 19, beziehungsweise 21 Betriebe interviewt werden. Die Betriebsbefragung wurde somit entsprechend dem im Projektantrag angegebenen Umfang (15 bis 20 Betriebe in allen Testgebieten) durchgeführt. In den beiden süddeutschen Testgebieten TG 5 und TG 6 erfolgte die Befragung durch TUM-WDL. In den nord- und ostdeutschen Testgebieten TG 1 bis TG 4 wurde die Erstellung der Datenbasis durch die Vergabe entsprechender Auftragsgutachten an wissenschaftliche Einrichtungen vor Ort

umgesetzt. Die Durchführung der Betriebsbefragungen begann im Februar 2008 und wurde im August 2008 mit TG 5 „Freisinger Moos“ abgeschlossen. Mit Unterstützung regionaler Experten, mit denen insbesondere in den abgehaltenen Stakeholderworkshops eine diesbezügliche Zusammenarbeit vereinbart wurde, wurden die relevanten Betriebe eingegrenzt und ausgewählt. Die Befragung erfolgte in Form persönlicher Interviews mit den Betriebseigentümern bzw. Betriebsleitern auf den Betrieben. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten und Verfälschungen aufgrund des Einflusses der unterschiedlichen Interviewer zu vermeiden, wurde die Befragung anhand eines vorgetesteten Fragebogens durchgeführt. Die Fragen wurden hauptsächlich in geschlossener Form mit standardisierten Antworten gehalten.

Inhalte der Betriebsbefragung

Die in der Befragung erhobenen Daten sollten zum einen (1) als Kalkulationsbasis zur Berechnung der gegenwärtigen einzelbetrieblichen Situation der Betriebe, zum anderen (2) als Datenbasis zur Modellierung und Einschätzung der betriebswirtschaftlichen Effekte der unterschiedlichen Nutzungsszenarien dienen.

Zur Klassifizierung der Betriebe und als Basis der Berechnung ökonomischer Kennzahlen wurden im ersten Block des Fragebogens Daten zu **Betriebstyp** und zur **Organisation der betrieblichen Verfahren** erhoben. (Siehe Abb. 63)

Um die betrieblichen Konsequenzen von Landnutzungsänderungen korrekt abschätzen zu können, wurden zudem detaillierte Informationen über die gegenwärtige **Moorflächenbewirtschaftung** erfasst.

In der Befragung wurde zunächst erhoben, welche speziellen Eigenschaften die Moorflächen auszeichnen. Des Weiteren sollten die gegenwärtige Nutzung und die Verfahren auf den Moorflächen möglichst detailliert und flächenscharf abgefragt werden. Um eine Bewertung des finanziellen Verlustes vornehmen zu können, der den Landwirten aufgrund veränderter Moornutzung entstehen kann, wurde außerdem die spezielle Ertragsituation auf diesen Standorten ermittelt. Fragen beinhalteten u.a.

1) Die Beschreibung der Verfahren der Grünlandnutzung, des Marktfruchtbaus und des Ackerfutterbaus auf den betrieblichen Moorflächen, hinsichtlich Umfang, Arbeitsgänge, Düngung, Pflanzenschutz, etc., 2) die Darstellung des Zustands der wasserbaulichen Anlagen und die Regelung der Verantwortlichkeit für deren Pflege, Wartung, Reparatur oder Erneuerung, und 3) die Beschreibung der betrieblichen Schläge bzw. Schlaggruppen auf Moor sowie deren Nutzung hinsichtlich Wassermanagement, Nutzbarkeit und Nutzung. Zur Ergänzung der Fragen „Gegenwärtige Moorbewirtschaftung“ wurde zum Fragebogen Luftbilder herangezogen, auf welchen die landwirtschaftlichen Flächen der befragten Betriebe erfasst waren. Auf Grundlage der Bilder konnte eine eindeutige Zuordnung der individuellen betrieblichen Flächen erfolgen und die derzeitige Nutzung flächenscharf beschrieben werden. Weiterhin konnten die Betriebsleiter hier durch ergänzende Kommentare und Anmerkungen flächenscharf darstellen, welche Auswirkungen und Anpassungen sich aus ihrer Sicht für die Flächen ergeben, sollte es zur Umsetzung bestimmter regionaler Maßnahmen klimaschonender Moorbewirtschaftung kommen.

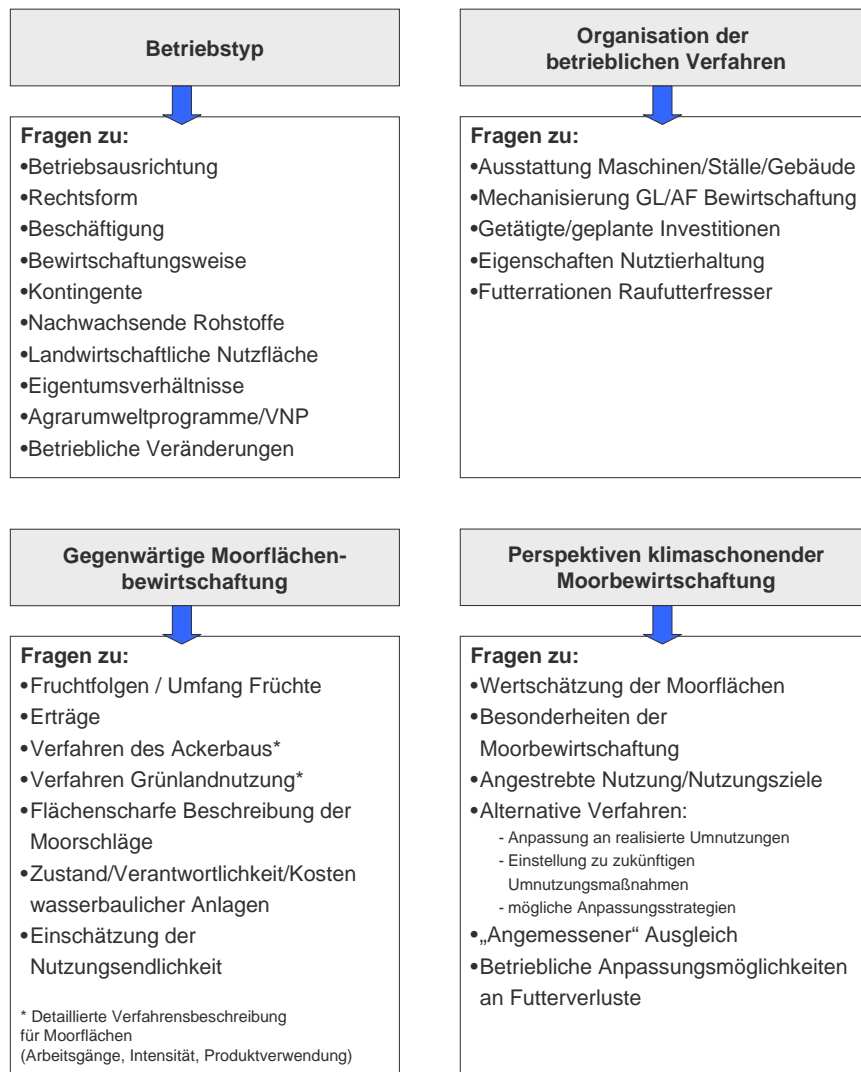


Abb. 63: Daten zu Betriebstyp und zur Organisation der betrieblichen Verfahren

Der letzte Fragenblock beschäftigte sich mit den Perspektiven klimaschonender Moorbewirtschaftung. Hier wurde insbesondere die subjektive Einschätzung der Betriebe zu Möglichkeiten, Hemmnissen, Anforderungen und Konsequenzen klimaschonender Moorbewirtschaftung über eine Anzahl qualitativer erfasst. Dabei wurden u.a. die Themenbereiche (1) Wertschätzung der Moorflächen, (2) Besonderheiten/Schwierigkeiten der Moorbewirtschaftung, (3) Angestrebte Nutzung/Nutzungsziele auf Moorflächen, (4) Einstellung gegenüber alternativer Nutzungsverfahren, (5) Betriebliche Anpassungsmöglichkeiten an Futtermittelverluste, (6) Vorstellungen über „Angemessenen“ Ausgleich und (7) Entwicklungstendenzen bezüglich der Bewirtschaftung regionaler Moorflächen angesprochen.

Die Befragung ermöglichte die Erfassung einer speziell auf Moorbewirtschaftung abgestimmten Datenbasis, die die individuelle einzelbetriebliche Situation moorbewirtschaftender Betriebe detailliert abbildet. Die erhobenen Daten stellen die Basis zur Berechnung der ökonomischen Konsequenzen klimaschonender Moorbewirtschaftung dar.

Ergebnisse der Betriebsbefragungen

Regionale Betriebsorganisationen und Hauptproduktionsrichtungen

Die in der Befragung erfassten landwirtschaftlichen Betriebe wurden nach der Zusammensetzung ihrer erwirtschafteten Standarddeckungsbeiträge (SDB) eingeteilt. Als Grundlage der Einteilung diente hierbei die Entscheidung der Kommission vom 16. Mai 2003 zur Änderung der Entscheidung 85/377/EWG der Kommission vom 7. Juni 1985 zur Errichtung eines gemeinschaftlichen Klassifizierungssystems landwirtschaftlicher Betriebe. Auf dieser Basis wurden die befragten Betriebe der Testregionen in spezialisierte Ackerbau-, spezialisierte Futterbau-, spezialisierte Veredelungs-, sowie Gemischt- und sonstige Betriebe¹ eingeteilt. Bei den Futterbaubetrieben wurde die Einteilung weiter detailliert und die Betriebe in spezialisierte Milchviehbetriebe, spezialisierte Rindermastbetriebe und Betriebe mit Mutterkuhhaltung (verschiedene Weideviehbetriebe) unterschieden. Bei den Veredelungsbetrieben erfolgte die Unterscheidung in spezialisierte Schweinemast und spezialisierte Legehennenbetriebe. Die gewählte Einteilung basiert auf der Organisationsstruktur der befragten Betriebe: Mit den genannten Betriebsformen werden sämtliche Betriebsorganisationen, die in den Befragungen erfasst wurden, abgedeckt. Die Berechnung zur Einteilung der Betriebe erfolgte unter Verwendung von Standarddeckungsbeitragswerten des KTBL (KTBL, 2010). Für Marktfrüchte wurde der 5-Jahresdurchschnitt (2003/04 – 2007/08), für tierische Produktion der 3-Jahresdurchschnitt (2005/06 – 2007/08) der SDB-Werte verwendet.

Betrachtet man die Betriebsorganisationen der befragten Betriebe bezüglich ihrer Sozioökonomik und der verfolgten Produktionsrichtungen sind deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Regionen zu erkennen. Die Betriebe in Niedersachsen und Bayern in ihrer durchschnittlichen Größe von 60 bis 105 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche sind deutlich kleiner als die Betriebe in Mecklenburg-Vorpommern und in Brandenburg. Auffällig ist auch, dass in den niedersächsischen Regionen kein Betrieb der Befragung nach ökologischen Kriterien wirtschaftet – was einen direkten Rückschluss auf die Intensität der Bewirtschaftung zulässt. Im Peenetal und im Freisinger Moos ist der Anteil ökologischer Betriebe dagegen verhältnismäßig hoch. In den Grünlandregionen Ahlenmoor und Mooseurach wirtschaften hauptsächlich spezialisierte Milchviehbetriebe (Futterbaubetriebe Milchvieh). In Region 2 „Dümmer“ machen Veredelungsbetriebe (Schweinemast) den größten Anteil aus. In den Regionen Peenetal, Paulinenaue und Freising stellen sich die Betriebsstrukturen dagegen weitaus heterogener dar. Hier wirtschaften neben den klassischen Futterbaubetrieben auch reine Marktfruchtbetriebe sowie Gemischtbetriebe, die verschiedene Betriebszweige verfolgen um ihr Betriebseinkommen zu generieren.

¹ z.B. Pferdehaltung, Weidenanbau, Produktion von Blumensamen, Streuwiesenpflege, etc.

Merkmal	Untersuchungsgebiet					
	Ahlen- moor	Düm- mer	Peene- tal	Paulinen- aue	Frei- sing	Mooseu- rach
Sozioökonomik:						
Haupterwerbsbetriebe (in %)	100	100	100	95	95	86
Ökologische Betriebe (in %)	-	-	29	10	26	19
Betriebsgröße:(Ø in ha)	60	105	540	870	65	70
Betriebssysteme in %:						
Marktfruchtbetriebe	-	-	18	15	26	-
Futterbaubetriebe Milchvieh	100	20	18	30	32	86
Futterbaubetriebe Rindermast	-	5	-	-	5	-
Futterbaubetriebe Mutterkuh	-	-	35	15	-	10
Veredelungsbetriebe	-	70	-	-	5	-
Gemischtbetriebe	-	5	24	35	21	-
Sonstige Betriebe	-	-	6	5	11	5

Tab. 18: Struktur der landwirtschaftlichen Betriebe in den Testgebieten

Regionale Flächennutzung: Flächenklassifizierung nach Produktivität/Intensität

Die unterschiedlichen Moortypen in ihren unterschiedlichen gegenwärtigen Zustandsformen und Bodenqualitäten bestimmen die Nutzbarkeiten der Flächen für die Landwirtschaft. Tab. 18 gibt einen Überblick welche Nutzungsarten auf den regionalen Moorflächen vorherrschen (Grünland/Ackerland) und welche Produktionstypen damit in erster Linie verbunden sind.

	R1 Ahlen- moor	R2 Dümmer	R3 Peenetal	R4 Havelluch	R5 Freising	R6 Moos- eurach
Moortyp	Hoch- moor	Nieder- moor	Nieder- moor	Nieder- moor	Nieder- moor	Hoch- moor / Nieder- moor
Vorherrschende Landnutzung	Grünland	Grünland Ackerland	Grünland	Grünland Ackerland	Grünland Ackerland	Grünland
Vorherrschender Produktionstyp	Intensive Milchvieh- wirtschaft	Intensive Schweine und Bul- lenmast / nach- wachsen- de Roh- stoffe	Milchvieh und Mut- terkuh- haltung	Milchvieh und Mut- terkuh- haltung / Markt- fruchtbau, nachw. Rohstoffe	Nischen- produkti- on/ Milch- vieh- haltung / Gras für Biogas	Intensive Milchvieh- wirtschaft

Tab. 19: Charakteristik der Testregionen

Im Falle von Nutzungsbeschränkungen ist die der Höhe der Ertragseinbußen auf den betroffenen Flächen entscheidend. Für die Landwirtschaft bedeuten Umnutzungen im Rahmen naturschutzfachlicher Entwicklungsvorhaben oftmals eine Verschlechterung der ökonomischen Ausgangssituation. Die Höhe der entstehenden Opportunitätskosten der Landnutzung wird dabei entscheidend davon bestimmt, welche Wertschöpfung auf landwirtschaftlichen Flächen vor einem Eingriff möglich war und welche Wertschöpfung nach einer Veränderung der gegenwärtigen Flächennutzung bzw. des Flächenmanagements möglich sein wird (Opportunitätskosten der Landnutzung). Die auf landwirtschaftlichen Flächen generierte betriebliche Wertschöpfung kann einzelflächenspezifisch stark variieren. Unterschiede resultieren insbesondere aus der Ertragsfähigkeit der Standorte und der Art und Intensität der Flächennutzung. Demnach variiert für unterschiedliche Flächennutzungsverfahren auch die Höhe des landwirtschaftlichen Verlustes, der durch die Landnutzungsänderungen entsteht.

Die Befragung lieferte Informationen zu insgesamt ca. 31.000 ha landwirtschaftlicher Fläche. Bei rund 45% davon handelte es sich um bewirtschaftete Moorfläche. Der Grünlandanteil über alle erfassten Moorflächen hinweg beträgt 73%, wobei sich die einzelnen Regionen in ihrer Verteilung zwischen Mooracker- und Moorgrünlandflächen deutlich unterscheiden. Die Spannweite reicht hier von 61% Grünland auf Moorfläche im TG 4 Paulinenaue bis hin zu 100% Grünlandanteil auf den Flusstalmoorflächen des Peenetales (vgl. auch Abb. 67).

Zur Analyse des ökonomischen Wertes der gegenwärtigen landwirtschaftlichen Nutzung auf den Moorflächen der Testgebiete wurde jede einzelne der in den Betriebsbefragungen erfassten Flächen individuell betrachtet und nach ihrer Nutzung und Ertragsfähigkeit klassifiziert. Insgesamt wurden 757 Flächen untersucht. Dabei handelt es sich um 417 Acker- und

340 Grünlandflächen wovon sich wiederum 121 Acker- und 232 Grünlandflächen auf Moor befinden. (vgl. Tab. 20)

	Insgesamt	Moor	Hochmoor	Niedermoor
Anzahl Flächen	757	353	79	274
Davon Acker	417	121	17	104
Davon Grünland	340	232	62	170
Umfang Fläche (ha)	30.900	13.802	1.260	12.542
Davon Acker	18.500	3.726	100	3.626
Davon Grünland	12.400	10.076	1.160	8.916

Tab. 20: Struktur der befragten Flächen (Quelle: eigene Darstellung)

Die erfassten Nutzungen wurden sowohl für die Nichtmoor- als auch für die Moorflächen unterschieden in Ackernutzung für a) Marktfruchtbau und b) Futterbau² und Grünlandnutzung zur a) Futtergewinnung für Rinderhaltung¹ oder b) als extensive Flächen ohne bzw. mit geringer landwirtschaftlicher Nutzung (Streuwiesen/Ödland). Grünlandflächen zur Futtergewinnung wurden zudem in die Nutzungsarten Wiese (reine Schnittnutzung), Mähweide (Schnittnutzung und Weidegang) sowie Weide (ausschließliche Weidenutzung) unterschieden.

Die Ertragsfähigkeit des Grünlands wurde für jede der Flächen individuell eingeschätzt. Sie wurden abgeleitet aus den flächenspezifischen Ertragseinschätzungen der Landwirte (Ernteprodukt, Mengenangaben, Qualitätsangaben) sowie aus den Angaben über Häufigkeit der Schnittnutzung³, Art der Düngung (mineralisch, organisch, mineralisch und organisch), der Düngungsintensität (Höhe der N-Düngung aus mineralischer Düngung, organischer Düngung und Weidegang), dem Vieh-Besatz bei Weidegang und der Dauer der Weideperiode⁴. Die Angaben der Landwirte wurden individuell auf Plausibilität geprüft und im Bedarfsfall mit Erfahrungs- sowie Werten aus der Literatur abgeglichen wurden (offizielle Erntestatistiken, Experteninterviews). Die Ertragsfähigkeiten wurden quantifiziert indem allen Flächen (Wiesen, Mähweiden und Weiden) individuelle Ertragsniveaus von Wiesen (reine Schnittnutzung) zugeordnet wurden. Die Ertragsfähigkeiten reichen dabei von ein- bis fünfschnittigem Grünland und sind mit typischen Frischmasseerträgen in dt/ha belegt⁵.

² Im Rahmen dieser Studie wird der Begriff "Futter/Futterbau" verwendet um Produkte zu beschreiben die als Grundfutter verwendet wird. Darunter fallen Silomais und Grünlandprodukte wie Grünfutter, Grassilage und Heu. Vermarktungsfähige Futterfrüchte die als Kraffutter verwendet werden wie zum Beispiel Weizen, Gerste, Körnermais, etc. werden als Marktfrüchte behandelt.

³ Flächen deren Schnittnutzung über die Jahre hinweg zwischen zwei Schnitthäufigkeiten variiert wurden x,5 Werte zugeordnet.

⁴ Bei Mähweiden z.T. umgerechnet auf die Veg.periode: Erfolgten Angaben wie z.B. „3 Schnitte, 8 Monate Weidegang“ wurde die Weideperiode auf die verbleibenden Monate innerhalb der Vegetationsperiode (nach erfolgten drei Schnitten) berechnet.

⁵ Beispiel: Ein vom Landwirt als Wiese bezeichnetes Grünland mit einer Schnitthäufigkeit von 4 Schnitten wird in seiner Ertragsfähigkeit als 4-schnittiges, intensives Grünland eingestuft. Ein vom Landwirt als Mähweide bezeichnetes Grünland mit einer Schnitthäufigkeit von 2 Schnitten mit nachfolgend hochintensiver Umtriebsweidenutzung mit entsprechend hohem GV-Besatz und Düngungsniveau wird in seiner Ertragsfähigkeit gleichermaßen als 4-schnittiges, intensives Grünland eingestuft. Über diese Einteilung der verschiedenen Nutzungsarten in Ertragsni-

Auf der Basis der Ertragsfähigkeiten wurde das Grünland in drei Klassen an Nutzungsintensität eingeteilt, nämlich in „extensives Grünland“, „Grünland mittlerer Intensität“ und „intensives Grünland“). Als Intensitätsstufen wurde „extensiv“ für Flächen mit dem Ertragsniveau von 1- und 2 schnittigen Wiesen, „mittlere Intensität“ für die Ertragsniveaus 2,5- bis 3-schnittiger Wiesen und „intensiv“ für Ertragsniveaus 3,5- bis 5-schnittiger Wiesen festgelegt. (vgl. Abb. 64). Im Anschluss an diese „Fläche-für-Fläche“-Einteilung wurden die zugewiesenen einzelflächenspezifischen Ertrags- und Intensitätsniveaus nochmals sowohl innerhalb als auch zwischen den einzelnen Regionen abgeglichen. Im Falle von Inkonsistenzen wurden die Ertragsfähigkeiten und Intensitätsniveaus nochmals überprüft und im Bedarfsfall angepasst. Auf diese Art konnte sichergestellt werden dass die Ertragsniveaus und Intensitäten der Grünländer richtige gerant wurden und inner- sowie interregional vergleichbar sind.

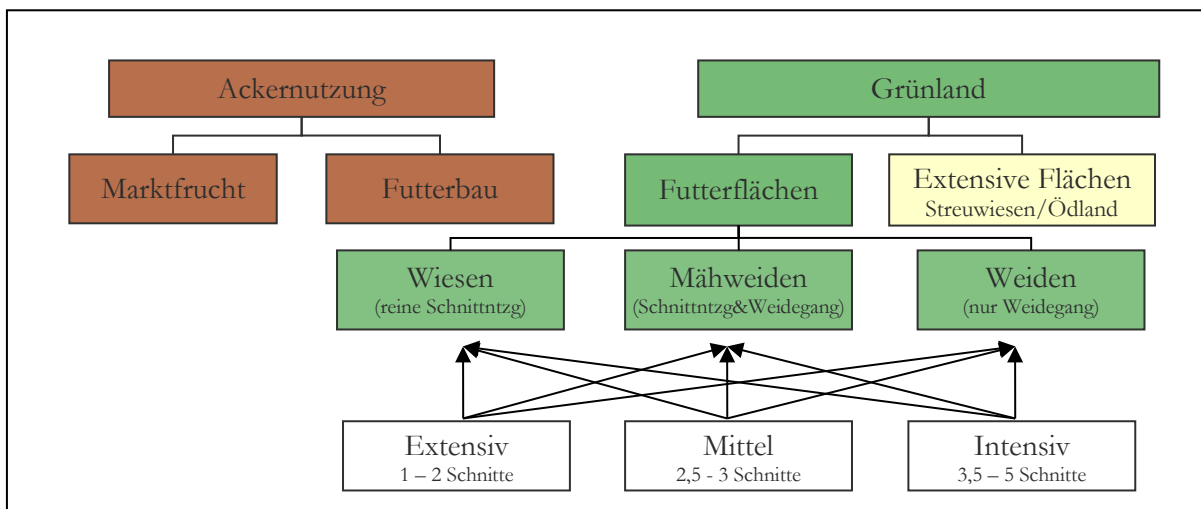


Abb. 64: Flächenklassifizierung (Quelle: eigene Darstellung)

Regionale Flächennutzung: Raumbezogene Analyse

Die Ergebnisse der einzelflächenspezifischen Analyse flossen in eine raumbezogene Analyse der Flächennutzung ein, die von TUM WDL durchgeführt wurde. Dazu wurde eine Geodatabase errichtet, in welcher die einzelbetrieblich erfasste spezifische Flächennutzung und Flächenproduktivität/Flächenintensität räumlich attribuiert wurde. Als digitale kartographische Grundlage für die raumbezogene Analyse wurden Atkisdaten (Lage und Abgrenzung der Flurstücke) sowie Daten der Gük200 (Abgrenzung der Moorflächen) verwendet [geliefert von ZALF-SOM]. Abb. 65 stellt dar, welche Parameter der Flächennutzung räumlich erfasst wurden. Zur Attribuierung der regionalen Flächennutzungen stellte TUM WDL eine wissenschaftliche Hilfskraft ein. Als GIS Software wurde ESRI ArcMap 9.2 verwendet.

Attributes of AH_Befragung_nutzung																				
VEG	Erfasst_In	Ntzg_Intv	Weide_nutz	Schnitte	Weide_Mon	Wd_Art	DgMin_h	DgOrg_h	PSM_h	Pflg_h	DgMinNkg	DgOrgNkg	DgOWdkg	FF	Intensität	Ertragsfähigkeit	GW_mgmt	Torf_mchtig	Ntzg_h	
0	1	Grünland	1	3,5	0		2	3,5	0	2	135	171	0		3	4	Drainage	1,5-2m	3,5	50
0	1	Grünland	1	3,5	0		2	3,5	0	2	135	171	0		3	4	Drainage	1,5-2m	3,5	50
0	1	Grünland	1	3,5	0		2	3,5	0	2	135	171	0		3	4	Drainage	1,5-2m	3,5	50
0	1	Grünland	1	3,5	0		2	3,5	0	2	135	171	0		3	4	Drainage	1,5-2m	3,5	50
0	1	Grünland	1	3,5	0		2	3,5	0	2	135	171	0		3	4	Drainage	1,5-2m	3,5	50
0	1	Grünland	2	2	3	1	2,5	1	0	2	54	55	14		2	3	Drainage	0,2-0,5	2	20
0	1	Grünland	2	2	3	1	2,5	1	0	2	54	55	14		2	3	Drainage	0,2-0,5	2	20
0	1	Grünland	3	0	6	1	1	1	0	3	54	55	50		3	4	Drainage	0,2-0,5m	0	20
0	1	Grünland	3	0	6	1	3	1	0	3	162	46	35		3	4	Drainagen, Gräben,	3	0	60
0	1	Grünland	3	0	6	1	3	1	0	3	162	46	48		3	4	Drainagen, Gräben,	3	0	60
0	1	Grünland	1	3	0		2	3	0	2	122	137	0		2	3	Drainagen, Gräben,	3	3	48
0	1	Grünland	2	2	3	1	2	3	0	2	122	137	18		3	4	Drainagen, Gräben,	3	2	48
0	1	Grünland	3	0	6	1	3	1	0	3	162	46	48		3	4	Drainagen, Gräben,	3	0	60

Erfasst_In Im Interview erfasst, ja = 1

Ntzg_Intv Nutzung laut Betriebsleiter (Acker, Grünland, Erlenwald)

Moornutz 1=Niedermoor 2=Hochmoor

Weide_nutz Wiese=1; Mähweide=2; Weide=3; Streuwiese=4; Erlenbruch=5; Acker=8; Wald=9

Weide_mon Weideperiode in Monaten

Schnitte Anzahl der SCHNITTE

Wd_Art Weideart (Standweide=1 Portionsweide=2 Umtriebsweide=3)

FF Fruchtfolge (jeweils in % der Gesamtfläche)

DgMin_hfkt Häufigkeit Überfahrten für Pflegemaßnahmen (Abschleppen, Walzen...) Häufigkeit mineralische Düngung

DgOrg_hfkt Häufigkeit organische Düngung

PSM_hfkt Häufigkeit Überfahrten für Pflanzenschutzmaßnahmen

DgMinNkggha Menge an N aus mineralischem Dünger pro ha

DgOrgNkggha Menge an N aus organischem Dünger pro ha WICHTIG! N-Menge hier unter Abzug aller Verluste: 15% Verlust aus Stall und Lagerung plus 15% Verlust bei der Ausbringung)

DgOrgNkggha Menge an N aus Weidegang pro ha

Intensität 1=extensiv; 2 = mittlere Intensität; 3 = intensiv; 8 = Acker

Ertragsfähigkeit Grünland = 1 bis 5 (entspricht einer Schnittnutzungsertragsfähigkeit von 1 bis 5 Schnitten) Acker = 8

GW_mgmt Grundwassermanagement

Torf_mchtig Torfmächtigkeit laut Betriebsleiter

Abb. 65: Räumlich erfasste Parameter der Flächennutzung

Das Ergebnis der raumbezogenen Analyse stellen testgebietspezifische GIS-Shapefiles dar, die die in der Betriebsbefragung erfassten Moorflächen räumlich ausweisen und die flächenspezifische Nutzung äußerst detailliert darstellen. Die von TUM-WDL generierten GIS-Shapefiles wurden ZALF-SOM als Basis der Hochskalierung zur Verfügung gestellt. Abb. 66 zeigt am Beispiel der Regionen Ahlenmoor, Dümmer und Paulinenaue ein Ergebnis der räumlichen Analyse, nämlich die Verteilung der in der Betriebsbefragung erfassten Flächen im Testgebiet, in diesem Falle aufgelöst nach Nutzungsart und Nutzungsintensität:



Abb. 66: Lage der Flächen, Flächennutzung und Flächenintensität

Art und Intensität der Moorflächennutzung in den Regionen: Die Untersuchungen bezüglich Art und der Intensitäten der Moorflächennutzung zeigte deutliche Variabilität zwischen den einzelnen Testgebieten. Neben der ackerbaulichen Nutzung in den Testgebieten "Paulinenaue", "Dümmer" und "Freising", die generell als „intensive“ Moornutzung eingestuft wurde, bestehen deutliche Unterschiede bezüglich der Intensität der Grünlandnutzung. Im Vergleich zu Regionen mit verhältnismäßig extensiver Grünlandnutzung auf Moorflächen (z.B. Peenetal) ist zum Beispiel der Anteil intensiver Grünlandnutzung auf Hochmoor im Ahlenmoor sehr hoch. Auffällig ist auch der nahezu gleiche Anteil zwischen sehr extensiver Streuwiesennutzung auf der einen Seite und der intensiven Wiesennutzung auf der anderen Seite im Testgebiet Mooseurach. Hier ist allerdings anzumerken dass drei Betriebe in die Befragung miteinbezogen wurden, die sich auf die Pflege von Streuwiesen spezialisiert haben, eine Tatsache die den Streuwiesenanteil in der Region mit hoher Wahrscheinlichkeit überschätzt. Abb. 67 stellt die Art und Intensität der Moorflächennutzung der befragten Betriebe in den sechs Testgebieten dar.

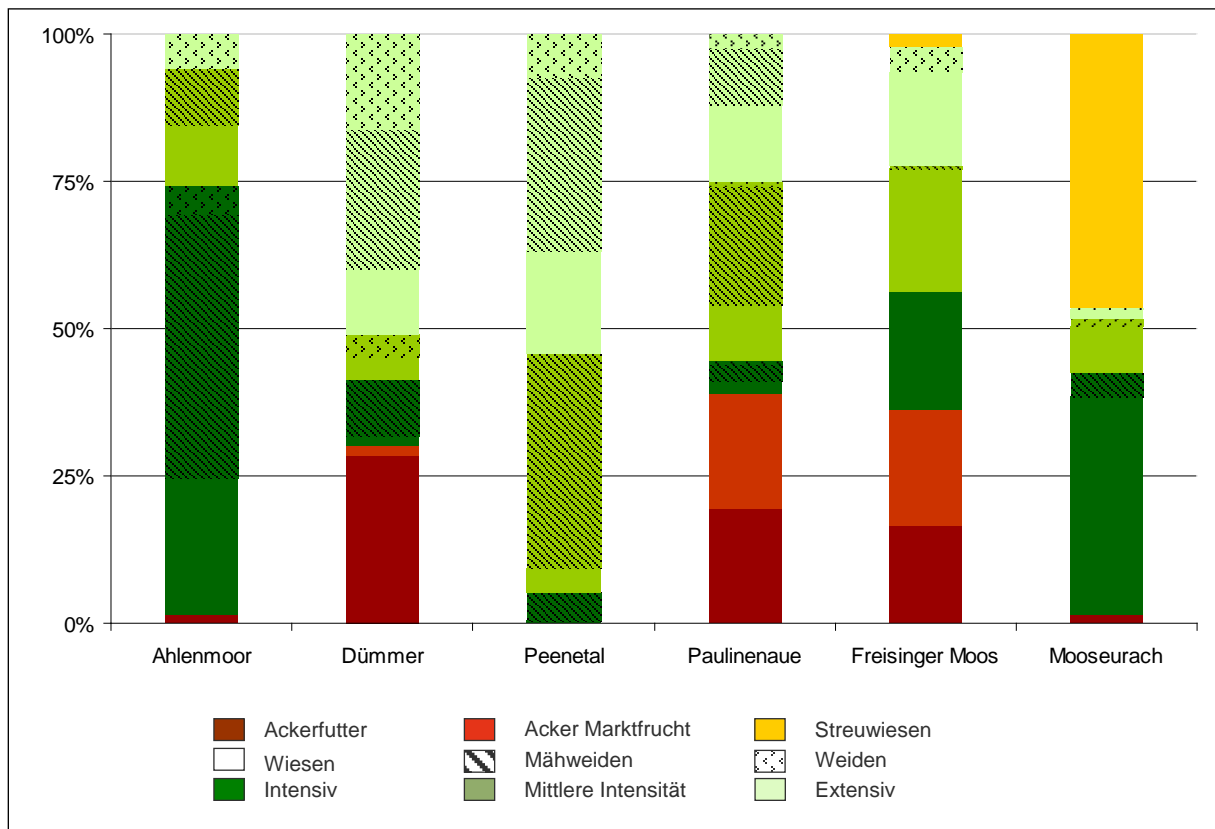
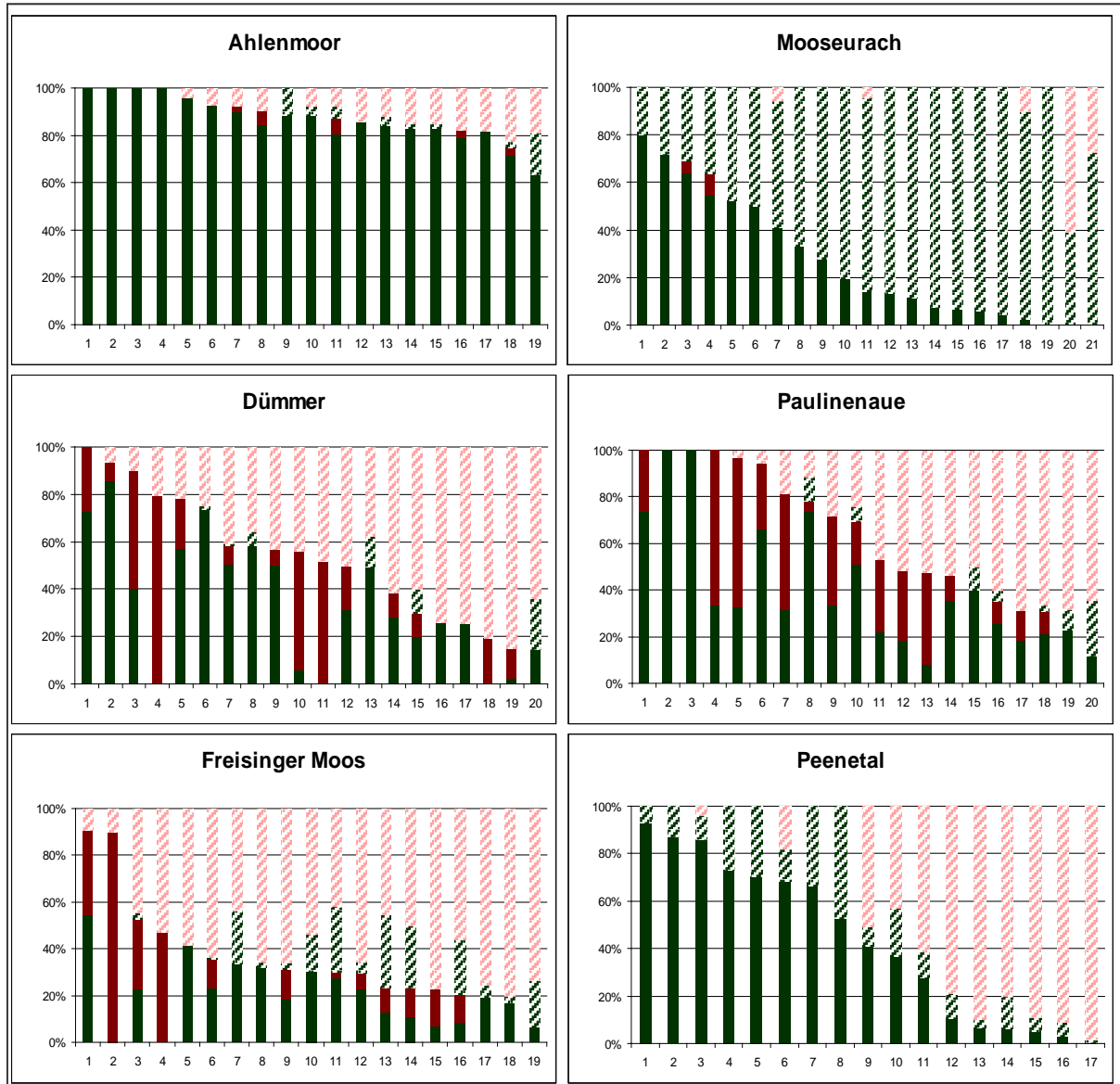


Abb. 67: Vergleich Flächennutzung: Nutzung der MOOR-Flächen in den Testgebieten (Quelle: eigene Darstellung)

Betriebliche Betroffenheiten: Von grundlegender Bedeutung für die Umsetzung landwirtschaftlicher Nutzungsänderungen ist der Anteil der von Maßnahmen betroffenen Fläche im Verhältnis zur gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche eines Betriebes. Entscheidend dabei ist die Lage und Verteilung der betrieblichen Flächen im Projektgebiet. Einzelbetriebliche Betroffenheiten können als maßgeblicher Bestimmungsfaktor für die Akzeptanz von Nutzungsänderungen bei den Landwirten angesehen werden. Diese Akzeptanz ist in der Regel

umso geringer, je größer sich der Anteil an Betriebsfläche darstellt welche Nutzungsbeschränkungen unterworfen ist bzw. ganz aus der landwirtschaftlichen Nutzung genommen wird. Auch in den Interviews mit den Landwirten wurde deutlich, dass sich Nutzungsumstellungen umso komplizierter und kostenintensiver in jenen Regionen gestalten werden, in denen die Betriebe große Anteile an Moorflächen haben und diese Flächen stark zum ökonomischen Betriebsergebnis beitragen.



- Grünland Nichtmoor
- Acker Nichtmoor
- Acker Moor
- Grünland Moor

Durchschnittlicher Anteil Moorfläche (%)					
Ahlenmoor	Dümmer	Peenetal	Havelluch	Freising	Moos-eurach
89	53	43	63	36	27

Abb. 68: Flächenstruktur der befragten Betriebe

Abb. 68 zeigt, wie unterschiedlich die Betroffenheit sowohl zwischen den Einzelbetrieben einer Region, als auch zwischen den Regionen als Ganzes ausfallen. Unterschiedliche einzelbetriebliche Betroffenheit innerhalb einer Region besteht insbesondere in „Mooseurach“ und im „Peenetal“. Die betrieblichen Betroffenheiten im „Ahlenmoor“ oder im „Freisinger Moos“ unterscheiden sich dagegen deutlich weniger.

Zieht man einen Vergleich der Regionen untereinander ist zu erkennen dass in einigen Regionen viele Betriebe einen sehr hohen Anteil an Moorflächen bewirtschaften – folglich ist auch die durchschnittliche Betroffenheit in der Region hoch. Ganz extrem fällt diese gesamtregionale Betroffenheit in der Region Ahlenmoor mit 89% aus. Auch in den Regionen Peenetal, Dümmer und Havelluch, ist der durchschnittliche Moorflächenanteil der Betriebe mit 43, 53 und 63% verhältnismäßig hoch. Lediglich in den bayerischen Regionen Freisinger Moor und Mooseurach ist der Anteil an Moorflächen für die meisten Betriebe relativ gering was sich in durchschnittlichen regionalen Betroffenheiten von 36 bzw. 27% Moorflächenanteil ausdrückt.

Modellierung der zu erwartenden betriebswirtschaftlichen Konsequenzen der verschiedenen Landnutzungsszenarien

Kalkulation der betriebs- und flächenspezifischen Wertschöpfung auf den Moorflächen

Veränderungen der Deckungsbeiträge und „Veredelungswerte“

Zur Ausweisung einzelbetrieblicher Kosten klimaschonender Moorbewirtschaftung wurden die jährlichen landwirtschaftlichen Einkommenseinbußen herangezogen, die aus einer veränderten Wertschöpfung auf den Flächen entstehen. Auf Basis der einzelflächenspezifischen Nutzungsklassifizierung wurden hierfür betriebsindividuelle und flächenspezifische Berechnungen der Deckungsbeiträge (bei Marktfruchtbau) und der „Veredelungswerte“ (bei Futterbau) angestellt.

Der Deckungsbeitrag eines Produktes ist per Definition der Unterschied zwischen Markterlös des Produktes und den variablen Kosten der Produktion. Er stellt den Betrag dar, der zur Deckung der Fixkosten und darüber hinaus als Gewinnbeitrag verbleibt. Mit der Berechnung von managementabhängigen Veränderungen der Deckungsbeiträge bzw. der „Veredelungswerte“ wird der Anforderung Genüge getan, jährliche, monetäre Werte zu erzeugen, welche den jährlichen Einsparungen an CO₂ Emissionen entsprechen.

Zur Berechnung der Deckungsbeiträge von **Ackerflächen zur Erzeugung von Marktfrüchten** (DBMF) werden die Erträge pro ha⁶ mit den regionalen Marktpreisen multipliziert (Markterlöse) und die variablen Kosten des Inputs⁷, der zur Erzeugung des Produktes benötigt wurde, subtrahiert. Die Berechnungen wurden betriebsindividuell angestellt, wobei die spezifischen Produktionsprozesse der einzelnen Betriebe sowie die regionalen Erzeugerpreise und Kosten berücksichtigt wurden.

$$\text{DBMF} = [(\text{Erträge in kg/ha}) * (\text{Marktpreis in €/kg})] - (\text{Kosten des variablen Inputs in €/ha})$$

⁶ Erträge in kg/ha: z.B. kg/ha Mais, Weizen, Gerste, Hafer, Roggen, Triticale, Körnererbsen, etc.

⁷ Inkl. Saatkosten, Düngemittelkosten, Pflanzenschutz, Maschinenkosten, Erntekosten, Ausbringungskosten Düngung, Versicherung, Trocknung, Weiterverarbeitung.

Eine direkte Zuweisung von Deckungsbeiträgen für Flächen zur Erzeugung von Futter (Ackerfutterbau und Grünland zur Futterproduktion⁸) ist nicht möglich solange das erzeugte Futter nicht vermarktet, sondern in der tierischen Produktion des Betriebs verwendet wird. Aus diesem Grund wurden für die Futterflächen „Veredelungswerte“ (VE) berechnet (Hoffmann & Kantelhardt, 1998; Althoetmar, 1964). „Veredelungswerte“ können als Pendant zum „Markterlös“ der Marktfrüchte verwendet werden. Zur Ableitung von VE-Werten wird zunächst der Deckungsbeitrag der zugrundeliegenden, grundfutter-konsumierenden Viehhaltung (VH) (z.B. Milchvieh, Bullenmast, Mutterkuhhaltung, etc.) berechnet (DBVH) – ohne Berücksichtigung der Kosten für die betriebseigene Futtererzeugung. Dividiert durch den gesamten Nährstoffbedarf an Grundfutter (NBVH), der nötig ist um den DBVH, zu produzieren, erhält man den VE-Wert pro Nährstoffeinheit (VENE).

Allgemein kann der VENE mit der Gleichung beschrieben werden:

$$VE_{NE} = \frac{DB_{VH}}{NB_{VH}}$$

Zur Ableitung betriebsindividueller und flächenspezifischer VENEs wurden „gewichtete VENEs“ für die Nutzungsarten (N) „Silomais“, „Schnittgrünland“ (Wiesen und Mähweiden) und „Weide“ erzeugt. Betriebsindividuell wurde die Abdeckung an Nährstoffen durch Grundfutter für die einzelnen Viehhaltungszweige pro Einzeltier (T) berechnet, wobei die betriebsindividuelle Rationengestaltung und Futterqualität berücksichtigt wurde (1). Im Anschluss daran wurde der Gesamt-Nährstoffbedarf aus Grundfutter eines Viehhaltungszweiges berechnet (2).

$$NB(T_i) = NE_{SM(T_i)} + NE_{SG(T_i)} + NE_{WG(T_i)} \quad (1)$$

$$NB(VH_i) = \left(\sum T_i \right) * NB(T_i) \quad (2)$$

i = Jeweiliger Viehhaltungszweig z.B. Milchvieh, Bullenmast, T_i = Einzeltier eines Viehhaltungszweiges, N= Nährstoffe in der Ration, NSM = N aus Silomais, NSG=N aus Schnittgrünland, NWG=N aus Weide

Danach wurde die Nährstoffmenge identifiziert, die der Gesamtbestand eines Viehhaltungszweiges aus jeweils den individuellen Nutzungsarten (N) abdeckt (3). Daraus wurde der Gesamtbedarf an Grundfuttternährstoffen aller Viehhaltungszweige (VH) aus den jeweils einzelnen betrieblichen Nutzungsarten abgeleitet (4).

$$NB(VH_i)_j = \left(\sum T_i \right) * NB_j(T_i) \quad (3)$$

$$NB(GB)_j = \sum_{i=1}^n [NB(VH_i)_j] \quad (4)$$

GB = Gesamtbedarf aller Viehhaltungszweige, n = Anzahl der verschiedenen Viehhaltungszweige z.B. Milchvieh, Bullenmast, etc., j = Nutzungsarten (Silomais(SM), Schnittgrünland (SG), Weide (WG))

⁸ Im Rahmen dieser Studie wird der Begriff „Futter/Futterbau“ verwendet um Produkte zu beschreiben die als Grundfutter verwendet wird. Darunter fallen Silomais und Grünlandprodukte wie Grünfutter, Grassilage und Heu. Vermarktungsfähige Futterfrüchte die als Kraftfutter verwendet werden wie zum Beispiel Weizen, Gerste, Körnermais, etc. werden als Marktfrüchte behandelt..

Des Weiteren wurde der Anteil (A) der einzelnen Viehhaltungszweige am Gesamtbedarf aus einer Nutzungsart bestimmt (5) und abgeleitet wie viel die einzelnen DBVHis (6) zum gesamten VENE einer Nutzungsart beitragen [VENE (N)](7).

$$A(VH_i)_j = \frac{NB(VH_i)_j}{NB(GB)_j} \quad (5)$$

$$DB(VH_i) = \left(\sum T_i \right) * DB_{(T_i)} \quad (6)$$

$$VE_{NE}(N_j) = \sum_{i=1}^n \left[A(VH_i)_j * \left(\frac{DB(VH_i)_j}{NB(VH)_j} \right) \right] \quad (7)$$

Der Gesamt-„Veredelungswert“ pro Hektar Futterfläche wurde berechnet, indem die einzelflächenspezifische Produktion von Nährstoffeinheiten pro Hektar mit den jeweilig individuellen, gewichteten VENE(N)s multipliziert wurden. Die Produktion von Nährstoffeinheiten pro Hektar (NEha) wurde auf Basis der einzelflächenspezifisch zugeordneten Ertragsfähigkeiten (wie im Kapitel 2.7.2 beschrieben) und unter Berücksichtigung der betriebsindividuellen Produktionsprozesse bestimmt. Nach Abzug der betriebsindividuellen einzelflächenspezifischen variablen Produktionskosten (Kha(N)) vom Gesamt-„Veredelungswert“ der jeweiligen Fläche (VENE(N)) wurde ein aus den zugrundeliegenden Viehhaltungszweigen abgeleiteter Futter-„Veredelungswert“ pro Hektar (VEDBVH) bestimmt, der mit dem Deckungsbeitrag der Marktfruchtproduktion (DBMF) vergleichbar ist (8).

$$VE_{DBVH}(N_j) = (NE_{ha}(N_j) * VE_{NE}(N_j)) - C_{ha}(N_j) \quad (8)$$

DBMF und VEDBVH dienen als Basiswerte zur flächenspezifischen Kalkulation von Einkommensverlusten die entstehen wenn die Nutzung der Flächen verändert wird. Die Höhe des Einkommensverlustes ist die Differenz zwischen den Deckungsbeiträgen /„Veredelungswerten“ die vor einer Nutzungsveränderung erzielt wurden und den Deckungsbeiträgen/„Veredelungswerten“ die nach einer Nutzungsänderung erzielbar sind. Einkommensverluste pro ha (EVha) können demnach definiert werden als (9):

$$EV_{ha}(N) = WS_N(t = 0) - WS_N(t = 1) \quad (9)$$

WS = Wertschöpfung ausgedrückt in DBMF bzw. VEDBVH, t(ime) : t=0 :Status quo, t = 1: nach Nutzungsänderung

Generell gilt, je höher DBMF bzw. VEDBVH sich in der Ausgangssituation darstellten, desto drastischer sind die Einkommenseffekte nach einer Nutzungsumstellung. Bezüglich der Einkommensverluste aus der Bewirtschaftung von Futterflächen ist im Allgemeinen zu erwarten, dass je intensiver bzw. extensiver sich die Nutzung darstellt desto höher bzw. niedriger ist auch deren Ertragsfähigkeit und die Futterqualität; gleichermaßen verändert sich auch der ökonomische Wert der Flächen, der über die Veredelung durch Raufutterfresser aus den Flächen (VEDBVH pro ha).

2.8 AP 2.8 Volkswirtschaftliche Analyse der landnutzungsszenarien für die jeweiligen Testgebiete (Federführung IÖW)

Das AP 2.8 umfasste die Arbeitsschritte Identifizierung von ökologischen Leistungen renaturierter Moore, sowie eine „soweit wie mögliche“ Quantifizierung dieser ökologischen Leistungen und sowie die Monetarisierung. Die Analyseschritte des IÖW sollten auf den Ergebnissen der Analyseschritte der naturwissenschaftlichen Arbeitsgruppen aufbauen.

Einführung

Klimaschutz durch alternative Moornutzungsstrategien oder Wiedervernässungen von Mooren zieht unterschiedliche volkswirtschaftliche Kosten und Nutzen nach sich. Auf die direkt durch Maßnahmen der Extensivierung oder Renaturierung hervorgerufenen ökonomischen Effekte ist eingegangen worden. Daneben wird durch solche Maßnahmen jedoch auch die Leistungsfähigkeit eines Mooregebietes zur Bereitstellung von sog. Ökosystemdienstleistungen beeinflusst. Dieser Begriff beschreibt Dienstleistungen eines Ökosystems, die von Menschen direkt oder indirekt genutzt werden können, wie die Filterung und Reinigung von Wasser, oder die Bereitstellung von nutzbaren Ressourcen. In der Umweltökonomie wird versucht, diesen durch die Natur erbrachten Dienstleistungen einen angemessenen ökonomischen Wert beizumessen. Im Rahmen der durch das IÖW im BMBF-Projekt durchgeführten volkswirtschaftlichen Betrachtung stellt der ökonomische Wert von Ökosystemdienstleistungen neben den direkten Kosten und Nutzen von Veränderungen des Wassermanagements einen wichtigen Faktor dar.

Ökosystemdienstleistungen sind definiert als Leistungen, die von der natürlichen Umwelt bereitgestellt werden, und von denen Menschen direkt oder indirekt profitieren. Ökosystemdienstleistungen tragen zu ökonomischem und sozialem Wohlstand bei, indem sie einerseits Einkommen generieren, und andererseits Störungen und Schäden verhindern, die wiederum gesellschaftliche Kosten verursachen könnten. Eine allgemein gültige, einheitliche Kategorisierung von Ökosystemdienstleistungen existiert nicht, obwohl die vom Millennium Ecosystem Assessment (MA 2005) vorgegebene Einteilung in „provisioning/regulating/cultural/supporting services“ grundsätzliche Akzeptanz findet. Dabei steht der Begriff (ecosystem) services grundsätzlich sowohl für Dienstleistungen im eigentlichen Sinne, als auch für Güter und Waren.

Zur monetären Bewertung der unterschiedlichen Ökosystemdienstleistungen stehen verschiedene ökonomische Bewertungsinstrumente zur Verfügung. Die Auswahl des passenden und je nach zu bewertender Dienstleistung variierenden Bewertungsinstruments erfolgt nach einer weiteren Untergliederung der Ökosystemdienstleistungen nach dem Konzept des ökonomischen Gesamtwertes (Total Economic Value – TEV) (vgl. Turner 1999). Danach werden ÖSD zunächst in nutzungsabhängige und nutzungsunabhängige Werte (use und non-use values) unterteilt. Nutzungsabhängige Werte gliedern sich weiterhin in direkte und indirekte Nutzungswerte sowie Optionswerte auf, während der nutzungsunabhängige Wert vor allem aus Existenz- und Vermächtniswert besteht.

Ökosystemdienstleistungen von Mooren

Feuchtgebiete im Allgemeinen, und Mooregebiete im Besonderen stellen eine Reihe von wichtigen Ökosystemdienstleistungen bereit (vgl. Barbier 1997; Schuyt 2004). Besonders relevant in deutschen Mooren sind dabei:

Speicherung von Kohlenstoff und organischen Verbindungen

- Hochwasserschutz
- Nährstoffretention
- Regulation des Mikroklimas
- Tourismus
- Biodiversität

Im Rahmen der Literaturanalyse wurde deutlich, dass die ökonomische Bewertung von Mooren und insbes. Moorfunktionen bislang fast nicht vorgenommen wurde. Ebenso hat sich erwiesen, dass der Beitrag der relevanten eher naturwissenschaftlichen Literatur zu den genannten Themenfeldern eher begrenzt ist und zudem die Ergebnisse (bspw. Regulierung des Mikroklimas) hochgradig regionspezifisch ist. Dies gilt auch für Analysen zu den Potenzialen des Moortourismus: Studien zum Moortourismus liegen kaum vor, die wenigen Darstellungen sind dabei im Wesentlichen qualitativer Art. Übertragungsansätze wie „benefit transfer“, die zumindest im Grundsatz eine relativ wenig aufwändige Übertragung ermöglichen könnten konnten nicht umgesetzt werden.

Eigene vertiefte Analysen konnten im Rahmen des Vorhabens für die Testgebiete für die Bereiche Hochwasserschutz, Nährstoffretention und Regulation des Mikroklimas nicht vorgenommen werden, da generell kaum Daten zur Verfügung stehen und speziell nicht für die betrachteten Regionen.

In der Folge wurden folgende Aspekte behandelt: die Schadens- bzw. Vermeidungskosten von Klimagasemissionen, die Bewertung des Moorschutzes auf der Basis einer Zahlungsbereitschaftsanalyse zur deutschen Biodiversitätsstrategie sowie die Erhebung der Wassermanagementkosten in den jeweiligen Testgebieten. Des Weiteren werden die Kosten des Wassermanagements analysiert, die sich ggf. bei einer Moorrenaturierung verändern und im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ebenso berücksichtigt werden müssen, wie bspw. die Opportunitätskosten der landwirtschaftlichen Nutzung.

Speicherung von Kohlenstoff und organischen Verbindungen

Die Emission von Klimagasen – in diesem Kontext besonders CO₂, Lachgas, Methan - war über lange Zeit „kostenfrei“. Durch die Identifizierung der Zusammenhänge zwischen der Emission von Klimagasen und dem Klimawandel konnten Abschätzungen darüber vorgenommen werden, welche Folgekosten mit der Emission von Klimagasen verbunden sind. Diese Folgekosten (Schadenskosten) können in der Folge auf die Emissionen umgelegt werden (€/tCO₂). Im Grundsatz müssten diese Kosten bei allen Aktivitäten einberechnet werden, die klimarelevante Gase freisetzen.

Die ökonomischen Zugänge zur Quantifizierung der Kosten von THG-Emissionen (bzw. zur Quantifizierung des Nutzens von Einsparungen) lassen sich grob vereinfacht in zumindest zwei bzw. drei Kategorien fassen: Der Ansatz der vermiedenen Schadenskosten beruht auf den ökologischen und sozialen Kosten von CO₂-Emissionen., während ein alternativer Zugang über die Vermeidungskosten von THG-Emissionen funktioniert. An dritter Stelle

schließlich steht die Nutzung der auf dem Zertifikatehandel beruhenden Marktpreise für CO₂e-Emissionen.

Der Schadenskostenansatz versucht die durch die Emissionen von Klimagasen verbundenen Schäden zu erfassen und zu bewerten⁹. Ganz generell gilt, dass die Schadenskosten mit sehr viel größeren Unsicherheiten behaftet sind als die Vermeidungskosten (zumindest kurzfristig). Diese stellen nämlich die Kosten dar, die erforderlich sind, um THG-Emissionen bspw. durch technische Maßnahmen zu vermeiden, und sind von daher aufgrund von Beispielen aus der Praxis gut abschätzbar, obwohl die Streuung der Werte enorm ist. Der Ansatz über die Marktpreise schließlich setzt voraus, dass ein Markt für THG-Emissionszertifikate o. ä. etabliert ist, der den Preis der einzelnen Tonne bestimmt. Die Preise hängen jedoch entscheidend vom Design des Marktsystems ab, u. a. davon, welche Minderungsziele vorgegeben wurden, und dementsprechend von der Knappheit von handelbaren Zertifikaten.

Bei dem aktuellen, politisch gesetzten „2-Grad-Ziel“ bis zum Jahre 2050 (bei gleichzeitiger globaler Gleichverteilung der Emissionen pro Kopf) sind die politischen Orientierungen vorgegeben, allerdings sind diese Ziele instrumentell in keiner Weise unterlegt. Die Vorgabe des Mengenzieles würde, je nach Ausgestaltung der Umweltpolitik, in der Folge zu entsprechenden Entwicklungen der (vermutlich massiv steigenden) THG-Preise führen. Da die Ausgestaltung jedoch noch vollkommen offen ist, können letztlich allein spekulative Aussagen über die Entwicklung der THG-Preise zum Jahr 2050 gemacht werden.

Als Nutzelement für die (klimaorientierte) Bewertung der Maßnahmen des Moorschutzes sollte eine Bandbreite von Werten genutzt werden, um damit Sensitivitätsrechnungen durchzuführen.

Unter den gegenwärtigen Bedingungen sollten alle Werte auf den Schadenskosten basieren und eine Bandbreite zwischen 25 Euro/t CO₂e und 350 Euro/t CO₂e errechnet wird. Im Zeitablauf sollten die höheren Werte als Orientierung dienen.

Die Vermeidungskosten erweisen sich gegenwärtig nur als begrenzt geeignet, da ein systematischer Vergleich derselben über die unterschiedlichen Sektoren hinweg nicht vorliegt. Gleichwohl können die durchschnittlichen Vermeidungskosten als Orientierung dienen.⁹ Da die Vermeidungskosten in starkem Maße abhängig sind von der Zielgrößen der THG Minderung werden diese ebenfalls mit großen Bandbreiten angegeben (0 Euro/t CO₂e und 100 Euro/t CO₂e)

Die aktuellen Marktpreise für CO₂ an der Börse (Zertifikatehandel) sind deutlich zu niedrig (ca. 15 Euro/t CO₂e), als dass sie in diesem Vorhaben genutzt werden sollten.¹⁰

Das Umweltbundesamt hat als Orientierungsgröße im Rahmen einer Methodenkonvention für Rentabilitätsberechnungen für Investitionsvorhaben der öffentlichen Hand 70 Euro/t CO₂e vorgeben. Diese Größenordnung könnte dementsprechend auch für die Bewertung der Minderungen der Klimagasemissionen durch Moorrenaturierung angesetzt werden.

⁹ De Bruyn et al (2010) verweisen darauf, dass die Differenzen zwischen Schadenskosten und Vermeidungskosten abnehmen und teilweise vergleichbar werden.

¹⁰ Die Aussage „zu niedrig“ bezieht sich im Wesentlichen darauf, dass nur ein Teil der Emissionen überhaupt erfasst wird und zudem die zu erreichenden Ziele eher niedrig sind.

Biodiversität

Biodiversität und ihr Schutz sind spätestens seit dem „Millennium Ecosystem Assessment Report“ (MEA 2005) der Vereinten Nationen als eine der großen und dringlichsten Umweltschutzherausforderungen des 21. Jahrhunderts anerkannt. Naturbelassene Moore sind aufgrund ihres geringen Vorkommens in Ländern mit intensiver Landwirtschaft und dichter Besiedelung, wie Deutschland, und wegen der hohen Zahl von in ihnen vorkommenden gefährdeten Pflanzen- und Tierarten in diesem Sinne ausgesprochen schützenswerte (und wertvolle) Ökosysteme. Durch die permanent herrschende Nährstoffarmut und hohe Grundwasserstände beherbergen naturnahe Moore eine Vielzahl ausgeprägter Spezialisten, die auf die spezifischen Lebensbedingungen naturnaher Moore in besonderem Maße angepasst und angewiesen sind – das bedeutet, dass Moore eine sehr spezielle Form von „Biodiversität“ beherbergen: hier lebt nicht eine große Vielzahl von Arten, sondern eine Gemeinschaft aus Tier- und Pflanzenarten, die so gut an die Umstände angepasst sind, dass sie in anderen Ökosystemen nicht überleben könnten (Succow/Joosten 2001; Vogel 2002).

Bewertung von Biodiversität im Rahmen der volkswirtschaftlichen Analyse des IÖW

Studien zur monetären Bewertung von Mooren (bspw. Zahlungsbereitschaftsanalysen) liegen kam vor. Moor ist in den identifizierten Studien allerdings kaum thematisiert, sodass der ursprünglich vorgesehene Benefit Transfer methodisch nicht durchzuführen gewesen ist. Stattdessen hat das IÖW eine parallel zum Projekt laufende Zahlungsbereitschaftsanalyse der TU Berlin (Meyerhoff et al. 2010) analysiert, und die Ergebnisse mit Hampicke et al. (1991) abgeglichen.

Zahlungsbereitschaft für Moorbiodiversität - Auswertung der Studien

Im Rahmen eines BfN-Forschungsvorhabens hat die TU Berlin parallel zum BMBF-Verbundprojekt eine auf den Schutz der Biodiversität in Deutschland ausgerichtete Zahlungsbereitschaftsanalyse durchgeführt¹¹. Konkret wurde darin die Zahlungsbereitschaft für die Umsetzung der Biodiversitätsstrategie der Bundesregierung untersucht. Aus der Strategie wurde das Mengengerüst abgeleitet, das neben Mooren auch andere für Deutschland repräsentative und wichtige Ökosystemtypen enthält: Wald, Kulturland, Gras- und Weideland, Überschwemmungsgebiete/Auen sowie Trockenstandorte. Das Mengengerüst für den Moorschutz beinhaltet bei einer Gesamtmoorfläche in Deutschland von 1,4 Mio. Hektar folgende Maßnahmen:

- Förderung der natürlichen Entwicklung in den intakten Mooren und nahezu intakten Moorwäldern auf 70 000 ha;
- Regeneration und Pflege von Feuchtheiden durch Beendigung der Entwässerung und Schafbeweidung auf 50 000 ha;
- Erhöhung der Wasserstände auf 20% der als Weiden genutzten Moorstandorten und 10% der forstlich genutzten Mooren (173 000 ha);
- Aufgabe der bisherigen landwirtschaftlichen Nutzung und Orientierung der weiteren Nutzung an Moorschutzzielen auf 11% der Moorflächen (150 000 ha).

¹¹ Meyerhoff, J.; Angeli, D.; Hartje, V. (2010): Social benefits of implementing a national strategy on biological diversity in Germany (i.E.).

Im Maßnahmenpaket sind also Maßnahmen unterschiedlicher Intensität und Eingriffstiefe aufgeführt, die sowohl in bisher nicht genutzten als auch genutzten Moorgebieten umgesetzt werden sollen. Die Ergebnisse der Zahlungsbereitschaftsanalyse können dabei sowohl als ZB für die jeweiligen Maßnahmen als Einzelprogramm – also: ZB für ein Moorschutzprogramm mit oben stehenden Maßnahmen – oder als Gesamtpaket – also: ZB für Maßnahmen in allen sechs Ökosystemen – interpretiert werden.

Für die alleinige Umsetzung des oben beschriebenen Moorschutzprogrammes wird nach der Untersuchung eine Zahlungsbereitschaft von 12,48 je Haushalt und Monat angegeben (Bandbreite 9,58 – 15,38 Euro). Würde also ein Moorschutzprogramm mit Fokus Natur- und Artenschutz alleinstehend durchgeführt, so können die erhobenen Zahlungsbereitschaften genutzt werden.

Die Zahlungsbereitschaft für das Gesamtpaket beträgt dagegen 19,24 Euro/HH/Monat – die Angaben, die für die alleinige Umsetzung des Moorprogramms gemacht wurden, erweisen sich im Licht dieses Ergebnisses als zu hoch. Wenn jedoch die Ergebnisse der individuellen Umsetzungen in Relation zueinander gestellt werden, und diese Relationen auf die Zahlungsbereitschaft für das Gesamtpaket übertragen werden, können die Anteile der einzelnen Schutzprogramm an der ZB für das Gesamtpaket ermittelt werden – diese wäre dann für das Moorschutzprogramm entsprechend geringer, und läge bei 3,3 Euro/HH/Monat. Also stellt diese Summe nach der Studie der TU Berlin die Untergrenze des potentiellen Existenz- und Vermächtniswertes von Moorbiodiversität in Deutschland dar.

Bezogen auf die Hektarfläche des Moorschutzprogrammes ergibt sich folgende jährliche Zahlungsbereitschaft:

Moorschutz als Teilprogramm: 3.555.- €/ha

Damit ist der Biodiversitätsnutzen beschrieben, der im Rahmen der volkswirtschaftlichen Analyse des Verbundprojektes genutzt werden kann. Die Zahlungsbereitschaft für den Moorschutz als Teilprogramm (3.555 Euro/ha/a) stellt dabei die Untergrenze des Existenz- und Vermächtniswertes von Moorbiodiversität in Deutschland gemäß der Studie von Meyerhoff et al. (2010) dar.

Die einzige Studie, die mit Meyerhoff et al. (2010) in etwa vergleichbar ist, und in der Moorschutz im Rahmen eines ähnlichen Maßnahmenbündels thematisiert wurde, ist die von Hampicke et al. (1991). Darin wurde in einer bundesweiten Erhebung die Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung für den Arten- und Biotopschutz ermittelt, die inflationsbereinigt (2% p.a.) bei etwa 16 Euro/HH/Monat liegt. Hampicke et al. ermittelten also bereits 1991 eine Zahlungsbereitschaft, die mit der von Meyerhoff et al. ermittelten ZB für das Gesamtpaket in Höhe von ca. 19 Euro durchaus vergleichbar ist.

Da im Rahmen des Verbundprojektes keine eindeutigen Mengenziele vorgegeben wurden, und ein flächenbezogenes Hochzonieren nicht angedacht ist, decken die ermittelten Werte die Nutzen der Maßnahmen in den Testgebieten in jedem Fall ab.

Moortourismus

Als besonders relevant wurden vom IÖW außerdem die Auswirkungen von Moorregenerationen auf das regionale Tourismusaufkommen und die damit verbundene gesteigerte regionale Wertschöpfung eingeschätzt. Das Potential für gesteigerten Natur- bzw. Moortourismus ist in den Testgebieten jedoch stark verschieden, sodass TG-spezifische Analysen des tou-

ristischen Potentials und den damit verbundenen ökonomischen Effekten durchgeführt wurden. Die Ergebnisse können dementsprechend keine konkreten Zahlen bzw. Hektarwerte liefern, sondern stellen eine Einschätzung des regionalen ökonomischen Potentials von Moortourismus dar.

Moore stellen einen einzigartigen Naturraum dar, der einer enormen Anzahl an Pflanzen- und Tierarten Lebensraum bietet. Sie sind außerdem wichtige CO₂-Speicher, so dass ihnen in der aktuellen Klimadebatte sowie im Umwelt- und Naturschutz ein hoher Stellenwert zukommt.

Maßnahmen zur Widervernässung und Renaturierung von Mooren stießen vielfach auf Ablehnung in den betroffenen Regionen, da eine wirtschaftliche Schwächung erwartet wurde. Die Maßnahmen schränkten Torfabbau und Landwirtschaft ein und vernichteten so traditionelle Arbeitsplätze und verringerten wirtschaftliche Umsätze. Doch wie auch bei anderen Schutzgebieten, z. B. Nationalparks, wuchs das Interesse für das Erleben der Umwelt und die Erholung, die ein solcher Naturraum bietet. In der Schweiz, wo der Moortourismus schon ein Stück weiter ist als in Deutschland, wirkten sich vor allem Image- und Sensibilisierungskampagnen positiv aus. Auch die Anerkennung einiger Moore als UNESCO-Biosphäre hob ihren Bekanntheitsgrad. Mit den Jahren konnte so auch die ansässige Bevölkerung von den positiven wirtschaftlichen Effekten des Moorschutzes überzeugt werden.

Mit dem Ziel die Schönheit und Vielfalt von Mooren zu vermitteln und so ihren Schutz zu garantieren, wuchs vor allem die Bedeutung des Tourismus in den Mooren. Auch im Tourismusmarketing gewinnen Moore zunehmend an Stellenwert, sie gelten als Beispiele für unberührte, unveränderte Landschaften. Marketingkonzepte legen ihren Schwerpunkt auf die landschaftliche Qualität und den Wert von Mooren als traditionelle Kulturlandschaften.

Während in der Schweiz bereits seit mehreren Jahren in einigen der größten Mooregebiete Tourismus praktiziert wird, ist der Moortourismus in Deutschland bislang noch eher unbekannt. So gibt es weder auf nationaler noch internationaler Ebene Studien zu den wirtschaftlichen Effekten des Moortourismus. Da der Moortourismus Schnittstellen mit mehreren anderen Tourismusarten aufweist, ist es schwierig ihn zahlenmäßig zu erfassen. Auf Grund der fehlenden empirischen Betrachtungen, muss an die Einordnung moortouristischer Angebote eher vorsichtig herangegangen werden. Letztendlich kann der Moortourismus als Teil des Nationalparktourismus, der wiederum dem Ökotourismus zugehörig ist, gesehen werden. Er umfasst aber auch Touristen, die Kulturtourismus betreiben und bedient außerdem mit seinen moorspezifischen Angeboten den Wellness-tourismus. Gerade für letztere Tourismusform ist eine bereits vorhandene Tourismusinfrastruktur vor Ort unerlässlich.

Da dementsprechend auch das Potential für gesteigerten Natur- bzw. Moortourismus in den Testgebieten stark verschieden ist, wurden TG-spezifische Analysen des touristischen Potentials und den damit verbundenen ökonomischen Effekten realisiert. Hierzu wurden Befragungen der jeweiligen Verantwortlichen in den Testgebieten durchgeführt und anschließend bezüglich des touristischen Potenzials ausgewertet. Die Ergebnisse können letztendlich kaum konkrete Zahlen bzw. Hektarwerte liefern, sondern stellen eine Einschätzung des regionalen ökonomischen Potentials von Moortourismus dar.

Wie Studien zum Tourismus in Nationalparks zeigen, generiert der Ökotourismus in Schutzgebieten positive wirtschaftliche Effekte. Während es hierzu konkrete Daten gibt, liegen zu den ökonomischen Effekten des Tourismus in Mooren bislang keine Studien vor. Das Goldenstedter Moor zeigt eine beispielhafte Entwicklung des Moor- und Naturschutzes sowie der moortouristischen Nutzung in Deutschland. Diese Erfahrungen wurden hier zu Grunde

gelegt. Im Schutzgebiet wurde bei kaum vorhandener regionaler Infrastruktur die Nutzung durch den Tourismus eingeleitet. Auf Grund dessen wurde das Moor bei Goldenstedt als Fallbeispiel ausgewählt.

Die Analyse der Testgebiete ergab, dass die Ausgangssituation in den Testgebieten sich sehr unterschiedlich darstellt.

TG 1: Ahlen-Falkenberger Moor im Landkreis Cuxhaven in Niedersachsen

Das Ahlen-Falkenberger Moor ist das größte Moor des Landkreises Cuxhaven. Trotz des intensiven Torfabbaus und der Trockenlegung zu Besiedlungs- sowie landwirtschaftlichen Zwecken sind einige natürliche Hochmoorflächen erhalten geblieben. Der Torfabbau wurde mittlerweile eingestellt und in den 80er Jahren wurden im Rahmen des Niedersächsischen MSP Renaturierungsmaßnahmen begonnen.

Das Angebot im Ahlen-Falkenberger Moor umfasst ein Moorinformationszentrum, das MoorIZ mit der Gastronomie Torfwerk, verschiedenen Erlebnisangebote ähnlich denen im Goldenstedter Moor sowie eine Therme. Die zugehörige Gemeinde Bad Bederkesa konnte in den letzten Jahren ca. 330.000 Übernachtungsgäste jährlich (Angabe von 2005) verzeichnen. Eine Zuordnung der Bedeutung des Moors für den Tourismus ist allerdings kaum möglich.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Landkreis Cuxhaven die Moorlandschaft eine wichtige Rolle für den Tourismus spielt wobei die verschiedenen Möglichkeiten des Moores Natur, Kultur und Wellness zum Tragen kommen. Eine deutliche Entwicklung des Tourismus ist möglich insbesondere auch vor dem Hintergrund des Bädertourismus in Niedersachsen.

TG 2: Dümmer im Landkreis Diepholz, Osnabrück und Vechta in Niedersachsen

Das Ochsenmoor im Dümmer ist touristisch sehr gut erschlossen, allerdings handelt es sich hierbei hauptsächlich um Sport- und Outdoor-Tourismus; Highlight ist der Wassersport auf dem Dümmer See.

Trotzdem ist auch der Moortourismus im Dümmer nicht zu unterschätzen, immerhin besuchen fast 10% der Tagesgäste die Moorlandschaft. Wobei hier nicht genau erfassbar ist, welche dieser Touristen tatsächlich das Dümmer Ochsenmoor und welche eher angrenzende Moore besuchen.

Der Dümmer bietet keine konkreten moorspezifischen Angebote, allerdings werben Region und Tourismusverbände mit dem Moorerlebnis. Die Angebote im Testgebiet sind eher allgemein dem Erleben von Natur zuzuordnen statt einen konkreten Fokus auf das Moor zu legen, so bietet das Ochsenmoor die Naturschutzstation Dümmer, Natur-Erlebnispfade, Aussichtstürme, Naturexkursionen und Führungen sowie Rad- und Wanderwege.

TG 3: Peenetal im Landkreis Ostvorpommern und Demmin in Mecklenburg-Vorpommern

Bislang findet keinerlei touristische Nutzung des Testgebietes statt. Es existieren auch keine moorspezifischen Angebote.

TG 4: Paulinenaue im Landkreis Havelland in Brandenburg

In Paulinenaue findet regelmäßig und auch recht ausgeprägt Tourismus statt. Allerdings kommen die Besucher fast ausschließlich um die große Anzahl an Kranichen in der Region zu beobachten. Zudem liegen die wichtigsten Gebiete zur Kranichbeobachtung nicht direkt im Testgebiet, dementsprechend ist keine Abgrenzung der beiden Tourismusarten notwen-

dig und es kann festgestellt werden, dass sich der Tourismus in der Region um Paulinenaue bislang auf den Kranichtourismus beschränkt.

TG 5: Freisinger Moos im Landkreis Freising in Bayern

Die Region um Freising verzeichnet zwar auf Grund der Lage des Münchner Flughafens relativ viel Tourismus, jedoch handelt es sich hierbei zumeist um Transittourismus. Es existieren keinerlei moorspezifische Angebote.

TG 6: Mooseuracher Moore im Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen in Bayern

Bislang findet keinerlei touristische Nutzung des Testgebietes statt. Es existieren auch keinerlei moorspezifische Angebote.

Ergebnisse der Betrachtung

Ein Großteil der Testgebiete (TG 3 bis 6) wird bislang nicht durch den Tourismus genutzt. Auch hat noch keine Interessensbildung in Richtung einer moorspezifischen touristischen Nutzung der Gebiete stattgefunden. Auf Grund dessen werden die o. g. Testgebiete bei dieser Analyse nicht näher betrachtet. Beispielhaft für die Testgebiete 1 und 2 zeigt das Goldenstedter Moor die positiven Effekte des Tourismus im Prozess des Schutzes und der Renaturierung von Mooren. nach aktuellem Fortschritt von Renaturierungsmaßnahmen und Tourismusaktivität variierend, auf sämtliche Testgebiete angewendet werden.

Der Tourismus im Landkreis Vechta konnte in den vergangenen Jahren eine stetige Zunahme verzeichnen; kamen in 2005 nur 93.967 Besucher in die Region, waren es im Jahre 2009 schon 111.064. Auch die Übernachtungen sind im gleichen Zeitraum von 180.120 auf 255.861 gestiegen (Oldenburgische IHK 2009/2010). Bei Betrachten der Zahlen von 2009, wird die Bedeutung des Moortourismus für den Tourismus in der Region deutlich: Mindestens ein Viertel aller Besucher kamen wegen des Goldenstedter Moors. Schließlich hat das NIZ allein 25.000 Besucher anhand der Voranmeldungen registriert, darüber hinaus gibt es aber noch viele weitere unangemeldete Besucher, wie zum Beispiel Radtouristen, die sich spontan entschließen hier einen Stopp einzulegen.

Dementsprechend ist auch bezüglich der Tourismusintensität eine Zunahme festzustellen, zu der u. a. die positive Entwicklung des Moortourismus beigetragen hat. Mit 134.838 Einwohnern und 255.861 Übernachtungen im Jahre 2009, weist der Landkreis Vechta eine Tourismusintensität von 1.898 Gästeübernachtungen/1000 Einwohner auf. Im Jahre 2005 lag die Tourismusintensität bei nur 1.352 mit zwar 133.196 Einwohnern aber nur 180.120 Übernachtungen.

Zur Errechnung der Wertschöpfung des Tourismus wird nun die Anzahl der Tages- bzw. Nächtigungstouristen mit ihren durchschnittlichen Tagesausgaben multipliziert. Dazu werden die Angaben des NIZ zu den durchschnittlichen Ausgaben eines Erwachsenen im Moor verwendet, entsprechend liegen die durchschnittlichen Tagesausgaben bei 7,00 Euro.

Zur Berechnung der Umsätze, die direkt der Region zufließen, werden o. g. Tagesausgaben mit den durchschnittlichen Ausgaben eines Nationalparkbesuchers verglichen. Motivation und Verhalten des Moortouristen können in hohem Maße von dem eines Nationalparktouristen abgeleitet werden. Zur Errechnung werden Daten aus der 2009 erschienen Studie „Regionalökonomische Effekte des Tourismus in deutschen Nationalparks“ von Job et al. verwendet. Die Studie betrachtet nicht nur die Ausgaben des Touristen innerhalb der Schutzgebiete, sondern summiert alle Ausgaben, die er in der Region tätigt. Die Tagesausgaben insgesamt verteilen sich auf das Gastgewerbe, den Einzelhandel und die Inanspruchnahme von

Dienstleistungen. Die Studie besagt, dass ein Tagestourist durchschnittlich 12,81 Euro ausgibt während ein Übernachtungstourist 50,11 Euro pro Kopf und Tag in der Region lässt.

Dementsprechend stellt die Differenz zwischen den in der Studie erarbeiteten Tagesausgaben eines Nationalparkbesuchers und den o. g. durchschnittlichen Tagesausgaben der Besucher im Goldenstedter Moores multipliziert mit der jeweiligen Anzahl an Tages- bzw. Nächtigungstouristen die direkten regionalen Umsätze (außerhalb des Schutzgebiets) dar.

Eine entscheidende Voraussetzung für die moortouristische Entwicklung ist die Renaturierung der jeweiligen Moorgebiete. Und zwar muss diese, wie die Erfahrungen in den bereits touristisch genutzten Testgebieten zeigen, vorher einsetzen. Zwar müssen Renaturierungsprozesse nicht abgeschlossen sein, aber ein gewisser Anteil der Moorlandschaft sollte zumindest bereits im Prozess der Renaturierung sein. Schließlich erhält das Moor nur durch Wiedervernässung wieder sein ursprüngliches Aussehen. Die abgetorften und trockengelegten Moore gleichen eher einfachen Wiesen und Heidelandschaften, und stellen so keinen besonderen Reiz für den Touristen dar.

Auch ist an Hand der Betrachtung der verschiedenen Gebiete deutlich geworden, dass die Renaturierung meist schon gute 10-20 Jahre im Gange war bevor man sich zu einer touristischen Nutzung entschloss. Hiermit erklärt sich warum in den Testgebieten 3 bis 6 bislang kein Moortourismus stattfindet: der Renaturierungsprozess ist noch so jung, dass bis dato über keine Nutzung der entsprechenden Moore nachgedacht worden ist.

Landnutzungsbezogenes Wassermanagement bei Moorrenaturierungen

Klimaschutz durch Renaturierung von landwirtschaftlich genutzten Moorflächen ist mit variierenden Kosten und Nutzen verbunden. Effektive Rückhaltung klimaschädlicher Emissionen sowie die Regeneration des Moorkörpers und Reaktivierung der Speicherfunktion erfordern neben Veränderungen in der landwirtschaftlichen Nutzungsstruktur zumeist eine Umstellung des landnutzungsbezogenen Wassermanagements.

Wassermanagement in landwirtschaftlich genutzten Mooren bedeutet zumeist „Entwässerung“. Durch die Pflege und Wartung der für die Entwässerung eingesetzten Infrastrukturen und Maschinen entstehen Kosten, die entfallen, nachdem durch eine, wiederum finanzielle Belastungen verursachende Renaturierung diese Entwässerung eingestellt werden kann. Gleichzeitig können aber neue Kosten entstehen, zum Beispiel wenn Flächen im Rahmen des jeweiligen Schutzkonzeptes frei von Büschen und Bäumen gehalten, oder Wasserstände auf eine bestimmte Höhe geregelt werden müssen.

Vor diesem Hintergrund analysierte das IÖW die volkswirtschaftlichen Nutzen und Kosten, die bei der Umstellung des landnutzungsbezogenen Wassermanagements oder einer Wiedervernässung entstehen („Wassermanagementkosten“). Diese stellen einen Baustein der volkswirtschaftlichen Analyse dar, und werden im Rahmen der gesamtwirtschaftlichen Analyse mit den Ergebnissen der betriebswirtschaftlichen Untersuchung zu einer gesamtwirtschaftlichen Bewertung der Kosten und Nutzen von „Klimaschutz durch Moorschutz“ zusammengefasst.

Die Ermittlung der Kosten und Nutzen, die mit einer Veränderung des landnutzungsbezogenen Wassermanagements einhergehen, wurde am IÖW in drei Arbeitsschritten vollzogen:

Schritt 1: Analyse des institutionellen Rahmens von Wassermanagement in Deutschland, mit besonderem Fokus auf das Entwässerungsmanagement in Moorgebieten

Schritt 2: Definition und Abgrenzung der zu analysierenden Kosten

Schritt 3: Testgebiets-spezifische Analyse des institutionellen Rahmens des Wassermanagements, sowie Erhebung der o. g. Kosten und ihrer Strukturen (Mengen- und Preisgerüste)

Definition und Abgrenzung der zu analysierenden Kosten

Basierend auf der vorhergegangenen institutionellen Analyse des Wassermanagements in Mooregebieten, sind im zweiten Arbeitsschritt die mit einer Wiedervernässung einhergehenden und in diesem Projektrahmen zu untersuchenden Kosten definiert worden:

- Laufende Kosten des momentanen Wassermanagements durch Pflege und Unterhaltung der wasserwirtschaftlichen Anlagen in den Testgebieten
- Veränderung dieser laufenden Kosten bei der Durchführung von Wiedervernässungsprojekten in den Testgebieten, durch ausbleibende bzw. zusätzliche Pflege- und Unterhaltungsarbeiten
- Investitionskosten, die bei Wiedervernässungen durch Rückbau der wasserwirtschaftlichen Anlagen entstehen
- Potentielle Schadenskosten bei Wiedervernässung der Testgebiete, durch geschädigte Infrastrukturen
- Entstehende Pflegekosten

Kosten des gegenwärtigen Wassermanagements

Die Kosten des gegenwärtigen Wassermanagements umfassen die finanziellen Belastungen, die die Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Entwässerung nach sich ziehen. Dazu zählen die Offenhaltung von Gräben und Drainagen, der Betrieb von Schöpfwerken (Elektrizität, Wartung), die Unterhaltung von weiteren wasserbaulichen Anlagen (Wehre, Staustufen etc.).

Diese Kosten erschließen sich aus den Flächenbeiträgen an die zuständigen Unterhaltungsverbände, zuzüglich möglicher Förderungen durch das jeweilige Bundesland. Da Unterhaltungsverbände grundsätzlich kostendeckend wirtschaften, geben die Mitgliedsbeiträge die entstehenden Entwässerungskosten sehr gut wider. Durch heterogene Gebietsstrukturen können dabei allerdings Verzerrungen auftreten, da der Mitgliedsbeitrag nicht zwischen Flächen, die aufwändiger entwässert werden müssen, und anderen, weniger aufwändig zu bewirtschaftenden Flächen, differenziert. Diesem Umstand wurde durch eine genaue Analyse und Trennung der Mitgliedsbeiträge versucht beizukommen.

Veränderung der Wassermanagementkosten bei Wiedervernässung

Die Veränderung der Wassermanagementkosten bei Wiedervernässung umfasst die ausbleibenden bzw. zusätzlichen Kosten Pflege- und Offenhaltungsmaßnahmen, die anfallen, wenn der Wasserhaushalt des Gebietes verändert werden soll, also im Falle einer vollständigen oder teilweisen Moorregeneration.

In den überwiegenden Fällen ist bei einer Wiedervernässung durch die Einstellung der Entwässerung mit dem Wegfall der Aufwendungen zu rechnen, eine Renaturierung kann allerdings auch einen gleichbleibenden oder sogar erhöhten Bedarf an Wassermanagement-

maßnahmen (und somit Kosten) nach sich ziehen. Dies ist in zwei Testgebieten der Fall, jeweils bedingt durch die komplizierte hydrologische Situation.

Maßnahmenkosten bei Wiedervernässung

Die Maßnahmenkosten bei Wiedervernässung beschreiben die Investitionskosten, die bei einer Renaturierung einmalig anfallen. Diese entstehen, wenn der Wasserhaushalt des Gebietes verändert werden soll, also im Falle einer vollständigen oder teilweisen Moorregeneration, und beinhalten das Verschließen von Entwässerungsgräben, das Entfernen von Drainagen, den Rückbau wassertechnischer Anlagen sowie Sondermaßnahmen wie z. B. eine Abtragung des Oberbodens, Grundwasseraufschlüsse etc.

Zur Ermittlung der Maßnahmenkosten bei Wiedervernässung sind zum einen die bereits im Testgebiet durchgeführte Renaturierungsmaßnahmen betrachtet und ausgewertet worden. Solche ex-post Betrachtungen boten durch verfügbare Dokumentationen der Wiedervernässungsmaßnahmen (Buchführungsunterlagen, Abrechnungen, Evaluierungsbögen etc.) die Möglichkeit, deren Kosten teilweise explizit zu bestimmen und einzelnen Maßnahmen zuzuordnen. Diese Einsichten lieferten wiederum wertvolle Erkenntnisse im Hinblick auf Mengen- und Preisgerüste weiterer Wiedervernässungen im Testgebiet.

Zum anderen wurden Möglichkeiten und Kosten zukünftiger Renaturierungsvorhaben abgeschätzt (ex-ante Betrachtung). Dabei wurde auf existierende Planungen und Planungsdokumente zurückgegriffen, aber auch auf die Erkenntnisse der ex-post Betrachtungen und die Einschätzung der lokalen Experten. So konnte pro Testgebiet ein Maßnahmenbündel entworfen werden, um auch ohne Modellierung zu zuverlässigen Projektionen über die Kosten und hydrologischen Auswirkungen einer weiteren Renaturierung des Testgebiets zu gelangen. Diese Ergebnisse bilden weiterhin die Grundlage über die Identifizierung von betroffenen Infrastrukturen und die Abschätzung entstehender Schadenskosten (siehe unten).

Investitionskosten, die ausschließlich der Verhinderung potentieller Schäden dienen, werden der Kategorie „Schadenskosten“ zugeordnet.

Potentielle Schadenskosten bei Wiedervernässung

Potentielle Schadenskosten bei Wiedervernässung fallen an, wenn es in Folge von Renaturierungsmaßnahmen zu Schäden an Gebäuden oder anderer Infrastruktur kommt. Unter Schadenskosten fallen auch diejenigen Investitionskosten, die explizit der Vermeidung solcher Schäden dienen. Da solche Schäden an eine Anhebung des Wasserstandes gekoppelt sind, entstehen sie erst bei einer dauerhaften Veränderung des Wasserregimes. Im laufenden Forschungsprojekt bedeutet dies im Hinblick auf die entwickelten Szenarien, dass Schadenskosten potentiell erst beim Übergang von der Nutzungsstufe „Grünland extensiv trocken“ zu den Nutzungsstufen „Grünland extensiv nass/Naturnah/Überstau“ eintreten können.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass großflächige Anpassungsmaßnahmen zur Abwendung von Schäden (wie z. B. neu angelegte Entwässerungsgräben an Straßenrändern oder Grundstücksgrenzen, Pumpanlagen etc.) zumeist den Zielen des Renaturierungsvorhabens entgegenstehen. Es ist bei den ex-ante Betrachtungen dementsprechend immer mit tatsächlich eintretenden Schadenskosten kalkuliert worden. Anpassungsmaßnahmen wurden diskutiert, aber nicht berücksichtigt.

Die Einschätzung, welche Flächen und Infrastrukturen im Testgebiet bzw. an dessen Grenzen durch eine Wiedervernässung betroffen würden, erfolgte anhand der Abschätzung der

Folgen der abgestimmten Maßnahmenbündel auf die Wasserstände. Weiterhin sind diese Abschätzungen vor Ort anhand von Geländehöhen und topographischer Lage der Testgebiete mit anderen Experten diskutiert und validiert worden. Die Einschätzungen der Betroffenheiten waren in fünf Testgebieten aufgrund der klaren hydrologischen Ausgangssituationen unkompliziert vorzunehmen, für den Ausnahmefall Paulinenaue wurde zusätzliches hydrologisches Expertenwissen eingeholt, und ein vorsichtiges Szenario entwickelt.

Pflegekosten

Unter Pflegekosten werden schließlich Kosten verstanden, die durch das aktive Beeinflussen der Flora auf wiedervernässten Flächen entstehen. Dieses geschieht im Sinne bestimmter Renaturierungs- oder naturschutzfachlicher Ziele. Meist handelt es sich um Maßnahmen der Offenhaltung bzw. Entbuschung.

Diese Kosten sind über eine persönliche wie telefonische Befragung von Landwirten und Landschaftspflegeverbänden ermittelt worden. Im Projektverlauf sind jedoch an anderer Stelle ebenfalls Kosten von Pflegemaßnahmen auf bewirtschafteten Flächen erhoben und in die Deckungsbeiträge der einzelnen Nutzungsformen integriert worden. Da die weiteren, in den Szenarien betrachteten Nutzungsarten „Naturnah/Klimaoptimiert“ und „Überstau“ keiner Offenhaltung bedürfen, und dementsprechend keine Pflegekosten nach sich ziehen, sind die in diesem Arbeitspaket ermittelten Pflegekosten in den weiteren Projektverlauf nicht mehr eingeflossen.

In dieser zusammenfassenden Darstellung werden allein die Ergebnisse der Analysen für die einzelnen Testgebiete als Tab. (s. Tab. 21) dargestellt. Die ausführliche Darstellung findet sich in der Langfassung des IÖW Berichtes.

	Ahlen-Falkenberger Moor	Dümmer	Peenetal	Paulinenaue	Freisinger Moos	Moosetrach
Wassermanagement status quo: Mengengerüst	49,7 km Gräben; Drainagen (in Eigenregie verlegt); 1 Pumpwerk	Offenhaltung und Pflege des Grabennetzes (ca. 200 km)	Offenhaltung und Pflege von Gräben (58 km); Betrieb von 10 Stahlstauen und zwei Schiebern; Betrieb des Schöpfwerks Aalbude; Pflege von Deichen (8 km)	Offenhaltung und Pflege von Entwässerungsgräben (90 km); Betrieb eines Pumpwerkes	Offenhaltung und Pflege von Gräben (77 km)	Offenhaltung und Pflege der Drainagen, Gräben und Wehre (Eigenregie)
Wassermanagement status quo: Preisgerüst	40,6 Euro/ha/a 33,8 Euro/ha/a für Ödland	28 Euro/ha/a	24 Euro/ha/a	11 Euro/ha/a	5 Euro/ha/a	38,1 Euro/ha/a
Wassermanagement nach Renaturierung: Mengengerüst	Pflege/Offenhaltung des Moorrandgrabens (Gewässer II. Ordnung)	-	-	Pumpaufwand; Pflege der Verwallungen und Sohlschwellen	Pflege und Offenhaltung der Gräben, Wehre und Becken	Austausch von Holzwehren (Lebensdauer 10-20 Jahre)
Wassermanagement nach Renaturierung: Preisgerüst	13,8 Euro/ha/a für Ödland 20,6 Euro/ha/a für bewirtschaftetes Land	-	-	11 Euro/ha/a	20,1 Euro/ha/a	vernachlässigbar

Tab. 21 (I): Mengen- und Preisgerüste des Wassermanagements in den Testgebieten

	Ahlen-Falkenberger Moor	Dümmer	Peenetal	Paulinaue	Freisinger Moos	Mooseurach
<p>Ex post Betrachtung: Mengengerüst</p>	<p>Anlage von Verwallungen mit Überläufen (ca. 15 km) sowie Setzen von mehreren Spundwänden/Stauplatten; Entfernung von Drainagen</p>	<p>Einbau von ca. 50 einstellbaren Wehren; Anlage eines Fanggrabens um das Renaturierungsgebiet; weitere Anlage von Gräben; Bau einer Windpumpe, sowie von drei herkömmlichen Pumpen</p>	<p>Rückbau von drei Schöpfwerken und 10 Stauschächten; Öffnung von 16 Rohrdurchlässen; Rückbau von 230 m Plattenweg; Arbeiten am Grabensystem (ca. 4 km); Schlitzzung der Verwallung auf 500m Länge; Erhaltung des Deiches und Einbau von 3 Sielen</p>	<p>Bisher keine Renaturierung stattgefunden</p>	<p>Maßnahme 1: Zerstörung von Drainagen und Verfüllung von Gräben; Abtragung des Oberbodens Maßnahme 2: Zerstörung von Drainagen und Verfüllung von Gräben; Abtragung des Oberbodens; Bau von Wehren und einer Fischtreppe</p>	<p>Maßnahme 1: Unterbrechung von Drainagen; Verfüllung von Gräben, Abtragung des Oberbodens (0,5 ha); zwei holzverstärkte Wehre Maßnahme 2: Unterbrechung von Drainagen; Verfüllung von Gräben, Abtragung des Oberbodens (0,2 ha) Maßnahme 3: Bau von Torf- und Holzwehren; Verminderung des Baumbestandes</p>
<p>Ex post Betrachtung: Preisgerüst</p>	<p>862 Euro/ha</p>	<p>800 Euro/ha/a</p>	<p>582 Euro/ha</p>	<p>-</p>	<p>Maßnahme 1: 6250 Euro/ha Maßnahme 2: 15 000 Euro/ha</p>	<p>Maßnahme 1: 2643 Euro/ha Maßnahme 2: 1000 Euro/ha Maßnahme 3: 650 Euro/ha</p>

Tab. 21 (II): Mengen- und Preisgerüste des Wassermanagements in den Testgebieten

	Ahlen-Falkenberger Moor	Dümmer	Peenetal	Paulinenaue	Freisinger Moos	Moosetrach
Ex ante Betrachtung: Mengengerüst	Verwallungen in ähnlicher Dichte wie in vorherigen Renaturierungen; Verschluss von Gräben; Anlage eines das Moor umschließenden Fanggrabens (ca. 30 km)*	Ähnliche Maßnahmendichte und -art wie bei vorheriger Renaturierung	Keine weitere Renaturierung möglich	Dicht gestaffelte Querwällen/ Terrassierungen und Einbau von Sohlschwellen; Infrastruktur zum Pumpen des Wassers aus dem Großen Havelländischen Hauptkanal	Einbau von Wehren (ca. 140 Stück); Verfüllung von Gräben (4,2 km); Bau von sechs Sedimentationsbecken und fünf Grundwasseraufbrüchen Bau mehrerer Fischtreppe	Unterbrechung von Drainagen; Verfüllung von Gräben; Bau von Torf- und Holzwehren
Ex ante Betrachtung: Preisgerüst	862 Euro/ha	800 Euro/ha/a	-	6060 Euro/ha	606 Euro/ha/a	1000 Euro/ha
Schadenskosten: Mengengerüst	Aufgabe von sechs sich innerhalb des TG befindlichen Höfen (ca. 15 ha Mischfläche)	Aufgabe von 1,6 ha Gewerbefläche Investitionskosten K 322 Instandhaltungskosten L 853	Erhöhung und Sicherung von Zufahrtswegen (3,5 km)	Keine Schäden zu erwarten	Neubau von 5 km Gemeindeverbindungsstraßen (Pulling-Vötting und Pulling-Sünzhausen)	Teilweiser Neubau und Anpassung einer Gemeindeverbindungsstraße (2 km)
Schadenskosten: Preisgerüst	8,7 Mio. Euro	ca. 1 Mio. Euro 5,5 Mio. Euro 5000 Euro/a	365 000 Euro	Keine Schadenskosten zu erwarten	5 Mio. Euro	2 Mio. Euro

Tab. 21 (III): Mengen- und Preisgerüste des Wassermanagements in den Testgebieten

Fazit Wassermanagementkosten

Das IÖW im Projektverlauf in sechs sehr heterogenen Testgebieten in unterschiedlichen Naturräumen Deutschlands die mit einer Moorrenaturierung einhergehenden Kosten und Nutzen ermittelt. Die Testgebiete stehen dabei beispielhaft für einen bestimmten Moortyp und jeweils spezifische Natur- und Nutzungsbedingungen. Jedes einzelne Testgebiet stellt also einen Einzelfall mit speziellen, die Kosten von Wassermanagement beeinflussenden Bedingungen dar, sodass sich die Ergebnisse nicht direkt auf andere Mooregebiete in Deutschland übertragen werden können. Dementsprechend zeigen sowohl die laufenden, zur Unterhaltung der Entwässerungsanlagen anfallenden Kosten, als auch die Investitionskosten, die zur Realisierung von Wiedervernässungsmaßnahmen aufgebracht werden müssen, Bandbreiten von möglichen Kosten auf.

Nichtsdestotrotz gibt es Hinweise auf Faktoren, die die Kosten von Wassermanagement in Mooregebieten zum einen, sowie die Kosten von Renaturierungsvorhaben zum anderen, in immer gleicher Weise beeinflussen. Die Beispiele aus den Testgebieten zeigen folgende Zusammenhänge zwischen gebietsspezifischen Eigenschaften und den Wassermanagement- und Renaturierungskosten auf:

- Relief: je höher das Gefälle und je stärker das Gebiet intern reliefiert ist, desto höher sind Aufwand und Kosten bei einer Renaturierung, da eine erhöhte Dichte von Verwallungen/Terrassierungen notwendig werden, um einen gleichmäßigen Wasserstand herbeizuführen.
- Entwässerungssystem: Je dichter das Grabennetz angelegt ist, desto höher sind Aufwand und Kosten im laufenden Betrieb und bei einer Renaturierung.
- Entwässerungssystem: Das Vorhandensein von Drainagen wirkt sich ebenfalls Kosten steigernd aus, da Drainagen aufwändig zu warten und auch zu entfernen sind.
- Wasserverfügbarkeit: Ist Wasser nicht in ausreichender Menge im Gebiet vorhanden, muss dieses entweder herangeführt oder –gepumpt, oder der Oberboden soweit abgetragen werden, dass das Grundwasser erreicht wird. Beide Maßnahmen wirken sich stark Kosten steigernd aus, insbesondere die Oberbodenbehandlung. Wasserknappheit kann außerdem eine Reihe von Kosten treibenden Sondermaßnahmen, wie Grundwasseraufschlüsse, notwendig machen.
- Wasserverfügbarkeit: Befindet sich das Mooregebiet unter dem Wasserspiegel umliegender Gewässer, ist es unter Umständen ausreichend, entsprechende Schutzbauten (bspw. Deiche) zu öffnen. Eine solche Maßnahme ist sehr günstig, allerdings nicht zur Einstellung bestimmter Zielwasserstände geeignet.

Auch wenn diese Angaben keine exakte Kostenabschätzung erlauben, so sollten sie doch in Verbindung mit existierenden Leitfäden zur Nieder- bzw. Hochmoorrenaturierung ausreichend Anhaltspunkte liefern, um den notwendigen Aufwand eines Renaturierungsvorhabens grob einzuschätzen. Anhand eines Vergleichs der spezifischen Gegebenheiten können somit Kosten- und Aufwandsschätzungen von Wiedervernässungen vorgenommen werden.

Fazit:

Die Zusammenstellung hat deutlich gemacht, dass die mit einer Moorrenaturierung verbundenen Effekte auf die Minderung der Treibhausgasemissionen und im Hinblick auf die Biodiversität bewertet werden können über die Testgebiete hinweg bewertet werden können. Die Chancen des Moortourismus können jeweils nur im Einzelfall abgeschätzt werden und es muss im Blick behalten werden, dass die Entwicklung entsprechender Tourismuskonzepte und deren Umsetzung einen erheblichen zeitlichen Vorlauf benötigt. Hinsichtlich der Nutzen und Kosten eines veränderten Wassermanagements lassen sich über die Analyse der Ergebnisse der Testgebiete hinaus grobe Orientierungen ableiten, die aber in jedem Fall in den jeweiligen regionalen Kontexten angepasst werden müssen.

2.9 AP 2.9: Gesamtwirtschaftliche Bewertung der Landnutzungs-szenarien (gemeinsame Federführung TUM-WDL mit IÖW):

Um die gesamtwirtschaftlichen Effekte der aufgestellten Szenarien klimaschonender Moorbewirtschaftung zu quantifizieren wurden im Rahmen des Arbeitspaketes 2.9 die betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Wirkungen zusammengeführt. Von Seiten TUM-WDLs wurden hier die betriebs- und flächenspezifischen Einkommensverluste der Landwirtschaft unter den Bedingungen der einzelnen Umnutzungsszenarien für die einzelnen Testgebiete ausgewiesen. Zudem führte TUM WDL im AP 2.9 eine Analyse der Umsetzungspotenziale durch, welche über die ökonomischen Effekte hinausgehende Kriterien zur Umsetzung (hemmende und fördernde Faktoren) erfasste und bewertete (mehr-kriterielle Analyse). Hierbei wurden insbesondere der Blick von Stakeholdern und Experten (vgl. Kapitel 2.7 und 2.10) sowie die qualitativen Ergebnisse der Betriebsbefragungen berücksichtigt und quantifiziert.

Teilbeitrag TUM WDL: Ausweisung der testgebietsspezifischen Einkommensverluste

Auf Basis der Ergebnisse des Arbeitspaketes 2.7 wurden im Arbeitspaket 2.9 die testgebietsspezifischen Einkommensverluste der Landwirtschaft ausgewiesen. Hierzu quantifizierte TUM WDL die betriebs- und flächenspezifische landwirtschaftliche Wertschöpfung (Deckungsbeiträge / Veredelungswerte der Landnutzung) der verschiedenen Landnutzungsverfahren. Die Analyse zeigt, dass mit den unterschiedlichen zugrundeliegenden Betriebstypen sowie den unterschiedlichen Arten und Intensitäten der Landnutzung (vgl. Kapitel 2.7) auch die „Veredelungswerte“ der Futterflächen und die Deckungsbeiträge der Marktfruchtflächen flächen- und betriebsspezifisch signifikant variieren. Tabelle 2.10.1 zeigt die Spanne der „Veredelungswerte“ und Deckungsbeiträge der relevanten Grünland- und Ackernutzungen für die verschiedenen Regionen. Im direkten Vergleich der Regionen sieht man, dass sich insbesondere die „Veredelungswerte“ für die Grünland-Futterflächen stark unterscheiden. Hauptursache hierfür sind die unterschiedlichen Arten und Intensitäten der Viehhaltungsverfahren der regionalen Betriebe. So bestimmen zum Beispiel in der Region Ahlenmoor ausschließlich „Veredelungswerte“ pro Nährstoffeinheit (VENE), welche sich aus Milchviehwirtschafts-Deckungsbeiträgen ableiten, den „Veredelungswert“ der Futterflächen. Das außerordentlich hohe Niveau der Milchviehhaltung im Ahlenmoor (9000 l durchschnittliche Milchleistung pro Kuh und Jahr) und die damit verbundenen hohen Deckungsbeiträgen pro Milchkuh in Kombination mit der hochintensiven Landnutzung, die es möglich macht, mehr als eine Milchkuh pro Hektar zu füttern, führen hier zu der extrem hohen Wertschöpfung auf den Futterflächen. Selbst das mittel-intensiv und extensiv genutzte Grünland im Ahlenmoor erzielt eine deutlich höhere Wertschöpfung als in den anderen Regionen – selbst minderwertiger Aufwuchs wird im Ahlenmoor im Rahmen der Milchviehwirtschaft als Futter für die Nachzucht „veredelt“. In den übrigen Regionen werden die „Veredelungswerte“ von Tierhaltungsformen wie Bullenmast, Mutterkuhhaltung oder Milchviehhaltung mit geringeren Milchleistungen (z.B. Freisinger Moos mit 6400 l oder Moosurach mit 6900 l) bestimmt. Infolgedessen sind auch die „Veredelungswerte“ pro Nährstoffeinheit geringer, da diese Haltungsformen nur geringere Deckungsbeiträge erwirtschaften. Insbesondere auf extensiveren Flächen, auf denen nur

geringere Nährstoffeinheiten pro Hektar produziert werden können, wird dieser Unterschied signifikant.

Auch die Wertschöpfung auf den Ackerflächen unterscheidet sich intra- sowie interregional. Insgesamt wird auffallen, dass Betriebe die ihre Ackerflächen ausschließlich für den Marktfruchtbaubau verwenden eine verhältnismäßig geringe Wertschöpfung auf den Ackerflächen erzielen – im Vergleich zu den Betrieben, die ihre Ackerflächen ausschließlich, oder zumindest zum Teil über die Viehhaltung „veredeln“. (Herausragend hier z.B. das Ackerland im Ahlenmoor, das ausschließlich zum Anbau von Silomais verwendet wird – die hohe Nährstoffmenge die pro Hektar produziert werden kann, in Kombination mit der hochproduktiven Milchviehhaltung, führt hier zu einer außerordentlich hohen Wertschöpfung auf den Flächen). Dies mag auf den ersten Blick verwundern, hält man sich aber noch einmal die Definition des Deckungsbeitrages vor Augen, nämlich als den Beitrag zur Deckung der fixen Kosten und zum Gewinn, erscheint dieses „Phänomen“ wieder plausibel: Legt man die hohen „Veredelungswerte“ auf den Futterflächen auf die Deckung der hohen Investitionskosten der Viehhaltung und vor allem auf die Entlohnung der verbundenen Arbeitszeit um, wird klar, dass sie nach wie vor mit den Deckungsbeiträgen der Marktfruchtflächen verglichen werden können – schließlich sind die Investitionskosten des Marktfruchtbaues und die Arbeitszeit zur Bewirtschaftung der Marktfruchtflächen im Vergleich zu Viehhaltungsverfahren deutlich geringer.

Dennoch ist an dieser Stelle anzumerken, dass mit der Verwendung von Deckungsbeiträgen und „Veredelungswerten“ der Höchstwert zur Inwertsetzung landwirtschaftlicher Fläche angesetzt wurde. Landwirtschaftliche Fläche kann durchaus auch mit niedrigeren Werten wie zum Beispiel dem Marktpreis für Grundfutter (wenn solcher existiert) oder den regionalen Pachtpreisen bewertet werden. Aus diesem Grund wurden im Rahmen der Analyse zur Flächenbewertung auch die Pachtwerte herangezogen, die zum Zeitpunkt der Befragungen für entsprechende Ausgleichsfläche auf Nichtmoor gezahlt werden mussten. Hierbei handelt es sich allerdings um Ist-Preise, die im Jahre der Betriebsbefragung unter der damals gegebenen landwirtschaftlichen Struktur für Pachtflächen bezahlt wurden. Im Falle großflächiger Nutzungsänderungen verändert sich diese landwirtschaftliche Ausgangssituation natürlich grundlegend. So wird der Druck auf die Flächen außerhalb der Moorflächen stark ansteigen – aller Wahrscheinlichkeit nach mit der Konsequenz eines deutlichen Anstieges eben dieser Pachtpreise. Nichtsdestotrotz kann mit Verwendung der Deckungsbeiträge/„Veredelungswerte“ im Vergleich zu den „niedrig“ angesetzten Pachtpreisen definitiv die Spanne aufgezeigt werden, in welcher die Kosten von Landnutzungsänderungen liegen werden.

	DB / VE pro ha			Pacht pro ha		
	Ø	Max	Min	Ø	Max	Min
Ahlenmoor Zielwert Prämie 2013: 352						
Futterflächen gesamt (Grünland/Futterbau)	1789					
Grünland intensiv	1894	2816	1306	339	403	323
Grünland mittlere Intensität	1706	1871	1151	266	280	232
Grünland extensiv (Futterflächen)	867	1272	724	143	170	134
Grünland extensiv (Pflgeflächen) ⁴	182					
Ackerflächen (Bt. nur Futterbau Silomais auf Acker)	3877	4205	3161	290	311	280
Dümmer Zielwert Prämie 2013: 352	Ø	Max	Min	Ø	Max	Min
Grünland intensiv	2246 ⁵	2733 ⁵	1186	305	355	228
Grünland mittlere Intensität	1660	2201	832	175	222	76
Grünland extensiv (Futterflächen)	612	1444	252	100	151	66
Grünland extensiv (Pflgeflächen) ⁴	238	260	172	-	-	-
Ackerflächen (Betriebe nur Marktfruchtbau auf Acker)	840	872	310	532		
Ackerflächen (Betriebe nur Futterbau Silomais auf Acker)	1414	2568	905	513	585	383
Ackerflächen (Betriebe Marktfrucht/Futterbau auf Acker)	946	1445	594			
Peenetal Zielwert Prämie 2013: 329	Ø	Max	Min	Ø		
Futterflächen gesamt (Grünland)	588					
Grünland intensiv	1706	2997	784	119	141	103
Grünland mittlere Intensität	1104	1937	238	97	111	66
Grünland extensiv (Futterflächen)	488	1527	85	47	104	32
Grünland extensiv (Pflgeflächen) ⁴	159					
Paulinenaue Zielwert Prämie 2013: 300	Ø	Max	Min	Ø	Max	Min
Grünland intensiv	1631	1930	1263	54	116	99
Grünland mittlere Intensität	1207	2114	517	82	93	55
Grünland extensiv (Futterflächen)	681	1448	-58	47	62	38
Grünland extensiv (Pflgeflächen) ⁴	130					
Ackerflächen (Betriebe nur Marktfruchtbau auf Acker)	346	444	232	118		
Ackerflächen (Betriebe nur Futterbau Silomais auf Acker)	2039	2148	1832	115	152	101
Ackerflächen (Betriebe Marktfrucht/Futterbau auf Acker)	833	1437	422			
Freisinger Zielwert Prämie 2013:	Ø	Max	Min	Ø	Max	Min
Grünland intensiv	1526	1580	1121	187	192	169
Grünland mittlere Intensität	851	1148	554	142	154	112
Grünland extensiv (Futterflächen)	479	538	392	87	92	83
Grünland extensiv (Pflgeflächen) ⁴	158	263	8	83	83	83
Ackerflächen (Betriebe nur Marktfruchtbau auf Acker)	464	686	357	290		
Ackerflächen (Betriebe nur Futterbau Silomais auf Acker)	2868	2912	1697	281	290	232
Ackerflächen (Betriebe Marktfrucht/Futterbau auf Acker)	1275	1412	1196			
Mooseurach Zielwert Prämie 2013:	Ø	Max	Min	Ø	Max	Min
Grünland intensiv	1837	2490	1327	247	282	236
Grünland mittlere Intensität	930	1555	229	194	214	187
Grünland extensiv (produktive Flächen)	763	866	393	116	132	65
Grünland extensiv (Pflgeflächen/Streuwiesen)	198					
Ackerflächen (Bt. nur Futterbau Silomais auf Acker)	3366	3548	3064	241	252	224

Tab. 22: Durchschnitt¹, Minimum und Maximum der VE_{DBVH} und DB_{MF} des Futter- und Marktfruchtbaus sowie des Pachtpreises für entsprechende Ausgleichsflächen in den einzelnen Regionen. (€ pro Hektar²)

¹ Gewichtet nach Flächenumfang

² Einheitliche Flächenprämien sind in der Kalkulation enthalten (länderspezifische Zielwerte 2013)

³ Die Berechnung der Marktfrüchte beinhaltet je nach Region Körnermais, Biogasmais, Corn-Cob-Mix, Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Sommergerste, Hafer, Triticale, Raps, Kartoffeln.

⁴ Berücksichtigt wurden betriebsspezifische Maschinenkosten, Erntekosten, Produktverwendung (z.B. Kompostierung oder Verkauf von Heu oder Einstreu). Der DB der Pflegeflächen ist dennoch positiv aufgrund der weiterhin bestehenden Zahlung der Flächenprämien.

⁵ Bezüglich des hohen „Veredelungswertes“ des intensiven und mittel-intensiven Grünlands im Dümmer (Wertschöpfung höher als Silomais und als Intensivgrünland im Ahlenmoor ist anzumerken dass das erfasste intensive und mittlere Grünland nur auf zwei Betrieben vorhanden ist und nur einen kleinen Anteil der Gesamtfläche einnimmt. Beide Betriebe veredeln dieses Grünland über Milchviehwirtschaft. Der Silomais in der Region wird dagegen in erster Linie für die Bullenmast verwendet wird. Des Weiteren drücken hier Färsenmäster und Mutterkuhalter, welche Silomais zufüttern, die „Veredelungswerte“ für Silomais.

Hand in Hand mit den unterschiedlichen Niveaus der Wertschöpfung der Landnutzung in den einzelnen Regionen gehen auch die Höhen der Einkommensverluste, die bei Landnutzungsänderungen für die Landwirtschaft entstehen. Tabelle 2.10.2 stellt diese Einkommensverluste entlang der Umnutzungskaskade für die einzelnen Regionen dar.

Ausgangsnutzung	Zielnutzung	Ahlenmoor	Dümmer	Peenetal	Paulinen- aue	Freisinger Moos	Moos- eurach
Acker Marktfrucht	Grünland intensiv	-	+ 1406 *	-	+ 1285	+ 1062	-
Acker Silomais	Grünland intensiv	- 1983	+ 832 *	-	- 408	- 1342	- 1529
Acker Mark- frucht/ Silomais	Grünland intensiv	-	+ 1300 *	-	+ 798	+ 251	-
Grünland intensiv	Grünland mittel	- 188	- 586	- 602	- 424	- 675	- 907
Grünland mittel	Grünland extensiv	- 839	- 1048	- 616	- 526	- 372	- 167
Grünland extensiv	Grünland Pflege	- 685	- 374	- 329	- 551	- 321	- 565
Grünland Pflege	Renaturier- ung**	- 182	-238	- 159	- 130	- 185	- 198

Tab. 23: Durchschnittliche Einkommensverluste der Landwirtschaft entlang der Umnutzungskaskade auf Grundlage der „Veredelungswerte“ und Deckungsbeiträge (in € pro Hektar)

* Bezüglich des hohen „Veredelungswertes“ des intensiven und mittel-intensiven Grünlands im Dümmer (Wertschöpfung höher als Silomais und als Intensivgrünland im Ahlenmoor ist anzumerken dass das erfasste intensive und mittlere Grünland nur auf zwei Betrieben vorhanden ist und nur einen kleinen Anteil der Gesamtfläche einnimmt. Beide Betriebe veredeln dieses Grünland über Milchviehwirtschaft. Der Silomais in der Region wird dagegen in erster Linie für die Bullenmast verwendet wird. Des Weiteren drücken hier Färsenmäster und Mutterkuhalter, welche Silomais zufüttern, die „Veredelungswerte“ für Silomais.

**Beim Umnutzungsschritt „Grünland Pflege“ auf „Renaturierung“ wird davon ausgegangen, dass die Betriebsprämienzahlung entfällt. Der Deckungsbeitrag der Fläche fällt für die Landwirtschaft vollständig weg, der landwirtschaftliche Wert der Flächen wird mit Null angesetzt.

Die von TUM WDL quantifizierten testgebietspezifischen Einkommenseinbußen, die auf den einzelnen Stufen der Umnutzungskaskade entstehen, dienen unmittelbar zur Kalkulation der im Rahmen des Projektes ermittelten Kosten der GWP-Reduktion klimaschonender Moorbewirtschaftung.

Die Ergebnisse der Spurengasmessungen zeigen, dass die Emissionsfaktoren landwirtschaftlich genutzter Flächen mit niedrigen Wasserständen, ungeachtet dessen ob die Flächen intensiv, mit mittlerer Intensität oder extensiv genutzt werden, verhältnismäßig hoch sind. Die Einsparungspotenziale bei stufenweiser Extensivierung intensiver landwirtschaftlicher Nutzung hin zu extensiv landwirtschaftlich genutzten, „trockenen“ Flächen sind gering und stehen in keinem Verhältnis zu den landwirtschaftlichen Opportunitätskosten. Relevante Reduktionspotenziale, die den generell hohen Kosten der Nutzungsänderungen gegenübergestellt werden können, entstehen erst bei Anhebungen der Wasserstände.

	Niedermoor	Hochmoor
	Mittelwert tCO ₂ -Äq/ha*a	
Acker	33,8	keine Daten
Grünland intensiv / mittel	30,9	28,3
Grünland extensiv trocken	22,5	20,1
Grünland extensiv nass	10,3	2,2
Naturnah/Renaturiert	3,3	0,1
Überstau	28,3	8,3

Tab. 24: Mittlere Emissionsfaktoren nach Moortyp und Nutzungskategorie

Aus diesem Grund wird die Gegenüberstellung landwirtschaftlicher Einkommenseinbußen mit den entsprechenden Vermeidungsschritten für die vielversprechendsten Vermeidungsstrategien durchgeführt.

Zwei grundsätzliche Vermeidungsstrategien werden dabei betrachtet:

1) Umstellung der Ackernutzung sowie der Nutzung intensiven, mittelintensiven und extensiven landwirtschaftlich genutzten Grünland auf extensives Pflegegrünland, welches von den Landwirten gepflegt wird. Der Aufwuchs wird gebietsspezifisch entweder als Heu verkauft (TG 1, 2, 3, 4, 5), als Einstreu verwendet (TG6) oder kompostiert.

2) Ackernutzung sowie die Nutzung intensiven, mittelintensiven und extensiven landwirtschaftlich genutzten Grünland wird aufgegeben, die Flächen werden renaturiert, wobei gebietsspezifisch unterschieden wird, ob die Renaturierung naturnah oder optimiert stattfindet, bzw. ob es zum Überstau kommt.

Abbildung 69 stellt die untersuchten klimarelevanten Landnutzungsänderungen dar.

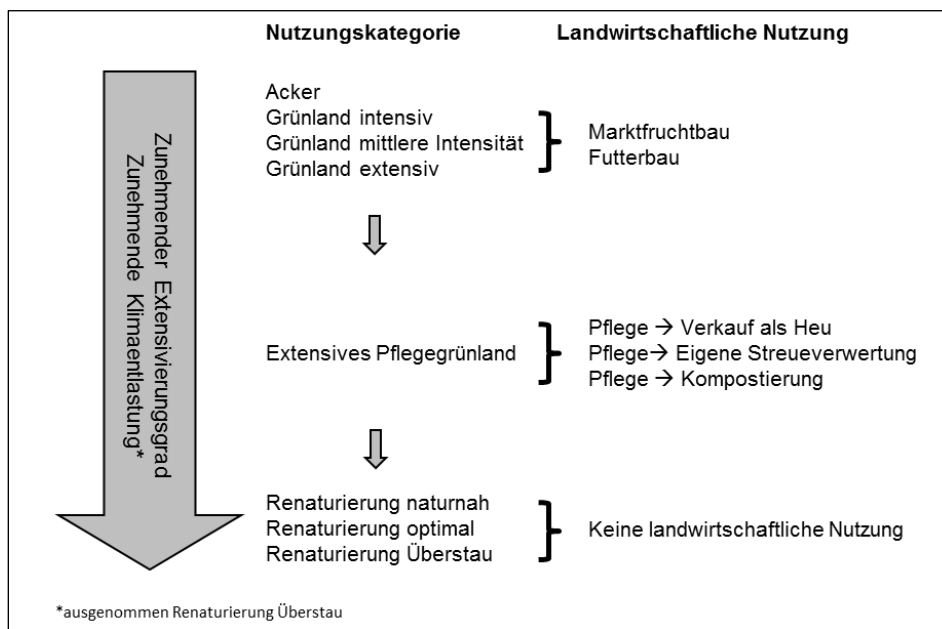


Abb. 69: Klimarelevante Landnutzungsänderungen (Quelle: eigene Darstellung)

Tabelle 25 und Tabelle 26 zeigen die Mittelwerte der landwirtschaftlichen Einkommensverluste sowie einzelbetriebliche Spannen an Einkommensverlusten pro Tonne eingespartes CO₂-Äquivalent auf Basis der Veredelungswerte für die vielversprechendsten Vermeidungsstrategien auf Hochmoor und Niedermoorstandorten im direkten Vergleich der Testgebiete auf.

Hochmoor		Ahlenmoor	Mooseurach
Ausgangsnutzung	Zielnutzung	Eur/t CO ₂ äq	Eur/t CO ₂ äq
Acker FB*	Pflege Heuverkauf**	124 (95 bis 138)	---
Intensiv GL		53 (30 bis 89)	---
Mittleres GL		47 (24 bis 55)	---
Extensives GL		24 (13 bis 48)	---
Acker FB*	Pflege Kompost***	132 (105 bis 145)	---
Intensiv GL		61 (39 bis 96)	---
Mittleres GL		55 (34 bis 62)	---
Extensives GL		35 (26 bis 48)	---
Acker FB*	Naturnahe Renaturierung	134 (109 bis 145)	---
Intensiv GL		65 (45 bis 97)	---
Mittleres GL		59 (40 bis 64)	---
Extensives GL		42 (35 bis 61)	---
Pflege Heuverkauf (TG1)/Streuverwertung (TG6)		481 (383 bis 578)	9 (8 bis 9)
Acker FB*	Überstau	175 (143 bis 190)	---
Intensiv GL		86 (59 bis 127)	---
Mittleres GL		77 (52 bis 85)	---
Extensives GL		62 (52 bis 91)	---
Pflege Heu		-63 (-50 bis -76)****	---

Tab. 25: Landwirtschaftliche Einkommensverluste (Mittelwert und einzelbetriebliche Spannen) pro t eingespartes CO₂-Äquivalent für die vielversprechendsten Vermeidungsstrategien auf Hochmoorstandorten

*Acker FB: Ackerflächen von Betrieben die nur Futterbau auf Acker betreiben

** Eigenmechanisiert: Mähen, Zetten, Wenden, Schwaden, Laden, Abtransport; Überbetrieblich: Presse

***Eigenmechanisiert: Mähen, Zetten, Schwenden, Schwaden, Aufladen, Transport, Abladen- (Ladewagen), Kippgebühr

**** Bei Umstellung von Pflegeflächen auf überstaute Flächen werden keine Emissionen eingespart, im Gegenteil entstehen zusätzliche Emissionen die pro Tonne zusätzlich kosten

Niedermoor		Dümmer	Havelluch	Freising	Mooseurach
Ausgangsnutzung	Zielnutzung	Eur/t CO ₂ äq	Eur/t CO ₂ äq	Eur/t CO ₂ äq	Eur/t CO ₂ äq
Acker Gesamt*		44 (10 bis 87)	10 (1 bis 25)	29 (6 bis 39)	---
Acker MF**		31 (-11 bis 38)	0 (-4 bis 5)	3 (-5 bis 15)	---
Acker FB***		69 (30 bis 153)	42 (46 bis 35)	102 (51 bis 107)	---
Acker FB/MF***	Pflege Heu	38 (9 bis 77)	10 (0 bis 29)	36 (30 bis 45)	---
Intensiv GL		158 (61 bis 209)	47 (31 bis 92)	67 (39 bis 146)	---
Mittleres GL		108 (31 bis 161)	32 (4 bis 67)	27 (5 bis 49)	---
Extensives GL		23 (-22 bis 114)	15 (-20 bis 52)	19 (-17 bis 49)	---
Acker FB		---	---	---	97 (86 bis 103)
Intensiv GL	Pflege Einstreu	---	---	---	52 (35 bis 74)
Mittleres GL		---	---	---	24 (1 bis 45)
Extensives GL		---	---	---	36 (11 bis 40)
Acker Gesamt	Pflege Kompost	59 (28 bis 100)	16 (8 bis 30)	38 (17 bis 47)	---
Acker MF		46 (7 bis 51)	6 (2 bis 9)	12 (6 bis 23)	---
Acker FB		85 (48 bis 166)	47 (41 bis 51)	111 (61 bis 115)	---

Acker FB/MF		53 (27 bis 90)	16 (7 bis 34)	46 (41 bis 53)	---
Intensiv GL		178 (84 bis 226)	56 (41 bis 99)	81 (54 bis 157)	---
Mittleres GL		128 (54 bis 177)	40 (13 bis 74)	41 (21 bis 61)	---
Extensives GL		46 (5 bis 134)	25 (-9 bis 60)	69 (41 bis 91)	---
Acker Gesamt		50 (29 bis 76)	17 (10 bis 29)	---	---
Acker MF		40 (15 bis 42)	8 (5 bis 10)	---	---
Acker FB		68 (4 bis 44)	46 (41 bis 49)	---	143 (130 bis 150)
Acker FB/MF	Naturnahe	45 (2 bis 29)	17 (10 bis 33)	---	---
Intensiv GL	Renaturierung	126 (5 bis 67)	53 (41 bis 90)	---	82 (59 bis 111)
Mittleres GL		93 (4 bis 47)	39 (17 bis 68)	---	41 (10 bis 69)
Extensives GL		38 (2 bis 16)	26 (-2 bis 55)	---	109 (56 bis 123)
Pflege Heu		65 (1 bis 51)	101 (77 bis 124)	---	-22 (-21 bis -23)
Acker Gesamt		---	---	38 (21 bis 44)	---
Acker MF		---	---	16 (12 bis 24)	---
Acker FB		---	---	99 (59 bis 100)	98 (89 bis 103)
Acker FB/MF	Optimierte	---	---	44 (41 bis 49)	---
Intensiv GL	Renaturierung	---	---	71 (52 bis 128)	55 (40 bis 75)
Mittleres GL		---	---	39 (26 bis 53)	28 (7 bis 47)
Extensives GL		---	---	52 (42 bis 58)	43 (22 bis 49)
Pflege Heu		---	---	83 (66 bis 100)	183 (174 bis 193)
Acker Gesamt		87 (51 bis 134)	29 (18 bis 51)	---	---
Acker MF		71 (26 bis 74)	14 (9 bis 18)	---	---
Acker FB		119 (76 bis 217)	80 (72 bis 85)	---	---
Acker FB/MF	Überstau	80 (50 bis 122)	30 (17 bis 57)	---	---
Intensiv GL		254 (134 bis 314)	137 (106 bis 233)	---	---
Mittleres GL		188 (94 bis 249)	99 (43 bis 174)	---	---
Extensives GL		87 (36 bis 206)	90 (-8 bis 191)	---	---
Pflege Heu		-132 (-105 bis -159) *****	-22 (-17 bis -27) *****	---	---

Tab. 26: Landwirtschaftliche Einkommensverluste pro t eingespartes CO₂-Äquivalent für die vielversprechendsten Vermeidungsstrategien auf Niedermoorstandorten

*Acker Gesamt: Durchschnitt über alle Ackerflächen in der Region

**Acker MF: Ackerflächen von Betrieben die nur Marktfruchtbau auf Acker betreiben

***Acker FB: Ackerflächen von Betrieben die nur Futterbau auf Acker betreiben

**** Acker FB/MF: Ackerflächen von Betrieben die nur Futterbau auf Acker betreiben

***** Bei Umstellung von Pflegeflächen auf überstauete Flächen werden keine Emissionen eingespart, im Gegenteil entstehen zusätzliche Emissionen die pro Tonne zusätzlich kosten

Teilbeitrag TUM-WDL: Einschätzung regionaler Umsetzungspotenziale anhand ausgewählter Kriterien

Dieses Potenzial macht deutlich, wie „teuer“ bzw. „billig“ sich Moorschutz als Verfahren des Klimaschutzes darstellt – es liefert damit eine maßgebliche Information, ob Verfahren des Moorschutzes zukünftig tatsächlich als kosteneffiziente Maßnahme zum Klimaschutz in Deutschland beitragen können. Nichtsdestotrotz ist offensichtlich, dass neben einem bestehenden ökonomischen Potenzial weitere Kriterien die Umsetzungsmöglichkeiten klimaschonender Moorbewirtschaftung beeinflussen werden. Aus diesem Grund nahm TUM WDL im

Rahmen des Projektes eine über die quantitativen Ergebnisse herausgehende Analyse der regionalen Umsetzungspotenziale vor, in welcher neben dem Kriterium der „wirtschaftlichen Effekte“ weitere ausgewählte Kriterien, welche die Umsetzung klimaschonender Moornutzung beeinflussen, berücksichtigt und bewertet wurden ().

bewertet und mit den quantitativen Ergebnissen der ökonomischen Analyse kombiniert.

Der folgende Berichtsabschnitt stellt die Ergebnisse dieser erweiterten Analyse dar. Zunächst wird ein regionenspezifisches Portrait gezeichnet, welches die zugrundeliegenden regionalen Ausgangssituationen, die Einstellung der relevanten Interessensvertreter zu potenziellen Maßnahmen und die variierenden Chancen und Grenzen einer Umsetzung klimaschonender Moorbewirtschaftung beschreibt. Abschließend werden die maßgeblichen Einfluss-Kriterien der Umsetzung und ihre regionenspezifische Ausprägung bewertet und in einem regionalen Überblick dargestellt.

Umsetzungspotenziale klimaschonender Moorbewirtschaftung - Portrait der Testgebiete:

Testgebiet 1 „Ahlenmoor“ ist eine hochproduktive Grünlandregion deren Flächen ausschließlich als Futterflächen für die Milchviehwirtschaft genutzt werden. Bei allen untersuchten Betrieben handelt es sich um einzelunternehmerisch geführte Familienbetriebe die ihr Betriebs-einkommen als Haupterwerbsbetriebe generieren. In den Stakeholderworkshops wurde berichtet, dass die Milchviehwirtschaft erst in den 1960er Jahren aktiv gefördert und in die Moorflächen gezogen wurde, die befragten Betriebe existieren daher auch erst seit dieser Zeit. Zum Ziele der Ansiedelung der Betriebe wurden die Moorflächen damals einem umfassenden Flurbereinigungsverfahren unterzogen. Auch die technischen Möglichkeiten der Be- und Entwässerung der Flächen wurden optimiert um den landwirtschaftlichen Bedürfnissen Genüge zu tun. Als Konsequenz können die regionalen Grundwasserstände in den meisten Teilen des Gebietes effizient gesteuert werden; an sich wäre demnach auch ein Wassermanagement, das auf Wiedervernässung und Moorrenaturierung abzielt, technisch möglich. Nichtsdestotrotz, die Workshops und auch die qualitativen Ergebnisse der Betriebsbefragungen zeigen, dass die Perspektiven einer Umsetzung klimaschonender Moorbewirtschaftung – trotz der gegebenen technischen Möglichkeiten – aufgrund anderer Faktoren begrenzt sind: Zum einen wandert die Milchviehwirtschaft weiterhin in die Region ein, zum anderen haben die bestehenden Betriebe den Anspruch weiter zu wachsen, zwei Tatsachen die starke regionale Flächenknappheit bedingen. Des Weiteren begrenzt die ausschließliche Nutzbarkeit des Standortes als Grünland (Grünlandanteil >80%, vgl. Abbildung 2.7.4) und die hohe Kapitalbindung der investitionsintensiven Milchviehwirtschaft die Flexibilität der Landwirte in Richtung extensiverer Landnutzung stark. Nicht zuletzt ist – wie in Kapitel 2.7.2 dargestellt – die betriebliche Betroffenheit in der Region mit 89% extrem hoch; die Hälfte der befragten Betriebe sind mit mehr als 90% ihrer Fläche betroffen. Bei derart hoher Flächenbetroffenheit sind betriebliche Anpassungen und eine Kompensation von Ertrags- und Futter-einbußen nicht möglich. Es ist offensichtlich, dass in dieser Region eine Weiterführung der Milchviehwirtschaft unter den Bedingungen extensiverer Flächennutzung oder einer Aufgabe von Flächen nicht umsetzbar scheint. Die ökonomischen Konsequenzen einer Umorganisation der Betriebe in der gegenwärtigen regionalen Betriebsstruktur würde deren Wirtschaftlichkeit extrem gefährden. So verwundert es auch nicht, dass die Akzeptanz der landwirtschaftlichen Stakeholder bezüglich klimaschonender Moornutzung im Ahlenmoor am niedrigsten ist – im Vergleich zu den anderen Regionen. Die Landwirte machten vielmehr deutlich, dass sie eher ihren gesamten Betrieb aufgeben würden als die Intensität der gegenwärtigen Nutzung zu vermindern. Dieser ernste Schritt wurde jedoch nur unter der Vorausset-

zung in Betracht gezogen, den gesamten Betrieb zu verkaufen und an einem adäquaten Standort wieder eröffnen zu können.

Bei Testgebiet 2 "Dümmer" handelt es sich um eine ausgeprägte Viehhaltungsregion mit einer enorm hohen durchschnittlichen Viehdichte von über 3 GV pro ha. Die wirtschaftenden Betriebe sind in erster Linie Veredelungsbetriebe mit Schweinemast, wobei quasi alle befragten Schweinemastbetriebe zusätzliche Viehhaltungszweige verfolgen wie Bullenmast, Geflügelmast, Mutterkuh- und Milchviehhaltung. Auch die reinen Milchviehbetriebe mästen fast ausschließlich zusätzlich Bullen aus. Die Nutzung der Moorflächen in dieser Region ist äußerst interessant. Wie bereits in Kapitel 2.7.2 gezeigt, wird die Hälfte der in der Befragung erfassten Flächen sehr extensiv genutzt, zumeist über Mutterkuhhaltung oder als Mähweiden zur Futtererzeugung für die Nachzucht der Milchviehhaltung. Bei diesen extensiven Flächen handelt es sich jedoch ausschließlich um die Flächen, die sich im renaturierten Naturschutzgebiet der Dümmerniederung (insbesondere im Ochsenmoor) befinden und die von den Landwirten zur Nullpacht als Pflegeflächen zurückgepachtet werden konnten. Sämtliche anderen Flächen außerhalb des Naturschutzgebietes werden dagegen mit äußerst hoher Intensität bewirtschaftet – zu einem hohen Prozentsatz als Ackerflächen zum Maisanbau zur Futter- und Biogasproduktion oder, allerdings zu einem geringeren Flächenanteil, als intensives Grünland. Diese Moornutzung ist für die wirtschaftenden Betriebe zur Schaffung des hohen landwirtschaftlichen Einkommens in der Region essentiell, wobei die Aufrechterhaltung dieses Einkommens in erster Linie davon abhängt die gegenwärtigen, sehr hohen Viehzahlen zu halten oder bestenfalls weiterhin zu erhöhen. Aus Sicht der Stakeholder der Landwirtschaft und aus Sicht der befragten Landwirte ist die Moorflächennutzung unverzichtbar zur Erzeugung von Futter aber auch – und hierin liegt nach höchster Wahrscheinlichkeit der Hauptgrund – um den Bestimmungen der deutschen Düngemittelverordnung zu entsprechen, welche die Tierzahlen pro ha begrenzt ["Deutsche Düngemittelverordnung" (vgl. Europäisches Parlament, 2003; BMELV 2008)]. Der Druck auf die Flächen ist somit enorm und wächst nicht zuletzt mit der Steigerung des Energiepflanzenanbaus kontinuierlich an. Allerdings hat nicht nur die Landwirtschaft in der Region ein ausgesprochenes Interesse an den Flächen rund um den Dümmersee. Von Seiten des Naturschutzes besteht reges Interesse weitere Fläche unter Schutz zu stellen, der Dümmersee ist zudem Gegenstand touristischer Aktivitäten. Das vielseitige und komplexe Interesse an den regionalen Moorflächen spiegelte sich auch in der intensiven und diskussionsreichen Teilnahme an den Workshops wieder, an welchen ein breites Feld verschiedener Interessensvertreter beteiligt war. Hierbei ist jedoch zu sagen, dass die verschiedenen Interessen grundsätzlich gegenläufige Richtungen verfolgen. Insbesondere die Ziele der landwirtschaftlichen Interessensvertreter und jene des Naturschutzes schließen sich gegenseitig aus. Mit der derzeitigen Aufteilung zwischen Nutzflächen und Naturschutzflächen, welche ja von der Landwirtschaft gepflegt werden und aus Kostengründen an sich auch durch Landwirte gepflegt werden müssen, scheinen die Akteure beider Seiten zwar zufrieden. Ausdehnungen der Naturschutzflächen wurden von der Landwirtschaft jedoch kategorisch abgelehnt. Aus diesem Grund scheinen auch die Umsetzungspotenziale einer klimaschonender Nutzungsstrategien auf den gegenwärtig intensiv genutzten Flächen begrenzt, obwohl sie aus Sicht des Wassermanagements technisch sehr gut durchzuführen wären.

Testgebiet 3, das Flusstalmoor "Peenetal", repräsentiert eine sehr spezielle Situation. Die Moorflächen der befragten Betriebe werden fast ausschließlich als extensives oder mittelintensives Grünland genutzt. Dies begründet sich in der Nutzungshistorie der Region. Zum

einen ist das Peenetal Gegenstand sowohl des mecklenburg-vorpommerschen Naturschutzprogramms als auch diverser öffentlichen Naturschutzprojekte die sich seit dem Jahr 2000 zur Aufgabe gemacht haben das gesamte Flusstal unter Schutz zu stellen. Im Zuge dieser Projekte wurden in den letzten 10 Jahren großflächige Wiedervernässungsmaßnahmen umgesetzt. Im Rahmen des Forschungsvorhabens bildet dieses Gebiet somit eine Region ab, in welcher eine Umorganisation der Moorflächennutzung retrospektiv untersucht werden kann – wenngleich sie nicht zum Ziele des Klimaschutzes initiiert wurde. Im Peenetal waren verschiedene Ausgangsbedingungen sehr förderlich um derart umfassende Moorschutzmaßnahmen umsetzen zu können: Die im Flusstal gelegenen Moorflächen wurden in den 1970er Jahren in landwirtschaftliche Nutzfläche umgewandelt, in erster Linie indem die Flächen mit Deichen umgeben wurden (Poldersystem). Da sich die Geländeoberkanten der gepolderten Flächen zu einem großen Teil unterhalb des natürlichen Grundwasserstandes befinden, musste das Wasser über Schöpf- und Pumpwerke aktiv aus den Flächen gepumpt werden. Diese Technik wurde im Zeitverlauf immer aufwändiger – eine Tatsache, die in erster Linie der Absenkung der Standorte aufgrund voranschreitender Degradierung und Schrumpfung der Torfkörper geschuldet war. Nach der deutschen Wiedervereinigung wurde die öffentliche Finanzierung der regionalen Entwässerung eingestellt. Die hohen Kosten der laufenden Entwässerung und vor allem der Instandhaltung der Anlagen mussten ab sofort von den Landwirten getragen werden. Zum großen Teil überschritten diese Kosten die landwirtschaftliche Wertschöpfung dieser Grenzertragsstandorte. Aus diesem Grund entschieden sich viele Landwirte freiwillig dazu, die Gelegenheit zu nutzen die Ausgleichszahlungen, welche durch die Naturschutzprojekte gewährt wurden, in Anspruch zu nehmen anstatt die Flächen weiterhin in Nutzung zu halten. Die Moorflächen wurden entweder vollständig aufgegeben, unter Auflagen weitergepflegt oder die Bewirtschaftung wurde umgestellt zugunsten Extensivgrünlandnutzung als Futter in der Mutterkuh- und Milchviehhaltung. Neben der günstigen landwirtschaftlichen Ausgangssituation war noch ein weiterer Faktor extrem förderlich für die Renaturierung der Standorte: Aufgrund der standörtlichen Bedingungen des Flusstalmoores, mit seinen hohen Grundwasserflächen im Vergleich zu den tiefliegenden Flächen, konnten Wiedervernässungsmaßnahmen mit sehr geringen Aufwand umgesetzt werden indem die Schöpf- und Pumpwerke abgeschaltet und die Deiche geschlitzt wurden. Nach diesen Eingriffen wurden auch keine weiteren Regulierungen nötig um die Wasserstände hoch zu halten, insofern scheinen auch die Folgekosten der Maßnahmen gering.

Im Nachhinein äußern die Stakeholder unterschiedliche Standpunkte bezüglich der erfolgten Renaturierungen: Auch wenn einige Landwirte ihre Betriebe vollständig aufgeben mussten begrüßte die Mehrheit der Landwirte die Maßnahmen, da ihnen durch die adäquaten Kompensationszahlungen die Möglichkeit gegeben wurde, sich an die Umorganisationen anzupassen. Grundsätzlich wird die Sichtweise der Landwirtschaft auch von den Vertretern der Regionalentwicklung und der regionalen Kommunen bestätigt. Aus deren Sicht wäre die Aufrechterhaltung der kostenintensiven Entwässerung auf lange Frist finanziell nicht fortführbar, wohingegen die gewährten Ausgleichszahlungen der gesamten Region zugutegekommen seien. Nichtsdestotrotz wurden auch kritischere Sichtweisen geäußert: Sowohl Naturschützer als auch Experten des Klimaschutzes führten an, dass die Maßnahmen effizienter geplant, gesteuert und kontrolliert hätten werden müssen: zum einen hatten die großflächigen Wiedervernässungsmaßnahmen häufig einen Flächenüberstau zur Folge, und gingen dadurch zum Teil mit negative Wirkungen auf die Biodiversität artenreicher Extensivgrünlandstandorte einher. Zum anderen konnten die Klimaeffekte der Maßnahmen zum Zeitpunkt ihrer Umsetzung noch nicht ausreichend eingeschätzt werden. Auch in einigen Teilen der

lokalen Bevölkerung wuchs eine gewisse Opposition gegenüber der großflächigen Wiedervernässungsmaßnahmen die gegenwärtig die Weiterführung der Schutzvorhaben beeinflussen kann.

Im Gegensatz zum Peenetal wurden und werden auch zum Zeitpunkt der Untersuchungen im Testgebiet 4 „Paulinenaue“ weder von der Regionalentwicklung noch von Seiten des Naturschutzes regionalen Strategien verfolgt, welche Programme zum Schutz der Moorflächen oder die Einführung einer klimaschonender Moorbewirtschaftung unterstützen könnten. Hinzu kommt, dass in dieser Region die technische Machbarkeit einer Wiedervernässung ein signifikantes Problem darstellt: Die Perspektiven der Moorrenaturierung sind stark eingeschränkt aufgrund der regional sehr geringen durchschnittlichen Niederschlagsmengen und der resultierenden Wasserknappheit. Zudem werden die Flächen seit Umsetzung der regionalen Komplexmelioreation von einem extrem dichten Netz an Gräben und Drainagen durchzogen; die Moorböden sind aufgrund der signifikanten Degradierung stark in ihrer Funktion der Wasserspeicherung beeinträchtigt. Selbst wenn eine „klimafreundliche“ Einstellung der Wasserstände aus technischer Sicht möglich wäre, wären derartige Maßnahmen mit hohen Kosten belegt. Die Moorflächen der befragten Betriebe in der Region werden zum einen als zumeist extensives oder mittel-intensives Grünland für Mutterkuhhaltung oder Milchviehwirtschaft genutzt. Neben der Grünlandnutzung wird Moorfläche zum anderen aber auch zur Produktion von Marktfrüchten, Futterfrüchten und zum Anbau von Energiepflanzen ackerbaulich bewirtschaftet; im Vergleich zu den übrigen Testgebieten ist der Anteil an ackerbaulich genutzten Moorflächen im Havelluch am höchsten. Aus Sicht der Landwirtschaft erscheint das gegenwärtige Wassermanagement der Flächen suboptimal. Laut Aussagen der Landwirte werden viele Flächen ineffizient gesteuert und schwanken zwischen extrem nasen sowie trockenen Bedingungen innerhalb eines Jahres. Trotz dieser unbefriedigenden Bedingungen lehnen die Landwirte eine Reduktion der Intensität ab. Sie forcieren vielmehr eine Verbesserung des Wassermanagements voranzutreiben um die landwirtschaftliche Produktion auf den Moorflächen zu optimieren und zu intensivieren. Neben den Faktoren der regionalen technischen Schwierigkeiten der Wiedervernässung und der Einstellung der Landwirte gegenüber Renaturierungsmaßnahmen implizierten die Stakeholderworkshops dass noch ein weiterer Faktor die Umsetzung klimaschonender Moorbewirtschaftung behindern könnte: Die Netzwerkstrukturen zwischen sowohl den Vertretern unterschiedlicher Interessen als auch zwischen den verschiedenen institutionellen Ebenen erscheinen momentan verhältnismäßig schwach ausgebildet wobei in den Workshops kein spezielles Interesse ausgedrückt wurde Vernetzungs- und Zusammenarbeit zu intensivieren.

Im Gegensatz zu den Potenzialen in den übrigen Testgebieten zeichnet sich im Testgebiet 5 „Freisinger Moos“ ein signifikant anderes Bild ab. Aus technischer Sicht wird die Umsetzung großflächiger Wiedervernässungsmaßnahmen als kompliziert erachtet. Dennoch erscheinen gerade in der Region die Umsetzungspotenziale einer klimaschonenden Moorbewirtschaftung aus verschiedenen Gründen vielversprechend. Zum einen stellen im Testgebiet 5 Einkommenseffekte kein signifikantes Hindernis für angepasste Moornutzung dar. Die gegenwärtige Landwirtschaft wird zwar zum Teil als Ackernutzung für den Anbau von Markt-, Futter-, und Energiepflanzen genutzt. Die Hauptnutzungsart ist aber nach wie vor Grünlandnutzung zur Grundfuttererzeugung und zum Teil auch zur Biogaserzeugung. Im Kerngebiet werden ökologisch wertvolle Streuwiesen unter Naturschutzauflagen gepflegt. Grundsätzlich zieht sich die Landwirtschaft derzeit freiwillig aus den Moorflächen zurück, in erster Linie ist das dem allgemeinen Rückgang der Milchviehhaltung geschuldet und der Tatsache, dass die

Bewirtschaftung der extrem kleinstrukturierten Flächen nicht mehr wirtschaftlich erscheint. Der Rückzug der Landwirtschaft, die sich daraus ergebenden Nutzungsveränderungen und die zukünftige Entwicklung der Flächen sind bereits Gegenstand lebhafter Diskussion. Das komplexe Interesse an den Moorflächen und deren Entwicklung spiegelt sich auch in der regen Beteiligung einer Vielzahl unterschiedlicher Interessensvertreter an den Stakeholderworkshops wider. Stakeholder aus den Bereichen Landwirtschaft, Naturschutz, Wassermanagement, Regionalentwicklung und Tourismus zeigen deutliches Interesse an der zukünftigen Gestaltung des Gebietes. Überraschenderweise gehen in dieser Region die Interessen und Ziele der Landwirtschaft und des Naturschutzes Hand in Hand. Aus Sicht des Naturschutzes sind die Landwirte unverzichtbar für die Pflege der ökologisch wertvollen Grünländer, insbesondere wenn diese im Rahmen von Moorschutzmaßnahmen ausgedehnt werden sollten. Die landwirtschaftlichen Interessensvertreter sind grundsätzlich daran interessiert die Flächen in Nutzung zu halten. Dieses Interesse wurde auf der einen Seite damit begründet dass es in Hinblick auf die möglichen zukünftigen Entwicklungen in der Landwirtschaft und die daraus resultierenden Anforderungen an die Erzeugung von Futter- und Nahrungsmitteln erforderlich sei die Flächen in gutem landwirtschaftlichem und ökologischem Zustand zu erhalten. Auf der anderen Seite binden auch persönliche und traditionelle Motive die Landwirte an eine Fortführung der Flächennutzung. Nichtsdestotrotz bestehen die Landwirte gegenwärtig nicht auf intensive Produktion sondern sind vielmehr dafür die Flächen mit geringer Intensität aber landwirtschaftlich sinnvoll zu nutzen, unter der Voraussetzung eines adäquaten finanziellen Ausgleichs. Wie auch die Interessensvertreter des Naturschutzes sehen die Vertreter der Landwirtschaft die Option, Klimaschutz in Landnutzungskonzepten zu integrieren, als einen vielversprechenden Weg in Richtung sinnvoller Nutzung und fairer Kompensation an. Grundsätzlich wurde deutlich dass die Landwirte im Testgebiet 5 am aufgeschlossensten gegenüber Landnutzungsveränderungen sind – im Vergleich zu den übrigen Untersuchungsregionen. Die Betriebsbefragungen zeigten dass sich einige Landwirte bereits Produktionsnischen gefunden haben in denen sie wirtschaftliche Vorteile erzielen können. Genannt seien hier als Beispiele extrem extensive Tierhaltung mit regionaler Vermarktung, Pferdehaltung, Anbau von Weidengehölz zur Eigenvermarktung für zum Beispiel kreative Gartengestaltung oder auch der Anbau von Kräutern, Blumen oder sogar spezieller Moorarten zur Samenerzeugung für beispielsweise Moornaturierungsvorhaben. Auch die Nutzung des Aufwuchses von Extensivgrünland zur Nutzung als erneuerbare Energien wurde in einigen Fällen bereits in das Betriebskonzept übernommen. Neben der persönlichen Grundeinstellung der Landwirte, begünstigen im Freisinger Moos auch die meist verhältnismäßig geringe Betroffenheit der Betriebe und die guten Möglichkeiten zur Erwirtschaftung eines alternativen Einkommens (Einzugsgebiet München und Großarbeitgeber Flughafen München) die Flexibilität der Landwirte im Hinblick auf betriebliche Umorganisationen.

Wie bereits erwähnt gibt es neben der Landwirtschaft und dem Naturschutz noch weitere Stakeholdergruppen die Interesse an den Moorflächen zeigen: Großen Einfluss nimmt der nahegelegene Münchener Flughafen und die Stadt Freising. Das Gebiet fungiert als Wassereinzugs- und Erholungsgebiet sowie als potenzieller Flächenpool zur Schaffung von Ausgleichsflächen für Baumaßnahmen der Stadt und des Flughafens. Generell scheinen diese potenziellen Funktionen der Flächen einer klimaschonenden Nutzung nicht entgegenzustehen.

Die vielfältigen Interessen in der Region werden von einer lokalen Leadergruppe kanalisiert die sich für nachhaltige Regionalentwicklung einsetzt. Die Workshops zeigten sehr deutlich,

dass die bereits bestehende Vernetzung und der Austausch der relevanten Interessenvertreter untereinander, insbesondere als Resultat der Aktivitäten eben dieser Leadergruppe, bestimmend dafür sind inwieweit Konfliktpotenziale überwunden und lösungsorientierte Ansätze diskutiert und akzeptiert werden können. Im Freisinger Moos ist das Bewusstsein bezüglich des Wertes des Moorgebiets hinsichtlich des Schutzes von Wasser, von Biodiversität, des Klimas etc., sowie das Wissen über die Degradierung der Moorböden unter landwirtschaftlicher Nutzung bei allen Akteuren bemerkenswert hoch.

Ebenso wie im Ahlenmoor werden die Hoch- und Niedermoorflächen im Testgebiet 6 'Mooseurach' vor allem für die Milchviehhaltung genutzt. Insbesondere die Niedermoorflächen werden als verhältnismäßig intensives Grünland zur Futterproduktion bewirtschaftet. Ökologisch wertvolle Hoch- und Niedermoorflächen sind zum Teil Gegenstand von Naturschutzprogrammen und werden landwirtschaftlich als extensive Streuwiesen genutzt. Das naturschutzfachliche Interesse in der Region fokussiert derzeit in erster Linie den Schutz der Hochmoorflächen und die Ausdehnung der extensiven Streuwiesennutzung. Diese sollen entweder als Einzelflächen von den einzelnen Betrieben unter Vertragsnaturschutzprogrammen oder bei Landwirten, die sich auch die Streuwiesenpflege spezialisieren („Pflegehöfe“). Einige Landwirte haben diesen Betriebszweig bereits in ihr operatives Betriebskonzept integriert. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch von Konzepten des Naturschutzes ausgenommen sind die umfassenden, verhältnismäßig intensiv genutzten regionalen Niedermoorflächen. Für diese Flächen stellt die Ausgangssituation einer absoluten Grünlandregion (Grünlandanteil der befragten Betriebe >93%), welche die landwirtschaftliche Produktion auf Milchviehwirtschaft limitiert, und die mit der Milchviehwirtschaft verbundene hohe Kapitalbindung die Hauptbarriere gegenüber der Akzeptanz klimaschonender Moorbewirtschaftung dar. Nichtsdestotrotz, im Vergleich zum Ahlenmoor gibt es in Mooseurach einen signifikanten Unterschied: Während der Betriebsbefragungen wurde deutlich, dass die Akzeptanz gegenüber Extensivierungsmaßnahmen oder des Anbaus angepasster Energiepflanzen deutlich höher ist als im Testgebiet 1. Dies ist offensichtlich der Tatsache geschuldet, dass in Mooseurach die betrieblichen Betroffenheiten mit im Durchschnitt 27% deutlich niedriger sind. Die Betriebe können Futtereinbußen zu einem gewissen Grad durch verschiedene Anpassungsmaßnahmen auf den verbleibenden Flächen ausgleichen.

Regionale Umsetzungspotenziale – Kriterien zur Umsetzung und deren Ausprägung

Die unterschiedlichen Ausgangssituationen und Einstellungen der Interessensvertreter die sich in den Testgebieten des Projektes abzeichnen zeigen, dass eine Vielzahl von Kriterien die Umsetzung klimaschonender Moorbewirtschaftung hemmen oder fördern kann. Natürlich spielen Einflussgrößen wie Nutzungsgeschichte, die natürliche Endlichkeit der Nutzbarkeit der Flächen, Traditionen und persönliche Einstellungen der Betroffenen eine Rolle. Ausschlaggebend über alle Regionen hinweg erscheinen aber in erster Linie drei Faktoren:

1. Vernetzung und der Austausch der relevanten Interessensvertreter

Über alle Regionen hinweg werden die Perspektiven klimaschonender Moorbewirtschaftung von einer Vielzahl unterschiedlicher Stakeholder beeinflusst. Einige von ihnen verfolgen sehr spezifische und zielgerichtete Interessen (z.B. Interessensvertreter der Landwirtschaft, der Wasserwirtschaft, des Naturschutzes) während andere umfassendere Zielvorstellungen vertreten (z.B. Vertreter der Regionalentwicklung). Die Ergebnisse legen nahe, dass die Vernetzung und Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Stakeholder ein herausragendes Kriterium für die Umsetzung großangelegter Umnutzungsmaßnahmen darstellen. Da sich die

Art und Stärke der Vernetzung für den Grad des Austauschs und der Zusammenarbeit zwischen den Interessensvertretern steht, scheinen die Umsetzungsperspektiven in „Netzwerkregionen“ (z.B. im Freisinger Moos) eher gegeben. Das Vorhandensein von Netzwerken in welchen Akteure integriert sind die relevante wissenschaftliche Informationen bereitstellen können kann das Bewusstsein bezüglich des Wertes von Mooren für den Schutz von Wasser, Biodiversität, Klima, etc. schärfen und den Wissenstand bezüglich der Degradierung landwirtschaftlich genutzter Moorböden und die daraus resultierende Endlichkeit der Moornutzung anheben. Es zeigte sich, dass das Bewusstsein dieser wissenschaftlichen Hintergründe substanziell dafür war eine positive Haltung gegenüber moorschonenden Maßnahmen einzunehmen. Neben Akteuren in den Netzwerken die in der Lage sind wissenschaftliche Hintergründe zu erläutern und zu erklären scheint es zudem essentiell, dass regionale Akteure involviert sein die in der Lage sind Entwicklungskonzepte zu planen und umzusetzen die die verschiedenen Bedürfnisse der betroffenen Interessensvertretern berücksichtigen und weitestgehend zu integrieren. Im Gegensatz zu „Netzwerkregionen“ werden Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen in solchen Regionen, in denen keine Verbindungen zwischen den regionalen Schlüsselakteuren bestehen, aller Wahrscheinlichkeit nach geringe Akzeptanz erfahren. Hier besteht ein größeres Risiko, dass eine Umsetzung von Maßnahmen zu Folgekonflikten führt, welche weiterführende Landnutzungsentwicklungen behindern können. Um derartige Entwicklungen zu vermeiden erscheint es notwendig alle relevanten Akteure in den gesamten Prozess der Landnutzungsentwicklung zu integrieren.

2. Technische Machbarkeit von Renaturierung und Wiedervernässung

Die naturwissenschaftlichen Ergebnisse des Gesamtprojekts machen deutlich, dass „klimaschonende“ Moorbewirtschaftung nur durch eine Anhebung der Grundwasserstände und durch die Einführung extensiver Landnutzungsstrategien erreicht werden kann. Im Rahmen der Untersuchung der regionalen Ausgangsbedingungen in den Testgebieten wurde klar, dass sich die technische Machbarkeit und die Kosten der Renaturierung von Gebiet zu Gebiet deutlich unterscheiden. So ist beispielsweise vollständige Wiedervernässung nicht in allen Regionen möglich bzw. zum Teil mit hohen Kosten verbunden. Aus diesem Grund werden die Perspektiven klimaschonender Moorbewirtschaftung von der technischen Machbarkeit der Umsetzung begrenzt werden.

3. Rentabilität der gegenwärtigen Moorbewirtschaftung

Unabhängig davon ob die technischen Möglichkeiten zur Wiedervernässung und Renaturierung gegeben sind oder nicht, zeigen die Ergebnisse der Untersuchung, dass landwirtschaftliche Stakeholder und Landwirte über alle Regionen hinweg derartige Maßnahmen größtenteils ablehnen. Auch die Umsetzung neuer und extensiverer, aber immer noch „landwirtschaftlicher“ Strategien, wie zum Beispiel die Einführung extensiver Mutterkuhhaltung, wird von den meisten Landwirten skeptisch gesehen. Die Ablehnung wurde in erster Linie mit den hohen Kosten der betrieblichen Umorganisation und der Anpassungsmaßnahmen begründet. Lediglich die Reduktion der Intensität existierender Nutzungsstrategien oder der klimafreundliche Anbau angepasster Energiepflanzen erscheinen den Landwirten als attraktiver. Der Anbau nachwachsender Rohstoffe wird von einigen Landwirten bereits durchgeführt. Die erhöhte Akzeptanz gegenüber einer lediglichen Extensivierung der bestehenden Nutzung lässt sich damit erklären, dass die Extensivierungen keine umfassende Veränderungen der Produktionsprozesse und –technik erforderlich machen und sich die Betriebe somit leichter anpassen können. Bezüglich der Einstellung gegenüber einem Anbau angepasster Energiepflanzen begründeten die Landwirte ihre Akzeptanz damit, dass sie, unter der Bedingung

adäquater Preise, marktorientierte Lösungen solchen Maßnahmen vorziehen, die lediglich aufgrund der Gewährung von Ausgleichszahlungen in den Betriebsablauf integrierbar wären. Generell zeigen die Ergebnisse, dass vor allem in den Regionen, in welchen die gegenwärtige landwirtschaftliche Produktion auf den Moorflächen sehr rentabel oder kapitalintensiv ist, die Einstellung gegenüber Veränderungen der Nutzungsstrategien eher negativ ist, selbst unter der Perspektive eines finanziellen Ausgleiches. Immer wenn die Moorflächenbewirtschaftung fundamental zur Erzeugung des Betriebseinkommens ist, haben die landwirtschaftlichen Stakeholder eine Beibehaltung oder sogar eine Steigerung der gegenwärtigen Intensität als Ziel. Insbesondere für Betriebe mit kapitalintensiven Produktionszweigen, wie zum Beispiel die Milchviehhaltung, würden Betriebsumorganisationen deren wirtschaftliches Überleben gefährden. Wie ausschlaggebend die Moorbewirtschaftung für die Rentabilität der Betriebe ist, wird zudem maßgeblich davon beeinflusst wie groß der Anteil an Moorflächen im Verhältnis zur gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche der Betrieb ist. Betriebliche Anpassungspotenziale sowie die Möglichkeiten zum Ausgleich von Marktfrucht- und Futterertragsverlusten werden umso geringer, je höher die betrieblichen Betroffenheiten ansteigen. Aus diesem Grund erscheint es verständlich dass in Regionen, in denen die durchschnittliche Betroffenheit hoch ist, Umsetzungsmaßnahmen weitaus stärker abgelehnt werden als in Regionen, in denen die Betriebe nur mit geringen Flächenanteilen betroffen sind.

Es ist offensichtlich, dass die regionalen Potenziale für eine Umsetzung klimaschonender Moorbewirtschaftung davon abhängen, wie diese einzelnen Faktoren zusammenspielen. In Abbildung 2.10.1 soll abschließend ein Überblick darüber gegeben werden, wie unterschiedlich die Ausprägung der Einflussfaktoren sich in den verschiedenen Untersuchungsregionen darstellt und welche tendenziellen Umsetzungspotenziale sich für die einzelnen Regionen abzeichnen.

Umsetzungspotenziale aufgrund...	Ahlenmoor	Dümmer	Peenetal	Havelluch	Freising	Mooseurach
...des Vernetzungsgrades regionaler Stakeholder	→	→	→	↘	↑	→
...der technischen Machbarkeit der Wiedervernässung/ Renaturierung	↗	↗	↑	↓	→	→
...der Rentabilität der gegenwärtigen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung	↓	↓	↑	↗	↗	↘

Abb. 70: Umsetzungspotenziale klimaschonender Moorbewirtschaftung ¹

Quelle: eigene Darstellung

¹ Ausprägung der Haupteinflussfaktoren einer Umsetzung klimaschonender Moorbewirtschaftung in den einzelnen Testgebieten (Basierend auf den Ergebnissen der Betriebsbefragungen und Stakeholderworkshops)

2.10 AP 2.10 Stakeholderbeteiligung (gemeinsame Federführung IÖW mit TUM-WDL, Beteiligung LBEG, TUM-VegÖk, MPI, ZALF)

TUM-WDL

In der Literatur wird wiederholt beschrieben, dass eine frühzeitige Integration von Akteuren, die ein spezielles Interesse an einer bestimmten Ressource haben, das Akzeptanzlevel und die Unterstützung für potenzielle Umsetzungsmaßnahmen erhöhen kann. Zudem kann die frühe Einbringung spezifischer Expertise und Information durch die relevanten Schlüsselakteure eine erfolgreiche Planung und Umsetzung von Entscheidungen und Maßnahmen unterstützen. (Nutt, 2002; Byrns, 2003). Auch verspricht die frühzeitige Berücksichtigung der verschiedenen Interessen eine Reduktion potenzieller Konflikte; gemeinsam erarbeitete Maßnahmen können leichter zur Umsetzung gebracht und müssen nicht „erzungen“ werden (MPA 2004; NRC Council 1996; Turaga, (no date); Webler et al., 2001). Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen des Projektes Stakeholder-Workshops in allen sechs Testgebieten abgehalten. Die Workshops verfolgten folgende Hauptziele: Zum einen sollte die Expertise und die Interessen der lokalen Akteure eingebunden werden. Des Weiteren sollten die Workshops zeigen, welche Faktoren die Umsetzung klimaschonender Moornutzungsstrategien fördern bzw. hemmen können.

Die Identifikation der relevanten Akteure erfolgte mit Unterstützung der jeweiligen Testgebietsverantwortlichen sowie in Absprache mit regionalen Experten die aufgrund ihres Einblicks in die jeweilige Region in der Lage waren die Hauptakteure zu benennen. Die Workshops fanden im ersten Projektjahr (2007) statt. Einzige Ausnahme stellte die Region „Mooseurach“ dar, hier sollte die im Testgebiet agierenden „Moorachse“ als wichtigste Stakeholdergruppe unbedingt in den Workshop eingebunden werden. Aus organisatorischen Gründen war es der Moorachse erst im Frühjahr 2008 möglich, den Stakeholderworkshop zu unterstützen. Allgemein waren an den Workshops insbesondere Vertreter der Landwirtschaft, der Kommunen und Regionalentwicklung, der Wasserwirtschaft, des Natur- und Moorschutzes sowie je nach Region weitere relevante Akteure beteiligt waren (vgl. Tab. 27).

	Ahlenmoor	Dümmer	Peenetal	Havel-luch	Freising	Moos-eurach
Datum: Beteiligte Akteure	24.04.07	11.10.07	20.12.07	23.04.07	23.10.07	02.07.08
Landwirtschaft	4	2	7	6	5	8
Wassermanagement	2	2	2		1	
Kommunen und Regionalentwicklung		7	2		2	1
Moor-/Naturschutz	2	5	2	2	4	7
Sonstige ¹	1	3	1	3	3	5

Tab. 27: Stakeholderbeteiligung an den Workshops: (Anzahl der Beteiligten)

¹ Wissenschaft, Forstwirtschaft, Tourismus, Fischerei, Jagdwesen, etc.

Im Verlauf der Workshops wurden die Stakeholder zunächst über die Inhalte und Ziele des Projektes informiert. Die Stakeholder selbst bekamen die Möglichkeit ihre Sichtweise und ihre Interessen bezüglich einer alternativen Landnutzung der jeweiligen Standorte darzustellen. Themenschwerpunkte der anschließenden Diskussion waren insbesondere (1) regionale Standortbedingungen, (2) gegenwärtige Landwirtschaft und Moornutzungsstrategien (3) Erfahrungen mit früheren Moorschutzmaßnahmen, (4) konkurrierende Interessen und (5) die voraussichtliche Entwicklung der regionalen Moornutzung. Die Inhalte der Workshops wurden dokumentiert, analysiert und bewertet.

Die Ergebnisse der Stakeholderworkshops wurden insbesondere dafür verwendet, die aus der betriebswirtschaftlichen Analyse abgeleiteten, „kostenorientierten“ Kriterien zur Umsetzung klimaschonender Moorbewirtschaftung um ausgewählte Kriterien zu erweitern, die die Umsetzungspotenziale klimaschonender Moorbewirtschaftung beeinflussen („mehrkriterielle“ Analyse, siehe Kapitel AP 2.9).

LBEG

Das LBEG führte gemeinsam mit den Projektpartnern in den Testgebieten TG1 und TG2 zwei Stakeholder Workshops, jeweils zum Projektbeginn und gegen Projektende, durch. Eingeladen wurden Vertreter des öffentlichen und privaten Naturschutzes, der Gebietskörperschaften, der Landwirtschaft und der Wasserwirtschaft.

Die Workshops haben zum Ziel, (1) die örtlich Betroffenen über das Vorhaben zu informieren und so den Projektablauf zu erleichtern, (2) mit den Betroffenen das Thema Klimaschutz und Möglichkeiten der lokalen Umsetzung zu diskutieren sowie praxisnahe Szenarien zu entwickeln und (3) die Projektergebnisse vorzustellen und zu diskutieren.

Folgende Arbeitsschritte erfolgten in beiden TG:

- Zusammenstellen einer Liste der zu Beteiligten,
- Einladung und Durchführung einer Informationsveranstaltung mit dem Ziel über das Projekt zu informieren
- Einladung und Durchführung eines ersten Stakeholder Workshops mit dem Ziel, über das Projekt zu informieren und Vorstellungen der Beteiligten zur aktuellen und künftigen Moornutzung einzuholen
- Einladung und Durchführung des zweiten Stakeholder Workshops mit dem Ziel, die Projektergebnisse hinsichtlich der Treibhausgasmessungen sowie der Szenarienbetrachtungen für eine moor- und klimaschonende Moornutzung vorzustellen.

Die Arbeitsgruppe ZALF-AUG zeichnete sich gemeinsam mit ZALF-SOM für die Organisation und Durchführung des Startworkshops zum Verbundvorhaben am ZALF in Müncheberg und eine gemeinsame Exkursion der Verbundpartner zur Forschungsstation Paulinenaue am 09. und 10. Oktober 2006 verantwortlich.

In Zuge der Vorbereitung der Stakeholderworkshops wurden vom 11. bis 13. Dezember 2006 für die Arbeitsgruppen TUM-WDL (Frau Schaller, Dr. Kantelhardt) und IÖW Berlin (Frau Dehnhardt) Expertengespräche organisiert, um den Gruppen einen Überblick zur Situation der Moornutzung bzw. des Moorschutzes in den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern (Testgebiet 3) und Brandenburg (Testgebiet 4) zu vermitteln. Hierzu wurden neben Dr. Lenschow und Prof. Schalitz (vgl. auch 1.2) auch Dr. Gelbrecht am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei in seiner Eigenschaft als Moorschutzexperte im NABU Brandenburg aufgesucht.

Am 24. April 2007 fand an der Forschungsstation Paulinenaue der 1. Stakeholderworkshop zum Thema Klimaschutz durch den Schutz der Moore des Rhin-Havelluches (TG 4) mit Stakeholdern aus der betroffenen Region statt. Dieser an der der Forschungsstation Landwirtschaft am Standort Paulinenaue durchgeführte Workshop wurde gemeinsam mit Herrn Prof. Schalitz, Leiter der Forschungsstation Paulinenaue, organisiert. Als Moderatoren traten Frau Lena Schaller und Herr Dr. Kantelhardt von der TUM München auf. Weiterhin trugen vonseiten der Projektpartner Herr Dr. Drösler als Leiter der BMBF Verbundvorhabens, Herr Schägner von Institut für ökologische Wirtschaftsforschung Berlin und Herr Zinecker vom ZALF durch eigene Beiträge zu der Veranstaltung bei. Anders als ursprünglich vorgesehen dominierten aufseiten der Stakeholder die Vertreter der Landwirtschaft. Akteure aus anderen Bereichen wie z.B. des Naturschutzes fehlten gänzlich. Aus diesem Grund gehen Inhalt und Ergebnis des Workshops im Wesentlichen auf den Austausch zwischen den Landwirten, der Agrarverwaltung und den Wissenschaftlern des Projektes zurück. Ungeachtet dessen war die Diskussion sehr intensiv und aufschlussreich. Sie zeigte, dass die Akteure vor Ort der sich beständig ändernden agrar- und klimapolitischen Rahmenbedingungen und Wandlungsprozesse sowie den sich daraus ergebenden Herausforderungen für die künftige Landnutzung schon recht gut bewusst waren. Sehr freimütig äußerten sie ihre Entwicklungsvorstellungen für die künftige Landnutzung, wobei unterschiedliche Blickwinkel deutlich zutage traten. Die Akteure stimmten jedoch in der Auffassung überein, dass insbesondere die extensive Freilandhaltung von Nutztieren maßgeblich zur moor- bzw. klimaschonenden Landnutzung im Rhin-Havelluch beitragen könnte.

Der für den gleichen Zeitraum geplante Workshop im Bereich des Testgebietes 3 (Peene-Flusstalmoor, Mecklenburg-Vorpommern) wurde nach intensiven Konsultationen mit Herrn Dr. Lenschow, Koordinator des Moorschutzprogrammes in Mecklenburg-Vorpommern auf den 20. Dezember 2007 verschoben. Ort des Treffens war die inmitten des Peenetales gelegene Stadt Demmin. Grund für die Verschiebung war, dass nach dem Regierungswechsel in Mecklenburg-Vorpommern der Sinn und Inhalt des Moorschutzes massiv in Frage gestellt wurde. Vor diesem Hintergrund erscheint eine Diskussion mit Stakeholdern in dieser Zeit ungeklärter Rahmenbedingungen als wenig sinnvoll. Anders als im Fall von Paulinenaue beteiligten sich an dieser Veranstaltung neben den oben angeführten Beteiligten aus dem Verbundprojekt neben vielen Landwirten auch ein großes Spektrum von Mitarbeitern aus Behörden, Verwaltungen. Die Veranstaltung selbst wurde maßgeblich vom zuständigen Wasser- und Bodenverband und durch das Landesamt für Umwelt, Geologie in Mecklenburg-Vorpommern (LUNG) unterstützt. Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass 1. die im Zuge des Moorschutzprogramms für das Peenetal vorgesehenen Renaturierungsmaßnahmen bereits weitgehend umgesetzt waren und 2. sich alle an der Umsetzung dieses Programms beteiligten Akteure weitgehend miteinander arrangiert hatten. Darüber hinaus wurde durchaus noch bei verschiedenen Details Handlungs- und vor allem Nachbesserungsbedarf gesehen. Angesichts dessen erscheint es wenig sinnvoll, einen auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse basierenden Abschlussworkshop durchzuführen, da die möglichen Handlungsoptionen bei der zukünftigen Gestaltung der Moornutzung hier bereits weitgehend ausgeschöpft waren (vgl. auch AP 2.3).

Aufgrund der beschriebenen, völlig andersartigen Situation war es für das Testgebiet 4 dagegen wichtig, einen solchen Abschlussworkshop durchzuführen. Das erfolgte am 10. Juni 2010 in der ZALF-Forschungsstation Paulinenaue. Unter tatkräftiger Mithilfe des neuen Leiters der Forschungsstation, Dr. Behrendt, war es uns diesmal gelungen, neben den Landwirten auch verschiedene Vertreter der zuständigen Behörden, des Wasser- und Bodenverbandes, relevanter Interessenverbände sowie Fachexperten für die Teilnahme zu gewinnen. Von Seiten des Projektverbundes nahmen an dem Treffen neben den Bearbeitern des Teilprojektes auch Vertreter der Gruppen TUM-WDL (Frau Schaller), IÖW Berlin (U. Petschow, S. Görlitz), ZALF-SOM (M. Wehrhan) und dem vTI (Frau Freibauer, stellvertretend für die Projektkoordination) teil. Nach einer ausführlichen Vorstellung der im Projektverbund insgesamt erzielten Ergebnisse wurde detailliert auf die Befunde aus dem Testgebiet und die daraus abgeleiteten gebietspezifischen Szenarien zu der zukünftigen Gestaltung der Moornutzung eingegangen. Daran schloss sich eine rege, kritisch-konstruktive Diskussion an. Vor allem die Möglichkeit, durch eine flächendeckende Umstellung der Nutzung auf den mittelintensiver Rohglanzgraswiesen einen maßgeblichen Beitrag zum Klimaschutz leisten zu können, stieß auf großes Interesse. Deutlicher zurückhaltender fiel die Reaktion auf das Erwägen der vollständigen Aufgabe der Moornutzung und der damit verbundenen Wiedervernässung aus. Hier sahen viele der am Treffen Beteiligten noch erheblichen Klärungsbedarf bezüglich der damit verbundenen Konsequenzen, speziell der tatsächlich anfallenden Kosten.

2.11 AP 2.11 Politikberatung (gemeinsame Federführung MPI und TUM-VegÖk)

MPI

Aktivitäten

Entsprechend dem Antrag umfasste die Politikberatung folgenden Aktivitäten:

- Halbjährliche Auswertung der internationalen Verhandlungen zum zukünftigen Klimaschutz im Hinblick auf Anrechenbarkeit von Moorschutz
- Mindestens einmal jährlich Austausch mit den deutschen Vertretern bei den internationalen Verhandlungen im Bereich Biosphäre
- Präsentation der Projektergebnisse für deutsche Bundes- und Landespolitik
- Präsentation der Projektergebnisse auf der Weltklimakonferenz 2008 oder 2009 – je nach Stand der Ergebnisse
- Erstellung eines politikspezifischen Toolkits zur praktischen Umsetzung

Ergebnisse

1. Auswertung der internationalen Klimaschutzverhandlungen

Die internationalen Klimaschutzverhandlungen wurden verfolgt und begleitet durch direkte Beratung zu den Positionspapieren der Bundesregierung und der Europäischen Staatengemeinschaft, durch aktive Teilnahme an den Klimakonferenzen in Poznan und Kopenhagen und durch regelmäßige direkte Kontakte mit Verhandlern von Deutschland und anderen EU-Staaten.

Die Verhandlungen sind weiterhin offen. Es ist zu erwarten, dass die Anrechnungskategorien des Kyoto-Protokolls weitgehend erhalten bleiben. Dies bedeutet:

- N₂O-Emissionen aus gedrähten Mooren unter Landwirtschaft sind fester Bestandteil der Emissionen, die im Kyoto-Protokoll und zukünftig berücksichtigt werden.
- CO₂- und N₂O-Emissionen aus Mooren unter der Landnutzung „Wald“ und durch Aufforstung und Entwaldung werden möglicherweise verpflichtend beim Klimaschutz berücksichtigt. Dies gilt für Deutschland bereits unter dem Kyoto-Protokoll.
- CO₂-Emissionen aus Mooren unter anderen Landnutzungen können freiwillig in die Aktivitäten unter dem Kyoto-Protokoll oder einem möglichen zukünftigen Protokoll gewählt werden.
- Speziell Klimaschutz durch Moorschutz in allen Landnutzungsarten könnte möglicherweise zukünftig durch eine neue Aktivität „wetlands management“ gewählt werden.

2. Austausch mit deutschen Vertretern im Bereich Biosphäre

Im Bereich des Schutzes der Biodiversität ist Klimaschutz durch Moorschutz bereits weit bekannt. Alle deutschen Bundesländer mit hohen Mooranteilen haben Moorschutzprogramme für den Schutz der Biodiversität, die teilweise um Klimaschutzziele ergänzt wurden und werden (z.B. Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein, Bayern). Mitglieder des BMBF-Projektes haben die Weiterentwicklung der Moorschutzprogramme fachlich begleitet und das

Bundesamt für Naturschutz (BfN) im Rahmen eines Parallelprojektes und durch Vorträge bei BfN-Veranstaltungen beraten. Ebenso wurden Vertreter von Landesbehörden und Naturschutzverbänden beraten. Zusätzlich wurden verschiedene Fachveranstaltungen für Klimaschutz durch Moorschutz durchgeführt (siehe 3. und Publikationen).

3. Präsentation der Projektergebnisse für deutsche Bundes- und Landespolitik

Das Potenzial für Klimaschutz durch Moorschutz und Wege zur Umsetzung wurden als Teil zahlreicher Vorträge, z.B. bei der Internationalen Grünen Woche 2009 und 2010, bei Beratungen mit Behördenvertretern, durch zahlreiche eingeladene Vorträge (siehe Publikationen) und die Durchführung von Fachveranstaltungen politik-gerecht präsentiert. Die folgenden Fachveranstaltungen für Klimaschutz durch Moorschutz wurden – teilweise in Synergie mit Parallelprojekten – durchgeführt:

- Fachgespräch Landwirtschaftliche Moornutzung im Klimawandel, organisiert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Johann Heinrich von Thünen-Institut und Julius-Kühn Institut, Braunschweig, 24.11.2009
- Workshop „Perspektiven für die Klimaschutz-Finanzierung von Moorschutzprojekten in Deutschland“, Johann Heinrich von Thünen-Institut und Technische Universität München, Freising, 30.06.2010

Für weitere Informationen siehe Kapitel 1.5.

4. Präsentation der Projektergebnisse auf der Weltklimakonferenz 2009

M. Drösler und A. Freibauer haben die Ergebnisse des BMBF-Projekts bei einem offiziellen Side Event bei der Weltklimakonferenz am 12.12.2009 in Kopenhagen präsentiert. Die Dokumentation ist verfügbar unter <http://regserver.unfccc.int/seors/reports/archive.html>.

M. Drösler hat außerdem die Ergebnisse des BMBF-Projekts beim IPCC Expert Meeting on HWP, Wetlands and Soil N₂O in Genf, 19.-21. Oktober 2010, vorgestellt. Die Ergebnispräsentation trug wesentlich zur Einschätzung der IPCC Task Force on Greenhouse Gas Inventories bei, dass die Methoden für den Bereich Wetlands verbessert werden können.

5. Toolkit zur praktischen Umsetzung der Projektergebnisse

Die wichtigsten Ergebnisse des Projekts wurden in einer allgemeinverständlichen Broschüre zusammengefasst. Die Broschüre wird bis Ende März 2011 zwischen allen Projektpartnern endgültig abgestimmt und Anfang April bei einer Moorschutzveranstaltung in Augsburg erstmals der Öffentlichkeit präsentiert. Ab Mai 2011 wird eine gedruckte Fassung vorliegen.

3 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

IÖW

Das IÖW ist an einem Vorhaben beteiligt, das sich mit der Bewertung von Landnutzungsoptionen vor dem Hintergrund des Klimawandels befasst, die Bewertung von Mooren wird in diesem Kontext ebenfalls eine Rolle spielen.

BMBF Förderinitiative „Nachhaltiges Landmanagement“ Projekt: CC-LandStraD Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel – Strategien für ein nachhaltiges Landmanagement in Deutschland

<http://modul-a.nachhaltiges-landmanagement.de/de/verbundprojekte/cc-landstrad/projektstruktur/>

MPI

Versuche zur Projektzertifizierung Moorschutz – Klimaschutz

Natur- und Moorschützer in Deutschland haben die Chancen für eine Finanzierung von lange geplanten, aber aus Geldmangel nicht umgesetzten Projekten durch freiwillige CO₂-Zertifikate erkannt. Im internationalen Klimaschutzbereich hat Voluntary Carbon Standard einen Vorschlag für Peatland Rewetting and Conservation gemacht, der das grundsätzliche Vorgehen zur Projektzertifizierung und Eckpunkte für die Art der Projekte beschreibt, aber wichtige Fragen zu Monitoring und Verifizierung offen lässt. Mecklenburg-Vorpommern ist in Deutschland mit der Initiative MoorFutures Vorreiter bei der Entwicklung von Moorschutz – Klimaschutz Projekten. Die Glaubwürdigkeit der Klimaschutzwirkung ist bei freiwilligen Klimamarktmärkten zentral. Daher ist es wichtig, eine robuste, fachlich unangreifbare Basis für den Nachweis der Klimaschutzwirkung zu finden, die die wichtigsten Einflussgrößen berücksichtigt. Die Ergebnisse des BMBF-Projektes quantifizieren erstmals mit deutschen Messdaten die Einflüsse des Wasserstands, der Nutzungsintensität, des Moortyps und der Art der Landnutzung. Die Ergebnisse können direkt zur Bewertung der Klimaschutzwirkung von Moorschutzprojekten verwendet werden.

TUM-VegÖK

Die Internationalität des Vorhabens hat im Rahmen des EU-TOK-Projekts (GREENFLUX) mit der Uni Posen einen starken Impuls erhalten und den Export des hier entwickelten Know-Hows über die bundesdeutschen Grenzen hinweg befördert.

Das im Zwischenbericht angekündigte Verbund-Projekt ‚Berichterstattung organische Böden‘ (vTI) läuft seit 2009 und konnte parallel zum BMBF-Vorhaben gestartet werden. Inhalt ist, die nationale Berichterstattung zum Spurengasaustausch von organischen Böden auf eine bessere Basis zu stellen. Die Koordination wird, wie auch im BMBF-Vorhaben, von der TUM (Dr. Drösler) übernommen. Das Konsortium des BMBF-Projekts wird in diesem Rahmen weiter zusammenarbeiten und noch erweitert werden. Nur durch die bisherigen wissenschaftlichen Ergebnisse des BMBF-Projekts wurde das vTI auf den Verbund aufmerksam. Die methodi-

schen und wissenschaftlichen Erkenntnisse aus dem BMBF-Projekt können direkt in dieses vTI-Projekt einfließen. Damit hat das BMBF-Projekt eine ganz entscheidende Bedeutung erhalten und die Ergebnisse werden direkt weiterverwertet. Z.T. werden die BMBF-Messflächen weiter fortgesetzt und um weitere Messgebiete erweitert (s. Abb. 71).

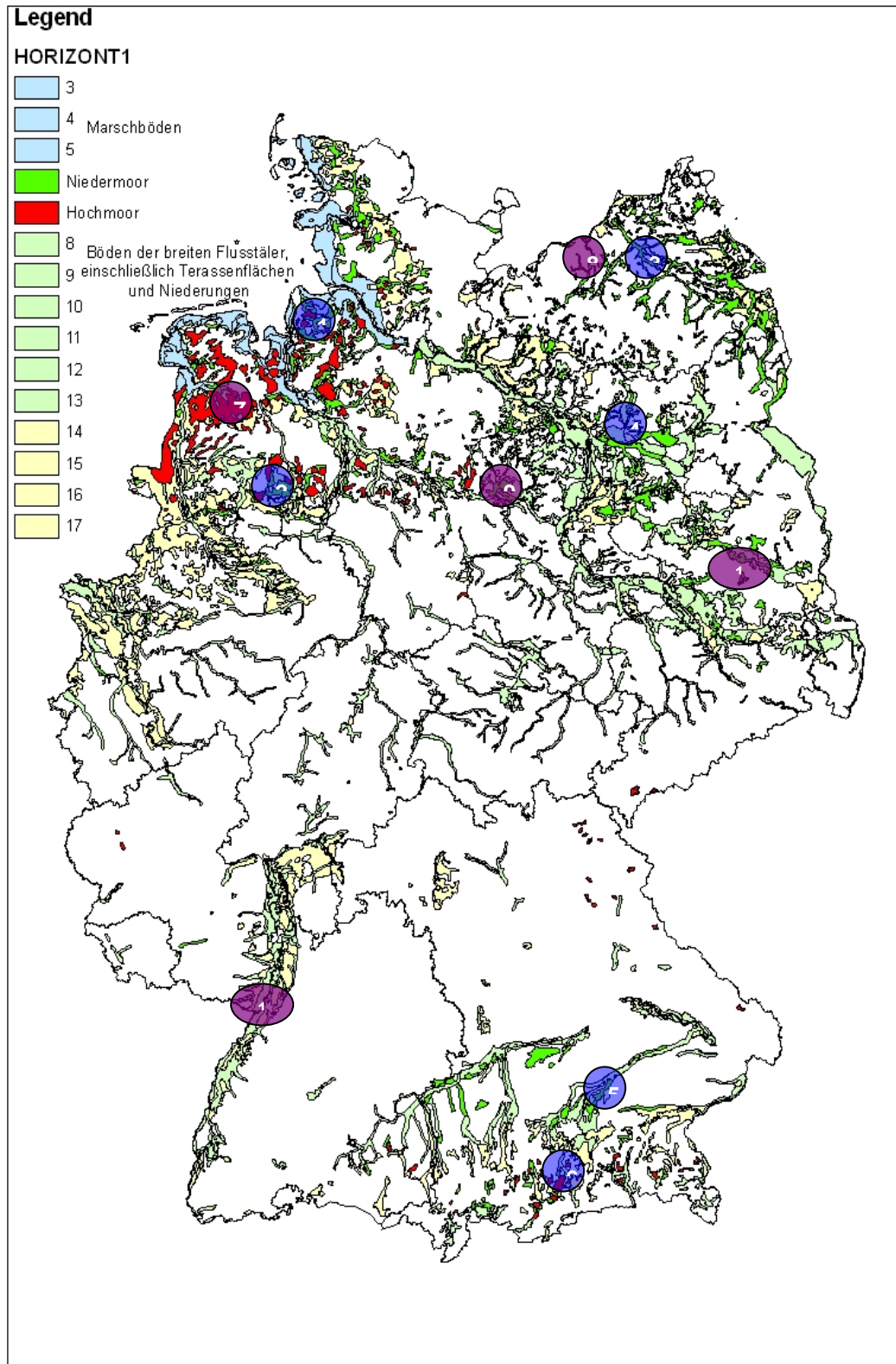
ZALF-AUG

Im Verlauf des der Bearbeitung des Vorhabens sind die organisatorischen und personellen Voraussetzungen dafür geschaffen worden, um die im Projektverbund angewandten Untersuchungsmethoden und die hier gewonnenen Erkenntnisse in einem umfassenden Programm zur Wiedervernässung weißrussischer Moore anwenden zu könnten (42.000 bis 500.000 ha). Es handelt sich dabei um ein seit 2008 vom BMU und der KfW gefördertes Vorhaben, dass vom Ministerium für Umweltschutz der weißrussischen Republik, der Royal Society for the Protection of Birds und der Michael-Succow-Stiftung koordiniert wird. Gemeinsam mit Matthias Drösler als dem Projektkoordinator sind durch die Leitung des Teilprojektes folgende Aktivitäten umgesetzt worden:

- Delegieren eines sachkundigen Spezialisten für die Durchführung von Gasaustauschmessungen auf Mooren in Person von Merten Minke in das Weißrusslandprojekt
- Mitwirken bei der Auswahl der Testgebiete und Messplots in Weißrussland sowie bei der Konzeption des Untersuchungsprogramms
- Mitwirken beim Sicherstellen der Qualität der Gasaustauschmessungen und bei der Auswertung der Resultate, u. a. durch Austausch von Daten und Durchführen gemeinsamer Ergebnisworkshops
- Ausbildung von drei technischen und wissenschaftlichen Mitarbeitern aus Weißrussland am ZALF zu Spezialisten für die Durchführung von Gasflussmessungen auf Mooren, um die Grundlagen zur eigenständigen Fortführung solcher Untersuchungen durch weißrussische Kollegen zu schaffen
- Mitwirken bei der Einrichtung eines Labors für Spurengasanalysen und dem
- Evaluierung der Messflächen und der Methodik der Gasflussmessungen vor Ort



Abb. 71: Messplot zum Erfassen des Gasaustausches auf einem überstauten Torfstich in Weißrussland



- im Rahmen des BMBF-Projekts eingerichtete Messgebiete, die hinsichtlich der Typen durch das vTI-Projekt erweitert und fortgesetzt werden sollen
- im Rahmen des vTI-Projekts neu eingerichtete Messgebiete

Abb. 72: Lage der Testgebiete des BMBF-Projekts „Klimaschutz - Moornutzungsstrategien“ und des vTI-Projekts „Berichterstattung organische Böden“

4 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

IÖW

In der Projektlaufzeit sind direkt relevante Forschungsvorhaben bzw. –ergebnisse nur in einem Fall bekannt geworden und ein Vorhaben, das im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz von der TU Berlin durchgeführt wurde. Die Ergebnisse des noch laufenden Vorhabens konnten genutzt werden.

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung
Biodiversität und Klimawandel: Anpassungsstrategien - Kosten-Nutzen-Szenarien und Klimabenefits.

Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Fkz. 3508 81 2100)

MPI

Die Darstellung konzentriert sich auf zusammenfassende Studien und Aspekte, die direkt projektrelevant waren. In den Übersichts-Artikeln ist der Fortschritt im jeweiligen Bereich zusammengefasst. Zugleich wird eine Einschätzung der Ergebnisse im Hinblick auf das BMBF-Projekt gegeben.

Forschungsergebnisse zu Treibhausgasemissionen aus Mooren in Europa (Drösler, M., A. Freibauer: Managed organic soils: new data on GHG-exchange for national reporting and cost-efficient mitigation. Side event bei COP15, Kopenhagen/Dänemark, 12. 12.2009)

Parallel zum BMBF-Projekt wurde eine Synthese-Studie zu Treibhausgasemissionen aus Mooren in Europa angefertigt. Dazu wurde ein Literatur-Review durchgeführt und die Autoren der Studien zu weiteren Standortdaten befragt. Insgesamt konnten so Messdaten für Jahresbilanzen von mindestens jeweils einem Treibhausgas für insgesamt 387 Standort-Jahren aus 17 Hochmoor- und 40 Niedermoorkomplexen gesammelt werden. Die meisten Daten stammen aus Finnland und dem BMBF-Projekt. Die im BMBF-Projekt gemessenen Werte liegen im oberen Bereich der europäischen Daten. Dies war aufgrund der klimatischen Situation und der außergewöhnlich hohen Nutzungsintensität in Deutschland zu erwarten. Die Studie zeigte, dass auch in Moorwäldern signifikante N₂O-Emissionen auftreten können. Daten zu degradierten naturnahen Standorten sind sehr variabel und knapp. Daten zu wiedervernässten Mooren fehlen in vielen Regionen. Mit den vielfältigen Standortkombinationen pro Testgebiet und dem breiten Spektrum an Nutzungen einschließlich renaturierter Flächen hat das BMBF-Projekt ein Alleinstellungsmerkmal.

Alm et al. (2007): Emission factors and their uncertainties for the exchange of CO₂, CH₄ and N₂O in Finnish peatlands. *Boreal Environmental Research* 12: 191-209.

Die finnische Studie fasst die finnischen Messdaten in den Landnutzungskategorien naturnahe Moore, für Forstwirtschaft gedränte Moore, Acker in aktiver Nutzung, aufgegebene Ackernutzung, Torfabbau, Aufforstung nach Torfabbau zusammen. Die Emissionsfaktoren

sind in den Intensivnutzungen ähnlich wie im BMBF-Projekt. Bei vielen Nutzungsarten sind die Ergebnisse komplementär zum BMBF-Projekt. Allerdings ist zu beachten, dass viele der Daten aus dem sub-borealen Bereich stammen und nur eingeschränkt auf deutsche Verhältnisse übertragbar sind.

Reiche, M., G. Gleixner, and K. Küsel (2010): Effect of peat quality on microbial greenhouse gas formation in an acidic fen. *Biogeosciences*, 7, 187–198, 2010

Die Studie nutzte einen ähnlichen Versuchsansatz wie Hahn-Schöfl et al. (2011) im BMBF-Projekt, allerdings ohne die Redoxbedingungen bei der Probenahme und die Gehalte an frischer organischer Substanz in den Proben zu bestimmen. Die Studie schlägt einen Index für Torfqualität vor, der das anaerobe Bildungspotenzial von CH₄ und CO₂ beschreiben soll. Freibauer und Augustin (2019) kommentierten allerdings, dass die methodischen Unsicherheiten der Studie den Index nicht stützen können und sehen in der Studie eine Bestätigung der Ergebnisse von Hahn-Schöfl et al. (2011).

Ergebnisse in europäischen Nachbarstaaten zu torfschonender Moornutzung

Vermutlich könnte Deutschland für die praktische Umsetzung einer torfschonenden Moornutzung von den skandinavischen und baltischen Nachbarn lernen. Dort ist die Nutzung von ehemaligen Torfabbauf Flächen für nachwachsende Rohstoffe bzw. Bioenergie weit verbreitet. In Schweden dominiert die Nutzung mit Weiden (*Salix* spp.), in Finnland und Estland ist die Nutzung mit Rohrglanzgras verbreitet. Allerdings sind die Moorwasserstände nicht notwendigerweise in klimaschonender Weise reguliert.

TUM-VegÖk

In Dänemark hat eine Arbeitsgruppe der Universität Aarhus mit einem vergleichbaren Ansatz 2009 mit der Messung der Spurengasemissionen der organischen Böden begonnen. Die Arbeitsgruppe unter Leitung von Dr. Soeren Petersen hat sich bei der Konzeption des Projektes eingehend mit Dr. Freibauer und Dr. Drösler im Rahmen eines Workshops beraten. Die im BMBF-Projekt eingesetzte Messtechnik und das Messprogramm wurden weitgehend übernommen. Das Dänemark-Projekt zeigt, dass sich derzeit verschiedene Länder mit hohen Anteilen an organischen Böden bemühen, ihre Emissionsschätzungen auf eine regionalisierte Basis zu stellen. Hinsichtlich der Ergebnisse aus dem Dänemark-Projekt besteht die Aussicht, dass im Rahmen des EU-Projektes GHG-Europe ein Datenaustausch und eine gemeinsame Auswertung vorgenommen werden.

5 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen und Vorträge

IÖW-Vorträge

2009. Is Peatland Restoration a Cost-Effective Measure for Climate Protection? An Ecologically Extended Cost-Benefit Analysis. Conference on Modelling Ecosystem Services, Mai 27th – 30th, 2009, Acaya, Lecce, Italy.

2009. Is Peatland Restoration a Cost-Effective Measure for Climate Protection? An Ecologically Extended Cost-Benefit Analysis. 8th International Conference of the European Society for Ecological Economics, June 29th – July 6th, 2009, Ljubljana, Slovenia.

2008: Is peatland restoration a cost-effective measure for climate protection? An ecologically extended cost-benefit-analysis. After Wise Use – The Future of Peatlands: 13th International Peat Congress, Tulamore, Irland.

LBEG

Paper

Liebersbach, H. und Höper, H. (2011). Freisetzung der klimarelevanten Gase Kohlendioxid, Methan und Lachgas aus Hochmooren in Niedersachsen am Beispiel des Ahlen-Falkenberger Moores. GeoBerichte (eingereicht), LBEG, Hannover.

Liebersbach, H. und Höper, H. (2011). Freisetzung der klimarelevanten Gase Kohlendioxid, Methan und Lachgas aus Niedermooren der Dümmerregion in Niedersachsen. GeoBerichte (eingereicht), LBEG, Hannover

Vorträge (projektextern incl. Stakeholderworkshops)

Höper, H. (2010). Klimarelevanz von Hochmooren, Nordwest-Deutschland - Niedersachsen „Ahlenmoor“. Vortrag auf dem Abschluss Symposium „Klimaschutz durch Moorschutz!“ des BMBF-Vorhabens am 28.06.2011 in Freising

Höper, H. (2010). Klimarelevanz von Niedermooren, Nordwest-Deutschland - Niedersachsen „Dümmer“ Vortrag auf dem Abschluss Symposium „Klimaschutz durch Moorschutz!“ des BMBF-Vorhabens am 28.06.2011 in Freising

Höper, H. (2010). Das Projekt Klimaschutz – Moornutzungsstrategien. Ergebnisse der Gasflussmessungen aus dem Projektgebiet „Dümmer“. Vortrag auf dem 2. Stakeholder-Workshop am 27.05.2010 in Dümmerlohhausen.

Höper, H., Schaller, L., Kantelhart, J., Drösler, M., Petschow U. (2010). Das Projekt Klimaschutz – Moornutzungsstrategien. Szenarienbetrachtungen im Projektgebiet „Dümmer“. Vortrag auf dem 2. Stakeholder-Workshop am 27.05.2010 in Dümmerlohhausen

Höper, H. (2010). Das Projekt Klimaschutz – Moornutzungsstrategien. Ergebnisse der Gasflussmessungen aus dem Projektgebiet „Ahlenmoor“. Vortrag auf dem 2. Stakeholder-Workshop am 28.05.2010 in Wanna.

Höper, H., Schaller, L., Kantelhart, J., Görlitz, S., Petschow U., Drösler, M., Freibauer, A. (2010). Das Projekt Klimaschutz – Moornutzungsstrategien. Szenarien zum Einfluss von Landnutzungsänderungen und Vernässung auf die Treibhausgasfreisetzung im Projektgebiet „Ahlenmoor“ Vortrag auf dem 2. Stakeholder-Workshop am 28.05.2010 in Wanna.

Höper, H. (2010). Treibhausgasemissionen aus Mooren: Messergebnisse von niedersächsischen Standorten. Vortrag auf der NNA-Fachtagung "Für die Neubegründung eines ganzheitlichen Moorschutzes" am 11.5.2010, Schneverdingen.

Höper, H. (2010). Treibhausgas-Emissionen von Hochmoorstandorten. Vortrag auf der Abschlussstagung zum Projekt „Wiederherstellung artenreichen Hochmoorgrünlandes durch eine nachhaltige landwirtschaftliche Nutzung unter besonderer Berücksichtigung der Flatterbinsen-Problematik“ am 14.09.2010, Oldenburg

Höper, H. (2010). Treibhausgasemissionen in Abhängigkeit von der Moornutzung (Hochmoore). Aktuelle Messergebnisse aus dem BMBF Projekt Klimaschutz – Moornutzungsstrategien. Vortrag auf der Tagung der DGMT „Verwendung und Substitution von Torf – Verantwortliche Nutzung von Rohstoffen im Klimawandel“ 09.11.2010 in Fulda.

Höper, H. (2009). Was bringt die Wiedervernässung von Mooren für den Klimaschutz? Vortrag auf der Jahrestagung der DGMT am 24.09.2009 in Fulda.

MPI

Max-Planck-Institut für Biogeochemie

(A. Freibauer ab Juli 2008: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Agrarrelevante Klimaforschung)

Publikationen

Erfolgte Publikationen

Heinichen, J. (2008): Entwicklung eines Laborexperiments mit Mesokosmen zum Einfluss der Wiedervernässung auf Treibhausgasemissionen aus gedrähten Mooren. Diplomarbeit am Institut für Geographie, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Freibauer, A., M. Drösler, A. Gensior, E.-D. Schulze (2009): Das Potenzial von Wäldern und Mooren für den Klimaschutz in Deutschland und auf globaler Ebene. *Natur und Landschaft* 1/2009: 20-25

Freibauer, A., J. Augustin (2009): Interactive comment on "Effect of peat quality on microbial greenhouse gas formation in an acidic fen" by M. Reiche et al., *Biogeosciences Discuss.*, 6, C2593–C2601, 2009, www.biogeosciences-discuss.net/6/C2593/2009/

Hahn-Schöfl, M., Zak, D., Minke, M., Gelbrecht, J., Augustin, J., and Freibauer, A. (2010): Organic sediment formed during inundation of a degraded fen grassland emits large fluxes of CH₄ and CO₂, *Biogeosciences Discuss.*, 7, 9273-9303, doi:10.5194/bgd-7-9273-2010, 2010.

Freibauer A. (in press): Anrechenbarkeit von Moorschutzmaßnahmen im nationalen Klimaschutz. Reihe Beiträge der Akademie, Bd 53 „CO₂-Senken reaktivieren: Schutz und Wiedervernässung von Mooren – Möglichkeiten und Grenzen für den Klimaschutz“.

Freibauer, A. (2010): Synergien zwischen Naturschutz und Klimaschutz in der Landnutzung Deutschlands. In: H. Korn, R. Schliep, J. Stadler (Ed.): *Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland VI – ergebnisse und Dokumentation des 6. Workshops*. BfN-Skripten 263, Bonn – Bad Godesberg, 21-23.

<http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript263.pdf>

Geplante Publikationen

Hahn-Schöfl, M., A. Thuille, G. Schöfl, A. Freibauer, M. Drösler, J. Heinichen (in prep.): Effect of experimental stepwise rewetting on CO₂, CH₄ and N₂O fluxes from fen grassland mesocosms. Draft vom 06.09.2010, unterbrochen wegen Mutterschaft der Erstautorin.

Hahn-Schöfl, M., A. Thuille, G. Schöfl, A. Freibauer, M. Drösler, H. Höper (in prep.): Effect of water table fluctuation on CO₂, CH₄ and N₂O fluxes from bog and fen grassland mesocosms. Datenauswertung abgeschlossen am 12.12.2010, unterbrochen wegen Mutterschaft der Erstautorin.

Hahn-Schöfl, M.: Dissertation, unterbrochen wegen Mutterschaft.

Vorträge

Freibauer, A.: eingeladener Vortrag „Potenziale für eine klimafreundliche Bodennutzung“ Jahrestagung des Bundesverband Boden, Müncheberg, April 2008. Dabei wurde Moorschutz als wichtige Maßnahme für den Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel dargestellt.

Freibauer, A.: eingeladener Vortrag zu "Evaluation of the potential of selected measures to reduce carbon emissions and sequester carbon in European soils", Konferenz "Climate change – can soil make a difference?", Brüssel, 12.06.2008. Dabei wurde Moorschutz als einzig rasch wirksame, quantifizierbare und nicht reversible Maßnahme vorgestellt.

Drösler, M.: eingeladener Vortrag „Klimaschutz durch Moorschutz – Potenziale, Synergien und Konflikte“, 8. Vilmer Sommerakademie Natur schützen im Klimawandel, Bundesamt für Naturschutz - Internationale Naturschutzakademie Insel Vilm, 13.-17.07.2008

Freibauer, A.: eingeladener Vortrag „Klimagasemissionen aus Grünlandumbruch“, NABU-Grünlandgipfel, Berlin, 27.05.2009. Dabei wurde Moorschutz als wichtige Maßnahme für den Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel dargestellt.

Freibauer, A.: eingeladener Vortrag „Soils“, Green Week 2009 Climate Change – act and adapt, Vision 2050 Session 4, "Working with Nature", Brüssel/Belgien, 25.06.2009. Dabei wurde Moorschutz als wichtige Maßnahme für den Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel dargestellt.

Freibauer, A.: eingeladener Vortrag „Synergien zwischen Naturschutz und Klimaschutz in der Landnutzung Deutschlands“, Sechster Workshop „Biodiversität und Klima - Vernetzung der Akteure in Deutschland“ Bundesamt für Naturschutz - Internationale Naturschutzakademie Insel Vilm, 31.08.-01.09.2009

Drösler, M., A. Freibauer, A. Laggner, et multi alii: Vortrag „Carbon and Methane Budget of European Peatlands along Climate and Land Use Gradients“, International Carbon Dioxide Conference 8, Jena, 14.-18.09.2009

Freibauer, A.: eingeladener Vortrag „Klimawirksamkeit von Naturschutzmaßnahmen“, K L I K Klimaschutz und Kompensationsmaßnahmen, Fachtagung des BFAD e.V., Bremen, 24./25.09.2009

Drösler, M., A. Freibauer: Managed organic soils: new data on GHG-exchange for national reporting and cost-efficient mitigation. Side event bei COP15, Kopenhagen/Dänemark, 12.12.2009.

Freibauer, A.: eingeladener Vortrag „Die Rolle von Landbewirtschaftung im Kontext des Klimawandels“, Netzwerk Land Fachtagung Agrarumweltmaßnahmen und Klimaschutz?, Deutsche Vernetzungsstelle Ländliche Räume, Passau, 3./4.05.2010

Freibauer, A.: eingeladener Vortrag „Anrechenbarkeit von Moorschutzmaßnahmen im nationalen Klimaschutz“, Tagung „CO₂-Senken reaktivieren: Schutz und Wiedervernässung von Mooren – Möglichkeiten und Grenzen für den Klimaschutz“, Bad Wurzach, 23.06.2010

Freibauer, A.: Vortrag „Moorschutz in der nationalen und internationalen Politik.“, Klimaschutz durch Moorschutz! Symposium zum Abschluss des BMBF-Projekts "Klimaschutz-Moornutzungsstrategien", Freising, 28./29.06.2010.

Teilnahme an Veranstaltungen als Fachexperten für Klimaschutz durch Moorschutz

Augustin, J., M. Drösler, A. Freibauer, ...: eingeladene Experten beim Workshop „Moore als Quellen und Senken klimarelevanter Gase“, organisiert vom Umweltministerium Baden-Württemberg und Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe, 12.10.2009

Freibauer, A.: eingeladene Expertin beim Fachgespräch „Handlungsoptionen für einen stärkeren Moorschutz“, organisiert von NABU und BfN, NABU-Bundesgeschäftsstelle Berlin, 23.11.2010

TUM-VegÖk

Publikationen

Droesler M. (2005): Trace gas exchange and climatic relevance of bog ecosystems, southern Germany. Dissertation an der Technischen Universität München, 179 S. published online: urn:nbn:de:bvb:91-diss20050901-12494310.

Höper, H., Augustin, J., Drösler, M., Lundin, L., Moors, E., Vasander, H., Waddington, M. (2008): Restoration of peatlands and greenhouse gas balance. In: Strack, M. (Ed.) Peatlands and Climate Change, International Peat Society, Jyväskylä, Finland. ISBN 978-952-99401-1-0. pp. 182-210.

Chojnicki B.H, Michalak M., Acosta M., Juszczak R., Augustin J., Droesler M., Olejnik J., 2010. Measurements of carbon dioxide fluxes by chamber method at Rzecin wetland ecosystem in Poland. Polish Journal of Environmental Studies, Vol.19, No. 2: 283-291.

Juszczak, R., Acosta, M., Michalek, M., Chojnicki, B. H., Urbaniak, M., Drösler, M., Augustin, Olejnik, J., 2010. Night-time CO₂ chamber measurements in peatland ecosystem in Poland. Acta Agrophysica 179, 113-131.

Juszczak R., Acosta M., Michalak M., Chojnicki B., Urbaniak M., Drösler M., Augustin J., Olejnik J. 2010. Night-Time CO₂ chamber measurements in peatland ecosystem in Poland. In: Atmospheric heat and mass exchange research, Ed. by B.H. Chojnicki. Acta Agrophysica No. 179: 113-131.

Michalak M., Juszczak R., Acosta M., Chojnicki B., Drösler M., Augustin J., Olejnik J., 2010. Comparison of observed and modeled daily ecosystem respiration (Reco) and net ecosystem exchange (NEE). In: Atmospheric heat and mass exchange research, Ed. by B.H. Chojnicki. Acta Agrophysica No. 179: 41-58.

Höll, B.S., Fiedler, S. Hermann, F., Jungkunst, K., Kalbitz, K. Freibauer, A. Drösler, M., Stahr, K. (2009): Characteristics of dissolved organic matter following 20 years of peatland restoration. Accepted 2009 in Science of the Total Environment. 408 (2009) 78-83.

Freibauer, A., M. Drösler, A. Gensior, E.-D. Schulze (2009): Das Potenzial von Wäldern und Mooren für den Klimaschutz in Deutschland und auf globaler Ebene. *Natur und Landschaft* 1/2009: 20-25

Drösler, M., W. Adelman, J. Augustin, L. Bergmann, M. Beyer, M. Giebels, C. Förster, A. Freibauer, H. Höper, U. Petschow, M. Hahn-Schöfl., J. Kantelhardt, H. Liebersbach, J.-P. Schägner, L. Schaller, M. Sommer, A. Thuille, M. Wehrhahn (2010): Klimaschutz durch Moorschutz. In: M. Mahammadzadeh, H. Biebeler, H. Bardt (ed.): Klimaschutz und Anpassung an die Klimafolgen. Strageien, Maßnahmen und Anwendungsbeispiele. Institut der deutschen Wirtschaft Köln Medien GmbH, Köln, ISBN 978-3-602-14847-9: 89-97.

Drösler M. (2010): Was haben Moore mit dem Klima zu tun? In: *Laufener Spezialbeiträge* 2/09. pp.60-69

Drösler, M. et multi alii [alle Projektteilnehmer] (2011) Klimaschutz durch Moorschutz – Ergebnisse für die Praxis; Arbeitsberichte aus dem vTI-Institut für Agrarrelevante Klimaforschung, April 2011; verfügbar unter: http://www.ti.bund.de/fileadmin/dam_uploads/Institute/AK/PDFs/Klimaschutz_Moorschutz_Praxis_BMBF_vTI-Bericht_20110408.pdf

Vorträge

Drösler, M.: eingeladener Vortrag „Veränderung der Moore durch den Klimawandel und Einfluss auf den Klimawandel durch den Zustand der Moore“ BN-Wartatweil, 16.09.06

Drösler, M.: “EU peatlands: An overview of current trace gas fluxes”, SER Greifswald, 09.06

Drösler, M.: eingeladener Vortrag „Klimaschutz durch Moorschutz – Potenziale, Synergien und Konflikte“, 8. Vilmer Sommerakademie Natur schützen im Klimawandel, Bundesamt für Naturschutz - Internationale Naturschutzakademie Insel Vilm, 13.-17.07.2008

Drösler, M.: eingeladener Vortrag „Schutz vorhandener C-Speicher: klimafreundliche Moornutzung“, Fachtagung Aktiver Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel – Beiträge der Agrar- und Forstwirtschaft, Braunschweig, 15./16.06.2009

Drösler, M., A. Freibauer, A. Laggner, et multi alii: Vortrag „Carbon and Methane Budget of European Peatlands along Climate and Land Use Gradients“, International Carbon Dioxide Conference 8, Jena, 14.-18.09.2009

Drösler, M., A. Freibauer: Managed organic soils: new data on GHG-exchange for national reporting and cost-efficient mitigation. Side event bei COP15, Kopenhagen/Dänemark, 12.12.2009.

Drösler, M.: eingeladener Vortrag The conservation of peatlands – A win-win opportunity for fighting climate change, protecting water and maintaining biodiversity", Conference "Soil, Climate Change and Biodiversity – Where do we stand?", Brüssel, 23./24.09.2010

TUM-WDL

Schaller, L., J. Kantelhardt & M. Drösler, in press, “Cultivating the Climate, Socio-economic Prospects and Consequences of Climate-friendly Peatland Management in Germany”, *Hydrobiologia*

Schaller, L., J. Kantelhardt & M. Drösler, 2010, “Moore nutzen und Klima schützen – geht das?“, In: *Land in Form, Magazin für den ländlichen Raum*, Hrsg.: Bundesanstalt für Land-

wirtschaft und Ernährung, Deutsche Vernetzungsstelle ländliche Räume, 3.2010, pp. 40 – 43. ISSN: 1866-3176

Schaller, L., R. Hübner & J. Kantelhardt, 2010, "Climate change mitigation via peatland management – Challenges for rural areas", Building sustainable rural future: The added value of systems approaches in times of change and uncertainty. Session: Climate change: Agriculture, food security and human health, 9th European IFSA Symposium, July 4-7 2010, Vienna, Austria

Schaller, L. & J. Kantelhardt, 2010, „Betriebswirtschaftliche Kosten der CO₂-Vermeidung durch Anpassung der Landwirtschaft auf organischen Böden“, Fachtagung für die Neubegegründung eines ganzheitlichen Moorschutzes, 10. / 11 Mai, 2010, Schneverdingen, Deutschland

Schaller, L., J. Kantelhardt & M. Drösler, 2010, "Costs of Carbon Dioxide Abatement via Land-use Adaptation – the example of organic soil cultivation", 84th Annual Conference of the Agricultural Economics Society, March 29 – 31 2010, Edinburgh, England

Schaller, L., J. Kantelhardt, R. Huebner, A. Freibauer, M. Drosler, 2009, "Reshaping agricultural peatland use climate friendly in selected German regions", Proceedings of the International Association of Agricultural Economists 2009 Conference, August 16-22, 2009, Beijing, China, available at: <http://ageconsearch.umn.edu/handle/51547>

Schaller, L. & J. Kantelhardt, 2009, "Prospects for climate friendly peatland management – Results of a socioeconomic case study in Germany", 83rd Annual Conference of the Agricultural Economics Society, March 30 - April 1, 2009, Dublin, Ireland, available at: <http://ageconsearch.umn.edu/handle/51074>

Schaller, L. & J. Kantelhardt, 2009, "Farmers View on Climate Friendly Peatland Management", VTI Fachtagung, Aktiver Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel, Beiträge der Agrar- und Forstwirtschaft, June 15-18, Braunschweig, Germany, available at: http://www.vti.bund.de/de/institute/ak/aktuelles/veranstaltungen/homepages/0901_klimaschutz/tagungsband_web.pdf

Schaller, L. & J. Kantelhardt, 2009, "Cultivating the Climate - Socio-economic prospects and Consequences of Climate friendly Peatland Management in Germany", 4th Annual Meeting of the European Chapter of the Society of Wetland Scientists (SWS)"Progress and problems in wetland science – with a particular focus upon wetland restoration in Europe", May 20 – 24, 2009, Berlin, Germany

Schaller, L., J. Kantelhardt, J.-P. Schägner & M. Drösler, 2008, "Climate-friendly peatland management in Germany: stakeholder participation and microeconomic analysis", In Farrell, C. & Feehan, J. (eds.): After Wise Use - the Future of Peatlands. Proceedings of the 13th International Peat Congress, Tullamore. Int. Peat Society, Jyväskylä, pp. 73-76. available at: http://www.peatsociety.org/user_files/files/Oral_Proceedings.pdf

Schaller, L., J. Kantelhardt, J.-P. Schägner & M. Drösler, 2008, "Aspekte alternativer landwirtschaftlicher Moorbewirtschaftung als Beitrag zum Klimaschutz in Deutschland", Agrarwirtschaftliche Aspekte zu Ursachen und Folgen von Veränderungen in Umwelt und Klima, 3. und 4. April 2008, Hochschule für Technik, Rapperswil SG

Hübner, R., J. Kantelhardt, L. Schaller, L., 2008, "Climate protection - land use in peat-land areas: Network analysis as a method for actors and systems analysis", Daub, C.-H., Burger, P. u. Scherrer, Y. Creating Values for Sustainable Development - Proceedings of the 2nd International Sustainability Conference, 21.-22. August, Basel, Switzerland

Schägner, J-P. & L. Schaller, 2008, "Is peatland restoration a cost-effective measure for climate protection? An ecologically extended cost-benefit-analysis", in Farrell, C. & Feehan, J. (eds.): *After Wise Use - the Future of Peatlands*. Proceedings of the 13th International Peat Congress, Tullamore. Int. Peat Society, Jyväskylä, pp. 432 - 436.

Schaller, L., 2007, „Betriebswirtschaftliche Überlegungen für eine klimaschonende Landwirtschaft auf Moorflächen“, Klimaschutz durch Moorschutz, Fachtagung des Lehrstuhle für Vegetationsökologie und der Deutschen Gesellschaft für Moor und Torfkunde, 5. – 6. Oktober 2007, Freising, Germany

ZALF-AUG

Publikationen

Augustin, J.; Joosten, H. (2007): Peatland rewetting and the greenhouse effect. - *International Mire Conservation Group Newsletter* (3): 29-30.

Christensen et al. (2011): Assessing the effects of chamber placement, manual sampling and headspace mixing on CH₄ fluxes in a laboratory experiment, *Plant and Soil* DOI: 10.1007/s11104-010-0701-y,

Gelbrecht, J. [Hrsg.] ; Zak, D. [Hrsg.] ; Augustin, J. [Hrsg.] (2008): Phosphor- und Kohlenstoff-Dynamik und Vegetationsentwicklung in wiedervernässten Mooren des Peenetales in Mecklenburg-Vorpommern : Status, Steuergrößen und Handlungsmöglichkeiten 190 S.; Berlin (Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei).

Hahn-Schöfl, M., Zak, D., Minke, M., Gelbrecht, J. Augustin, J. Freibauer, A. (2010): Organic sediment formed during inundation of a degraded fen grassland emits large fluxes of CH₄ and CO₂. *Biogeosciences Discuss.*, 7, 9273-9303.

Juszczak, R.; Acosta, M ; Michalak, M ; Chojnicki, B. H.; Urbaniak, M.; Drösler, M.; Augustin, J.; Olejnik, J. (2010): Night-time CO₂ chamber measurements in peatland ecosystem in Poland. - *Acta Agrophysica* (179): 113-131.

Michalak, M.; Juszczak, R.; Acosta, M.; Chojnicki, B. H.; Augustin, J.; Drösler, M.; Olejnik, J. (2010): Comparison of observed and modeled daily ecosystem respiration (Reco) and net ecosystem exchange (nee). - *Acta Agrophysica* (179): 41-58

Vorträge

Impact of reflooding on greenhouse gas exchange of degraded fen peatlands, Chojnicki, B. H., Augustin, J., & Olejnik, J. (2007), Proceedings of the 1st International Symposium on Carbon in Peatlands, Wageningen, The Netherlands, 15-18 April 2007

Greenhouse gas fluxes of rewetted and flooded fen grassland areas in Northeast Germany, Minke et al., Third International Conference, Emission and sink of greenhouse gases on the Northern Eurasia territory, Puchino 4-8 Juni 2007

Austausch klimarelevanter Spurengase (CO₂, CH₄, N₂O) und Klimabilanz in den ersten Jahren nach der Rücküberflutung eines degradierten Flusstalmoores in Mecklenburg-Vorpommern, Augustin et al., Klimaschutz durch Moorschutz?, Fachtagung - Freising 5. – 6. Oktober 2007

The meaning of alternative land use and weather for the trace gas exchange of drained fens in NE-Germany, Minke et al. 13th International Peat Congress, Tullamore 9. Juni 2008

Land use, weather and greenhouse gas exchange in drained fens in NE-Germany, Minke et al., IALE-Konferenz Bonn, 30. Oktober 2008

Market-Based Instruments for Peatland Conservation and Restoration, Augustin, BFN-Tagung Vilm, 12. November 2008

Drained and reflooded fen peatlands in North Germany - important sources or sinks for greenhouse gases?, Augustin et al., Minsk Dezember 2008

Anthropogenic impact on the carbon cycle of fen peatlands in NE-Germany, Giebels et al., EGU-Konferenz Wien, 20. April 2009

Land use influence on GHG Balances of minerotrophic fen peatlands in NE-Germany, Giebels et al., EGU-Konferenz Wien, 21. April 2009

Effect of N-fertilization on N_2 and N_2O flux rates in relation to the structure of the denitrifying bacterial community in fen soil, Augustin et al., EGU-Konferenz Wien, 22. April 2009

Changes in the release of greenhouse gases and global warming potential after reflooding of degraded fen grassland, Augustin, Giebels, Minke, Beyer, Ehrig, Leitholdt, Chojnicki & Sommer 4th Annual Meeting of the European Chapter of the Society of Wetlands Scientists (SWS), Berlin May 2009

Klimawirksamkeit nordostdeutscher Niedermoore, Giebels et al., DGL-Jahrestagung Oldenburg, 25. September 2009

Treibhausgasbilanzen auf landwirtschaftlich genutzten Niedermoorböden, Augustin et al., DBG-Tagung Bonn, 11. September 2009

Use of enclosure methods for long term measurements of the net CO_2 , CH_4 and N_2O exchange on organic and mineral sites influenced by land use changes, Augustin, Greenflux meeting, Poznan, 16. September 2009

Evaluating the applicability of the ECOSSE model to predict GHG emissions from managed organic soils in Brandenburg, Germany, Franz et al., EGU-Konferenz Wien, 03. Mai 2010

Seasonal Trace Gas Dynamics on Minerotrophic Fen Peatlands in NE-Germany, Giebels et al., EGU-Konferenz Wien, 05. Mai 2010

The role of land use for the climate impact of disturbed fen peatlands - examples from two extremely different sites; Augustin et al., Greenflux International Conference, 12. September 2010, Mierzecin

Dynamik des CO_2 - CH_4 - und N_2O -Austausches und der Klimawirkung bei wechselfeuchtem und permanent überstautem Niedermoorgrasland, Augustin et al., DGL-Jahrestagung Bayreuth, 01. Oktober 2010

Methodological Comparison of Different CO_2 -Flux Chamber techniques, Giebels et al., Greenflux International Conference, 13. September 2010, Mierzecin

Short-term and long-term effects on the GHG exchange and the C budgets of a reflooded and a drained fen peatland site, Augustin et al. 2011, GHG-Europe Peatland-synthesis Workshop Freisingen 20.-23. February 2011

Poster

Influence of land use change on nitrogen dynamics of former fen peatlands, Brozyna et al, Klimaschutz durch Moorschutz?, Fachtagung - Freising 5. – 6. Oktober 2007

The meaning of alternative land use and weather for the trace gas exchange of drained fens in NE-Germany, Minke et al., Klimaschutz durch Moorschutz?, Fachtagung - Freising 5. – 6. Oktober 2007

Anthropogenic impact on the CO₂ and CH₄ exchange and the carbon balance off en peatlands in NE-Germany, Augustin et al., 8. Internationale Kohlendioxid-Konferenz Jena, 13. September 2009

Greenhouse Gas Dynamics of Minerotrophic Fen Peatlands in NE Germany, Beyer et al., 2nd International Symposium Peatlands in the global carbon cycle Prag, 25. September 2009

Modelling Seasonal Carbon Dynamics on Fen Peatlands, Giebels et al., EGU-Konferenz Wien, 05. Mai 2010

Seasonal Carbon Dynamics on Selected Fen Peatlands in NE Germany, Giebels et al., EGU-Konferenz Wien, 05. Mai 2010

Abschlussarbeiten

Austausch der klimarelevanten Spurengase CO₂, CH₄ und N₂O bei einem anthropogen beeinflussten Kesselmoor, Eva Leitholdt, TU Dresden, 2009, Diplomarbeit

Austausch von Treibhausgasen und Klimawirkung nach Wiedervernässung eines Niedermoorgraslandes, Bärbel Ehrig, Universität Potsdam, 2009, Diplomarbeit

Einfluss der Landnutzung auf den Austausch klimarelevanter Spurengase (Kohlendioxid, Lachgas, Methan) bei entwässerten Niedermooeren Nordostdeutschlands, Madlen Beyer, TU München, 2009, Diplomarbeit

Einfluss des Grundwasserstandes auf den Austausch der klimarelevanten Treibhausgase Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) auf einem degradierten Niedermoorstandort, Mario Roppel, FU Berlin, 2009, Diplomarbeit

Einfluss dynamischer Steuerfaktoren auf den Austausch der klima-relevanten Spurengase Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄) auf einem degradierten Niedermoorstandort, Julia Jäger, Universität Potsdam, 2010, Bachelorarbeit

Einfluss von Landnutzung und Bodentyp auf den Spurengasaustausch eines entwässerten Niedermooeres, Emma Halle, TU Dresden, 2008, Diplomarbeit

Natural assessment of balances of carbon dioxide of cultivated and perennial phytocenosis on peaty soils, Andrei Burlo, A.D. Sakharov Internationale Staatliche Ökologische Universität Minsk, 2010, Masterarbeit

Release of CH₄ and N₂O from peat surfaces with different level of soil moistening, Hannah Chuvashova, A.D. Sakharov Internationale Staatliche Ökologische Universität Minsk, 2010, Masterarbeit

Vergleich von CO₂-Haubenmessmethoden in einem Dauerversuch auf einer landwirtschaftlich genutzten Niedermoorfläche, Nicole Jurisch, Universität Potsdam, 2010, Bachelorarbeit

Anhang I: Verwendete Literatur

- Alm J, Saarnio S, Nykanen H, Silvola J, Martikainen PJ (1999) Winter CO₂, CH₄ and N₂O fluxes on some natural and drained boreal peatlands. *Biogeochemistry*, 44, 163-186.
- Alm et al. (2007): Emission factors and their uncertainties for the exchange of CO₂, CH₄ and N₂O in Finnish peatlands. *Boreal Environmental Research* 12: 191-209.
- Alm, J., Shurpali, N. J., Minkinen, K., Aro, L., Hytönen, J., Laurila, T., Lohila, A., Maljanen, M., Martikainen, P. J., Mäkiranta, P., Penttilä, T., Saarnio, S., Silvan, N., Tuittila, E. S., and Laine, J. (2007): Emission factors and their uncertainty for the exchange of CO₂, CH₄ and N₂O in Finnish managed peatlands, *Boreal Environ Res*, 12, 191-209.
- Althoetmar, H. (1964): Die landwirtschaftliche Produktionsplanung landwirtschaftlicher Betriebe, Abhandlungen aus dem Industrieseminar der Universität zu Köln, Heft 19, Duncker & Humblot, Berlin
- Augustin, J. (2001): Emission, Aufnahme und Klimarelevanz von Spurengasen. In: Succow, M., Joosten, H. (eds.): *Landschaftsökologische Moorkunde*, 2nd ed., Schweizerbarth, Stuttgart, pp. 28-37.
- Augustin, J. (2003): Einfluss des Grundwasserstandes auf die Emission von klimarelevanten Spurengasen und die C- und N-Umsetzungsprozesse in nordostdeutschen Niedermoo- ren. In *Stoffausträge aus wiedervernässten Niedermoo- ren: Fachbeiträge auf einem wissenschaftlichen Kolloquium in Güstrow am 25. Februar 2002*. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Güstrow: 38-54
- Augustin, J. and Joosten, H. (2007): Peatland rewetting and the greenhouse effect. - *International Mire Conservation Group Newsletter* (3). Greifswald: 29-30 [29.12.2010, available at: <http://www.imcg.net/imcgnl/pdf/nl0703.pdf>]
- Beer, M., Corradini, R., Gobmaier, T., Wagner, U. (2008): Verminderungskosten als Instrument zur Ermittlung von wirtschaftlichen CO₂-Einsparpotenzialen, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 58. Jg. (2008) Heft 7. Essen, 2008
- Berglund Ö, Berglund K (submitted): Distribution and cultivation intensity of agricultural organic soils in Sweden and an estimation of greenhouse gas emissions, *Geoderma*.
- Berryman, E. M., Venterea, R. T., Baker, J. M., Bloom, P. R., and Elf, B. (2009): Phosphorus and greenhouse gas dynamics in a drained calcareous wetland soil in Minnesota, *J Environ Qual*, 38, 2147-2158, doi: 10.2134/jeq2008.0409.
- Beierle, T.C. & J. Cayford (2002): *Democracy in practice: Public participation in environmental decisions*. Resources for the Future, Washington DC.
- Blodau, C. (2002): Carbon cycling in peatlands - A review of processes and controls, *Environ Rev*, 10, 111-134, doi: 10.1139/A02-004.
- Bragg O, Lindsay R, Risager M, Silvius M, Zingstra H (2003) In Publication 18(ed International W).
- Brandes, U. and D. Wagner (2004a): Netzwerkvisualisierung, *Information Technology* 46(3): 129-134.
- Brandes, U. and D. Wagner (2004b): *VISONE - Analysis and Visualization of Social Networks*. Graph Drawing Software, Jünger, M. and P. Mutzel, Springer Verlag: 321-340.
- Brinson, M. M., Lugo, A. E., and Brown, S. (1981): Primary productivity, decomposition, and consumer activity in freshwater wetlands, *Annu Rev Ecol Syst*, 12, 123-161.
- Bryson, J. M. (2004): What To Do When Stakeholders Matter: A Guide to Stakeholder Identification and Analysis Techniques. In *Public Management Review* 6: 21 - 53.

- Bundesministerium der Justiz (2007): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis (Düngeverordnung – DüV). [29.12.2010, available at: http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/d_v/gesamt.pdf]
- 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.
- Chojnicki, B. H., Augustin, J., and Olejnik, J. (2007): Impact of reflooding on greenhouse gas exchange of degraded fen peatlands, Proceedings of the 1st International Symposium on Carbon in Peatlands, Wageningen, The Netherlands, 15-18 April 2007.
- Clymo, R. S. (1984): The limits to peat bog growth, *Philos T Roy Soc B*, 303, 605-654.
- Conrad, R. (1989): Control of methane production in terrestrial ecosystems, in: Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere, edited by: Andrea, M. O., and Schimel, D. S., Wiley, New York, 39-58.
- Dabbert, S. & J. Braun (2006): Landwirtschaftliche Betriebslehre, Grundwissen Bachelor, Ulmer Verlag, Stuttgart
- Dirks BOM, Hensen A, Goudriaan J (1999): Surface CO₂ exchange in an intensively managed peat pasture. *Climate Research*, 13, 115-123.
- Drösler, M. (2005): Trace gas exchange and climatic relevance of bog ecosystems, Southern Germany. Dissertation, Chair of Vegetation Ecology, Department of Ecology, Technical University Munich, 179 pp. [http://mediatum.ub.tum.de/mediatum/servlets/MCRQueryServlet?mode=ObjectMetadata&status=0&type=alldocs&hosts=local&lang=de&query=%2Fmycoreobject\[%40ID%3D%27mediaTUM_disshab_000000000002483%27\]](http://mediatum.ub.tum.de/mediatum/servlets/MCRQueryServlet?mode=ObjectMetadata&status=0&type=alldocs&hosts=local&lang=de&query=%2Fmycoreobject[%40ID%3D%27mediaTUM_disshab_000000000002483%27)
- Drösler, M., A. Freibauer, T. R. Christensen, & T. Friberg (2008): Observations and Status of Peatland Greenhouse Gas Emissions in Europe, In Dolman, A.J., R. Valentini & A. Freibauer (eds), Observations and Status of Peatland Greenhouse Gas Emissions in Europe, *Ecological Studies 203: The Continental-Scale Greenhouse Gas Balance of Europe*, New York: 243 - 261
- European Union (2003): Regulation (EC) No 2003/2003 of the European Parliament and of the Council, of 13 October 2003, relating to fertilisers, *Official Journal of the European Union*. [29.12.2010, available at <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:304:0001:0194:en:PDF>]
- European Commission (2003): Commission decision of 16 May 2003 amending Decision 85/377/EEC establishing a Community typology for agricultural holdings (notified under document number C(2003) 1557) (2003/369/EC) [available at: http://ec.europa.eu/agriculture/rica/detailtf_en.cfm]
- Fineberg, H & P. Stern (1996): Understanding Risk: Informing Decisions in a Democratic Society. National Academy Press, Washington, DC.
- Freibauer, A., M. Rounsevell, P. Smith, and A. Verhagen (2004): Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma*, 122, pp.1-23
- Freibauer, A., J. Augustin (2009): Interactive comment on “Effect of peat quality on microbial greenhouse gas formation in an acidic fen” by M. Reiche et al., *Biogeosciences Discussions*, 6, C2593–C2601, www.biogeosciences-discuss.net/6/C2593/2009/.
- Freibauer, A., M. Drösler, A. Gensior, E.-D. Schulze (2009): Das Potenzial von Wäldern und Mooren für den Klimaschutz in Deutschland und auf globaler Ebene. *Natur und Landschaft* 1/2009: 20-25.

- Glatzel, S., Basiliko, N., and Moore, T. (2004): Carbon dioxide and methane production potentials of peat from natural, harvested and restored sites, *Wetlands*, 24, 261-267.
- Gorham, E. (1991): Northern peatlands: Role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming, *Ecol Appl*, 1, 182-195.
- Hahn-Schöfl, M., Zak, D., Minke, M., Gelbrecht, J., Augustin, J., and Freibauer, A. (2010): Organic sediment formed during inundation of a degraded fen grassland emits large fluxes of CH₄ and CO₂, *Biogeosciences Discuss.*, 7, 9273-9303, doi:10.5194/bgd-7-9273-2010.
- Heikkinen JEP, Elsakov V, P. J. Martikainen, 16: art-1115. (2002) Carbon dioxide and methane dynamics and annual carbon balance in tundra wetland in NE Europe, Russia. *Global Biogeochemical Cycles*, 16, 115, doi: 110,1029 2002GB001930.
- Heikkinen JEP, Virtanen T, Huttunen JT, Elsakov V, Martikainen PJ (2004): Carbon balance in East European tundra. *Global Biogeochem. Cycles*, 18, GB1023, doi 10.1029/2003GB002054, 002006 February 002004.
- Heinichen, J. (2008): Entwicklung eines Laborexperiments mit Mesokosmen zum Einfluss der Wiedervernässung auf Treibhausgasemissionen aus gedränten Mooren. Diplomarbeit am Institut für Geographie, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Hendriks, D. M. D., van Huissteden, J., Dolman, A. J., and van der Molen, M. K. (2007): The full greenhouse gas balance of an abandoned peat meadow, *Biogeosciences*, 4, 411-424.
- Hensen A, Kieskamp W, Vermeulen A, et al. (1995) (ed ECN), pp. 68. ECN, Petten.
- Hirschfeld, J., J. Weiß, M. Preidl, T. Korbun (2008): Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland, Schriftenreihe des IÖW 186/08, Berlin, August 2008, ISBN 978-3-932092-89-3
- Höper H. (2007): Freisetzung klimarelevanter Gase aus deutschen Mooren. *Telma Band 37*: 85-116
- Höper, H., Augustin, J., Cagampan, J. P., Drösler, M., Lundin, L., Moors, E., Vasander, H., Waddington, J. M., and Wilson, D. (2008): Restoration of peatlands and greenhouse gas balances, in: *Peatlands and Climate Change*, edited by: Strack, M., International Peat Society, Jyväskylä, 182-210.
- Hübner, R., J. Kantelhardt & Schaller, L. (2008): Climate protection - land use in peat-land areas: Network analysis as a method for actors and systems analysis. In Daub, C.-H., Burger, P. & Y. Scherrer (eds), *Creating Values for Sustainable Development - Proceedings of the 2nd International Sustainability Conference*, 21.-22. August, Basel, Schweiz
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1995): Synthesis of scientific-technical information, Second Assessment Report, [available at: <http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf>]
- IPCC (1996): Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change, Technical Paper I, RT Watson, MC Zinyowera, RH Moss (Eds.), IPCC, Geneva, Switzerland. pp. 84, ISBN: 92-9169-100-3, [available at: <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/paper-I-en.pdf>]
- IPCC (2003): Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Technical Support Unit, Japan, ISBN 4-88788-003-0.
- Joosten, H., and Succow, M. (2001): Hydrogenetische Moortypen, in: *Landschaftsökologische Moorkunde*, 2. ed., edited by: Joosten, H., and Succow, M., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 234-240.

- Joosten, H. & D. Clarke (2002): *Wise Use of Mires and Peatlands – Background and Principles including a Framework for Decision Making*. International Mire Conservation Group and International Peat Society, Finland, Saarijärvi, 304 pp.
- Juutinen, S., Larmola, T., Remus, R., Mirus, E., Merbach, W., Silvola, J., and Augustin, J. (2003): The contribution of *Phragmites australis* litter to methane (CH₄) emission in planted and non-planted fen microcosms, *Biol Fert Soils*, 10-14, doi: 10.1007/s00374-003-0618-1.
- Kammann, C., Grünhage, L., and Jäger, H. J. (2001): A new sampling technique to monitor concentrations of CH₄, N₂O and CO₂ in air at well-defined depths in soils with varied water potential, *Eur J Soil Sci*, 297-303.
- Kantelhardt, J. & H. Hoffmann (2001): *Ökonomische Beurteilung landschaftsökologischer Auflagen für die Landwirtschaft - dargestellt am Beispiel Donauried*. In: *Berichte über Landwirtschaft* 3/2001: S. 415-436.
- Kapfer, M. (2007): *Ökonomische Auswirkungen ausgewählter Verfahren der Flurneueordnung*, Dissertation, available at: <http://mediatum2.ub.tum.de/node?id=618930>
- Kasimir-Klemedtsson, A., L. Klemedtsson, K. Berglund, P. Martikainen, J. Silvola & O. Oenema (1997): Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. *Soil Use and Management*, vol. 13: 229-304 (54 ref.), 245-250
- King, J. Y., and Reeburgh, W. S.: A pulse-labeling experiment to determine the contribution of recent plant photosynthates to net methane emission in arctic wet sedge tundra, *Soil Biol Biochem*, 34, 173-180.
- Klemedtsson L, Arnold KV, Weslien P, Gundersen P (2005): Soil CN ratio as a scalar parameter to predict nitrous oxide emissions. *Global Change Biology*, 11, 1142–1147. doi:1110.1111/j.1365-2486.2005.00973.x.
- Knorr, K. H., and Blodau, C. (2009): Impact of experimental drought and rewetting on redox transformations and methanogenesis in mesocosms of a northern fen soil, *Soil Biol Biochem*, 41, 1187-1198, doi:10.1016/j.soilbio.2009.02.030.
- Kõlli R, Ellermäe O, Köster T, Lemetti I, Asi E, Kauer K (submitted) Dependence of soil organic carbon sequestration on soil type and land use: a case study from Estonia. *Catena*.
- Lai, D. Y. F. (2009): Methane dynamics in northern peatlands: A review, *Pedosphere*, 19, 409-421.
- Langeveld CA, Segers R, Dirks BOM, Van den Pol Van Dasselaar A, Velthof GL, Hensen A (1997): Emissions of CO₂, CH₄ and N₂O from pasture on drained peat soils in the Netherlands. *European Journal of Agronomy*, 7, 35-42.
- Lappalainen Ee (1996): *Global Peat Resources*. Saarijärven Offset Oy, Saarijärvi, Finland, 359 pp.
- Lapveteläinen T, Regina K, Perälä P (2007): Peat based emissions in Finland's greenhouse gas inventory. *Boreal Environment Research*, 12, 225-236.
- Lenschow, U., Jeschke, L., Zscheile, K. H., and Ziese, B. (2003): *Geologie und Landschaftsgeschichte Mecklenburg-Vorpommerns*, in: *Die Naturschutzgebiete in Mecklenburg-Vorpommern*, Demmler Verlag GmbH, 713.
- Limpens, J., F. Berendse¹, C. Blodau, J. G. Canadell, C. Freeman, J. Holden, N. Roulet, H. Rydin & G. Schaepman-Strub¹ (2008): Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications – a synthesis. *Biogeosciences*, 5: 1475-1491
- Lofffield, N., Flessa, H., Augustin, J., and Beese, F. (1997): Automated gas chromatographic system for rapid analysis of the atmospheric trace gases methane, carbon dioxide, and nitrous oxide, *J Environ Qual*, 26, 560-564.

- Lohila A, Laurila T, Aro L, et al. (2007): Carbon dioxide exchange above a 30-year-old Scots pine plantation established on organic-soil cropland. *Boreal Environment Research*, 12, 141-157.
- Mäkiranta P, Hytönen J, Aro L, et al. (2007): Soil greenhouse gas emissions from afforested organic soil croplands and cutaway peatlands. *Boreal Environmental Research*, 12, 159-175.
- Maljanen M, Liikanen A, Silvola J, Martikainen PJ (2003a): Measuring N₂O emissions from organic soils by closed chamber or soil/snow N₂O gradient methods. *European Journal of Soil Science*, 54, 625-631.
- Maljanen M, Liikanen A, Silvola J, Martikainen PJ (2003b): Methane fluxes on agricultural and forested boreal organic soils. *Soil Use and Management*, 19, 73-79.
- Maljanen M, Liikanen A, Silvola J, Martikainen PJ (2003c): Nitrous oxide emissions from boreal organic soil under different land-use. *Soil Biology & Biochemistry*, 35, 689-700.
- Maljanen M, Martikainen PJ, Walden J, Silvola J (2001): CO₂ exchange in an organic field growing barley or grass in eastern Finland. *Global Change Biology*, 7(6), 679-692.
- Matthes, F. (1998): CO₂-Vermeidungskosten – Konzept, Potentiale und Grenzen eines Instruments für politische Entscheidungen, Ökoinstitut, Freiburg, 1998, available at: http://www.berlin.de/sen/umwelt/klimaschutz/studie_vermeidungskosten/endberic.pdf
- Minkinen K, Korhonen R, Savolainen I, Laine J (2002): Carbon balance and radiative forcing of Finnish peatlands 1900-2100 the impact of forestry drainage. *Global Change Biology*, 8, 785-799.
- Montanarella L, Jones RJA, Hiederer R (2006): The distribution of peatland in Europe. *Mires and Peat*, Volume 1 (2006), Article 01, <http://www.mires-and-peat.net>, ISSN 1819-754X.
- MPA (2004): Stakeholder Participation: A Synthesis of Current Literature. Published online by the National Marine Protected Areas Center in cooperation with the National Oceanic and Atmospheric Administration Coastal Services Center. [29.12.2010, available at http://www.mpa.gov/pdf/publications/Stakeholder_Synthesis.pdf]
- Nilsson M, Mikkela C, Sundh I, Granberg G, Svensson BH, Ranney B (2001): Methane emissions from Swedish mires - national and regional budgets and dependence on mire vegetation. *Journal of Geophysical Research*, 106, 20847-20860.
- NIR (2010): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2010. Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2008, Umweltbundesamt. EU-Submission, [16.06.2010, available at http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/ghgmm/envs0819q/DE_NIR_2010_EU_Submission_de.pdf]
- Nutt, P. (2002): *Why Decisions Fail: Avoiding the Blunders and Traps That Lead to Debacles*. Berrett-Koehler Publishers, San Francisco
- Nykanen -H, Alm -J, Silvola -J, Tolonen -K, Martikainen -PJ (1998): Methane fluxes on boreal peatlands of different fertility and the effect of long-term experimental lowering of the water table on flux rates. *Global Biogeochem. Cycles*, 12, 53-69.
- Nykanen H, Heikkinen JEP, Pirinen L, Tiilikainen K, Martikainen PJ (2003): Annual CO₂ exchange and CH₄ fluxes on a subarctic palsamire during climatically different years. *Global Biogeochemical Cycles*, 17, 10.1029/2002GB001861.
- Okruszko, H. (1995): Influence of hydrological differentiation of fens on their transformation after dehydration and on possibilities for restoration, in: *Restoration of Temperate Wetlands*, edited by: Wheeler, B. D., Shaw, S. C., Fojt, W. J., and Robertson, R. A., Wiley, Chichester, UK, 113-119.

- Paul, E. A., and Clark, F. E. (1996): Soil organic matter turnover: pool sizes and reaction kinetics, in: *Soil microbiology and biochemistry*, 2. ed., edited by: Paul, E. A., and Clark, F. E., Academic Press, San Diego, California, USA.
- Pfadenhauer, J. & M. Drosler (2005): Project submission „Climate change mitigation via peatland conservation“, unpublished
- Post, W., W. Emanuel, P. Zinke, & A. Stangenberger (1982): Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, 298: 156-159
- Puustjärvi, V. (1970): Degree of humification, *Peat Plant News*, 3, 48-52.
- Real, A.T. and N.D. Hasanagas (2005): Complete Network Analysis in Research of Organized Interests and Policy Analysis: Indicators, Methodical Aspects and Challenges." *Connections*, Vol. 26, pp. 89-106.
- Regina K, Syvasalo E, Hannukkala A, Esala M (2004): Fluxes of N₂O from farmed peat soils in Finland. *European Journal of Soil Science*, 55, 591-599, doi: 10.1111/j.1365-2389.2004.00622.x.
- Regina K, Pihlatie M, Esala M, Alakukku L (2007): Methane fluxes on boreal arable soils. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 119, 346-352.
- Reiche, M., G. Gleixner, and K. Küsel (2010): Effect of peat quality on microbial greenhouse gas formation in an acidic fen. *Biogeosciences*, 7, 187–198.
- Schätzl, R. (2007): Flussraummanagement im südostbayerischen Donau-Einzugsgebiet - Ökonomische Konsequenzen und Entwicklung von Anpassungsstrategien für die Landwirtschaft, available at: <http://mediatum2.ub.tum.de/node?id=615923>
- Schinner, F. (1993): Bodenatmung, in: *Bodenbiologische Arbeitsmethoden*, edited by: Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E., and Margesin, R., Springer, Berlin, Heidelberg, 84-86.
- Segers, R. (1998): Methane production and methane consumption: a review of processes underlying wetland methane fluxes, *Biogeochemistry*, 41, 23-51.
- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko (2007): Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Smolders, A. J. P., Tomassen, H. B. M., Lamers, L. P. M., Lomans, B. P., and Roelofs, J. G. M. (2002): Peat bog restoration by floating raft formation: the effects of groundwater and peat quality, *J Appl Ecol*, 39, 391-401.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., De Haan, C. (2006): *Livestocks long shadow, Environmental issues and options*, Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations; 2006
- Sterner, T. (2003): *Policy instruments for environmental and natural resource management, Resources for the future*, NW, Washington, 2003, ISBN 1-891853-13-9
- Sundh I, Nilsson M, Mikkela C, Granberg G, Svensson BH (2000): Fluxes of methane and carbon dioxide on peat-mining areas in Sweden. *Ambio*, 29, 499-503.
- Tuittila, E. S., Komulainen, V. M., Vasander, H., Nykänen, H., Martikainen, P. J., and Laine, J. (2000): Methane dynamics of a restored cut-away peatland, *Glob Change Biol*, 6, 569-581.
- Turunen, J., E. Tomppo, K. Tolonen & A. Reinikainen (2002): Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland – application to boreal and subarctic regions. *The Holocene*, 12: 69-80.

- Turaga, R.M.R. (2001): Public Participation in Environmental Decision Making: What Process Factors Affect Acceptability of Decisions?. School of Public Policy, Georgia Institute of Technology.
- Umweltbundesamt (2009): Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2007, Umweltbundesamt, Dessau, 575 pp.
- UN (2009): United Nations Climate Change Conference 2009, December Copenhagen, [official page at: <http://en.cop15.dk/>]
- UNFCCC (1998): Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, [available at <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>]
- US-EPA (2005): Global warming – Methane, US Environmental Agency, [available at <http://www.epa.gov/methane/>]
- van den Pol-van Dasselaar A, Beusichem MLV, Oenema O (1997): Effects of grassland management on the emission of methane from intensively managed grasslands on peat soil. *Plant & Soil*, 189, 1-9.
- van den Pol-Van Dasselaar A, Beusichem MLV, Oenema O (1999a): Determinants of spatial variability of methane emissions from wet grasslands on peat soil. *Biogeochemistry*, 44, 221-237.
- van Den Pol-Van Dasselaar A, Beusichem MLV, Oenema O (1999b): Methane emissions from wet grasslands on peat soil in a nature preserve. *Biogeochemistry*, 44, 205-220.
- Vasander H, Tuittila E-S, Lode E, et al. (2003) Status and restoration of peatlands in northern Europe. *Wetlands Ecology and Management*, 11, 51–63.
- Velthof GL, Brader AB, Oenema O (1996a): Seasonal variations in nitrous oxide losses from managed grasslands in the Netherlands. *Plant & Soil*, 181, 263-274.
- Velthof GL, Jarvis SC, Stein A, Allen AG, Oenema O (1996b): Spatial variability of nitrous oxide fluxes in mown and grazed grasslands on a poorly drained clay soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 28, 1215-1225.
- Vogel, T. (2002): Nutzung und Schutz von Niedermooren: empirische Untersuchung und ökonomische Bewertung für Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern. Der Andere Verlag, Osnabrück.
- von Arnold K, Nilsson M, Hånell B, Weslien P, Klemedtsson L (2005a): Fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O from drained organic soils in deciduous forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 37, 1059-1071.
- von Arnold K, Weslien P, Nilsson M, Svensson BH, Klemedtsson L (2005b): Fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O from drained coniferous forests on organic soils. *Forest Ecology & Management*, 210, 239-254.
- Webler, T., S. Tuler & R. Krueger (2001): What Is a Good Public Participation Process? Five Perspectives from the Public. *Environmental Management*, 27: 435 - 450
- Wilson, D., Alm, J., Laine, J., Byrne, K. A., Farrell, E. P., and Tuittila, E. S. (2008): Rewetting of cutaway peatlands: Are we re-creating hot spots of methane emissions?, *The Journal of the Society for Ecological Restoration International*, 17, 796-806, doi: 10.1111/j.1526-100X.2008.00416.x.
- Yavitt, J. B., Williams, C. J., and Wieder, R. K. (1997): Production of methane and carbon dioxide in peatland ecosystems across North America: Effects of temperature, aeration, and organic chemistry of peat, *Geomicrobiol J*, 14, 299-316.
- Zak, D., and 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, doi: 10.1007/s10533-007-9122-2.

- Zak, D., Gelbrecht, J., Wagner, C., and Steinberg, C. E. W. (2008): Evaluation of phosphorus mobilisation potential in rewetted fens by an improved sequential chemical extraction procedure, *Eur J Soil Sci*, 59, 1191-1201, doi: 10.1111/j.1365-2389.2008.01081.x.
- Zak, D., Wagner, C., Payer, B., Augustin, J., and Gelbrecht, J. (2010): Phosphorus mobilization in rewetted fens: the effect of altered peat properties and implications for their restoration, *Ecol Appl*, 20, 1336-1349, doi: 10.1890/08-2053.

Anhang II: Tabellen

TG	Meß-standort Variante	Reco +SE [g C m ⁻² a ⁻¹]	Reco -SE [g C m ⁻² a ⁻¹]	GPP +SE [g C m ⁻² a ⁻¹]	GPP -SE [g C m ⁻² a ⁻¹]	GPP Netto ohne Export [g C m ⁻² a ⁻¹]	NEE +SE [g C m ⁻² a ⁻¹]	NEE -SE [g C m ⁻² a ⁻¹]	Export [g C m ⁻² a ⁻¹]	Import [g C m ⁻² a ⁻¹]	Import/Export [g C m ⁻² a ⁻¹]	CH4 +SE [g C m ⁻² a ⁻¹]	CH4 -SE [g C m ⁻² a ⁻¹]	NZO +SE [g N m ⁻² a ⁻¹]	NZO -SE [g N m ⁻² a ⁻¹]	C Bilanz [g C m ⁻² a ⁻¹]	GWP Bilanz CH ₄ -C-equ. m ⁻² a ⁻¹	GWP Bilanz N ₂ O-C-equ. m ⁻² a ⁻¹	mittl. Wasserstand Sommer (1.05.-30.11)	mittl. Wasserstand Winter (1.11.-30.04)
BB	BB2	3239,3	862,4	611,0	-2198,2	517,2	575,3	1041,2	195,0	-190,0	-10,6	0,3	0,3	0,5	0,0	1046,2	0,0	66,5	-32,7	-33,6
BB	BB3	1617,7	280,0	235,0	-1623,3	226,3	235,2	-5,7	60,0	0,0	0,0	9,8	3,1	0,4	0,1	64,2	74,7	52,4	-13,4	-15,6
BB	BB4	1244,5	255,9	214,6	-1132,9	237,3	242,9	111,6	0,0	0,0	111,6	13,2	6,8	0,6	0,0	124,8	288,9	100,1	-7,9	-8,8
BB	BB5	1857,8	282,8	245,9	-1462,2	308,6	335,4	405,5	0,0	0,0	405,5	1,3	0,9	0,5	0,0	406,8	9,7	60,5	-30,4	-31,6
BB	BB6	1939,5	255,8	228,5	-1463,7	374,4	485,7	104,1	0,0	0,0	485,7	1,2	1,0	0,4	0,0	486,3	8,9	49,4	-20,6	-21,9
BB	BB7	1950,7	439,7	364,2	-1510,9	289,1	303,3	439,8	147,0	0,0	586,8	1,2	1,5	0,4	0,1	587,9	645,2	8,9	-20,6	-13,2
DR	DR1	1161,6	220,7	220,7	-1271,5	241,6	241,6	-109,9	0,0	0,0	20,1	77,1	2,1	2,1	0,0	97,1	548,5	100,4	-1,0	-1,4
DR	DR2	1441,6	230,7	230,7	-1572,4	251,6	251,6	-130,7	0,0	0,0	-74,3	70,2	1,8	1,8	0,0	-117,5	585,6	0,7	-7,4	-7,9
DR	DR3	1031,3	134,1	134,1	-1173,6	152,6	152,6	-142,3	0,0	0,0	0,0	-0,6	0,3	0,3	0,0	-4,1	533,4	0,0	-1,8	-1,5
DR	DR4	1123,9	179,8	179,8	-640,7	102,5	102,5	483,2	0,0	0,0	808,2	0,3	0,1	0,1	0,0	807,6	-4,3	225,9	-98,0	-2,1
DR	DR5	2070,8	383,5	383,5	-1560,7	296,5	296,5	510,1	208,0	0,0	718,1	0,3	0,1	0,8	0,3	718,4	826,7	2,3	106,3	0,0
KMF	KMF_D1							443,0	0,0	0,0	443,0	0,0	0,0	0,2	0,1	443,0	0,2	22,4	-29,0	0,0
KMF	KMF_D2							360,0	0,0	0,0	360,0	0,1	0,0	0,0	0,0	360,1	0,6	6,7	-20,2	0,0
KMF	KMF_D3							246,0	0,0	0,0	246,0	2,0	0,3	0,0	0,0	248,0	15,2	1,2	-11,6	0,0
KMF	KMF_D4							225,0	0,0	0,0	225,0	0,9	0,3	0,0	0,0	225,9	6,8	0,5	-17,0	0,0
KMF	KMF_N1							14,0	0,0	0,0	14,0	10,7	1,6	0,0	0,0	24,7	81,3	-1,1	-8,2	0,0
KMF	KMF_N2							4,0	0,0	0,0	4,0	5,4	0,5	0,0	0,0	9,4	44,8	-0,3	-8,4	0,0
KMF	KMF_N3							-54,0	0,0	0,0	-54,0	10,1	2,3	0,0	0,0	-43,9	22,5	76,8	-6,3	0,0
KMF	KMF_N4							-87,0	0,0	0,0	-87,0	27,7	2,1	0,0	0,0	-59,3	123,2	210,5	-9,5	0,0
KMF	KMF_N5							-152,0	0,0	0,0	-152,0	24,1	1,5	0,0	0,0	-127,9	30,5	183,2	-3,8	0,0
KMF	KMF_N6							-194,0	0,0	0,0	-194,0	38,2	2,2	0,0	0,0	-118,8	133,1	290,3	-0,2	0,0
KMF	KMF_R1							192,0	0,0	0,0	192,0	1,5	0,2	0,0	0,0	193,5	11,4	0,2	44,5	0,0
KMF	KMF_R2							127,0	0,0	0,0	127,0	7,1	3,1	0,0	0,0	134,1	180,8	54,0	-11,7	0,0
KMF	KMF_R3							62,0	0,0	0,0	62,0	2,3	0,4	0,0	0,0	64,3	17,5	0,2	-5,3	0,0

Tab. 28: Übersicht der Spurengasbilanzen assoziierter Flächen in den Jahren 1999, 2005 bzw. 2006 (Stand 2011)

