

Ansätze zur Erfassung von Treibhausgasemissionen aus Mooren

1 Treibhausgasemissionen aus Mooren

1.1 Relevanz

Naturnahe Moore binden mehr Kohlenstoff, als sie freisetzen. Außerdem leisten sie einen wichtigen Beitrag zum Erhalt der Biodiversität und haben einen positiven Einfluss auf den Landschaftswasserhaushalt (Joosten et al., 2012). In Deutschland wurden Moore seit dem 18. Jahrhundert vor allem für die landwirtschaftliche Nutzung entwässert, wodurch sie diese Funktionen verloren haben (Jeschke & Joosten, 2003).

Die Entwässerung von Mooren ist aus klimapolitischer Sicht hochproblematisch, da dadurch Kohlenstoff, der über Jahrtausende in Form von Torf festgelegt wurde, als Kohlenstoffdioxid (CO₂) freigesetzt wird. Moore, vormals Kohlenstoffsinken, werden dadurch zu Treibhausgasquellen. Im Jahr 2022 waren Moore in Deutschland für etwa 7 % der deutschen Treibhausgas-(THG-)Emissionen verantwortlich (UBA, 2024).

Der Erhalt der Kohlenstoffvorräte in den Mooren ist somit von großer Bedeutung für die Einhaltung nationaler und internationaler Klimaschutzziele. Die Anhebung des Wasserstandes auf Flurhöhe ist hierfür die einzige Möglichkeit, die sich in dem notwendigen Umfang umsetzen lässt. Dieser als Wiedervernässung bezeichnete Vorgang ist mit hohen Kosten verbunden (Wichmann et al., 2022). Schon einfache Überschlagsrechnungen zeigen, dass die Wiedervernässung des allergrößten Anteils landwirtschaftlich genutzter Moore volkswirtschaftlich vorteilhaft ist (Grethe et al., 2021).

Die Finanzierung der Wiedervernässung kann durch die öffentliche Hand oder private Akteure erfolgen. In beiden Fällen ist eine Abschätzung der Emissionsminderungen erforderlich. Dies rechtfertigt die öffentliche Finanzierung von Klimaschutzmaßnahmen in Mooregebieten und ermöglicht privaten Akteuren die transparente Kommunikation ihres Klimaschutzengagements. Zur Erfassung der THG-Emissionen aus Mooren sowie zur Abschätzung des Emissionsreduktionspotenzials werden verschiedene Ansätze verwendet, die im Folgenden verglichen werden.



1.2 Prozesse der Emission und Einbindung von Treibhausgasen

Technisch ist es möglich, die THG-Emissionen eines Moores wie die einer Fabrik oder eines Fahrzeugs direkt zu messen. Weil solche direkten Messungen aber teuer sind, verwendet man zur flächigen Erfassung der THG-Emissionen aus Mooren Indikatoren, wie bestimmte Standortfaktoren und Landnutzungsaktivitäten. Ihr Bezug zu den Emissionen wird vorher mittels gezielter Forschung ermittelt.

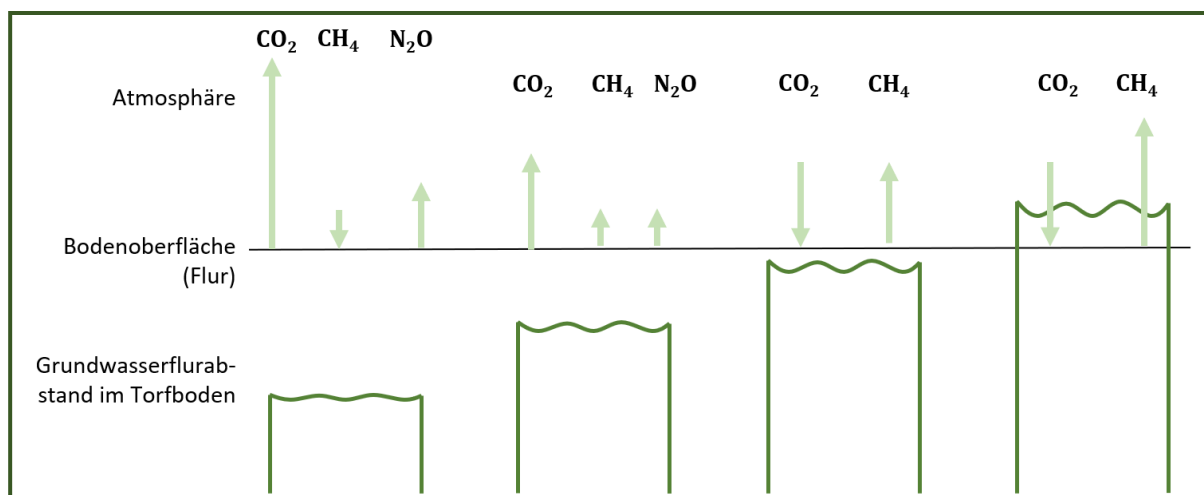
Der **Grundwasserflurabstand** hat sich als zentraler, die THG-Emissionen eines Moores beeinflussender Standortfaktor, herausgestellt (Evans et al., 2021; Tiemeyer et al., 2020). Als Grundwasserflurabstand wird der Abstand zwischen dem wassergesättigten Bereich des Bodens und der Bodenoberfläche (Flur) bezeichnet. In diesem Bereich steht Sauerstoff zur Verfügung, der den mikrobiellen Abbau organischer Substanz und die Freisetzung der Treibhausgase CO_2 und Lachgas (N_2O) ermöglicht. Je tiefer ein Boden entwässert ist, desto mächtiger ist die sauerstoffgefüllte Zone und desto höher sind die CO_2 - und N_2O -Emissionen. Umgekehrt setzen im Fall der vollständigen Wassersättigung des Bodens, d.h. in Abwesenheit von Sauerstoff, spezialisierte Mikroorganismen Methan (CH_4) frei.

Moore emittieren nicht nur Treibhausgase; im Zuge der beim Pflanzenwachstum stattfindenden Photosynthese entziehen sie der Atmosphäre auch CO_2 . Der übergroße Teil des in der aufgewachsenen Biomasse gebundenen Kohlenstoffs wird allerdings – wie in anderen Ökosystemen – schnell wieder abgebaut und zu CO_2 oxidiert. Nur ein Bruchteil der Biomasse (~10% der Netto-Jahresproduktion) bleibt in lebenden Mooren durch Wassersättigung und Sauerstoffabschluss langfristig als Torf erhalten.

Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang zwischen den Netto-THG-Emissionen und dem Grundwasserflurabstand. Liegt der Wasserstand in der Nähe der Bodenoberfläche, übersteigt die langfristige Kohlenstoffeinbindung (Torfbildung) den mikrobiellen Kohlenstoffabbau und überkompensiert so den Anstieg der CH_4 -Emissionen zumindest mittel- und langfristig (Günther et al., 2020).

Neben dem Grundwasserflurabstand gibt es weitere Faktoren mit einem Einfluss auf die Höhe der THG-Emissionen aus Mooren, wie Temperatur, Nährstoffverfügbarkeit und Säuregrad. Sie werden hier jedoch nicht weiter dargestellt.

Abbildung 1: Abhängigkeit der Netto-THG-Emissionen vom Grundwasserflurabstand



Anmerkung: Grüne Kästen stehen für die wassergesättigte Zone des Bodens. Länge der Pfeile symbolisiert Größenordnung der Netto-Emissionen bzw. -Einbindungen des jeweiligen Treibhausgases.

Quelle: eigene Darstellung

1.3 Erfassung von Standorteigenschaften und Landnutzungsaktivitäten

Zur großflächigen Erfassung von Standorteigenschaften zur Indikation von THG-Flüssen in Mooren kann auf nationale und internationale Datensätze zurückgegriffen werden, die die Verbreitung von Mooren oder die vorherrschende Landnutzung und -bedeckung ausweisen. Insbesondere die Erfassung letzterer wird dank der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Fernerkundung und von automatisierten Verfahren zur Auswertung von Satellitenbildern immer exakter (Thünen Earth Observation, 2023).

Grundwasserflurabstände oder Bodeneigenschaften wie Nährstoffgehalte können aus der Ferne bisher nur ungenau erfasst werden. Daher werden insbesondere bei kleinen Gebieten zur Erfassung dieser Standortfaktoren Vor-Ort-Untersuchungen durchgeführt. Zur flächigen Abschätzung von THG-Emissionen müssen solche punktuell erfassten Daten in die Fläche übertragen werden. Hierfür kann die Fläche z. B. mithilfe der Vegetation in homogene Teilflächen unterteilt werden, für die die gleichen Standortbedingungen angenommen werden.

Darüber hinaus eignet sich zumindest die spontan vorkommende Vegetation (in naturnahen bzw. extensiv genutzten Mooren) auch als unmittelbarer Indikator der langfristig vorherrschenden Standortbedingungen (Ellenberg et al., 2010; Koska et al., 2001). Das liegt daran, dass jede Art nur bei bestimmten Standortbedingungen vorkommt. Besonders exakt lassen sich einzelne Standorteigenschaften bei kombinierter Betrachtung aller in einer Fläche vorkommenden Arten abschätzen. Kommt eine Art alleine, d.h. ohne Konkurrenz vor, kann sie oft ein breites Spektrum an Standortbedingungen abdecken, muss sie sich gegen andere Arten durchsetzen, ist das Spektrum deutlich schmaler („ökologische Amplitude“, Kotowski et al., 1998).

1.4 Abschätzung von Treibhausgasemissionen

Die Abschätzung von THG-Emissionen auf Grundlage erfasster Standorteigenschaften und Landnutzungsaktivitäten kann auf zwei Weisen erfolgen:

- ▶ Ein (homogenes) Gebiet wird einer **Emissionsklasse** mit einem bestimmten Spektrum von Standorteigenschaften zugeordnet, die für jedes THG (CO_2 , CH_4 , N_2O) eine festgelegte Emissionsmenge pro Flächeneinheit und Jahr (Emissionsfaktor) repräsentiert.
- ▶ Alternativ können die Emissionsfaktoren auf Basis **statistischer Gleichungen oder prozessbasierter Modelle** auch stufenlos für jeden einzelnen Standort berechnet werden. Dabei werden ausgewählte gemessene Standorteigenschaften als Inputparameter verwendet, um mit den Gleichungen oder Modellen die flächenspezifischen Emissionsfaktoren zu ermitteln.

Nach Bestimmung der Emissionsfaktoren werden diese mit der Größe einer Teilfläche multipliziert. Zur Ermittlung der Gesamtemissionen werden die CH_4 - und N_2O -Emissionen in Kohlenstoffdioxidäquivalente (CO_2eq) umgerechnet. Das Treibhauspotential gibt an, wie viel Mal stärker ein Nicht- CO_2 -THG-Molekül auf die Erderwärmung wirkt als ein CO_2 -Molekül. Standardgemäß wird dazu die Wirkung über 100 Jahre genommen, d.h. das 100-jährige Treibhauspotential (GWP_{100}) ($\text{GWP}_{100} \text{ CH}_4 = 28$, $\text{N}_2\text{O} = 265$, Myhre et al., 2013).

2 Vergleichende Analyse der Ansätze zur Erfassung von Treibhausgasemissionen aus Mooren

2.1 Anwendungsbereich und Zweck

Die THG-Emissionen aus Mooren werden in verschiedenen Zusammenhängen und zu unterschiedlichen Zwecken erfasst. Hier werden drei gängige Arten von THG-Erfassungsansätzen verglichen:

- ▶ Auf staatlicher Ebene werden die THG-Emissionen in den **nationalen THG-Inventarberichten** erfasst. Diese dokumentieren die Fortschritte im Bereich nationaler THG-Emissionsminderungsziele und legen damit Rechenschaft gegenüber der internationalen Staatengemeinschaft ab (UNFCCC, 1997). Dabei werden in Deutschland auch die Richtlinien des IPCC (2006, 2014) verwendet, die für alle 195 Berichtsländer gelten (UBA, 2024b).
- ▶ **Moorklimaschutzprojekte** sind auf die Reduktion von THG-Emissionen ausgerichtet. Die transparente Quantifizierung der erzielten Emissionsminderungen ist für derartige Projekte essentiell, da sie die Grundlage für die Verfügbarstellung öffentlicher wie privater Gelder darstellt. Aus der Vielzahl von Standards für Moorklimaschutzprojekte werden hier exemplarisch die deutschen Regionalstandards „MoorFutures“¹ und „Moorbenefits 2.0“², der in Großbritannien verbreitete „Peatland Carbon Code“ (PCC)³ und die Methodologie VM0036 des internationalen „Verified Carbon Standard“ (VCS)⁴ betrachtet.
- ▶ **Unternehmen** bilanzieren die durch sie verursachten THG-Emissionen unter anderem, um öffentlichkeitswirksam über Klimaschutzbemühungen berichten zu können und gesetzlichen Verpflichtungen nachzukommen. Das Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol)⁵ ist der weltweit meistgenutzte private, transnationale Standard für die Treibhausgasberichterstattung von Unternehmen und wird zunehmend auch von öffentlichen Institutionen genutzt. Die THG-Emissionen aus Mooren können bereits heute unter dem GHG Protocol erfasst werden. Eine detaillierte Richtlinie zur Erfassung befindet sich in der Entwicklung (WRI & WBCSD, 2022).

Aus den unterschiedlichen Zwecken der THG-Erfassungsansätze ergeben sich Unterschiede in der jeweils eingenommenen **zeitlichen Perspektive**. Während die nationale als auch die unternehmerische THG-Berichterstattung ihre gegenwärtige Emissionsmengen mit den aus der Vergangenheit vergleichen, ist die projektbezogene Berichterstattung zukunftsorientiert. Hier werden zwei in der Zukunft liegende Szenarien zur Entwicklung der THG-Emissionen dargestellt. In dem Referenzszenario werden die THG-Emissionen ohne die Durchführung von Moorklimaschutzmaßnahmen projiziert. In dem Projektszenario werden die THG-Emissionen mit Maßnahmendurchführung eingeschätzt. Die Quantifizierung der THG-Emissionsminderung erfolgt dann durch den Vergleich beider Szenarien.

Die THG-Berichterstattung als auch das GHG Protocol werden **global angewandt**. Im Gegensatz dazu beschränken die untersuchten Projektstandards bzw. ihre Methodologien sich auf eine

¹ <https://www.moorfutures.de/>

² <https://www.hswt.de/forschung/projekt/1795-moorbenefits-2-0>

³ <https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/peatland-code-0>

⁴ <https://verra.org/methodologies/vm0036-methodology-for-rewetting-drained-temperate-peatlands-v1-0/>

⁵ <https://ghgprotocol.org/>

Klimazone (VCS Methodologie VM0036), ein Land (PCC) oder eine Region in einem Land (MoorFutures, Moorbenefits 2.0).

Die **Gebiete über die berichtet wird** unterscheiden sich ebenfalls. Während das nationale THG-Inventar die gesamte Moorfläche eines Landes erfasst, erfasst die unternehmerische THG-Berichterstattung nur die vom berichterstattenden Unternehmen direkt und indirekt kontrollierten Flächen. Moorklimaschutzprojekte betrachten konkrete Projektgebiete, die unterschiedlich groß sein können.

Da den jeweiligen THG-Erfassungsansätzen unterschiedliche **Moorbodendefinitionen** zugrunde liegen, kann sich je nach Ansatz im selben Gebiet die zu berücksichtigende Moorfläche unterscheiden. Für die nationale THG-Berichterstattung hat das IPCC die Definition organischer Böden der FAO angepasst (IPCC, 2006, Annex 3A.5). Diese Anpassung wird auch in den Standards des GHG Protocol angewendet. Daneben existieren zahlreiche nationale Moorbodendefinitionen, welche gemäß IPCC (2006) ebenfalls zur Abgrenzung der untersuchten Moorflächen herangezogen werden dürfen. Die Moorklimaschutzprojektstandards verweisen auf keine konkrete Moorbodendefinition.

2.2 Erfassungsmethoden

Jeder THG-Erfassungsansatz verfügt über ein eigenes Regelwerk, in welchem die **methodischen Anforderungen** an die Erfassung von THG-Emissionen aus Mooren festgehalten sind. Die Anforderungen sind in Abhängigkeit des Anwendungsbereichs und Zwecks des jeweiligen Ansatzes verschieden.

- ▶ Das GHG Protocol stellt einen sehr breit anwendbaren Standard für die unternehmerische THG-Berichterstattung dar. Die methodischen Vorgaben bezüglich der Erfassung von THG-Emissionen aus Mooren sind daher verhältnismäßig allgemein formuliert. Die Genauigkeit hängt von der Komplexität der betrachteten Wertschöpfungskette, den zur Verfügung stehenden Informationen und nicht zuletzt vom Anspruch des Unternehmens ab.
- ▶ Bei der nationalen THG-Berichterstattung hängen die Anforderungen an die methodische Genauigkeit von der Bedeutung der THG-Emissionen aus Mooren für das gesamte THG-Inventar ab – ist die Bedeutung größer, gelten höhere Anforderungen.
- ▶ Die Moorklimaschutzprojektstandards definieren die anzuwendende THG-Erfassungsmethode am genauesten. Dies gilt sowohl für die definierten Anforderungen an die überwiegend im Feld stattfindende Datenerhebung als auch für die zu verwendenden Emissionsklassen bzw. statistischen Modelle.

Die Abschätzung der THG-Emissionen eines Moorstandorts basiert in allen untersuchten THG-Erfassungsansätzen auf **Standorteigenschaften und Landnutzungsaktivitäten**. Sowohl in den Moorklimaschutzprojektstandards als auch in den Standards der nationalen THG-Berichterstattung ist definiert, welche Informationen wie zu erfassen sind und wie darauf aufbauend die Emissionen abgeschätzt werden. Lediglich das GHG Protocol lässt die zu berücksichtigenden Eigenschaften und Aktivitäten und deren Art der Erfassung offen.

- ▶ Die Abschätzung der THG-Emissionen basiert sowohl im vom IPCC (2006, 2014) formulierten Minimalstandard als auch in der deutschen Ausgestaltung der nationalen THG-Berichterstattung auf groben Landnutzungskategorien (z.B. Ackerland, Grünland), dem Grundwasserflurabstand und der Klimazone. Während der IPCC Minimalstandard lediglich zwischen tief und flach entwässerten Mooren unterscheidet und dementsprechende Emissionsklassen (siehe Kapitel 1.4) zur Verfügung stellt, werden die Grundwasserflurabstände für die deutsche THG-Berichterstattung punktgenau (100*100 m

Raster) abgeschätzt (Bechtold et al., 2014). Diese Schätzwerte werden zur Bewertung der CO₂- und CH₄-Emissionen in statistische Modelle eingespeist (Tiemeyer et al., 2020). Die Abschätzung der N₂O- und DOC- (Auswaschung von organischem Kohlenstoff) Emissionen erfolgt unter Rückgriff auf Emissionsklassen.

- ▶ Auch die Moorklimaschutzprojektstandards Moorbenefits 2.0 und PCC sehen statistische Modelle zur Abschätzung der CO₂- und CH₄-Emissionen vor. Diese sind teilweise landnutzungskategorie-spezifisch und im Fall des PCC weitestgehend auf Hochmoore beschränkt. Als einzige Variable wird - wie in der deutschen Treibhausgasberichterstattung - der Grundwasserflurabstand in die jeweilige Gleichung des Modells eingesetzt.
- ▶ In dem Moorklimaschutzprojektstandard MoorFutures und der VCS Methodologie VM0036 basiert die Abschätzung der THG-Emissionen auf dem GEST-Ansatz von Couwenberg et al. (2008, 2011). Bei GESTs (Greenhouse Gas Emission Site Types) handelt es sich um Emissionsklassen, die anhand der in einem Moor vorkommenden Pflanzengesellschaften („Vegetationsformen“) voneinander abgegrenzt werden. Andere Standorteigenschaften (insbesondere der Grundwasserflurabstand) müssen zur Abschätzung der THG-Emissionen nur dann erhoben werden, wenn keine spontane Vegetation vorhanden ist oder die vorhandene Vegetation aufgrund intensiver Landnutzung zu stark verarmt ist.
- ▶ Das GHG Protocol lässt einen großen Entscheidungsspielraum bei der Wahl einer geeigneten THG-Erfassungsmethode.

2.3 Schlussfolgerungen

Entwässerte Moore verursachen in Deutschland etwa 7% der gesamten Treibhausgas-Emissionen. Durch die Anhebung des Wasserstands auf Oberflächenniveau werden die verbleibenden Kohlenstoffvorräte erhalten und die natürliche Funktion als Kohlenstoffsенke wiederhergestellt. Für die Planung, Umsetzung und Bewertung von Moorschutzmaßnahmen sowie für Treibhausgasberichterstattung ist eine möglichst genaue, aber auch praktikable Abschätzung von Treibhausgasemissionen aus Mooren erforderlich, die mit verschiedenen Methoden erfolgen kann. Im Folgenden werden Schlussfolgerungen aus dem Methodenvergleich zur Abschätzung von THG-Emissionen aus Mooren zusammengefasst:

- ▶ **Einfluss von Standort und Landnutzung.**
THG-Emissionen aus Mooren hängen maßgeblich von den Standorteigenschaften und der Art der Landnutzung ab.
- ▶ **Effiziente Datenerfassung möglich.**
Präzise vor-Ort-Untersuchungen sind zeit- und kostenintensiv. Kombinierte Ansätze aus Fernerkundung sowie der Erhebung von Vor-Ort-Daten und von Indikatoren wie Pflanzenarten können mit geringerem Aufwand eine ähnliche Genauigkeit liefern.
- ▶ **Herausforderung Moorbodendefinition.**
Das Fehlen einer international einheitlichen Definition erschwert die Vergleichbarkeit von Daten und Ansätzen. Eine Harmonisierung der Definitionen könnte die Zusammenarbeit im Moorklimaschutz stärken.
- ▶ **Unterschiedliche Ziele - unterschiedliche Methoden.**
Die Erfassung von Emissionen dient verschiedenen Zwecken – nationalen THG-Inventarberichten, Klimaschutzprojekten oder Unternehmensberichterstattungen.

Unterschiedliche Zielsetzungen bedingen spezifische Methoden, deren Ergebnisse nicht direkt vergleichbar sind.

► **Potenzial für methodische Synergien.**

Einzelne methodische Elemente könnten jedoch zwischen Ansätzen übertragen werden, um die Genauigkeit zu steigern oder den Aufwand zu reduzieren.

► **Handlungsbedarf trotz Unsicherheiten.**

Es besteht wissenschaftlicher Konsens darüber, dass entwässerte Moore hohe THG-Emissionen verursachen, die durch eine Wiedervernässung stark reduziert werden können. Entsprechende Maßnahmen sollten deshalb nicht mit der Begründung einer noch nicht ausreichenden Verfügbarkeit von sehr präzisen THG-Erfassungsmethoden verzögert werden.



3 Quellenverzeichnis

- Bechtold, M., Tiemeyer, B., Laggner, A., Leppelt, T., Frahm, E., & Belting, S. (2014). Large-scale regionalization of water table depth in peatlands optimized for greenhouse gas emission upscaling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(9), 3319–3339. <https://doi.org/10.5194/hess-18-3319-2014>
- Ellenberg, H., Leuschner, C., & Dierschke, H. (2010). *Vegetation Europas mit den Alpen*. Verlag Eugen Ulmer. <https://www.ulmer.de/usd-1556187/vegetation-mittleuropas-mit-den-alpen-.html>
- Evans, C., Peacock, M., Baird, A. J., Artz, R. R. E., Burden, A., Callaghan, N., Chapman, P. J., Cooper, H. M., Coyle, M., Craig, E., Cumming, A., Dixon, S., Gauci, V., Grayson, R. P., Helfter, C., Heppell, C. M., Holden, J., Jones, D. L., Kaduk, J., ... Morrison, R. (2021). Overriding water table control on managed peatland greenhouse gas emissions. *Nature*, 593(7860), 548–552. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03523-1>
- Jeschke, L., & Joosten, H. (2003). Moore—Gefährdete Ökosysteme. In *Natur und Umwelt II: Klima, Pflanzen, Tierwelt* (S. 112–115). http://archiv.nationalatlas.de/wp-content/art_pdf/Band3_112-115_archiv.pdf
- Joosten, H., Tapio-Biström, M.-L., & Tol, S. (Hrsg.). (2012). *Peatlands – guidance for climate change mitigation through conservation, rehabilitation and sustainable use*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Wetlands International. <https://www.fao.org/4/an762e/an762e.pdf>
- Koska, I., Succow, M., & Clausnitzer, U. (2001). Vegetation als Komponente landschaftsökologischer Naturraumkennzeichnung. In M. Succow & H. Joosten (Hrsg.), *Landschaftsökologische Moorkunde* (2. Aufl., S. 112–128). Schweizerbart Science Publishers.
- Kotowski, W., van Diggelen, R., & Klemke J. (1998). Behaviour of wetland plant species along moisture gradient in two geographically distant areas. *Acta Botanica Neerlandica*, 47, 337–349.
- Myhre, G., Shindell, F. M., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T., & Zhang, H. (2013). *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing* (T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley, Hrsg.). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf
- Thünen Earth Observation. (2023). *I spy with my little eye: Automated detection of agricultural parcels and crops using satellite images*. <https://www.thuenen.de/en/cross-institutional-projects/i-spy-with-my-little-eye-automated-detection-of-agricultural-parcels-and-crops-using-satellite-images>
- Tiemeyer, B., Freibauer, A., Borraz, E. A., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Gensior, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Laggner, A., ... Drösler, M. (2020). A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators*, 109, 105838. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>
- UBA, (Umweltbundesamt). (2024). *Emissionen der Landnutzung, -änderung und Forstwirtschaft*. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland/emissionen-der-landnutzung-aenderung#bedeutung-von-landnutzung-und-forstwirtschaft>
- UNFCCC, (United Nations Framework Convention on Climate Change). (1997). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/cop3/l07a01.pdf>
- Wichmann, S., Nordt, A., & Schäfer, A. (2022). *Lösungsansätze zum Erreichen der Klimaschutzziele und Kosten für die Umstellung auf Paludikultur. Hintergrundpapier zur Studie „Anreize für Paludikultur zur Umsetzung der Klimaschutzziele 2030 und 2050“*. Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt (DEHSt). https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_44-2022_entwickeln_von_anreizen_fuer_paludikultur_zur_umsetzung_der_klimaschutzziele_2030_und_2050.pdf

WRI, (World Resources Institute), & WBCSD, (World Business Council for Sustainable Development). (2022). *Greenhouse Gas Protocol – Land Sector and Removals Guidance Part 1, Accounting and Reporting Requirements and Guidance, Supplement to the GHG Protocol Corporate Standard and Scope 3 Standard, Draft for Pilot Testing and Review.*

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de
 [umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)
 [umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-7857>

Stand: 07/2025

Autorenschaft, Institution

Niklas Domke, Humboldt-Universität zu Berlin
Hans Joosten, DUENE e.V., Partner im Greifswald Moor
Centrum
Harald Grethe, Humboldt-Universität zu Berlin
Georg Lukas, Humboldt-Universität zu Berlin