

TELMA	Band 52	Seite ??? - ???	3 Abb., 2 Tab.	Hannover, November 2022
-------	---------	-----------------	----------------	-------------------------

*Faktencheck – Vergleichende Betrachtung der
Treibhausgasbilanz einer Sanierung von
landwirtschaftlich genutzten Hochmoorböden*
(mit Abtrag des landwirtschaftlichen Oberbodens und ohne Abtrag
des landwirtschaftlichen Oberbodens)

*Fact check – Comparative analysis of the greenhouse gas
balance of a restoration of raised bog grassland*
(with removal of the agricultural topsoil and without removal
of the agricultural topsoil)

BERND HOFER

Zusammenfassung

Die nationale Moorschutzstrategie setzt eine Reduzierung der jährlichen Treibhausgas-Emissionen (THG) um 5 Millionen Tonnen von den organischen Böden Deutschlands zum Ziel. Aufgrund der Nutzungsverteilung muss der wesentliche Beitrag zur Erreichung dieses Zieles von den landwirtschaftlich genutzten Flächen kommen. Zur Vermeidung von hohen Methan-Emissionen und um eine möglichst geeignete Ausgangslage für die Vegetationsentwicklung in Richtung einer torfakkumulierenden Hochmoorvegetation zu schaffen, ist der Abtrag des landwirtschaftlichen Oberbodens mit Beginn der Maßnahme notwendig. Es ist anzunehmen, dass der abgetragene organische Boden in der Folge entweder im durchlüfteten Teil der Verwallungen, in die er eingebaut wird, oder in einer externen Nutzung in Erden und Substraten oxidieren und somit zu THG-Emissionen führen wird.

Die aktuelle Diskussion um die Photovoltaik auf Freiflächen, die unter anderem die landwirtschaftlich genutzten Moorböden im Fokus hat, gibt dieser Betrachtung weiteres Gewicht, da die Vernässung der Moorflächen für diese Nutzung als Prämisse gesetzt wird. Auch für die Einrichtung des Sphagnum farmings, der Paludikultur auf Hochmoorstandorten, ist der Abtrag des landwirtschaftlichen Oberbodens notwendig.

Die THG-Bilanz der Vernässung mit Hochmoorentwicklung mit Abtrag des landwirtschaftlichen Oberbodens (Hochmoorsanierung) wird in dieser Betrachtung einer Vernässung ohne Abtrag und der Ausgangslage gegenübergestellt. Dies soll zu einer Versachlichung der Diskussion des Themas durch die Bereitstellung von Grundlagendaten beitragen.

Im Ergebnis zeigt sich, dass die Variante mit Oberbodenabtrag zu den geringsten THG-Emissionen führt. Die Varianten einer Vernässung mit und ohne Oberbodenabtrag liegen aber im Vergleich zur „Nullvariante“ relativ dicht beieinander, zumal die Unsicherheiten aufgrund fehlender Grundlagenfor-

schung zur Dauer der Methan-Emissionen und der Oxidationsrate von Substraten noch erheblich sind. Allerdings führt die Variante mit Oberbodenabtrag kurzfristig zu einer potenziellen Hochmoor-Vegetationsentwicklung, insbesondere mit Torfmoos-Beimpfung. Dies ist ohne Abtrag mittel- bis langfristig nicht zu erwarten.

Abschließend ist festzuhalten, dass die Vernässung in jedem Fall aus klimatischen Aspekten der Fortführung einer entwässerungsbasierten Landwirtschaft vorzuziehen ist.

Abstract

The national peatland protection strategy sets a target of reducing annual greenhouse gas (GHG) emissions by 5 million tons from Germany's organic soils. Due to the distribution of land use, the main contribution to achieving this goal must come from agriculturally used land. To avoid high methane emissions and to create the most appropriate conditions for vegetation development towards peat accumulating raised bog vegetation, the removal of the agricultural topsoil is necessary with the start of the measure. It can be assumed that the removed organic soil will subsequently oxidize either in the aerated part of the embankments in which it is constructed or in a use in soils and substrates, thus leading to GHG emissions.

The current discussion about photovoltaics on agricultural used lands, which among other things focuses on organic soils, lends further weight to this consideration, since the rewetting is set as a pre-condition for this use. Removal of agricultural topsoil is also necessary for the establishment of Sphagnum farming, paludiculture on raised bog sites.

In this review, the GHG balance of waterlogging with raised bog development with removal of agricultural topsoil (raised bog restoration) is compared to waterlogging without removal at the baseline. This is intended to help objectify the discussion of the topic by providing baseline data.

The result shows that the variant with topsoil removal leads to the least GHG emissions. However, the variants of waterlogging with and without topsoil removal are relatively close to each other compared to the "no action" option, especially since the uncertainties are still considerable due to the lack of basic research on the duration of methane emissions and the oxidation rate of substrates. However, the variant with topsoil removal results in potential raised bog vegetation development in the short term, especially with peat moss inoculation. This is not expected to occur in the medium to long term without topsoil removal. In conclusion, from a climatic point of view, rewetting is in any case preferable to the continuation of drainage-based agriculture.

1. Einleitung

Nach TEGETMEYER et al. (2021) umfassen die organischen Böden in Deutschland 1,8 Millionen ha, von denen 71 % landwirtschaftlich genutzt sind; gut die Hälfte als Grünland (BMU 2021b). Die Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz führt aus, dass die Agrar- und Umweltressorts von Bund und Ländern die Bedeutung des Moorbodenschutzes für den Klimaschutz anerkennen (BMU 2021). Die Abb. 1 schreibt die aktuellen THG-Emissionen über einen Zeitraum von 100 Jahren unverändert fort. Da für die tatsächlichen Flächengrößen der organischen Böden aufgrund veralteter Datengrundlagen keine belastbaren Zahlen vorliegen, wurden die Emissionen auf eine Gesamtfläche von 100 ha nach den jeweiligen Prozentanteilen für die einzelnen Nutzungen berechnet.

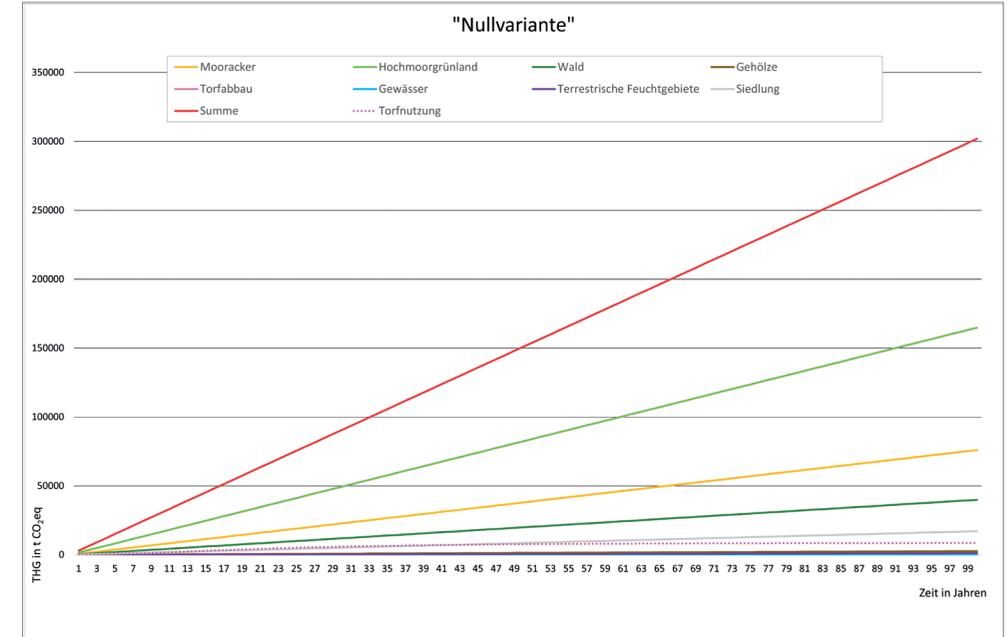


Abb. 1: Akkumulierende Bilanzierung der THG-Emissionen für die verschiedenen Nutzungen auf organischen Böden entsprechend ihrer Nutzungsanteile in Deutschland¹
Accumulative balance of GHG emissions for the different uses on organic soils according to their use shares in Germany.

Die wesentlichen Anteile kommen aus der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung. Der Torfabbau läuft in dem Modell im Jahr 2041² aus. Die THG-Emissionen aus der gärtnerischen Torfnutzung (lila gerissene Kurve) ist nicht in der Flächensumme der THG (rote Kurve) enthalten. Die Torfmengen wurden zur Vergleichbarkeit ebenfalls auf eine Abbaufäche von 100 ha bezogen. Die Summenkurve soll in der folgenden Betrachtung der Vernässungsmaßnahmen als „Nullvariante“ dienen.

Nach der Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz sollen die jährlichen THG-Emissionen aus Moorböden von ca. 53 Millionen Tonnen Kohlendioxid (CO₂)-Äquivalenten (2019) bis zum Jahr 2030 um 5 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente gesenkt werden. HOFER & KÖBBING (2021) haben gezeigt, dass, um die Treibhausgas-Reduktionsziele zu erreichen, rund 150.000 ha Moorflächen bis 2030 vernässt werden müssen, damit – Stand Ende 2022 – jedes Jahr mehr als 18.000 ha. Für die Senkung der THG-Emissionen ist ein torferhaltendes Management von Moorböden mittel- bis langfristig anzustreben. Dies gilt sowohl für derzeit entwässerungsbasiert

¹ Die Emissionsfaktoren nach BMU (2021) wurden auf eine Gesamtfläche von 100 ha bezogen.

² Die Daten für die Entwicklung des Torfabbaus und der zu erwartenden Torfmengen für die gärtnerische Nutzung wurden der IVG Studie (2012) entnommen und auf die 100 ha Betrachtungsfläche relativiert.

genutzte als auch für ungenutzte, entwässerte Moorböden. Abb. 1 veranschaulicht, welche Nutzungen zu den Emissionen in welcher Größenordnung beitragen und dass eine nennenswerte Reduzierung nicht ohne die Landwirtschaft erreicht werden kann.

Durch eine Extensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung und/oder Anhebung der Wasserstände allein kann die angestrebte Reduktion der Emissionen nicht dauerhaft erreicht werden. Diese Lösungsansätze wollen die (konventionelle) landwirtschaftliche Nutzung klimatisch optimieren, es handelt sich aber um keine nachhaltigen Lösungswege, da die Zersetzung / Oxidation der Torfe nur geringfügig verlangsamt und nicht gestoppt wird. Die Emissionen sind jährlich zwar geringer, treten dafür aber über einen längeren Zeitraum auf und addieren sich so letztlich auf die gleiche Größenordnung.

Letztlich kann nur durch die Einstellung von standorttypischen Wasserständen, also eine Vernässung bis knapp unter die Oberfläche, die THG-Quelle stoppen und die Grundlage zur Entwicklung einer THG-Senke erreicht werden. Für die anschließende Entwicklung nach dieser vollständigen Wiedervernässung zeichnen sich nach heutigem Stand die folgenden Möglichkeiten ab:

- Hochmoorsanierung (Entwicklung einer Torf akkumulierenden Vegetation)
- Photovoltaik (Gewinnung regenerativer Energie)
- Paludikultur (landwirtschaftliche Nutzung unter nassen Bedingungen)

Für die Entwicklung der Paludikultur ist eine Betrachtung unter Einbezug der gewählten Kulturpflanze durchzuführen. Das betrifft sowohl die Bedingungen der Ausbringung und Anzucht, als auch die Kohlenstoffbilanz unter Berücksichtigung der Ernte. Für den Hochmoor-Standort ist die Auswahl der Kultur auf das *Sphagnum farming* beschränkt. Für dessen Etablierung sind vergleichbare Ausgangsbedingungen herzustellen wie für die Moorsanierung. Die Klimabilanz ist somit in der Anfangsphase vergleichbar, die THG-Bilanz der folgenden Nutzungsphase der Paludikultur wird hier nicht getrennt betrachtet.

Auch der Ansatz der Photovoltaik (PV) wird in der ersten Entwicklungsphase mit der Hochmoorsanierung vergleichbar sein. Für die weitere Entwicklung fehlen noch Ergebnisse entsprechender Pilotprojekte. Diese Nutzung könnte allerdings zukünftig größere Flächenanteile betreffen, da der Deckungsbeitrag für die vernässte Fläche über die Energieerzeugung aufgebracht wird. Für die Einrichtung einer Agro-PV auf organischen Böden wird im Eckpunktepapier von BMWK, BMUV und BMEL (2022) die Vernässung der Standorte als Voraussetzung genannt. Damit ist die erstellte THG-Bilanzierung auch für diese Nutzung relevant.

Für die Hochmoorsanierung stellt sich in der praktischen Umsetzung die folgende Frage für die Bewertung des klimarelevanten Gasaustausches der Fläche:

- **Welche THG-Bilanz hat eine Wiedervernässung und Moorentwicklung**
 - mit dem Abtrag des landwirtschaftlichen Oberbodens und
 - ohne den Abtrag des landwirtschaftlichen Oberbodens?

Diese Frage will der Faktenscheck durch eine Modellierung der THG beantworten.

2. Beschreibung des Ansatzes der bilanzierenden Betrachtung

Landwirtschaftlich genutzte Hochmoorstandorte sind in ihrem oberen Bodenprofil, der lebenden Schicht des Moores (Acrotelm), vollständig verändert:

- die natürliche Vegetation (Torfmoose) ist entfernt
- die physikalische Struktur ist durch Umbruch gestört
- der pH-Wert ist durch Aufkalkung erhöht
- die Trophie ist durch Düngung stark erhöht
- das Samenpotential wird durch die Einsaat der landwirtschaftlichen Kultur geprägt
- das Torfvolumen reduziert sich kontinuierlich durch Sackung, Schrumpfung und Oxidation und der Zersetzungsgrad nimmt zu (sogenannte „Mineralisierung“)

Wird nun die Vernässung des Standortes geplant, gibt es verschiedene methodische Ansätze im Umgang mit diesem landwirtschaftlichen Oberboden.

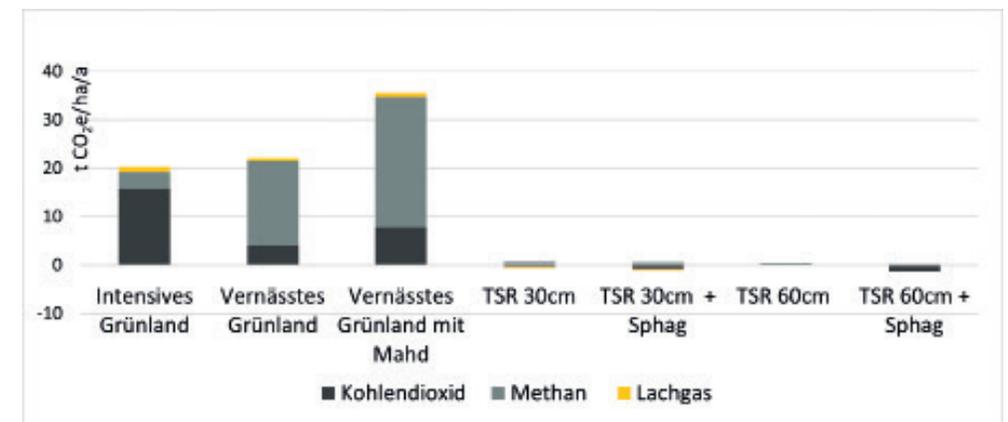


Abb. 2: oben: Die sieben verschiedenen Varianten des OptiMoor-Projektes schematisch veranschaulicht (<https://optimoor.jimdo.free.com/versuchsdesign/>); unten: Treibhausgasemissionen der sieben Varianten; TSR = Topsoil-Removal; Sphag = Torfmoos-Impfung (verändert nach HUTH, 2021) Above: The seven different variants of OptiMoor-project schematically illustrated (<https://optimoor.jimdo.free.com/versuchsdesign/>); Bottom: Greenhouse gas emissions of the seven variants; TSR = Topsoil-Removal; Sphag = Peat Moss Inoculation (modified after HUTH, 2021).

Eine detaillierte Forschungsgrundlage zum klimarelevanten Gasaustausch verschiedener Varianten bietet das Vorhaben OptiMoor des BfN.

Die folgende Betrachtung unterscheidet in zwei grundsätzlich verschiedene Herangehensweisen:

a) Direkte Vernässung ohne Abtrag (Varianten 1 bis 3)

Das erste Szenario betrachtet eine Vernässung ohne jeden Oberbodenabtrag. Eine Differenzierung kann sich hinsichtlich der Behandlung der Fläche ergeben:

- Vorbehandlung der Fläche durch Mulchen der Grasnarbe
- regelmäßiger Nährstoffaustrag durch Mahd des Aufwuchses

b) Vernässung mit Abtrag des landwirtschaftlichen Oberbodens (Varianten 4 bis 7)

Auch für dieses Szenario sind unterschiedliche Ansätze (Varianten) zu betrachten. In jedem Fall wird der durch die Bewirtschaftung mechanisch bearbeitete Oberboden abgetragen. Zudem wurden die meisten Flächen für die Entwässerung drainiert. In den Drainschächten / -schlitzen lagert ebenfalls mit dem Oberboden vergleichbares Material. Dieses kann entweder

- durch einen Abtragshorizont unterhalb der Draintiefe, oder
- durch ein Auskoffern der Drainschächte

entfernt werden. Für eine gezieltes Auskoffern der Drainschächte spricht ein geringeres abzutragendes Torfvolumen, das „belastend“ in die THG-Bilanz eingeht. Andererseits treten Fälle auf,

- in denen ältere Drainagen durch die zwischenzeitliche Oxidation und /oder Sackung der Torfe nur noch knapp unter der Oberfläche liegen, oder
- mehrere Generationen an Drainungen versetzt in die Flächen eingezogen wurden.

In diesen Fällen ist ein gezieltes Ausgraben der gestörten Profileile nicht mehr praktikabel. Für die folgende Bilanzierung wird die Variante 5 gewählt, die wahrscheinlich häufig in der praktischen Umsetzung realisiert wird.

3. Bilanzierender Vergleich der gewählten Szenarien

3.1 Methodenbeschreibung

Für den Methodenvergleich wird entsprechend der Nutzungsverteilung der deutschen Moorböden (UBA 2020) für eine Fläche von 100 ha Hochmoorstandort der klimarelevante Gasaustausch über einen Zeitraum von 100 Jahren für die beschriebenen verschiedenen Varianten modelliert:

„Nullvariante“

Es wird von einer Fortführung der aktuellen Nutzung ausgegangen, die auf den Annahmen einer ausreichenden Torfmächtigkeit und Vorflut für die Fortführung der land- und forstwirtschaftlichen Nutzungen über einen Zeitraum von 100 Jahren fußt.

Direkte Vernässung

In dieser Variante wird die Fläche kontinuierlich über mehrere Jahre direkt aus der jeweiligen Nutzung heraus vollständig vernässt.

Vernässung mit Abtrag

Vor der kontinuierlichen Vernässung wird der landwirtschaftliche Oberboden von der Fläche abgetragen und die Fläche mit Torfmoosen beimpft.

Für die Emissions-Faktoren der einzelnen Nutzungen werden die Werte nach THIEMEYER (in BMU 2021) herangezogen. Die Bilanzierung für die Variante mit Abtrag oxidiert das volle Torfvolumen, also auch die auf der Fläche in den Verwallungen verbauten Mengen.

Der Fortschritt für die Wiedervernässung wird mit jährlich 1 % für Acker und Wald und mit jährlich 2 % für Grünland angenommen. Dies bedeutet einen Umsetzungszeitraum der Maßnahmen von 19 Jahren für den Anteil der Ackerflächen, 26 Jahren für das Grünland (mit 52 % größter Flächenanteil) und 15 Jahren für den Wald. Damit wird ein ambitionierter aber noch realistischer Zeitraum für die Gesamtentwicklung der organischen Böden gewählt.

Für die anderen Nutzungsklassen wird keine Veränderung betrachtet, da entweder eine Vernässung kein realistisches Szenario darstellt (Siedlung) oder die Gebiete mehr oder weniger nass sind (Terrestrische Feuchtgebiete und Gewässer).

3.2 THG-Bilanz ohne Oberbodenabtrag

Für die direkte Vernässung landwirtschaftlicher Oberböden wird eine Methan-Emission von 24,325 t CO₂e/ha/a entsprechend dem Messwert für OS (original surface) von 97,3 g/m²/a des BfN-Projektes OptiMoor angenommen (s. Tab. 1).

Die Zeiträume, in denen diese Methan-Emissionen ablaufen, sind nicht erforscht, daher werden zwei Varianten dargestellt:

- 1) Die Methan-Emissionen nehmen nach 10 Jahren um jährlich 5 % ab.
- 2) Die Methan-Emissionen nehmen nach 20 Jahren um jährlich 5 % ab.

3.3 THG-Bilanz mit Oberbodenabtrag

Für die Vernässung mit Abtrag des landwirtschaftlichen Oberbodens werden folgende Parameter gewählt:

- Die sanierten Flächen werden vernässt und sukzessive mit Torfmoosen beimpft. Ein Wassermanagement wird in den ersten Jahren der Flächenentwicklung eta-

bliert, um die Hochmoor-Vegetationsentwicklung zu unterstützen. Für die vernässen Flächen wird eine Senkenfunktion erst ab dem dritten Jahr angenommen, da nicht von den optimalen Bedingungen des Forschungsvorhabens ausgegangen werden kann. Entsprechend der Ergebnisse aus OptiMoor wird angelehnt an die Werte für einen 30 cm tiefen Abtrag ein Mittelwert von $-1,969 \text{ t CO}_2\text{e}$ angenommen.

Tab. 1: Methan-Emissionen aus den Varianten des OptiMoor-Projektes
Methane emissions from the variants of the OptiMoor project

Annual CH₄ balances for each plot. Measurement collars in the OS and IG plots were either located at the regular lawn level or in surface depressions resulting from the (former) drainage of the site with underground drainage pipes.

Plot	Part	CH ₄ balance (g m ⁻² a ⁻¹)
IG	Total	69.10 ± 41.40
	Lawn level	3.31 ± 1.77
	Depression	274.00 ± 40.90
OS	Total	97.3 ± 34.7
	Lawn level	14.8 ± 7.45
	Depression	193.00 ± 38.50
OS + mowing	Total	77.1 ± 52.1
	Lawn level	6.84 ± 2.88
	Depression	822.00 ± 113.00
TSR30	Total	2.37 ± 0.68
TSR30 + Sphagnum	Total	1.80 ± 0.91
TSR60	Total	0.25 ± 0.14
TSR60 + Sphagnum	Total	0.93 ± 0.21

Tab. 2: Messwerte der C-Aufnahme der Varianten 4 und 5 des OptiMoor-Projekts
Measured values of the C-uptake of variants 4 and 5 of the OptiMoor project

TSR30	CO ₂ C g/m ²	CO ₂ C t/ha	CO ₂ t/ha
1. Jahr	-39,30	-0,39	-1,44
2. Jahr	-14,50	-0,15	-0,53
Durchschnitt			-0,986
TSR30+Sph	CO ₂ C g/m ²	CO ₂ C t/ha	CO ₂ t/ha
1. Jahr	-76,80	-0,77	-2,82
2. Jahr	-84,20	-0,84	-3,09
Durchschnitt			-2,952
Durchschnitt	TSR30gesamt		-1,969

Für die Oxidation der abgetragenen Torfe werden zwei verschiedene Szenarien betrachtet:

- 1) eine jährliche Oxidationsrate von 5 %
- 2) eine jährliche Oxidationsrate von 1,7 %

Die Oxidationsrate von 5 % wird in Anlehnung an die Werte in CLEARY et al. (2005) gewählt. Die Oxidationsrate von 1,7 % orientiert sich an einer jährlichen Abbaurrate von 1,758 %, die im Annex des National Inventory Report Sweden (2021) auf S. 140 für die gärtnerische Nutzung von Torf gewählt wird.

4. Diskussion der Ergebnisse

In der folgenden Grafik werden die THG-Bilanzen für die beschriebenen Vernässungsvarianten für eine 100 ha große Fläche der „Nullvariante“, einer Weiterführung der landwirtschaftlichen Nutzung, gegenübergestellt.

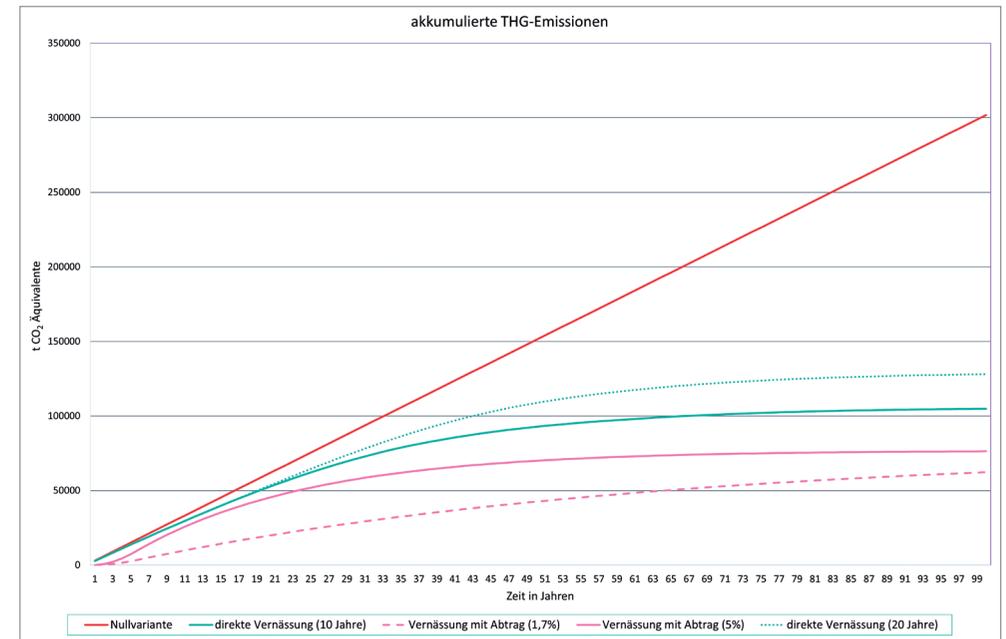


Abb. 3: Vergleich der THG-Bilanzen für die Nullvariante und den Vernässungsvarianten über einen Zeitraum von 100 Jahren
Comparison of the GHG balances for the zero variant and the waterlogging variants over a period of 100 years.

Ohne Oberbodenabtrag kommt es zu hohen Methan-Emissionen, die sich aus der anaeroben Umsetzung der frischen Biomasse in den wiedervernässen Flächen speisen. Die Höhe dieser Emissionen läuft dem Retentions-Effekt der Maßnahme hinsichtlich der Kohlendioxid-Emission in der Klimabilanz entgegen. Eine offene Frage ist, wie lange diese Methan-Emissionen auf dieser Höhe anhalten – hierzu fehlen belastbare Langzeitstudien.

In dem Szenario mit Oberbodenabtrag werden diese Methan-Emissionen fast vollständig vermieden. Auch hier fehlen Langzeitstudien, die analysieren, ob nicht auch hier auf Dauer durch die Vertorfung frischer Biomasse ein leichter Anstieg der Methan-Emissionen – in eine Größenordnung lebender Hochmoore – auftreten kann. Die Bilanz dieses Szenarios wird durch den Torfabtrag belastet, der auf Dauer oxidiert. Zu den Oxidationsraten fehlen ebenfalls belastbare Langzeitstudien. Die Grafik zeigt Verlustraten von jährlich 5 %, die sich aus einer kanadischen Studie (CLEARY et al. 2005) ableiten lassen und 1,7 %, die sich an den NIR Schwedens (2021) anlehnen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Entscheidungsfindung liegt außerhalb der klimatischen Betrachtung. Das Szenario mit Oberbodenabtrag führt zu einer unbelasteten Torf-Oberfläche, die eine Etablierung einer Hochmoorvegetation begünstigt. Das Szenario ohne Oberbodenabtrag hingegen wird eine Vegetationsentwicklung zum Hochmoor durch die Nährstoffe, den pH-Wert und den Konkurrenzvorteil der landwirtschaftlichen Ausgangsvegetation (Samenpotential) auf unbestimmte Zeit unterdrücken – auch hier fehlen Langzeitstudien, die Zeiträume für diese Prozesse errahnen lassen.

5. Fazit des Faktenchecks

Unter den Aspekten des Klimaschutzes stellt sich die Variante mit Oberbodenabtrag als zu präferierende Variante heraus. Dieses Ergebnis ist jedoch unter Berücksichtigung der bestehenden Unsicherheiten über die Dauer der Methan-Emissionen als auch über die Oxidationsrate des abgetragenen Oberbodens zu relativieren. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass sich keine generelle Abtragstiefe definieren lässt, da diese für jeden Einzelfall und für jeden einzelnen Vernässungspolder auf Basis von Stratigraphie, Relief und Hydrologie zu ermitteln ist.

Für die Etablierung eines Kohlenstoff akkumulierenden Hochmoores ist jedoch das Szenario mit Oberbodenabtrag eindeutig zu bevorzugen. Dies entspricht in idealer Weise der Zielsetzung des IPCC WGII Sixth Assessment Reports, der die Wechselbeziehung von Klima, Ökosystemen und biologischer Vielfalt stärker erkennt und in den Vordergrund stellt.

Forschungsbedarf

Der Fakten-Check zeigt die aktuellen Wissenslücken und somit den Forschungsbedarf auf:

- Wie entwickelt sich die Methan-Emission vernässter Flächen auf der Zeitachse?
- Wie verlaufen die Oxidationsraten des Abtrags in den Verwallungen und in einer gärtnerischen Nutzung?
- In welchen Zeitspannen entwickeln sich direkt vernässte, landwirtschaftlich vorgegenutzte Hochmoorflächen in Richtung einer kohlenstoff-akkumulierenden Hochmoorvegetation?

6. Literaturverzeichnis

- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2021): Ergebnisse Waldzustandserhebung 2020. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ergebnisse-waldzustandserhebung-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=11
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft); BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) (2021): BUND-LÄNDER-ZIELVEREINBARUNG zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/blzv_moorbodenschutz_bf.pdf
- BMWK, BMUV und BMEL (2022): Eckpunktepapier zum Ausbau der Photovoltaik auf Freiflächen im Einklang mit landwirtschaftlicher Nutzung und Naturschutz vom 10. Februar 2022, Berlin https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/Klimaschutz/eckpunktepapier-photovoltaik-freiflaechen.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) (2021a): BUND-LÄNDER-ZIELVEREINBARUNG zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/blzv_moorbodenschutz_bf.pdf
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) (2021b): Nationale Moorschutzstrategie. <https://www.bmu.de/download/nationale-moorschutzstrategie>
- CLEARY, J., ROULET, N. & MOORE, T. (2005): Greenhouse Gas Emissions from Canadian Peat Extraction, 1990-2000: A Life-cycle Analysis. Royal Swedish Academy of Sciences 2005, Ambio Vol. 34, No. 6, August 2005 <http://www.ambio.kva.se>
- GÜNTHER, A., BARTHELMES, A., HUTH, V., JOOSTEN, H., JURASINSKI, G., KOEBSCH, F. & COUWENBERG J. (2020): Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. Nature communications. <https://www.nature.com/articles/s41467-020-15499-z>
- HOFER, B. & KÖBBING, J. (2020): Faktencheck – Treibhausgasemissionen aus dem Einsatz von Torf in Blumenerden. TELMA 50: 193-198; Hannover.
- HOFER, B. & KÖBBING, J. (2021): Faktencheck – Was bedeutet die Vorgabe der Deutschen Moorschutzstrategie „Einsparung von Emissionen in Höhe von 5 Millionen t CO₂ Äquivalenten pro Jahr aus Moorböden in Deutschland bis 2030“ in der praktischen Umsetzung? TELMA 51: 153-164; Hannover.
- HUTH, V.; GÜNTHER, A.; BARTEL, A.; HOFER, B.; JACOBS, O.; JANTZ, N.; MEISTER, M.; ROSINSKI, E.; ULRICH, T.; WEIL, M. ZAK, D.; JURASINSKI, G. (2020): Topsoil removal reduced in-situ methane emissions in a temperate rewetted bog grassland by a hundredfold. Science of the Total Environment 721, 15 June 2020, 137763. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720312742>
- HUTH, V., GÜNTHER, A., BARTEL, A., GUTEKUNST, C., HEINZE, S., HOFER, B., JACOBS, O., KOEBSCH, F., ROSINSKI, E., TONN, C., ULLRICH, K. & JURASINSKI, G. (2021): The climate benefits of topsoil removal and Sphagnum introduction in raised bog restoration. Restoration Ecology. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/rec.13490>

- IVG (2012): Die Zukunft der Torfgewinnung in Niedersachsen. Untersuchung und Umfrage im Auftrag der Bundesvereinigung Torf- und Humuswirtschaft/Fachabteilung Substrate, Erden, Ausgangsstoffe im Industrieverband Garten e.V. durchgeführt von E. Schmatzler 2011/2012
- National Inventory Report Sweden (2021): <https://unfccc.int/documents/271847> – Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol
- NLWK (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2020): Grundwasserbericht Niedersachsen Sonderausgabe zur Grundwasserstandssituation in den Trockenjahren 2018 und 2019. https://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/156169/NLWKN_2020_Grundwasserbericht_Niedersachsen_Sonderausgabe_zur_Grundwasserstandssituation_in_den_Trockenjahren_2018_und_2019_Band_41_.pdf
- TEGETMEYER C.; BARTHELMES, K.-D.; BUSSE, S. & BARTHELMES, A. (2021): Aggregierte Karte der organischen Böden Deutschlands. Greifswald Moor Centrum Schriftenreihe 01/2021 https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/2021-01_Tegetmeyer%20et%20al.pdf
- UBA (Umweltbundesamt) (2020): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2020: Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2018. Umweltbundesamt – UNFCCC-Submission. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-15-climate-change_22-2020_nir_2020_de_0.pdf

Anschrift des Verfassers:

Bernd Hofer
Hofer & Pautz GbR
Buchenallee 18
D-48341 Altenberge
E-Mail: hofer@hofer-pautz.de

Manuskript eingegangen am 31. Oktober 2022