

Klimarelevanz von Mooren und Anmooren in Deutschland:

Ergebnisse aus dem Verbundprojekt „Organische Böden in der Emissionsberichterstattung“

B. Tiemeyer, A. Freibauer, M. Drösler, E. Albiac-Borraz, J. Augustin, M. Bechtold, S. Beetz, S. Belting, M. Bernrieder, C. Beyer, J. Eberl, T. Eickenscheidt, H. Fell, S. Fiedler, C. Förster, E. Frahm, S. Frank, M. Giebels, S. Glatzel, T. Grünwald, J. Heinichen, M. Hoffmann, J. Hommeltenberg, H. Höper, A. Laggner, K. Leiber-Sauheitl, T. Leppelt, C. Metzger, M. Peichl-Brak, S. Röhling, N. Roskopf, T. Rötzer, M. Sommer, M. Wehrhan, P. Werle, J. Zeitz

Thünen Working Paper 15

Bärbel Tiemeyer, Annette Freibauer, Michel Bechtold, Susanne Belting*, Enrico Frahm**, Stefan Frank, Andreas Laggner, Katharina Leiber-Sauheitl, Thomas Leppelt
Thünen-Institut für Agrarklimaschutz, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Telefon: 0531-5962644, Fax: 0531-5962645, E-Mail: baerbel.tiemeyer@ti.bund.de
* jetzt: Belting Umweltplanung, Schwatte Damm 50, 49448 Quernheim
** jetzt: Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

Matthias Drösler, Marika Bernrieder, Jörg Eberl, Tim Eickenscheidt, Christoph Förster, Jan Heinichen, Christine Metzger
Professur für Vegetationsökologie, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising, Weihenstephaner Berg 4, 85354 Freising, E-Mail: matthias.droesler@hswt.de

Jürgen Augustin, Elisa Albiac-Borraz, Michael Giebels, Mathias Hoffmann, Institut für Landschaftsbiogeochemie, Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg

Stephan Glatzel, Sascha Beetz, Professur für Landschaftsökologie und Standortkunde, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, Justus von Liebig Weg 6, 18059 Rostock

Heinrich Höper, Colja Beyer, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Stilleweg 2, 30655 Hannover

Jutta Zeitz, Holger Fell, Niko Roszkopf, Institut für Pflanzenbauwissenschaften, Fachgebiet Bodenkunde und Standortlehre, Humboldt-Universität zu Berlin, Invalidenstraße 42, 10115 Berlin

Sabine Fiedler*, Mandy Peichl-Brak, Institut für Bodenkunde und Standortlehre (310), Universität Hohenheim, Emil-Wolff-Str. 27, 70599 Stuttgart
*jetzt: Geographisches Institut, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Johann-Joachim-Becher-Weg 21, 55099 Mainz

Thomas Grünwald, Technische Universität Dresden, Professur Meteorologie, 01062 Dresden

Peter Werle, Janina Hommeltenberg, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-IFU), Kreuzeckbahnstr. 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen

Thomas Rötzer, Stefanie Röhling, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Technische Universität München, Am Hochanger 13, 85354 Freising

Michael Sommer, Mark Wehrhan, Institut für Bodenlandschaftsforschung, Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg

Thünen Working Paper 15

Braunschweig/Germany, 23.09.2013

Inhaltsverzeichnis

Projektziel	2
1. Flächen und Kenngrößen organischer Böden	2
1.1 Definition organischer Böden	2
1.2 Flächenkulisse	4
1.3 Leitbodenprofile	4
1.4 Bodenphysikalische und -chemische Kennwerte der organischen Böden	5
2. Wasserstände	5
3. Nutzung	8
4. Treibhausgasemissionen	9
4.1 Lage der Messstandorte	9
4.2 Messmethoden	10
4.2.1 CO ₂ -Flüsse	10
4.2.2 CH ₄ - und N ₂ O-Flüsse	11
4.3 Treibhausgasmessungen im Überblick	12
4.3.1 CH ₄ -Flüsse	12
4.3.2 N ₂ O-Flüsse	13
4.3.3 DOC-Konzentrationen	14
4.3.4 CO ₂ -Flüsse	15
4.4 Bestätigung bisheriger und überraschende und neue Erkenntnisse	15
4.4.1 Bodentyp	15
4.4.2 Nutzung	15
5. Ausblick	17
6. Literatur	18

Projektziel

Ziel des Projekts war es, deutschlandweit aktuelle Daten zu Flächen organischer Böden, Nutzung, Wasserständen und Treibhausgasemissionen zu erheben und somit die aktuelle Treibhausgasbilanz der organischen Böden in Deutschland zu quantifizieren.

1. Flächen und Kenngrößen organischer Böden

1.1 Definition organischer Böden

Nach IPCC (2006) sind „Organische Böden“ anhand ihres Gehalts an organischem Bodenkohlenstoff (C_{org}), ihres Wasserhaushalts und ihrer Mächtigkeit folgendermaßen definiert:

Böden werden zu den „Organischen Böden“ gezählt, wenn sie Bedingungen 1 und 2 **oder** 1 und 3 erfüllen:

1. Horizontmächtigkeit ≥ 10 cm. Bei einer Horizontmächtigkeit von ≤ 20 cm muss $\geq 12\%$ C_{org} in der Mischprobe von 0-20 cm sein.
2. Böden, die lediglich über wenige Tage pro Jahr wassergesättigt sind, müssen $> 20\%$ C_{org} enthalten.
3. Böden mit längeren Phasen der Wassersättigung und folgenden C_{org} Gehalten:
 - a) 12% C_{org} wenn kein Ton enthalten ist
 - b) 18% C_{org} bei Tongehalten $> 60\%$
 - c) Einen proportionalen Anteil zwischen $12\text{-}18\%$ C_{org} für Tongehalte von $1\text{-}60\%$

Nach der aktuellen deutschen bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 (Ad-hoc-AG Boden, 2005) werden Horizonte mit $\geq 30\%$ organischer Bodensubstanz (OBS) als „Organische Horizonte (H-Horizonte)“ oder Torfe angesprochen. Anmoorige Horizonte (Aa) haben $15\text{-}30\%$ OBS. Die Definitionen nach IPCC und KA5 sind in Abbildung 1 visualisiert.

Eine Unsicherheit insbesondere im Grenzbereich zu mineralischen Böden stellt der Umrechnungsfaktor von dem in der IPCC-Definition genutzten organischen Bodenkohlenstoff (C_{org}) und der in der KA5 verwendeten organischen Bodensubstanz (OBS) dar. Hier wird der nach KA5 für Torfe zu verwendende Faktor 2 zu Grunde gelegt. Für Mineralböden veranschlagt die KA5 einen Faktor von 1,72, so dass bei Verwendung dieses Faktors die maximale Grenze zwischen

„organic soils“ und Mineralböden nicht bei 24 % OBS, sondern bei 21 % OBS läge. Entsprechend liegt bei einer Verwendung des Umrechnungsfaktors für Mineralböden die Untergrenze der Anmoore bei 8,7% C_{org} (Abb. 1).

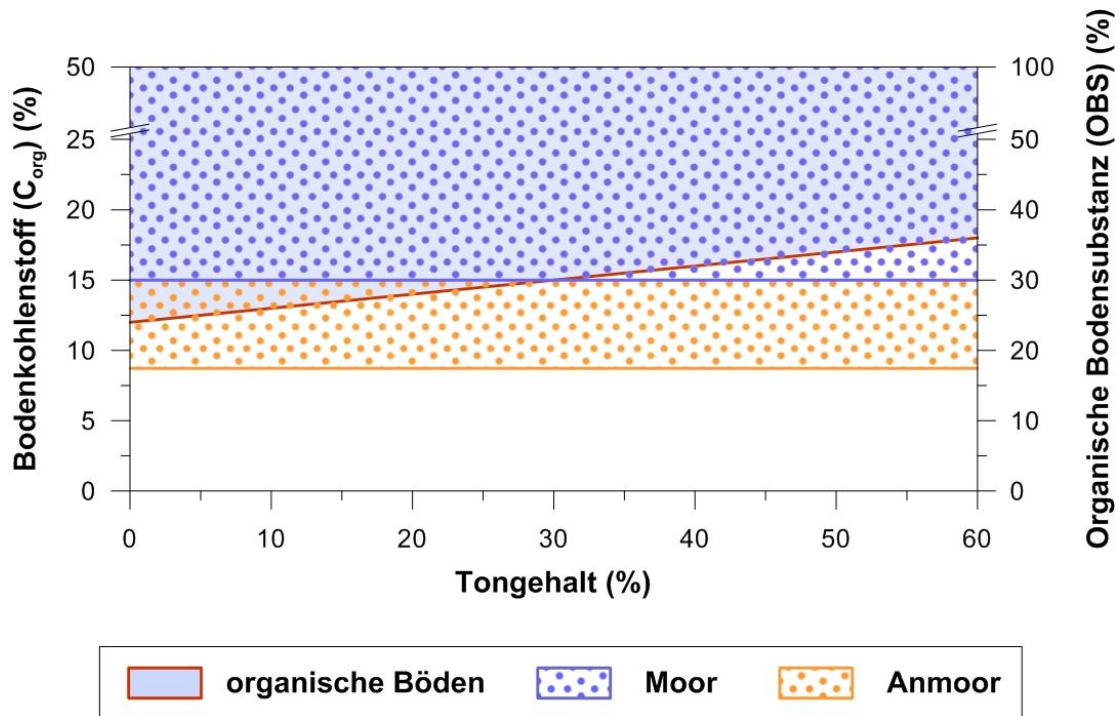


Abbildung 1: Definition der „organic soils“ nach IPCC (2006) sowie von Moor- und Anmoorhorizonten nach KA5. Der Grenze (rote Linie) zwischen „Organischen Böden“ und Mineralböden wurde ein Umrechnungsfaktor von 2,0 zwischen Bodenkohlenstoff (C_{org}) und organischer Bodensubstanz (OBS) zu Grunde gelegt, der Untergrenze der Anmoore der Umrechnungsfaktor für Mineralböden (1,72).

Böden aus Torfen mit einer Mächtigkeit von insgesamt = 30 cm werden nach KA5 als Moore bezeichnet; bei einer geringeren Mächtigkeit (10-30 cm) spricht man von Moorgleyen oder Stagnogleyen. Anmoorige Horizonte an der Geländeoberfläche treten bei v.a. Anmoorgleyen, -stagnogleyen und -pseudogleyen auf. Somit stellen folgende Bodentypen nach KA5 die beste Annäherung an die IPCC-Definition dar:

- alle Bodentypen der Abteilung Moore
- alle Moor- und Anmoorgleye
- Hochmoor-, Niedermoor- und Anmoorstagnogleye
- Anmoorpseudogleye
- des Weiteren entsprechen Sandmischkulturen und teilweise auch Sanddeckkulturen häufig den IPCC-Kriterien, können aber nicht eindeutig einem Bodentyp zugewiesen werden.

Auch wenn die Böden mit anmoorigen Bildungen gemäß deutscher Bodensystematik zum Teil geringere C_{org} Gehalte aufweisen als von der IPCC für Organische Böden gefordert, werden sie im Rahmen des Projekts aufgrund der dennoch großen Schnittmenge und der nachweislich hohen Emissionen (Kapitel 4.4.1, Leiber-Sauheitl et al., 2013) ebenso zu diesen gezählt.

Alle Bodentypen, die nicht zur Abteilung Moore gehören, werden im Folgenden zu „Anmooren“ zusammengefasst.

1.2 Flächenkulisse

Die „Aktivitätsdaten Boden“ beschreiben die Verbreitung und Charakteristik organischer Böden in Deutschland. Sie setzen sich aus einem Flächendatensatz sowie parametrisierten Boden-Leitprofilen zusammen. Zur Bereitstellung eines auch nomenklatorisch homogenen Datensatzes wurde die Flächenkulisse nach einem einheitlichen Verfahren systematisch und regelbasiert im GIS auf Basis robuster geomorphologisch-topographischer, hydrologischer und geologischer Parameter in Form von Standorttypen vergleichbarer Umgebungsbedingungen bzw. naturräumlicher Einbettung klassifiziert. Der Standorttyp kann somit als Proxy für die standortspezifische Genese angesehen werden und ermöglicht eine deutschlandweit einheitliche bodenkundliche Kennzeichnung der heterogenen Ausgangsdaten.

Die Flächenkulisse der „Aktivitätsdaten Boden“ wurde auf der Basis von Daten erstellt, die die Bundesländer dankenswerterweise zur Verfügung gestellt haben. Wo die Flächenkulisse fehlte oder unvollständig war, wurden Flächendaten aus der Geologischen Übersichtskarte GÜK 200 ergänzt. Derzeit laufen noch letzte Qualitätsprüfungen.

Die Flächenkulisse wurde im Maßstab von ca. 1:25.000 als 25 m Raster erstellt. Die tatsächliche Genauigkeit ist aber abhängig von der Genauigkeit der Ausgangsdaten, die bei Maßstäben zwischen 1:25.000 und 1:200.000 liegen.

Die Fläche organischer Böden in Deutschland wird zwischen 1,6 und 2,0 Millionen Hektar liegen.

Die Daten der Bundesländer wurden nur zum Zwecke der Treibhausgasberichterstattung zur Verfügung gestellt, so dass die „Aktivitätsdaten Boden“ nur für diesen Zweck verwendet werden können.

1.3 Leitbodenprofile

Die bodenkundliche Parametrisierung der ausgewiesenen Standorttypen erfolgte auf Basis statistisch abgeleiteter, idealisierter Bodenprofile mit assoziierten Bodenkennwerten auf dem Niveau von Horizont-Substrat-Kombinationen. Dabei wurden Daten des Moorarchivs der Humboldt-Universität zu Berlin und von Landesämtern verwendet. Der Gesamtdatenpool umfasst mehr als 150.000 Bodenprofile unterschiedlicher Aktualität und Detaillierung, die zunächst fachlich auf ein einheitliches Niveau überführt werden mussten. Für ca. 40.000 Profile konnte ein direkter Lagebezug zu den kartierten Standorten organischer Böden hergestellt werden. Diese wurden zur Ausweisung der Leitprofile herangezogen.

1.4 Bodenphysikalische und -chemische Kennwerte der organischen Böden

Im Rahmen des Projektes wurden in allen Testgebieten (Abb. 5) bodenkundliche Untersuchungen durchgeführt. Die Übertragbarkeit der Kennwerte hängt von der Repräsentativität der gewählten Testgebietsstandorte ab und kann an dieser Stelle nicht abschließend bewertet werden. Folgende Kenngrößen wurden horizontweise erhoben: Trockenrohdichte, Substanzvolumen, Gesamtporenvolumen, Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität, gesättigte Leitfähigkeit, organischer Kohlenstoff, gesamter Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel und pH-Wert.

2. Wasserstände

Die erste deutschlandweite Datenbank zu Wasserständen in organischen Böden wurde erstellt, indem Pegelraten von Forschungsprojekten, Langzeitbeobachtungen und Wiedervernässungsprojekten gesammelt, qualitätsgeprüft und harmonisiert wurden. Den vielen Freiwilligen, Naturschutzverbänden, Ingenieurbüros, Behörden und Universitäten gilt unser ausdrücklicher Dank!

Die Datenbank umfasst derzeit ca. 7000 Pegeljahre von ca. 1100 Pegeln in 53 Mooren (Abb. 2). Ein überproportional hoher Teil der vorhandenen Daten stammt aus naturnahen, wiedervernässten oder naturschutzfachlich wertvollen Bereichen. Nichtsdestotrotz ist der Datensatz umfassend genug, um für alle Nutzungstypen einschließlich intensiver landwirtschaftlicher Nutzung Aussagen treffen zu können (Abb. 2).

Zur Regionalisierung des mittleren langjährigen Grundwasserflurabstands wurde ein statistisches Modell erstellt, das auf Landnutzung, Mooranteil im Umkreis des Pegels, Höhe relativ zur Umgebung, Landnutzungsanteile im Umland, klimatische Wasserbilanz im Sommer und Standorttyp der organischen Böden beruht (Abb. 3). Die Vorhersagegenauigkeit des Modells wurde mittels einer Kreuz-Validierung evaluiert. Das Ergebnis der Validierung zeigt, dass etwa 45% der Varianz der Wasserstände mit dem Modell erklärt werden kann. Ein erheblicher Teil der Varianz kann jedoch auf Basis der bisherigen Datengrundlage und Verfügbarkeit von Erklärungsparametern nicht erklärt werden, was sich im Konfidenzintervall der Modellvorhersagen widerspiegelt (Abb. 3). Die Unsicherheit der resultierenden Karte des Erwartungswerts des mittleren langjährigen Moorwasserstands muss bei der Verwendung der Karte berücksichtigt werden (Abb. 4). Liegt beispielsweise der Erwartungswert des Grundwasserflurabstands bei -0,1 m bedeutet dies, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 18 % an diesem Standort im Jahresmittel Überstau vorliegt.

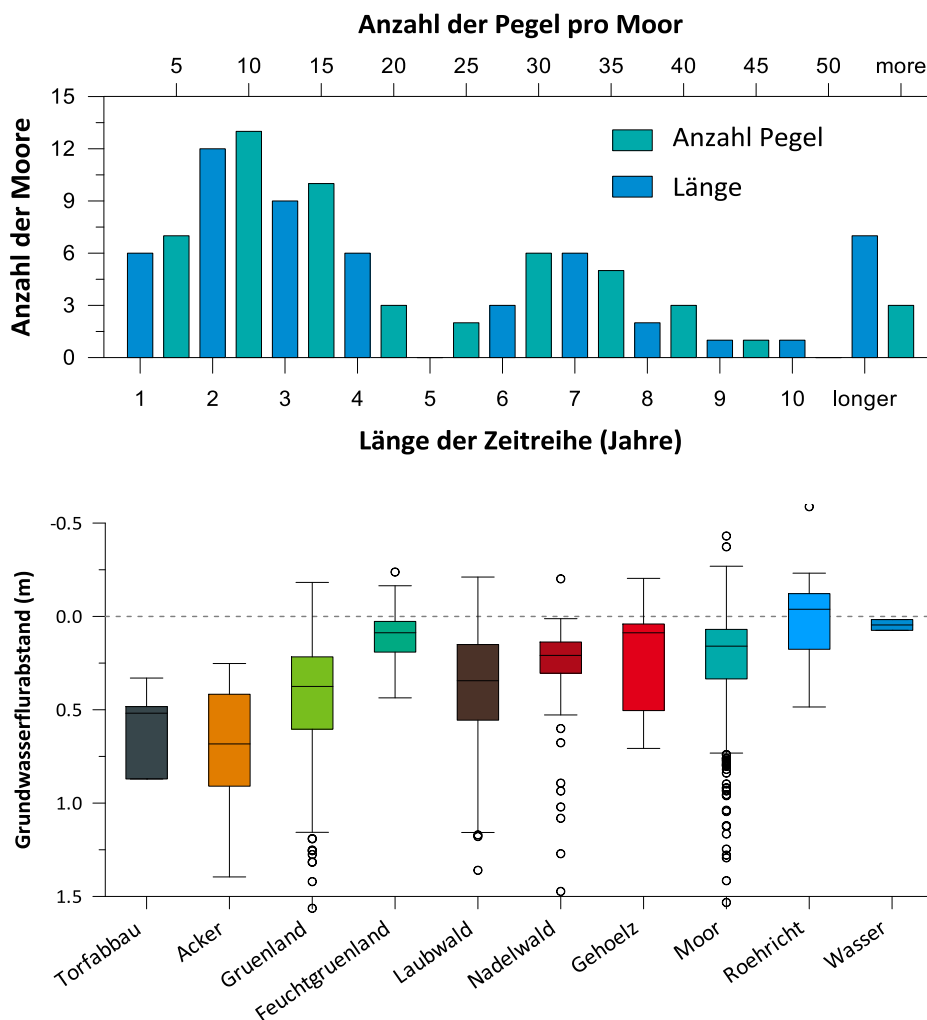


Abbildung 2: Pegeldatenbank des Thünen-Instituts (oben). Mittlere Grundwasserflurabstände (negativ = unter Gelände) für Landnutzungen nach Basis-DLM (ATKIS) (unten). „Moor“ bedeutet ungenutzte, naturnahe und wiedervernässte Moore. Quelle: Thünen-Institut, unveröffentlicht.

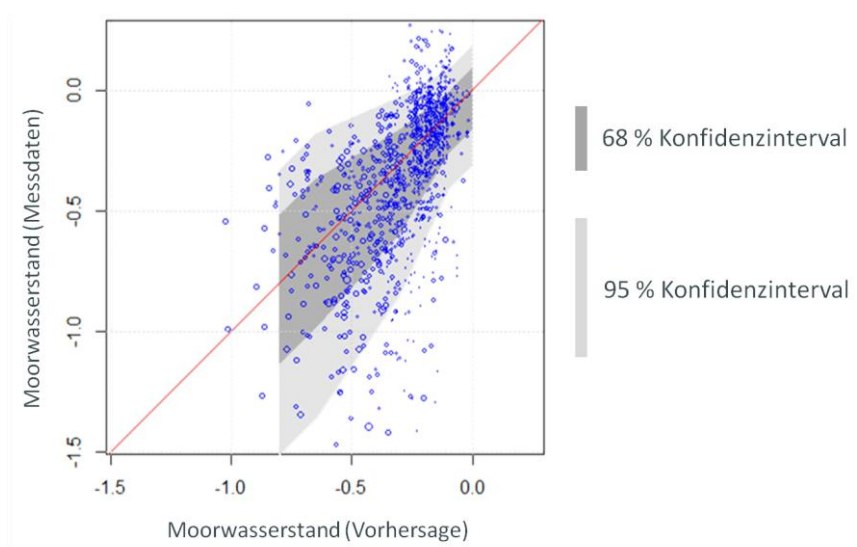


Abbildung 3: Ergebnis der Kreuzvalidierung. Der gemessene mittlere Moorwasserstand eines Pegels ist gegen den Vorhersagewert aufgetragen. Die Konfidenzintervalle der Vorhersage sind mit Schattierungen dargestellt

Legend

Moorwasserstand (m)

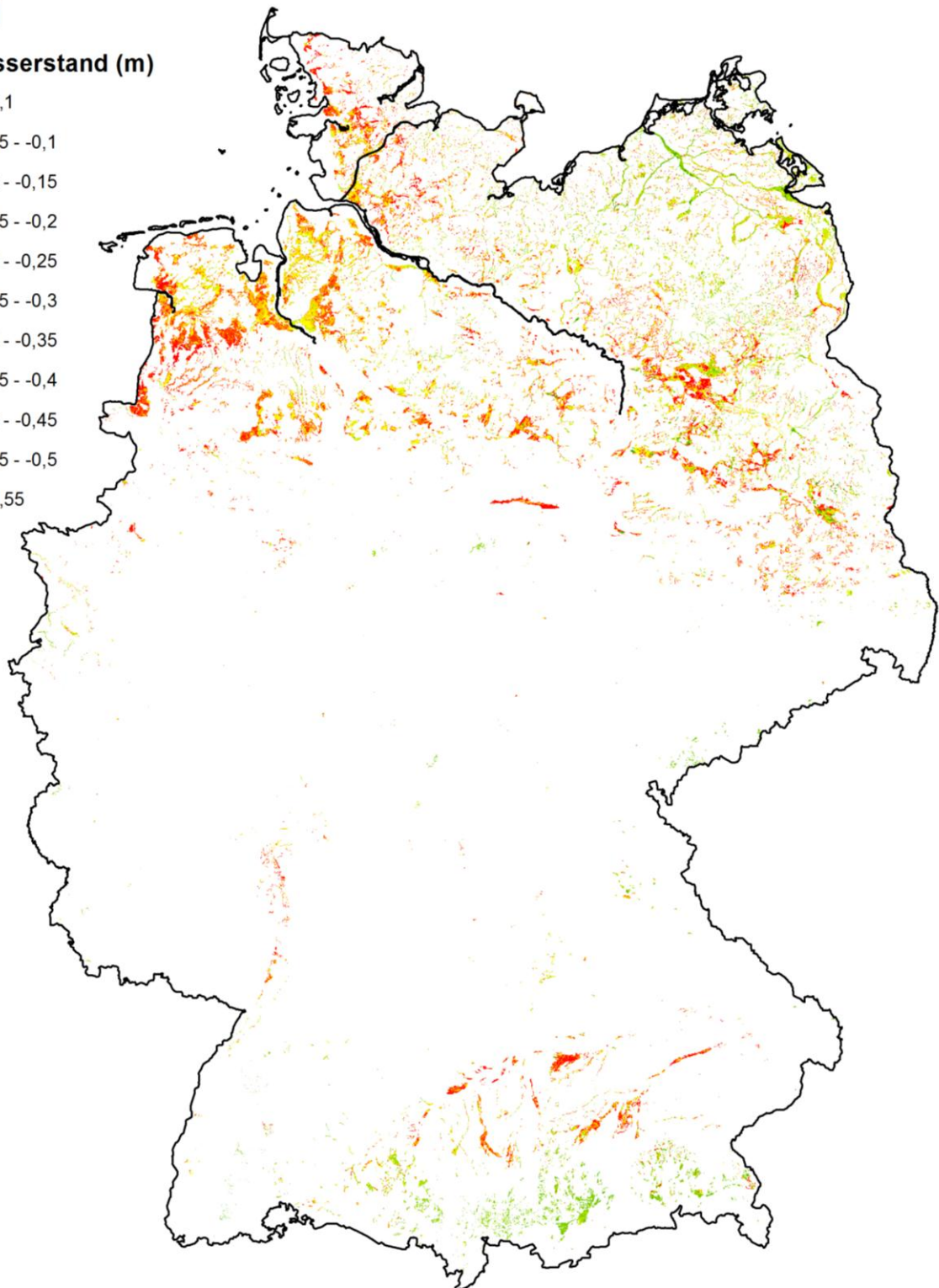
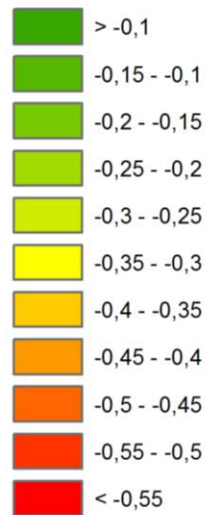


Abbildung 4: Karte des Erwartungswerts des mittleren langjährigen Moorwasserstands (negativ = unter Geländeoberfläche) für die organischen Böden Deutschlands. Auflösung: 25 m Raster. Die tatsächliche Genauigkeit ist abhängig von der regional unterschiedlichen Genauigkeit der Eingangsgrößen, die bei Maßstäben zwischen 1:25.000 und 1:200.000 liegen.

3. Nutzung

Deutschlandweit wird die Landnutzung aus dem Basis-DLM (ATKIS) abgeleitet. 93% der deutschen Moore sind genutzt (Abb. 5).

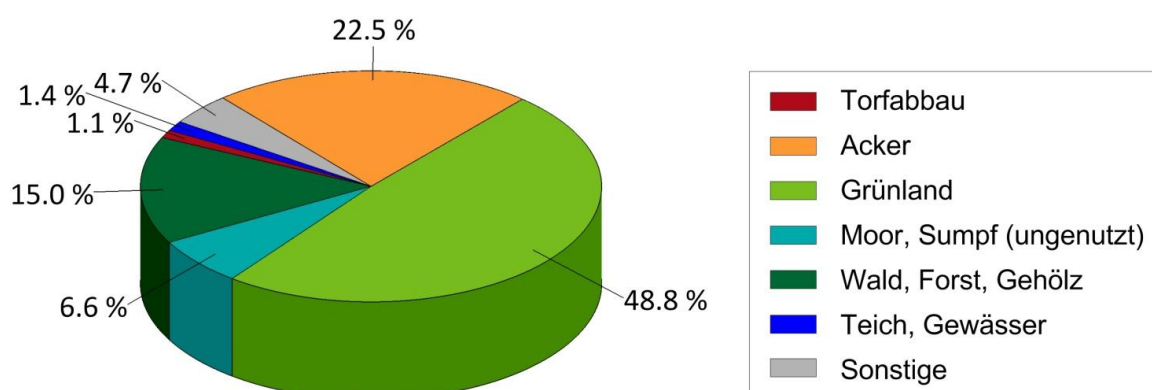


Abbildung 5: Nutzungsverteilung der organischen Böden in Deutschland. Kartengrundlage: GÜK 200.

Parallel wurde in den Regionen um die Testgebiete getestet, ob mit Hilfe von räumlich hoch aufgelösten, multispektralen und multi-temporalen Fernerkundungsdaten die Landnutzung über das Basis-DLM hinaus differenziert werden kann. Dies ist besonders im Grünland wichtig, da die Nutzungsintensität sehr stark variiert und die Treibhausgasemissionen beeinflusst.

Die im Projekt verwendeten RapidEye-Satellitenbilder wurden durch das RapidEye Science Archive (RESA) zur Verfügung gestellt. In 5 bis 8 über die Vegetationsperiode verteilten Szenen wurde der normalisierte differenzierte Vegetationsindex NDVI berechnet. Über einen regelbasierten, hierarchischen Klassifizierungsansatz wurden ohne Verwendung anderer, regional verfügbarer Informationen verschiedene Nutzungen identifiziert, die in möglichen Kategorien mit unterschiedlichen Emissionsfaktoren zusammengefasst wurden. Bei ackerbaulich genutzten Flächen wurde zwischen Mais und sonstigen Kulturen unterschieden. Bei Grünland wurde intensiv genutztes Grünland mit zwei und mehr Biomasseschnitten im Jahr von extensiv genutzten Flächen mit maximal einem Biomasseschnitt oder Weidenutzung unterschieden. Diese wurden aus der zeitlichen Entwicklung des NDVI abgeleitet. Für jedes Untersuchungsgebiet musste ein individuelles Set von Regeln zur Klassifizierung der gebietsspezifischen Nutzungen entwickelt werden. Je nach Landnutzungsinventar ergeben sich daraus eine unterschiedliche Anzahl von Klassen und deren gebietsspezifische Bedeutung.

Die Klassifikationsergebnisse wurden mit InVeKoS-Daten verglichen. Die Übereinstimmung der kartierten Landnutzungstypen aus InVeKoS mit den Klassifizierungsergebnissen liegt zwischen 79 % und 95 % in den untersuchten Testgebieten. Abweichungen liegen vor allem an Fehlklassifikationen der Fernerkundungsdaten durch fehlende Szenen in phänologisch wichtigen Momenten oder Bewölkung oder Regelunschärfen.

Die regionale Kenntnis von detaillierten Landnutzungskategorien und Bewirtschaftungsintensitäten hat das Potenzial, in regionalen und überregionalen Schätzungen zu systematischen Bewirtschaftungsunterschieden zwischen Mineralböden und organischen Böden eingesetzt zu werden. Aus Zeit-, Kosten- und Datenverfügbarkeitsgründen ist die Methodik aber bundesweit für Zeitreihen nicht flächendeckend einsetzbar.

4. Treibhausgasemissionen

4.1 Lage der Messstandorte

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Landnutzungsvarianten und Typen organischer Böden, die in den Testgebieten untersucht wurden. An allen Messstandorten wurden Steuergrößen der Treibhausgasemissionen erhoben (Grundwasserstände, Bodeneigenschaften, Klimadaten, Vegetationszusammensetzung, landwirtschaftliches Management etc.). An zwei Standorten – im Ahlenmoor und im Großen Moor – wurden zusätzlich Konzentrationen und Flüsse von gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) und Stickstoff gemessen.

Tabelle 1: Im Projekt untersuchte Landnutzungsvarianten und Typen organischer Böden

Landnutzung	Hochmoor	Niedermoor	Anmoor
naturnah	2	0	0
Torfabbau	2	0	0
Acker	1	5	1
Grünland	5	17	12
Wald / Forst	6	5	3
wiedervernässt	10	6	0

Abbildung 6 zeigt die Lage der Testgebiete. Ein Testgebiet umfasst mehrere Hundert bis mehrere Tausend Hektar Fläche organischer Böden unter verschiedener Nutzung. Die Testgebiete wurden so ausgewählt, dass alle moorreichen Regionen, wichtigen Typen organischer Böden, typischen und perspektivischen (Wiedervernässung) Landnutzungsformen und Klimagradienten (Nord-Süd; Ost-West) in Deutschland repräsentiert sind. Dabei wurden erstmals auch auf deutschen Anmooren, Sandmisch- und Sanddeckkulturen sowie in Wäldern und Torfabbauflächen Treibhausgasflüsse gemessen.

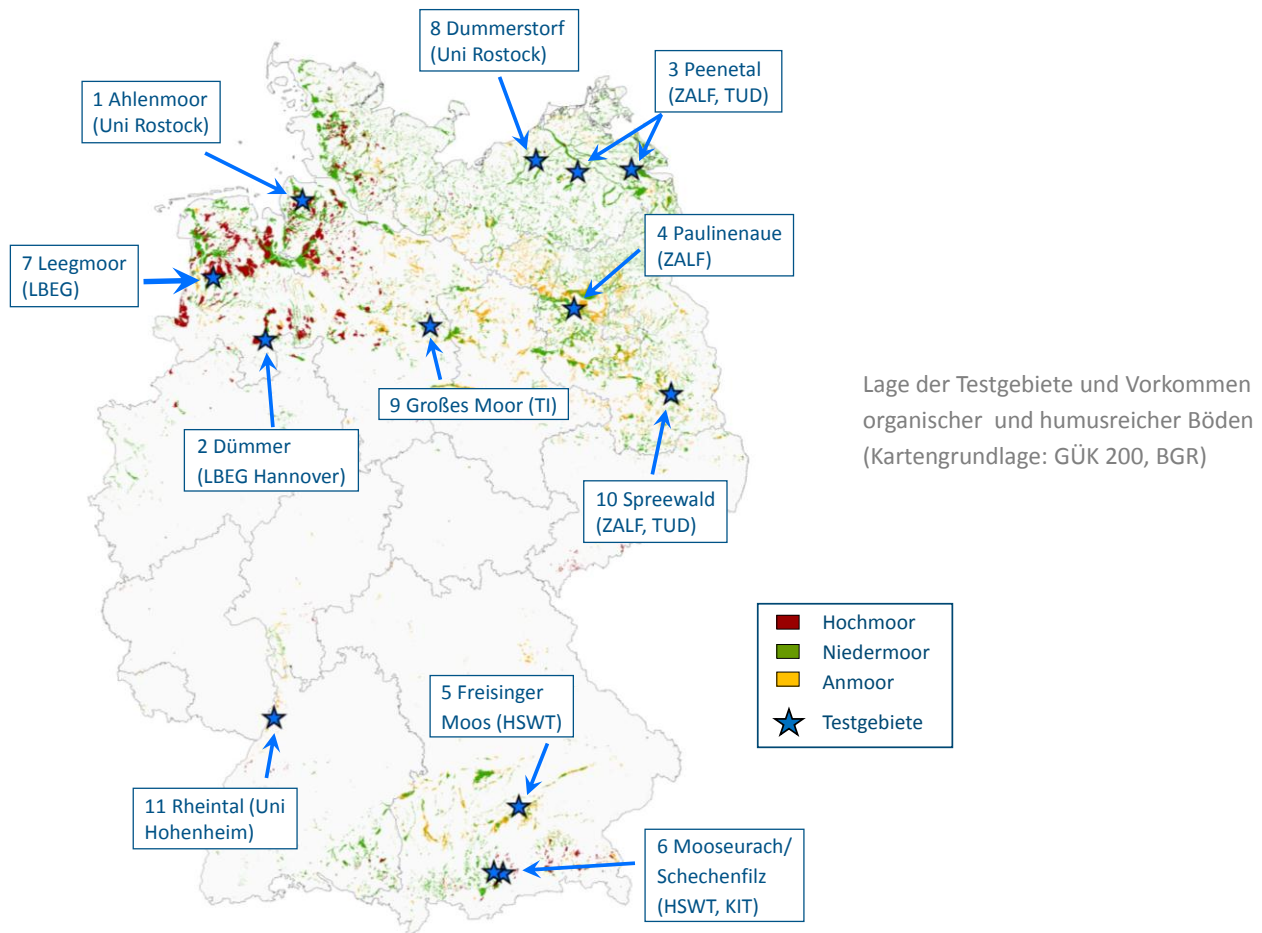


Abbildung 6: Karte mit Testgebieten auf GÜK-Basis

4.2 Messmethoden

4.2.1 CO₂-Flüsse

Die CO₂-Flüsse wurden auf allen Standorten mit der manuellen Haubentechnik gemessen. Die Haubentechnik ist seit den 1980er Jahren in der Spurengasforschung verankert. Die Messung des Spurengasaustausches basiert auf der sogenannten statischen Haubenmethode (non steady-state enclosures). In diesem Projekt kommt die Technik zum Einsatz, die in deutschen Mooren langjährig erfolgreich eingesetzt wurde und als Standard im BMBF-Vorlauf-Projekt verwendet wurde (zur Haubenentwicklung s. Drösler 2005). Damit wird eine vollständige Vergleichbarkeit der Messungen mit vorhandenen deutschen Daten erreicht und bestehende Infrastruktur kann weiter genutzt werden. Es finden durchsichtige und undurchsichtige Hauben (78 x 78 x 50 cm) Verwendung, die von Hand kurzzeitig (ca. 2 bis 5 min) und gasdicht auf fest im Boden verankerte Rahmen aufgesetzt werden. Jede Messvariante besteht aus drei Wiederholungen („plots“).

Zur Ermittlung des Netto-Ökosystemaustauschs für CO₂ (NEE) werden alle 2 Wochen oder in längeren Abständen ganztägige Intensivmesskampagnen mit abwechselnd transparenten und nichttransparenten Hauben vorgenommen, wobei sich unter Lichtbedingungen (transparente Hauben) der Nettoökosystemaustausch von CO₂ (NEE) direkt als Differenz der Bruttoprimärproduktion (GPP) und der Ökosystematmung (Reco) bestimmen lässt. Mit den nichttransparenten Hauben wird die Ökosystematmung (Reco) erfasst. Die CO₂-Flüsse ergeben sich aus den Konzentrationsänderungen in den Hauben, die direkt im Feld gemessen werden. Für die Hauben sind Verlängerungen verfügbar, die es erlauben, die Vegetation auch bei Höhenentwicklung ungestört zu messen (z. B. im Fall von Mais).

Die Messkampagnen werden zur Parametrisierung von Gas-Austauschmodellen durchgeführt: Es werden Abhängigkeitsfunktionen zwischen Photosynthese (GPP) und Strahlung sowie zwischen Atmung (Reco) und Temperatur abgeleitet. Die ermittelten Modell-Parameter dienen mit Hilfe halbstündlich aufgezeichneter Klimadaten der Berechnung der Jahresbilanz für den CO₂-Austausch (Details zur Modellierung in Beetz et al., 2013; Drösler 2005; Leiber-Sauheitl et al., 2013).

An vier Waldstandorten wurde außerdem NEE, Reco und GPP mit dem Eddy-Kovarianz-Prinzip bestimmt. Die Modellierung der CO₂-Jahresflüsse verfolgt bei Hauben und Eddy das gleiche Prinzip der Abhängigkeitsfunktionen von Strahlung und Temperatur.

Für die Einschätzung der Landnutzungseffekte ist letztlich nur der Anteil des NEE, der aus dem Torf stammt, relevant. Bei Äckern, Grünländern und Torfabbauf Flächen wird kein Kohlenstoff dauerhaft in der Biomasse gespeichert, so dass die Kohlenstoffbilanz des Bodens direkt bestimmt werden kann. Um die Kohlenstoffbilanz des Bodens zu ermitteln, gilt daher Gleichung 1, wobei der Transfer von gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) nur in einzelnen Gebieten berücksichtigt werden konnte:

$$\Delta C(\text{Boden}) = -\text{NEE} + \text{C-Import durch Dünger} - \text{C-Export durch Ernte} - \text{DOC} - \text{CH}_4\text{-C}$$

Bei Wäldern ist diese Bilanz komplizierter, da ein Teil des aufgenommenen Kohlenstoffs langfristig im Holz und in den Wurzeln der Bäume gespeichert wird. Daher wurden zusätzlich die Biomasse und die Biomassezuwächse der Wälder mit Forstinventuren und Zuwachsmessungen ermittelt. Mit weiteren forstkundlichen Annahmen zu Blattstreu und Feinwurzelproduktion lässt sich die Kohlenstoffbilanz des Bodens schätzen.

4.2.2 CH₄- und N₂O-Flüsse

Die Flüsse von Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) werden mit nicht-transparenten manuellen Hauben in ca. zweiwöchentlichem Rhythmus im Rahmen von Messkampagnen erfasst, bei denen im Abstand von jeweils ca. 15 Minuten vier Luftproben aus den Hauben entnommen werden. Die

Konzentrationen von CH_4 und N_2O in diesen Proben werden im Labor gaschromatographisch gemessen. Unmittelbar nach einer N-Düngung erfolgen die Messungen in sehr viel höherer Frequenz. Im Schechenfilz und im Spreewald wurden CH_4 -Messungen mit der Eddy-Kovarianz-Technik durchgeführt.

4.3 Treibhausgasmessungen im Überblick

Die Datenauswertung für Treibhausgase bezieht Daten von abgeschlossenen Projekten der Verbundprojektpartner ein.

4.3.1 CH_4 -Flüsse

Jährliche Methanflüsse reichen von geringen Aufnahmen (ca. $1 \text{ g CH}_4\text{-C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) bis zu hohen Emissionen ($> 200 \text{ g CH}_4\text{-C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) (Abb. 7).

Trotz einzelner extrem hoher Flüsse liegen die Emissionen wiedervernässter Standorte mit Ausnahme einiger Messjahre eines einzigen Standorts deutlich unter typischen CO_2 -Emissionen von Äckern und Intensivgrünländern. Ein mittlerer Grundwasserstand über Gelände kann zu sehr hohen Emissionen führen; dies tritt aber nicht zwangsläufig auf.

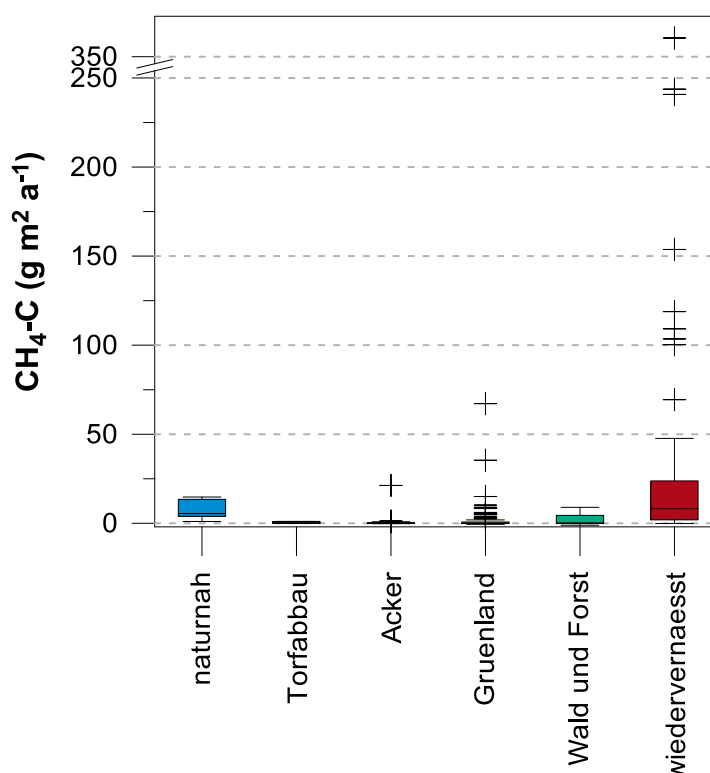


Abbildung 7: Nutzungsabhängige Emissionen bzw. Senken von Methan

Wie zu erwarten war, ist der Wasserstand der dominierende Einflussfaktor. Während bei Wasserständen tiefer als 20 cm unter Flur durchweg keine nennenswerten Emissionen oder leichte Aufnahmen auftreten, sind die Methanflüsse bei Wasserständen an der Bodenoberfläche oder bei Überstau extrem variabel. Je höher der Wasserstand ist, desto höher ist auch die Spanne der gemessenen Methanemissionen, d.h. andere Steuerfaktoren wie Boden und Vegetation gewinnen an Bedeutung. Dabei ist der Einfluss von Mudden (limnische Sedimente) und aerenchymhaltigen Pflanzen stark standortabhängig. Überstaute Standorte mit hohen Vorräten an mikrobiell leicht umsetzbaren C-Verbindungen wie Pflanzenresten (v.a. von Süßgräsern) oder rezenten nährstoffreichen Organomudden neigen zu hohen Emissionen (Hahn-Schöfl et al., 2011). Ein mittlerer jährlicher Wasserstand über Flur ist allerdings nicht grundsätzlich gleichbedeutend mit extrem hohen Methanflüssen. Die Vegetation alleine ist kein zuverlässiger Indikator für Methanflüsse.

4.3.2 N₂O-Flüsse

Die jährlichen Lachgasflüsse (N₂O-N) befinden sich Bereich zwischen geringen Aufnahmen von 0,05 g m⁻² a⁻¹ und hohen Emissionen von 2,6 g m⁻² a⁻¹ (Abb. 8).

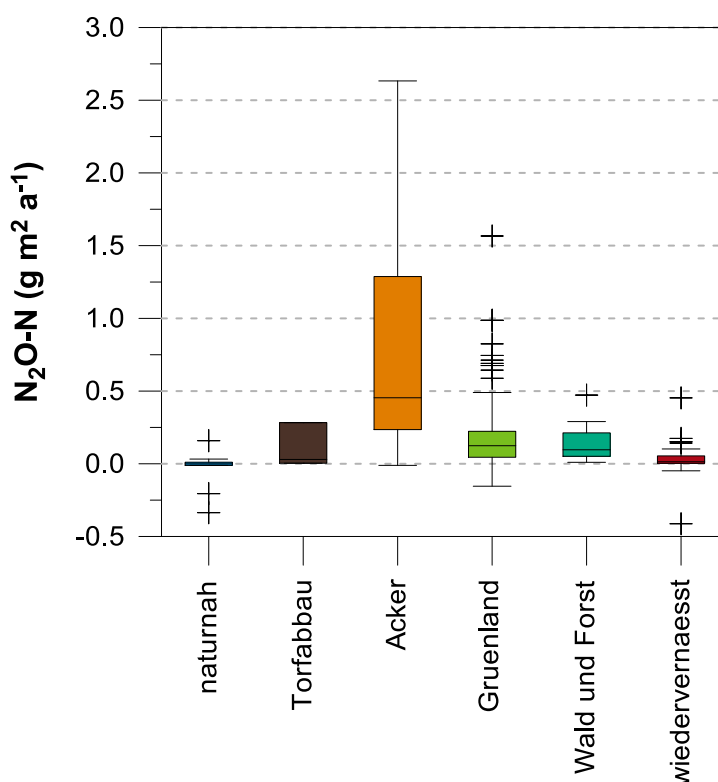


Abbildung 8: Nutzungsabhängige Emissionen von N₂O

Die höchsten N₂O-Flüsse wurden hierbei auf Ackerstandorten gemessen. Eine intensive, durch hohe Stickstoffdüngegaben und die Absenkung des Grundwasserstandes gekennzeichnete Bewirtschaftung ist mit hohen N₂O Emissionen korreliert. Hohe N₂O-Emissionen von bis zu 0,9 g

$\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$ wurden auch auf Grünlandstandorten beobachtet und treten v.a. bei hohen Düngegaben auf. Relativ hohe N_2O -Emissionen an Waldstandorten treten in Erlen(bruch)wäldern auf, während die Emissionen an sauren und nährstoffarmen Standorten sehr niedrig sind. N_2O -Emissionen aus naturnahen und wiedervernässten Mooren sind zumeist nahe Null und teilweise stellen diese Flächen eine leichte Senke dar.

4.3.3 DOC-Konzentrationen

Im Ahlenmoor führt die Entwässerung und intensive Grünlandnutzung zu stark erhöhten DOC-Konzentrationen in der Bodenlösung (Abb. 9; Mittelwert über ein Jahr 196 mg l^{-1}). Eine leichte Anhebung der Grundwasserstände und eine Extensivierung der Nutzung hat eine Halbierung der DOC-Konzentrationen zu Folge (89 mg l^{-1}), die aber immer noch bei weitem höher sind als die der naturnahen Referenzfläche (49 mg l^{-1}). 10 Jahre nach der Wiedervernässung entsprechen die DOC-Konzentrationen in der Bodenlösung der wiedervernässten Flächen (39 mg l^{-1}) dem naturnahen Standort (Frank et al., 2013). Im Großen Moor sind die DOC-Konzentrationen in der vergleichsweise C_{org} -armen Sandmischkultur genauso hoch wie im flachgründigen Torf und sind im Mittel (191 mg l^{-1}) vergleichbar mit der Konzentration unter intensiver Grünlandnutzung im Ahlenmoor (Abb. 9). Aufgrund der hohen Konzentrationen im darunterliegenden Sand ist mit erhöhten Austrägen zu rechnen.

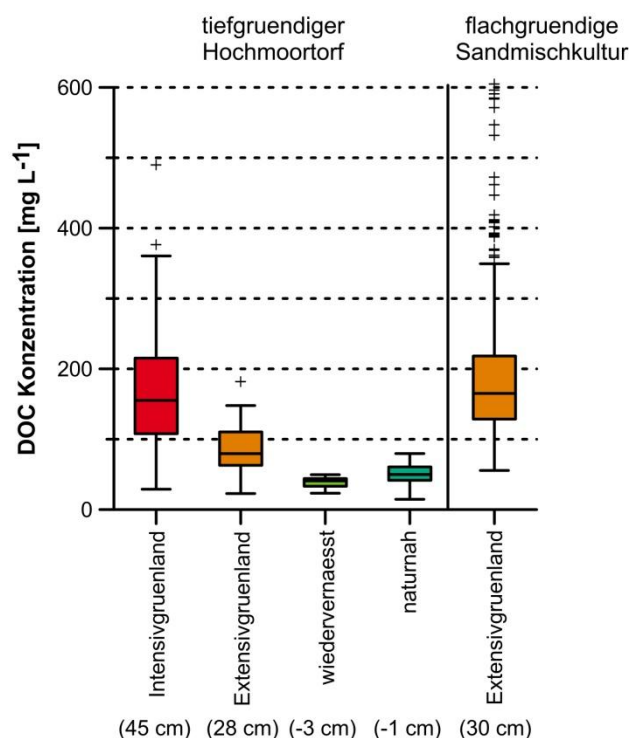


Abbildung 9: DOC Konzentrationen nach Nutzungsintensität und Grundwasserflurabstand im Ahlenmoor mit tiefgründigen Hochmoortorfen (links; Dialysesammler) und im Großen Moor mit flachgründiger Sandmischkultur (rechts; Saugplatten). Werte in Klammer repräsentieren mittlere Grundwasserflurabstände.

4.3.4 CO₂-Flüsse

Die Messergebnisse der CO₂-Flüsse sind noch nicht endgültig ausgewertet.

4.4 Bestätigung bisheriger und überraschende und neue Erkenntnisse

4.4.1 Bodentyp

- Anmoore und sehr flachgründige Moore emittieren vergleichbar hohe Treibhausgasmengen wie tiefgründige Moore. Dies gilt auch für Sandmisch- und Sanddeckkulturen (z.B. Leiber-Sauheitl et al., 2013).
- Anmoore sind tendenziell trockener als Moore. Die Vorräte an Kohlenstoff und Stickstoff, die in der entwässerten Bodenzone vorliegen und die das Emissionspotenzial bestimmen, sind daher vergleichbar.
- Der in der entwässerten Bodenzone oberhalb des mittleren Grundwasserflurabstands gespeicherte Stickstoff gemeinsam mit dem Grundwasserflurabstand sind die besten Schätzgrößen für Treibhausgasemissionen aus drainierten organischen Böden.

4.4.2 Nutzung

Acker

- Es gibt keinen systematischen Zusammenhang zwischen Wasserstand und Erträgen. Äcker sind generell eine große Quelle für CO₂ und N₂O. Die Messergebnisse bestätigen im Wesentlichen die bisherigen Daten, wobei ein breiteres Spektrum an Bodentypen und Kulturarten erfasst wurde.
- In vielen Fällen sind Frühjahr und Herbst entscheidend für die CO₂-Jahresbilanz.
- Sandmisch- und Sanddeckkulturen und Anmoore emittieren vergleichbar hohe Treibhausgasmengen wie tiefgründige Moore. Bei Anmooren ist der Anteil von Kohlenstoffexporten (Ernte) und N₂O an der Treibhausgasbilanz höher als bei Mooren. Dies liegt u.a. an höheren und stabileren Erträgen auf Anmooren als auf Mooren.
- Alle Messflächen lagen auf langfristig genutzten Äckern. Zusätzliche Kohlenstoffverluste sind nach Grünlandumbruch zu erwarten, konnten aber nicht quantifiziert werden, da diese Varianten nicht Teil der Untersuchungsflächen waren.

Grünland

- Die Erträge sind bei gleichem Wasserstand sehr unterschiedlich, was u.a. an der Bewirtschaftung und Vegetationszusammensetzung liegt. Auch unter nassen Bedingungen können sehr hohe Erträge erzielt werden.
- Grünländer weisen mit Abstand die höchste Streuung in den gemessenen Treibhausgasflüssen und kalkulierten Jahres-Bilanzen auf. Dies liegt an einer sehr weiten Streuung in den mittleren Grundwasserflurabständen, heterogener Bewirtschaftung und Bodentypen.
- Die Treibhausgasbilanz von Grünländern wird von CO₂-Flüssen aus dem Boden dominiert.
- Bei gleichem Wasserstand emittieren Grünländer nicht notwendigerweise weniger Treibhausgase als Äcker. Äcker sind aber meist tiefer entwässert als Grünländer, so dass die bisher gültige Einschätzung weiterhin gilt, dass Grünland im Mittel weniger Treibhausgase emittiert als Acker. Da Grünland unter nasseren Bedingungen als Acker genutzt werden kann, stellen die neuen Messdaten die Sinnhaftigkeit von Ackerumwandlung in Grünland für den Klimaschutz nicht in Frage.

Wald

- Bislang konnte die Treibhausgasbilanz von 7 Waldtypen in 6 Testgebieten bestimmt werden. Für 4 dieser Waldstandorte wurde die Ökosystembilanz mit Eddy-Kovarianz ermittelt. Für 4 weitere Wälder liegen Teildatensätze vor.
- Die Bestimmung der Treibhausgasbilanz in Wäldern ist methodisch sehr viel aufwändiger und unsicherer als bei baumfreien Nutzungstypen.
- Während die Bäume Kohlenstoff aufnehmen und wachsen, verliert der Boden Kohlenstoff, so dass die Wälder auch bei einer ausgeglichenen Kohlenstoff-Ökosystembilanz Torf verlieren.
- Naturnahe und nasse Wälder verhalten sich weitgehend klimaneutral. Drainierte Wälder emittieren dagegen erhebliche Mengen CO₂, die mit denen von Grünländern vergleichbar sind.

Torfabbau

- Aktiv genutzte Torfabbauf Flächen emittieren ca. 5 t CO₂-Äquivalente ha⁻¹ a⁻¹. Dieser Wert ist 7mal höher als der aktuell in der Treibhausgasberichterstattung verwendete Wert.

- Geht man davon aus, dass der entnommene Torf vollständig zu CO₂ umgewandelt wird, emittieren zusätzlich 100 t CO₂-Äquivalente ha⁻¹ a⁻¹ aus den Torfabbauf Flächen.

Naturnahe und wiedervernässte Flächen

- Naturnahe Flächen sind weitgehend klimaneutral (z.B. Beetz et al., 2013).
- Durch die Wiedervernässung auf naturnahe Grundwasserstände wird die CO₂-Emission aus der Bodenatmung effizient und schnell reduziert.
- Bei Sukzession in Richtung standorttypischer Vegetationstypen kann C-Akkumulation durch Wiedervernässung erreicht und damit die Senkenfunktion der Moore wiederhergestellt werden.
- Überstau insbesondere von produktiven Nutzflächen (Grünland) auf Niedermoor führt zu einer drastischen Reduktion der CO₂-Emissionen, wobei aber wegen teilweise erheblicher Methanemissionen (siehe oben) im noch C-Verluste auftreten können. Die Klimawirksamkeit erreicht aber nur in extremen Einzelfällen die Größenordnung von intensiven Grünland- und Ackerflächen.
- Überstau von Hochmooren ist aufgrund des kleinräumigen Reliefs (Torfstiche) in Wiedervernässungsprojekten oft nicht zu vermeiden.
- Für die Bilanzierung der Klimaentlastungswirkung von Wiedervernässungsmaßnahmen muss daher das Gesamtgebiet betrachtet werden: Die Klimawirksamkeit von Überstauflächen wird in der Regel durch die großflächig wiedervernässten, aber nicht überstauten Flächen überkompensiert.
- Wiedervernässung ist eine effiziente Maßnahme zum dauerhaften Klimaschutz.

5. Ausblick

Die Messergebnisse werden bis Ende 2013 konsolidiert und regionalisiert.

Ab 2015 gehen die Projektergebnisse in die nationale Treibhausgasberichterstattung ein.

Ergebnisse des Projektes werden schrittweise in der Sonderausgabe „Carbon and greenhouse gases in managed peatlands“ der Fachzeitschrift Biogeosciences (http://www.biogeosciences-discuss.net/special_issue119.html) und anderen Fachzeitschriften veröffentlicht.

6. Literatur

- Ad-Hoc AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover.
- Beetz, S., Liebersbach, H., Glatzel, S., Jurasinski, G., Buczko, U. & H. Höper (2013): Effects of land use intensity on the full greenhouse gas balance in an Atlantic peat bog. *Biogeosciences*, 10, 1067–1082. doi:10.5194/bg-10-1067-2013
- Drösler, M. (2005): Trace gas exchange of bog ecosystems, Southern Germany. Technische Universität München, Freising. Online verfügbar unter: <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bvb:91-diss20050901-1249431017>
- Frank, S., Tiemeyer, B., Gelbrecht, J. & A. Freibauer (2013): High soil solution nitrogen und carbon concentrations in a drained Atlantic bog are reduced to natural levels by 10 years of rewetting. *Biogeosciences Discussions* 10, 15809-15849. doi: 10.5194/bgd-10-15809-2013
- Hahn-Schöfl, M., Zak, D., Minke, M., Gelbrecht, J., Augustin, J. & A. Freibauer (2011): Organic sediment formed during inundation of a degraded fen grassland emits large fluxes of CH₄ and CO₂. *Biogeosciences*, 8, 1539–1550. doi:10.5194/bg-8-1539-2011
- IPCC (2006): Good practice guidance for land use, land use change and forestry. URL: http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_03_Ch3_Representation.pdf. Genf.
- Leiber-Sauheitl, K., Fuß, R. & A. Freibauer (2013): High greenhouse gas fluxes from grassland on histic gleysol along soil carbon and drainage gradients. *Biogeosciences Discussions* 10, 11283-11317. doi:10.5194/bgd-10-11283-2013

Bibliografische Information:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikationen in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information:
The Deutsche Nationalbibliothek (German National Library) lists this publication in the German National Bibliographie; detailed bibliographic data is available on the Internet at www.dnb.de

Bereits in dieser Reihe erschienene Bände finden Sie im Internet unter www.ti.bund.de

Volumes already published in this series are available on the Internet at www.ti.bund.de

Zitationsvorschlag – Suggested source citation:

Tiemeyer B, Freibauer A, Drösler M, Albiac-Borraz E, Augustin J, Bechtold M, Beetz S, Belting S, Bernrieder M, Beyer C, Eberl J, Eickenscheidt T, Fell H, Fiedler S, Förster C, Frahm E, Frank S, Giebels M, Laggner A, Leiber-Sauheitl K, et al. (2013) Klimarelevanz von Mooren und Anmooren in Deutschland: Ergebnisse aus dem Verbundprojekt "Organische Böden in der Emissionsberichterstattung". Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 18 p, Thünen Working Paper 15

Die Verantwortung für die Inhalte liegt bei den jeweiligen Verfassern bzw. Verfasserinnen.

The respective authors are responsible for the content of their publications.



Thünen Working Paper 15

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*
Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenen-working-paper@ti.bund.de
www.ti.bund.de

DOI:10.3220/WP_15_2013
urn:nbn:de:gbv:253-201311-dn052806-7