

Landwirtschaftliche Nutzung von Mooren

Hans Joosten

Zusammenfassung

Das Paris-Abkommen impliziert, dass alle entwässerte Moore wiederzuvernässen, d.h. als „neue nasse Wildnis“ zu entwickeln oder in eine nasse Nutzung („Paludikultur“) zu überführen sind. Paludikultur muss sich auf Felder richten, auf denen sie intrinsisch besser aufgestellt ist. Wasser- und Sumpfpflanzen sind viel größeren Kräften ausgesetzt als Landpflanzen. Weil außerdem ihre Wurzeln Sauerstoff brauchen, bilden sie starke, offene und damit leichte Gewebe, die sich hervorragend für die Herstellung klimafreundlicher Baumaterialien eignen. Solche Pflanzen verstärken ihr Gewebe mit Silizium und sie akkumulieren damit Seltenere Erden, also wichtige Rohstoffe für Schlüsseltechnologien. Weil sie in besonderer Weise dem Angriff von Mikroben ausgesetzt sind, produzieren Wasser- und Sumpfpflanzen Bakterizide und Fungizide mit z.T. medizinischer Wirkung. Viele Paludi-Produktionslinien brauchen aber noch 10–15 Jahre praxisnaher Forschung und Entwicklung, die Wiedervernässung ermöglicht dagegen ein „carbon farming“ als sofort implementierbare Übergangsstrategie. Mit der Erteilung von Emissionsrechten könnten Landwirte wie bisher wirtschaften oder zu einem selbstgewählten Moment wiedervernässen und die Emissionsreduktion verkaufen. Dies gibt der Paludikultur Zeit sich zu entwickeln, während das Einkommen aus dem Kohlenstoffhandel bezogen wird. Im Jahr 2050 würden die Emissionsrechte abgeschafft werden und Landnutzer müssten (teure) Zertifikate für die verbleibenden Emissionen zukaufen. Durch solchen mittelfristigen Vertrauensschutz, der langfristig in die Anwendung des Verursacherprinzips übergeht, könnte ein fairer Ausgleich zwischen individuellen und gesellschaftlichen Interessen erreicht werden.

Summary

Agricultural utilization of peatlands

The Paris Agreement implies that all drained peatlands are rewetted, i.e. developed into “new wet wildernesses” or converted to wet agriculture (“paludiculture”). Paludiculture must focus on markets for which it is intrinsically better positioned. Wetland plants are exposed to much greater physical forces than land plants. Because their roots also need oxygen, such plants form strong, open tissues that are ideal for the production of climate-friendly building materials. They reinforce their tissue with silica and accumulate rare earth elements, which are important raw materials for key technologies. Because wetland plants are heavily attacked by microbes, they defend themselves with self-produced bactericides and fungicides, which often have medicinal effects. Many paludi-production lines still need 10–15 years of development. On the other hand, peatland rewetting immediately allows the implementation of “carbon farming” as a transition strategy. By issuing emission rights, a farmer can continue business as usual or rewet and sell the reduction in emissions. This gives paludiculture time to develop, while agricultural income is derived from carbon trading. In 2050, emission rights will be abolished and land users will have to buy (expensive) certificates for the remaining emissions. Such medium-term protection of trust, followed by the application of the polluter-pays principle, achieves a fair balance between individual and social interests.

 Prof. i.R. Dr. Dr. h.c. Hans Joosten, Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Universität Greifswald, Partner im Greifswald Moor Centrum (GMC), Soldmannstraße 15, 17487 Greifswald; joosten@uni-greifswald.de



Abb. 1. Keilschrifttafel aus Nippur, Irak. – Object CBS13885, 12,5 cm x 11 cm. Irak, Nippur; Penn Museum, Philadelphia, USA.

Mensch und Moor – eine lange Geschichte

Die Geschichte der landwirtschaftlichen Nutzung von Mooren reicht weit zurück. Aus der Paläoökologie wissen wir, dass Moore schon seit Jahrtausenden genutzt werden. Die Ceide Fields an der Nordwestküste Irlands stellen Reste eines etwa 5500 Jahre alten, neolithischen Feldsystems dar. Die ehemalige Kulturlandschaft ist überwachsen mit Mooren, die durch die damalige Entwaldung in ihrem Wachstum stimuliert worden sind. Ein erster direkter Beleg für die Nutzung von Mooren stammt aus Mesopotamien, wo eine etwa 4100 Jahre alte Figur eines Stieres im Schilf bei Ausgrabungen in Tell Zorghul (Irak) gefunden wurde. Auch wurde eine etwa 3500 Jahre alte Keilschrifttafel gefunden, auf der die Felder der Schilfhändler in Nippur (Mesopotamien) auf einer Karte eingzeichnet sind (Abb. 1). Die darin eingezeichneten Kanäle und Gräben lassen sich noch heute in Satellitenaufnahmen wiedererkennen.

Es gab Völker bzw. Volksgruppen, die vollständig von Mooren abhängig waren, wie die „Fen Slodgers“, die in den Mooren Lincolnshires

im Osten Englands lange Widerstand gegen Oliver Cromwell und dessen Pläne zur Entwässerung leisteten (Wheeler 1868). Eine weitere im Moor lebende Völkergruppe sind die Ma'dan am Zusammenfluss von Euphrat und Tigris im Irak. Diese sog. „Moor-Araber“ leben in Sumpf, ernähren sich von ihm und errichten ihre Bauwerke aus Schilf (Abb. 2).

Klimaerwärmung: das 1,5-Grad-Ziel

Wir leben heute in einer Zeit, in der unser Planet immer wärmer wird. Dies führt dazu, dass Nahrungs- und Wasserversorgung unsicherer werden, mit zunehmenden sozialen Krisen, Kriegen, Migration und anderen Folgeerscheinungen: Klimakatastrophen verursachen jährlich Tausende von Toten und Hunderte Milliarden Euro an Schäden. Dass es so nicht weitergehen darf, haben alle Länder der Welt 2015 auf der UN-Klimakonferenz von Paris einstimmig vereinbart;¹ seitdem gibt es ein klares gemeinsames Ziel: die Begrenzung der globalen Erwärmung auf deutlich unter 2°C, möglichst 1,5°C, im Vergleich zu vorindustriellen Levels. Das Abkommen von Paris besagt, ebenso wie die Sustainable Development

1 Die UN-Klimakonferenz (United Nations Framework Convention on Climate Change, 21st Conference of the Parties) fand als 21. UN-Klimakonferenz (COP21) und gleichzeitig als 11. Treffen zum Kyoto-Protokoll (CMP11) vom 30.11. bis 12.12.2015 in Paris statt.

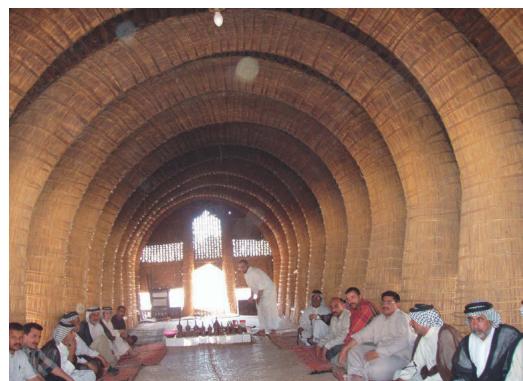


Abb. 2. Traditionelles Gästehaus der „Moor-Araber“, ausschließlich erbaut aus Schilfrohr. – Foto: Hassan Janali, U.S. Army Corps of Engineers, 2004; Wikimedia commons.

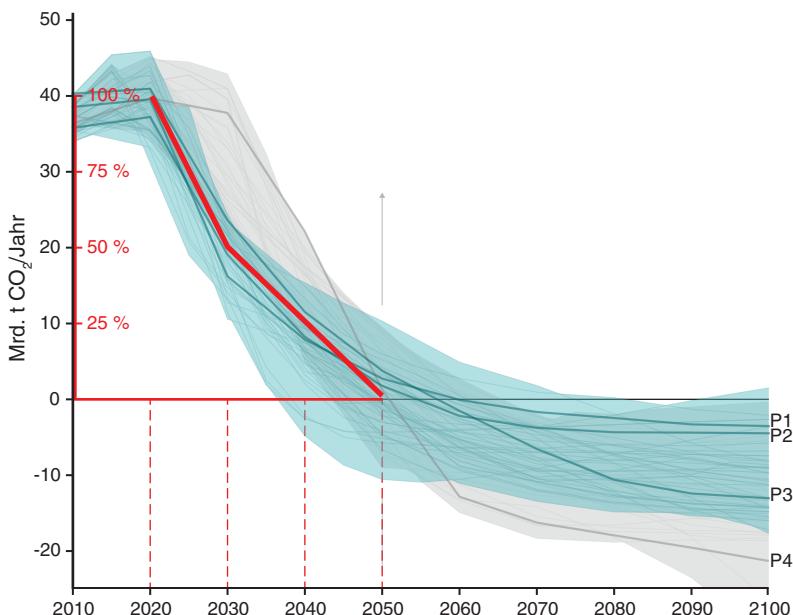


Abb. 3. Jährliche globale anthropogene Netto-CO₂-Emissionen im Zeitraum 2010–2100 in verschiedenen Szenarien (dickere Linien: exemplarische Modellpfade P1–P4), die die globale Erwärmung auf 1,5°C begrenzen; grau hinterlegt: Vertrauensbereich 5–95%; blau: Interquartilsabstand; rote Linie: vereinfachte Darstellung der Netto-CO₂-Emissionsreduktion von 100 % (2020) auf Null (2050). – Nach IPCC (2018), ergänzt.

Goals der UN,² dass dies im Kontext nachhaltiger Entwicklung und Anstrengungen zur Beseitigung der Armut geschehen muss (Roy et al. 2018).

In dem IPCC-Bericht „Global Warming of 1.5°C“ wurde errechnet, dass, um dieses Ziel zu erreichen, die Netto-CO₂-Emission bis 2050 bei Null liegen und das Erdsystem danach zu einer CO₂-Senke werden muss (Abb. 3; IPCC 2018). Etwas zurückhaltender war man, aus Gründen der Ernährungssicherheit, mit der Reduzierung von Methan (~ 50 % Reduktion) und Lachgas (~ 20 % Reduktion), da Tierhaltung und Reisanbau ohne Methanausstoß nicht möglich sind. Die Emission von Lachgas ist ein Nebeneffekt der Düngung, die für den Anbau von proteinreichem Getreide notwendig ist.

Die Konsequenz daraus ist, dass wir in allen Bereichen radikal umdenken müssen, auch in Bezug auf Moore.

Moore als wichtigste Kohlenstoffspeicher der terrestrischen Biosphäre

Lebende Moore sind Ökosysteme, in denen die Produktion organischer Masse größer ist als die Zersetzung. Infolge der vorherrschenden Wassersättigung akkumulieren die unvollständig zersetzten Pflanzenresten als Torf, der über die Hälfte aus Kohlenstoff besteht. Natürliche, lebende Moore sind somit Feuchtgebiete, sollten aber besser als „Nassgebiete“ bezeichnet werden. Torf akkumuliert über Jahrtausende und speichert konzentrierten Kohlenstoff in mächtigen Schichten.

Etwa 88 % der Moore weltweit sind noch nicht schwer geschädigt (vgl. Tanneberger 2024 in diesem Band), dennoch kompensieren diese Systeme als Kohlenstoff- bzw. CO₂-Senke weltweit nur 1 % der Emissionen aus fossilen Brennstoffen. Die Moore allein werden daher die Welt nicht retten, das müssen wir selber tun; sie werden aber als Senken umso mehr an Bedeutung gewinnen, je schwieriger es wird, die restlichen Emissionen zu reduzieren.

² Sustainable Development Goals (SDG) der Vereinten Nationen; Agenda 2020: Ziele für Nachhaltige Entwicklung, UN 2015, <https://sdgs.un.org/goals>, <https://17ziele.de/> [abgerufen 02.06.2023]



Abb. 4. Anbau von Kartoffeln auf entwässertem Moor.
– Foto: Hans Joosten, Ukraine, 2010.

Die wichtigste Bedeutung von Mooren im Klimawandel liegt in ihrer Funktion als Kohlenstoffspeicher. Moore bilden die am meisten konzentrierten Kohlenstoffvorräte der terrestrischen Biosphäre: Es gibt kein Ökosystem, das pro Hektar mehr Kohlenstoff enthält als ein Moor. Selbst die Redwood-Forests in Kalifornien mit ihren immensen Baumstämmen speichern nur die Hälfte dessen, was ein Moor im Durchschnitt auf gleicher Fläche einlagert. Eine 15 cm dicke Torfschicht enthält pro Hektar mehr Kohlenstoff als das, was man schon als ein „High-Carbon-Stock“ tropischer Regenwald definiert. Wenn wir also aus Klimasicht völlig zu Recht die Tropenwälder schützen, müssen wir auch geringmächtige Torfschichten schützen; nebenbei: 15 cm Torfschicht entspricht nur der Hälfte der deutschen Definition von „Moor“ (30 cm Torf), die sich ursprünglich an der Pflugtiefe orientierte.

Entwässerung von Mooren und landwirtschaftliche Nutzung

Nur noch 2 % der Moore Deutschlands sind „lebende“ Moore, aber diese stehen aus Klimasicht nicht im Vordergrund. Sprechen wir über „Moor und Klima“, dann betrifft das in Europa v.a. Ackerbau, Weidenutzung und Wald auf entwässerten Moorböden (Abb. 4), in tropischen Regionen Ölpalmenplantagen oder Faserholz als wichtige Nutzungsarten (Abb. 5). Die Moorprobleme werden maßgeblich durch Drainage verursacht. Entfernt man das Wasser aus Mooren, verrottet die organische Substanz und wird in Form von CO_2 in

großen Mengen emittiert. Um die Zahlen zu veranschaulichen, seien folgende Beispiele genannt:

- Ein tief entwässertes Moor-Grünland in Mitteleuropa hat gemäß IPCC-Angaben eine Treibhausgasemission von jährlich 29 t $\text{CO}_2\text{-eq}/\text{ha}$, was dem Ausstoß eines Mittelklasse-Pkw (Benzinmotor) entspricht, der 145 000 km fährt. Das heißt, für den CO_2 -Ausstoß eines Hektars entwässerter Moorfläche könnte man in einem Jahr fast viermal um die Erde fahren.
- Dies hat auch große Konsequenzen für Nahrungsmittel, die von entwässertem Moor-Grünland stammen; analog zum ökologischen Fußabdruck („foot print“) kann man von einem „food print“, d.h. „Lebensmittelabdruck“ sprechen. So hat 1 kg Käse eine Klimawirkung von 45 kg $\text{CO}_2\text{-eq}$ und 1 Liter Milch eine ähnliche Klimawirkung wie 2 Liter Benzin, wenn das Vieh maßgeblich mit auf entwässerten Moorböden erzeugtem Futter ernährt wird.
- Ein Acker auf Moor in Mitteleuropa emittiert jährlich 37 t $\text{CO}_2\text{-eq}/\text{ha}$. Das bedeutet, dass der Kohlenstoffverlust aus dem Moorboden zweimal so hoch ist wie das, was die dort produzierten Kartoffeln an Kohlenstoff enthalten; Moorkartoffeln könnten demnach als „fossile Rohstoffe“ apostrophiert werden.

Weltweit emittieren entwässerte Moore 2,5 Gigatonnen CO_2 pro Jahr (einschließlich der Torfbrände), d.h., 0,3 % des Landflächen produzieren 5 % aller globalen Emissionen. Indonesien liegt dabei an der Spitze, aber auch Deutschland ist unter den „top ten“ der globalen Moor-emittenten. Die landwirtschaftliche Nutzung ist dabei sowohl weltweit als auch in Deutschland die Hauptursache für diese Emissionen. In Deutschland produziert die Landwirtschaft auf organischen Böden („Moorböden“), die nur 6,7 % der landwirtschaftlichen Böden ausmachen, 40 % aller landwirtschaftlichen Emissionen (einschließlich des Methans aus Wiederkäuern oder des Lachgases aus Düngung). In der EU sind 3 % der landwirtschaftlichen Fläche auf Moorböden für 25 % der Emissionen aus der gesamten Landwirtschaft verantwortlich. Angesichts eines so geringen Flächenanteils mit so großen Emissionsraten stellt sich die Frage, warum wir die Landwirtschaft auf organischen Böden nicht einfach abschaffen.

Schäden durch Landwirtschaft auf Mooren

Multipliziert man die Emissionen aus den landwirtschaftlich genutzten Moorböden mit den offiziellen Klimaschadenskosten pro Tonne CO₂ (UBA 2020), zeigt sich, dass die deutsche Moorlandwirtschaft jährlich einen Klimaschaden von 8,5 Mrd. Euro verursacht. Sie erhält dafür von der EU Direktzahlungen von mehr als 0,4 Mrd. Euro als Subventionen. Die 8,5 Mrd. Euro entsprechen nahezu der Netto-Wertschöpfung der gesamten deutschen Landwirtschaft (9,5 Mrd. Euro über 2020 und 2021).³ Das Verursacherprinzip wird somit auf den Kopf gestellt: Wir bezahlen, während massive Klimaschäden verursacht werden, und verhindern damit vernünftige Lösungen.

Weitere negative Effekte der Moorentwässerung sind zum Beispiel:

- Die Torfoxidation durch Entwässerung führt auch zu einer Mobilisierung von Stickstoff. In Deutschland gelangen auf diese Weise jährlich etwa 0,7 Mio. t Nitrat in die Gewässer; zum Vergleich: Dies entspricht den jährlichen Ausscheidungen von 35 Mio. Menschen.
- Weitgehend übersehen und bisher in Deutschland kaum thematisiert ist die Moorsackung. Die Moorentwässerung führt zum Verlust von Torfsubstanz (die u.a. in Form von Treibhausgasen in die Luft geht) und damit zu einem Höhenverlust von 1–2 cm pro Jahr. Während der Meeresspiegel ansteigt, wirtschaften wir also im wörtlichen Sinne das Moorland „herunter“. Im Donaumoos erinnert ein Pfahl daran, dass seit 1836 die Bodenoberfläche um 3 m gesunken ist. In den Niederlanden entstehen durch Moorsackung jährlich Schäden in Höhe von 300 Mio. Euro an Kanalisation und Infrastruktur und bis 2050 in Höhe von 80 Mrd. Euro an Häusern (Temmink et al. 2023). Erkennen lässt sich dies z.B. an Häusern, deren Fundamente mit Pfählen im tiefer liegenden Mineralboden verankert sind und die daher stehen bleiben, während der Rest der Stadt unter ihnen wegsackt, so dass die Haustüren nur noch über mehrere Stufen erreicht werden können.

³ Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/landwirtschaftliche-gesamtrechnung/wertschöpfung> [abgerufen 04.06.2023]



Abb. 5. Faserholzplantagen auf entwässertem Moor.
– Foto: Hans Joosten, Sumatra, 2016.

Das große Problem unserer Landwirtschaft ist, dass sie einer Halbwüste entstanden ist. Sie kommt ursprünglich aus Mesopotamien und hat sich von dort vor etwa 8000 Jahren nach Europa ausgebreitet. Seitdem meinen wir, dass produktives Land trocken und der Boden dauernd in Bewegung sein muss – eine Illusion, die wir weltweit auf Moorböden anwenden, z.B. wenn auf Kalimantan Wüstenpflanzen wie *Aloe vera* oder in Niedersachsen subarider Mais zur Biogasgewinnung auf tief entwässertem Moor angebaut werden. Das aus diesem Mais gewonnene Biogas ist in Bezug auf seine Klimawirksamkeit achtmal schlimmer als das Verbrennen von Braunkohle (Couwenberg 2007).

Wiedervernässung von Mooren: „Alles muss nass“

Die Moorwiedervernässung löst diese Probleme und liefert wichtige Ökosystemleistungen, auch für die Landwirtschaft. Zwischen dem mittleren Wasserstand im Boden und den Treibhausgasemissionen besteht eine nahezu lineare Beziehung. Ein 10 cm höherer Wasserstand verringert die Treibhausgasemissionen um etwa 5 t CO₂-eq/ha jährlich (Couwenberg et al., in Vorbereitung). Im Hinblick auf die UN-Klimakonferenz von Paris und auf die Netto-CO₂-Emission von Null bis 2050 (s. oben) bedeutet dies, dass alle entwässerten Moore wieder nass werden müssen. Dies wiederum heißt, dass in Deutschland jährlich eine Fläche von 50 000 ha, in der EU von 500 000 ha, in ganz Europa von 1 Mio. ha und weltweit



Abb. 6. Photovoltaikanlage auf einer Moorfläche in Schleswig-Holstein. – Foto: Bas Spanjers, ARGE KlimaMoor.

von 2 Mio. ha wiedervernässt werden muss. Das klingt illusorisch und naiv. Blickt man aber zurück, stellt man fest, dass Finnland in den 1970er Jahren 300 000 ha an Moorfläche pro Jahr entwässert hat (Joosten et al. 2017); so sollten 50 000 ha Wiedervernässung in Deutschland ebenfalls zu schaffen sein.

Das beste Beispiel für die Wiedervernässung von Mooren ist Indonesien. Im Jahr 2015 haben Brände auf 2 Mio. ha entwässerter Moorfläche zu mehr als 100 000 Toten, zu mehr als 500 000 Menschen mit Lungenproblemen, zu einem Schaden von 16–40 Mrd. US\$ im Land und zu großen internationalen politischen Problemen geführt, weil der Moorrauch über Wochen die wichtigen ökonomischen Zentren Singapur und Kuala Lumpur lahmgelegt hat. Der indonesische Präsident hat daraufhin eine Task Force unter seiner direkten Verantwortlichkeit geschaffen, mit dem Ziel, bis 2020 2 Mio. ha Moor wiederzuvernässen. Und tatsächlich hat Indonesien in den Jahren 2017–2022 3,7 Mio. ha Moor wiedervernässt (wenn auch die Wasserstände generell noch zu niedrig sind, um die Emissionen maximal zu reduzieren) (Joosten 2023), d. h. fast 20 Mal mehr als ganz Europa in seiner gesamten Geschichte.

In Europa war die Wiedervernässung bisher weitgehend fokussiert auf verlassene, unproduktive Moorflächen mit wenig Emissionen. Das hat in Bezug auf Biodiversität und andere Ökosystemdienstleistungen sehr viel gebracht, jedoch nicht allzu viel im Hinblick auf die Klimafrage. Wir müssen jetzt prioritätär die schmerzlichen Dinge

angehen, d. h. hochproduktive, tief entwässerte landwirtschaftlich genutzte Moorflächen mit jährlichen Emissionen von 40–50 t CO₂-eq/ha. Inzwischen ist das auch bei der Bundesregierung angekommen und sowohl in der Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorböden (2021) als im Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (2023) wird für Moore bis 2030 als Ziel eine jährliche Emissionsreduktion von 5 Mio. t CO₂-eq gesetzt.⁴ Das entspricht aber noch nicht 10 % der heutigen Emission aus Mooren und ist in Hinblick auf die 65 % Reduktion, um die die gesamtdeutsche Emissionen bis 2030 reduziert werden soll, stark unterdimensioniert: 5 Mio. t CO₂-eq Reduktion pro Jahr sind zwar das Fünffache von dem, was wir in den letzten Jahren geleistet haben, aber auch fünfmal weniger als das, was wir machen müssten, um die Klimaziele zu erreichen!

Paludikultur

Um der Herausforderung, alle Moorflächen wiederzuvernässen, zu begegnen, gibt es zwei Möglichkeiten: entweder „neue nasse Natur“ oder „Paludikultur“, d. h. eine produktive nasse Landnutzung. Gegebenenfalls können beide Optionen mit Photovoltaik kombiniert werden (Abb. 6; Hohlbein 2023).

Ich denke, wir können in Deutschland und sicher weltweit nicht alle Moorflächen fluten und aus der Produktion nehmen, da wir zunehmend Biomasse brauchen – nicht nur zur Ernährung der noch immer wachsenden Weltbevölkerung, sondern vor allem, weil wir beschlossen haben, die fossilen Roh- und Brennstoffe durch nachwachsende Alternativen zu ersetzen. Daher müssen wir strategische Produktionsflächen auf Mooren durch Wiedervernässung mit Paludikultur erhalten.

Feuchtgebietspflanzen sind zwar höchst produktiv, aber um mit einer entwässerungsisierten Landwirtschaft konkurrieren zu können, muss sich die Paludikultur mittel- und langfristig auf Felder richten, auf denen sie intrin-

4 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz: <https://www.bmu.de/download/bund-laender-zielvereinbarung-zum-moorbodenenschutz>; <https://www.bmu.de/publikation/aktionsprogramm-natuerlicher-klimaschutz> [abgerufen 02.06.2023]

sisch besser aufgestellt ist. Das betrifft sowohl die Struktureigenschaften und Inhaltstoffe von Feuchtgebietspflanzen als auch die Klimawirkung wiedervernässter Moore.

Pflanzen, die im Wasser wachsen, sind – weil Wasser viel schwerer ist – viel größeren Kräften ausgesetzt als Pflanzen in der Luft und sind deshalb generell kräftig gebaut. Außerdem müssen Wasser- und Moorplanten Luft in den Wurzelbereich transportieren, um die Wurzeln mit Sauerstoff zu versorgen. Sie entwickeln daher mit ihren luftleitenden Geweben, dem Aerenchym, sehr starke, aber zugleich leichte und offene Strukturen (Abb. 7). Dieses Material liefert beste Voraussetzungen für klimafreundliches Bauen; Sumpfpflanzen sind daher überall in der Welt die wichtigsten Leichtgewicht-Baumaterialien (Abb. 8). Wir haben viel an Rohrkolben (*Typha* spec.) gearbeitet, die sich z. B. ausgezeichnet für Bauplatten eignen, die selbsttragend und gut isolierend sind und nicht verrotten, aber auch z. B. zur Beimischung in konventionellen Biogasanlagen, als Viehfutter, Substrat, Kunststoffersatz (Faserguss-Produkte, z. B. als Einweggeschirr) und vieles mehr genutzt werden können (Nordt et al. 2022). Wichtig ist dabei, die Produkte langfristig einzusetzen, so dass sie als zusätzliche Kohlenstoffsenke dienen. Dafür eignen sich Baumaterialien natürlich besonders gut. Die Paludikulturen können helfen, die viel Energie benötigende und CO₂-freisetzende Produktion z. B. von Stahl und Zement im Baugewerbe durch klimafreundliche Produkte zu ersetzen. Wir haben in Greifswald als Modellprojekt ein „Paludi-Tinyhouse“ gebaut, das weitestgehend aus Paludi-Material (Rohrkolben, Schilf, Rohrglanzgras, Erlen) besteht (Abb. 9).⁵ Aufgrund des zunehmenden Interesses der Industrie, die Materialien einzusetzen, haben wir die Initiative toMOORow ins Leben gerufen,⁶ die den Landwirt*innen unter anderem den Absatz von Paludi-Biomasse garantieren kann.

5 <https://www.moorwissen.de/paludi-tiny-house.html> (Greifswald Moor Centrum, GMC) [abgerufen 04.06.2023]

6 Die Initiative toMOORow: Nasse Moore für eine nachhaltige Zukunft wurde von der Umweltstiftung Michael Otto und der Michael Succow Stiftung, Partner im Greifswald Moor Centrum, ins Leben gerufen; <https://www.tomoorow.org/> [abgerufen 04.06.2023]



Abb. 7. Aerenchym: Querschnitt durch den Stängel eines Rohrkolbens (*Typha latifolia*). – Foto: Bj.schoenemakert, Wikimedia commons.



Abb. 8. Ernte von Paludikultur (Rohrkolben, *Typha* spec.) in Vorpommern. – Foto: Hans Joosten, 2018.



Abb. 9. Paludi-Tinyhouse der Universität Greifswald, Partner im Greifswald Moor Centrum (Entwicklung und Bau: Moore and more, Greifswald). – Foto: Stephan Busse.



Abb. 10. Ernte von Torfmoosen (*Sphagnum spec.*) in Niedersachsen. – Foto: Philipp Schroeder, lensescape.org.

Der zweite wichtige Aspekt sind die Inhaltsstoffe: Sumpfpflanzen verstärken ihr Gewebe mit Silizium (wodurch man sich schnell schneidet, wenn man an einem Blatt entlangfährt), was sie z. B. für die Nanotechnologie und Batterieherstellung interessant macht (Neethirajan et al. 2009, Liu et al. 2015). Zusammen mit Silizium nehmen sie aber auch andere Elemente auf und akkumulieren sie, darunter die für Schlüsseltechnologien wichtigen Seltener Erden (vgl. Schaller et al. 2014, Mohsin et al. 2022). Daneben haben die Inhaltsstoffe eine gesundheitliche Bedeutung. Sumpfpflanzen werden im Wasser von sehr vielen Erregern angegriffen und produzieren daher Bakterizide und Fungizide mit oft medizinaler Wirkung, die bisher kaum systematisch erforscht wurde (Abel 2016).

Kohlenstoffzertifikate als Finanzierungsmöglichkeit

Die meisten Paludi-Produktionslinien – mit einigen Ausnahmen wie Schilf (*Phragmites australis*) für Dacheindeckung, Sonnentau (*Drosera spec.*) für medizinische Zwecke, undifferenzierte Biomasse als Futtermittel, Einstreu und Brennstoff sowie Torfmoose (*Sphagnum spec.*) für gartenbauliche Substrate – brauchen noch 10–15 Jahre Entwicklung bis zu ihrer großflächigen Umsetzung. Die einzelnen Anbau- bzw. Produktionsschritte sind zwar weitgehend erforscht, aber noch nicht zusammengeschlossen und optimiert. Wir brauchen daher eine Übergangsstrategie, um ökonomische Alternativen bei der Wiedervernässung von

Mooren zu bieten, damit diese möglichst schnell erfolgen kann. Dies könnte mit der Klimawirkung verbunden werden und – neben Photovoltaik auf wiedervernässten Mooren – dadurch geschehen, dass Emissionsrechte für entwässerte Flächen vergeben werden und die Wiedervernässung dieser Flächen durch eine staatliche Preisgarantie für mit Emissionsreduktion generierte Kohlenstoffzertifikate stimuliert wird (Isermeyer et al. 2019).

In den letzten Jahren verpflichten sich immer mehr Institutionen – seien es Unternehmen oder Städte und Landkreise bis hin zu Bundesländern – für das Ziel der „Netto-Null-Emission“. Bundesweit ist Treibhausgasneutralität für 2045 angesetzt, aber einige Bundesländer überlegen, dieses Ziel auf 2040 vorzuverlegen.⁷ Die Preise der CO₂-Zertifikate steigen daher rasant und haben 2023 kurzfristig die Marke von 100 €/t CO₂-eq überschritten, während sie 2014–2018 noch im Bereich von 5–10 €/t CO₂-eq lagen. Bedenkt man, dass man mit der Wiedervernässung landwirtschaftlicher Moorflächen jährlich 20–30 t CO₂-eq/ha einsparen kann, sind die ökonomischen Perspektiven klar erkennbar. Die Preisentwicklung hört dabei nicht auf; das Umweltbundesamt erwartet, dass die Klimaschadenkosten in mehrere Hundert €/t gehen werden (UBA 2020). Die Provinz Utrecht (Niederlande) hat Mitte Januar 2023 festgelegt, dass in allen politischen Entscheidungen ein CO₂-Preis von 875 €/t CO₂-eq verwendet werden muss, da dieser den reell erwarteten Schäden entspricht.

Wir müssen dabei auch das Energieproblem, d. h. die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen lösen. So wird in Malchin (Mecklenburg-Vorpommern) ein Teil der Stadt über ein Wärmewerk mit Paludi-Biomasse, v. a. in Ballen gepresste Seggen (*Carex spec.*) und Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*), beheizt. Die Paludikultur ermöglicht aber auch „insets“, d. h. negative Emissionen, wenn die Wiedervernässung in das Produkt hineingerechnet wird. So hat beispielsweise die Wärmeproduktion in dem Niedermoor-Biomasseheizwerk Malchin eine negative Emission von ca. 0,95 t CO₂/MWh; bei Dämmplatten aus Schilf beträgt die negative Emission ca. 0,65 t CO₂/m³. Bei Gartenbausubstraten hat fossiler Torf eine Emission von

7 z. B. Klimaschutzgesetz Mecklenburg-Vorpommern, <https://klimastiftung-mv.de/klimaschutzgesetz-mv/> [abgerufen 04.06.2023]

+ 200 kg CO₂/m³ und Torfmoos aus Paludikultur (Abb. 10), das Torf 1 : 1 ersetzen kann, von ~140 kg CO₂/m³ (Gaudig et al. 2018).

Mit der Einführung von handelbaren Emissionsrechten kann die Landwirtin bzw. der Landwirt selbst entscheiden, ob sie/er weitermachen möchte wie bisher oder irgendwann wiedervernässen möchten mit oder ohne Paludikultur. Dies bringt die nötige Zeit, um Paludikulturen gut zu entwickeln und zu etablieren. Im Jahr 2050 muss dann alles nass sein oder die Landwirt*innen müssen die (sehr teuren!) CO₂-Zertifikate für noch entwässerte Flächen kaufen. Ein solches System gibt mittelfristig Vertrauensschutz und führt langfristig zum Durchsetzen des Verursacherprinzips.

Wasserhaushalt und Klimaresilienz

Gibt es überhaupt ausreichend Wasser, um alle entwässerten Moore wiederzuvernässen? – Die Antwort ist: Noch nicht überall, denn wir lassen noch zu viel Wasser ablaufen, was wir uns künftig nicht mehr leisten können. Wir brauchen eine Neukonzeption des Landschaftswasserhaushalts hin zu mehr Klimaresilienz. Dabei können Moore eine wichtige Rolle spielen (vgl. Joosten et al. 2013).

Methan und Wiedervernässung

Methan (CH₄) entsteht als Nebeneffekt der Kohlenstofffestlegung (vgl. Drösler 2024 in diesem Band), eine Wiedervernässung führt daher zwangsläufig zu steigenden Methanemissionen. Bei der Wahl zwischen der Freisetzung von CO₂ (plus Lachgas, N₂O) aus entwässerten und der Freisetzung von CH₄ aus wiedervernässten Flächen ist jedoch immer CH₄ zu wählen. Methan hat zwar eine hohe Klimawirksamkeit, ist aber kurzlebig, während CO₂ eine geringere Wirksamkeit hat, aber persistent ist und akkumuliert. Um längerfristige Klimaziele zu erreichen, muss daher vor allem CO₂ vermieden werden (Günther et al. 2020). Selbst unter der Annahme, dass es durch die Wiedervernässung anfänglich zu einem zehnfach erhöhten Methanpeak kommt, werden sich die Kurven für den klimawirksamen Strahlungsantrieb („radiative forcing“ gemäß Myhre et al. 2013) einer entwässerten und einer wiedervernässten Fläche nach spätestens 20 Jahren kreuzen (Abb. 11).

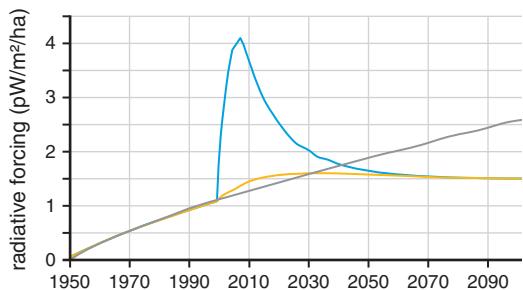


Abb. 11. Entwicklung des Strahlungsantriebs (radiative forcing, gemäß IPCC 2001) über die Zeit durch Treibhausgasemissionen einer entwässerten (grau) und einer wiedervernässten (gelb) Moorfläche (blau: Extremwert bei Wiedervernässung). – Nach Daten aus Günther et al. (2020).

Die Wiedervernässung aller entwässerten Flächen muss daher so schnell wie möglich stattfinden, damit der Methanpeak nicht in eine Zeit fällt, in der die Temperaturen ihren Höhepunkt erreichen werden („peak temperature“). Unseren alten Slogan „Moor muss nass!“ haben wir daher ein „und zwar sofort“ hinzugefügt.

Moor muss nass, fürs Moor, fürs Land, fürs Klima, für immer! Es wird kein „Paris“ geben ohne Moore – Paludiculture for Future!

Literatur

- Abel, S. 2016. Nahrungsmittel und Medizinalpflanzen aus Paludikultur. – In: Wichtmann, W., C. Schröder & H. Joosten (Hrsg.): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore. Schweizerbart, Stuttgart: 22–37.
- Couwenberg, J. 2007. Biomass energy crops on peatlands: on emissions and perversions. – IMCG Newsletter, 2007/3: 12–14.
- Drösler, M. 2024. Klimaschutz durch Moorschutz – Hintergrund und Handlungsmöglichkeiten. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Moore: Ökosystemfunktionen, Biodiversität und Renaturierung. Pfeil, München: 109–116.
- Gaudig, G., M. Krebs, A. Prager, S. Wichtmann, M. Barney, S. J. M. Caporn, M. Emmel, C. Fritz, M. Graf, A. Grobe, S. Gutierrez Pacheco, S. Hogue-Hugron, S. Holzträger, S. Irrgang, A. Kämäräinen, E. Karofeld, G. Koch, J. F. Koebbing, S. Kumar, I. Matchutadze, C. Oberpaur, J. Oestmann, P. Raabe, D. Rammes, L. Rochefort, G. Schmielewksi, J. Sendžikaitė, A. Smolders, B. St-Hilaire, B. van de Riet, B. Wright, N. Wright, L. Zoch & H. Joosten. 2018. Sphagnum farming from species selection to the production of growing media: a

- review. – Mires and Peat, 20: Art. 13, 30S. <https://doi.org/10.19189/MaP.2018.OMB.340>
- Günther, A., A. Barthelmes, V. Huth, H. Joosten, G. Jurasinski, F. Koebisch & J. Couwenberg. 2020. Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. – Nature Communications, 11:1644. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15499-z>
- Hohlbein, M. (Red.) 2023. Stellungnahme des Greifswald Moor Centrum zum Festlegungsentwurf der an die besonderen Solaranlagen nach § 37 Absatz 1 Nummer 3 Buchstabe c und e sowie nach § 48 Absatz 1 Satz 1 Nummer 5 Buchstabe c und e EEG zu stellenden Anforderungen der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. – Greifswald Moor Centrum, 12 S. https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/Infopapiere_Briefings/2023_GMC-Stellungnahme%20Konsultation%20Moor-PV_2023_Endf.pdf [abgerufen 16.11.2023]
- IPCC. 2018. Summary for Policymakers. – In: Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor & T. Waterfield (eds.): Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA: 3–24. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>
- Isermeyer, F., C. Heidecke & B. Osterburg. 2019. Einbeziehung des Agrarsektors in die CO₂-Belebung. – Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, Thünen Working Paper 136, 76 S. www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper_136.pdf [abgerufen 04.06.2023]
- Joosten, H. 2023. Report regarding the activities in Indonesia (supporting KLHK and PROPEAT). Internal Report to GIZ. – Duene e.V., Greifswald, 46 S.
- Joosten, H., K. Brust, J. Couwenberg, A. Gerner, B. Holsten, T. Permien, A. Schäfer, F. Tanneberger, M Trepel & A. Wahren. 2013. MoorFutures® Integration von weiteren Ökosystemdienstleistungen einschließlich Biodiversität in Kohlenstoffzertifikate – Standard, Methodologie und Übertragbarkeit in andere Regionen. – Bundesamt für Naturschutz, Bonn, BfN-Schriften, 350, 130 S.
- Joosten, H., F. Tanneberger & A. Moen. 2017. Mires and peatlands of Europe. Status, distribution and conservation. – Schweizerbart, Stuttgart, 780 S.
- Liu, J., P. Kopold, P. A. van Aken, J. Maier & Y. Yu. 2015. Energy storage materials from nature through nanotechnology: A sustainable route from reed plants to a silicon anode for lithium-ion batteries. – Angewandte Chemie, 54 (33): 9632–9636.
- Mohsin, M., M. M. A. Salam, N. Nawrot, E. Kaipiainen, D. J. Lane, E. Wojciechowska, N. Kinnunen, M. Heimonen, A. Tervahauta, S. Peräniemi, O. Sippula, A. Pappinen & S. Kuittinen. 2022. Phytoextraction and recovery of rare earth elements using willow (*Salix* spp.). – Science of the Total Environment, 809:152209. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152209>
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura & H. Zhang. 2013. Chapter 8 – Anthropogenic and natural radiative forcing. – In: Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Doschung, A. Nuels, Y. Xia, V. Bex & P. M. Midgley (eds.): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, UK: 659–740. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.018>
- Neethirajan, S., R. Gordon & L. Wang. 2009. Potential of silica bodies (phytoliths) for nanotechnology. – Trends in Biotechnology, 27 (8): 461–467. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2009.05.002>
- Nordt, A., S. Abel, S. Hirschelmann, C. Lechtape & J. Neubert. 2022. Leitfaden für die Umsetzung von Paludikultur. – Greifswald Moor Centrum Schriftenreihe, 05/2022, 144 S. <https://www.greifswaldmoor.de/gmc-schriftenreihe.html> [abgerufen 04.06.2023]
- Roy, J., P. Tschakert, H. Waisman, S. Abdul Halim, P. Antwi-Agyei, P. Dasgupta, B. Hayward, M. Kanninen, D. Liverman, C. Okereke, P. F. Pinho, K. Riahi & A. G. Suarez Rodriguez. 2018. Sustainable Development, Poverty Eradication and Reducing Inequalities. Chapter 5. – In: Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor & T. Waterfield (eds.): Global Warming of 1.5°C. IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty. Cambridge University Press, UK and New York, USA: 445–538. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.007>
- Schaller, J., T. Headley, S. Prigent & R. Breuer. 2014. Potential mining of lithium, beryllium and strontium from oil field wastewater after enrichment in constructed wetlands and ponds. – Science of the Total Environment, 493: 910–913. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.097>

- Tanneberger, F. 2024. Verbreitung und Zustand der Moore weltweit, in Europa und in Deutschland. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Moore: Ökosystemfunktionen, Biodiversität und Renaturierung. Pfeil, München: 13–25.
- Temmink, R. J. M., B. J. M. Robroek, G. van Dijk, A. H. W. Koks, S. A. Käärmelahti, A. Barthelmes, M. J. Wassen, R. Ziegler, M. N. Steele, W. Giesen, H. Joosten, C. Fritz, L. P. M. Lamers & A. J. P. Smolders. 2023. Wetscapes: Restoring and maintaining peatland landscapes for sustainable futures. – *Ambio*, 52(9): 1519–1528. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01875-8>
- UBA. 2020. Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten. Kostensätze, Stand 12/2020. – Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 69S., <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/methodenkonvention-umweltkosten> [abgerufen 04.06.2023]
- Wheeler, W. 1868. A History of the Fens of South Lincolnshire: Being a Description of the Rivers Witham and Welland and their Estuary, and an Account of the Reclamation, Drainage, and Enclosure of the Fens Adjacent Thereto. – J. M. Newcomb, Boston, USA, Simpkin, Marshall & Co, London. Zuletzt erschienen 2013, Cambridge University Press (Cambridge Library Collection – Technology), Cambridge, UK; <https://doi.org/10.1017/CBO9781107338227> [abgerufen 02.06.2023]

Diskussion*

M. Matern: Besteht auch die Möglichkeit, in den Mooren die Schleien als schmackhafte Fische einzusiedeln bzw. zu züchten?

H. Joosten: Ich kenne mich mit Fischzucht nicht aus, weiß aber, dass in Indonesien die bei der Abdämmung von Entwässerungskanälen im Moor entstehenden Gewässer gern zu diesem Zweck genutzt werden. In Indonesien wird Fischzucht in wiedervernässten Mooren auch als „Paludikultur“ betrachtet.

J. Reddemann: Über welche Instrumentarien werden effektive Renaturierungsmaßnahmen zur sofortigen Verringerung und Unterbindung der weiteren Kohlenstofffreisetzung auf degradierten Moorstandorten, die heute land- oder forstwirtschaftlich genutzt werden, ermöglicht?

Werden dabei auch enteignungsgleiche Eingriffe empfohlen oder in Erwägung gezogen, wie wir sie vom Straßen- und Städtebau her kennen?

H. Joosten: Es gibt inzwischen einen bunten Strauß an Finanzierungsmöglichkeiten für Moorklimaschutz auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene. Eine laufend aktualisierte Übersicht zu Förderprogrammen bieten die Plattform www.moor-net.de sowie die Publikationen des Greifswald Moor Centrum <https://greifswaldmoor.de/gmc-schriftenreihe.html>.

*Aus Zeitgründen konnte keine Diskussion des Vortrags stattfinden, die Fragen wurden daher nachträglich eingereicht und beantwortet.