



Fraunhofer
ISE

Fraunhofer-Institut für Solare
Energiesysteme ISE

Moor-PV: Doppelter Klimaschutz durch Photovoltaik-Systeme auf wiedervernässten Moorböden

Handreichung zum Stand der Technik und zu offenen Fragen

MOOR-PV: DOPPELTER KLIMASCHUTZ DURCH PHOTOVOLTAIK-SYSTEME AUF WIEDER-VERNÄSSTEN MOORBÖDEN

Handreichung zum Stand der Technik und zu offenen Fragen

Tobias Keinath
Monika Hohlbein
Franziska Tanneberger
Max Trommsdorff
Konstantin Ilgen
Harald Grethe
Jens Vollprecht
José Martinez
Carl Pump
Agnes Katharina Wilke

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Universität Greifswald, Partner im Greifswald Moor Centrum
Universität Greifswald, Partner im Greifswald Moor Centrum
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Humboldt-Universität zu Berlin
Becker Büttner Held, Rechtsanwälte Wirtschaftsprüfer Steuerberater
Institut für Landwirtschaftsrecht, Georg-August-Universität Göttingen
Universität Greifswald, Partner im Greifswald Moor Centrum
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Die Studie wurde in Zusammenarbeit des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE, der Universität Greifswald (Partner im Greifswald Moor Centrum), der Humboldt-Universität zu Berlin, Becker Büttner Held, Rechtsanwälte Wirtschaftsprüfer Steuerberater und dem Institut für Landwirtschaftsrecht der Georg-August-Universität Göttingen erstellt und wurde durch Forschungsarbeiten in dem BMFTR geförderten Projekt »MoorPower« unterstützt. Die Autorenschaft dankt für die Unterstützung aus diesem Projekt.



Zitationsvorschlag:

Keinath, T., Hohlbein, M., Tanneberger, F., Trommsdorff, M., Ilgen, K., Grethe, H., Vollprecht, J., Martinez, J., Pump, C., Wilke, AK. »Moor-PV: Doppelter Klimaschutz durch Photovoltaik-Systeme auf wiedervernässten Moorböden - Handreichung zum Stand der Technik und zu offenen Fragen«, 2026, Fraunhofer ISE.

Stand: Sommer 2025

Veröffentlichung: Sommer 2026

Version 072026

Moor-PV – Nachhaltige Energieerzeugung auf wiedervernässten Moorböden

Moor-Photovoltaik (Moor-PV) bezeichnet die Nutzung degradierter Moorflächen zur Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen und die damit einhergehende dauerhafte Wiedervernässung. Seit 2023 fördert die Regierung im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes in Deutschland die Stromproduktion auf wiedervernässten Moorböden, die zuvor für landwirtschaftliche Zwecke entwässert wurden [1]. Dadurch kann das große Flächenpotenzial degradierter Moorstandorte für die Energiegewinnung genutzt werden. Hierzulande umfasst dieses Potenzial geschätzt 334.500 ha Ackerfläche ohne naturschutzrechtliche Einschränkungen [2].

Gleichzeitig werden die Treibhausgasemissionen der Moorböden durch die Wiedervernässung deutlich reduziert. Derzeit verursachen entwässerte Moorböden etwa 7 % der gesamten Treibhausgasemissionen Deutschlands [1]. Um die nationalen Klimaziele zu erreichen, müssen pro Jahr 50 000 ha degradierte Moorfläche wiedervernässt werden. Es muss sich noch zeigen, ob die Installation von Moor-PV-Anlagen mit dem Anbau von Paludikulturen kombinierbar ist, sodass nicht nur Treibhausgasemissionen durch die erneuerbare Energieerzeugung und die Wiedervernässung eingespart werden, sondern auch Kohlenstoff dauerhaft in biobasierte Produkte gebunden werden könnte. So würde die Klimaschutzleistung der Flächen weiter gesteigert.

Die vorliegende Handreichung gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik von Moor-PV-Anlagen und formuliert praxisnahe Empfehlungen für Planung, Umsetzung und Politik. Darüber hinaus werden Potenziale, Herausforderungen und offene Fragestellungen erörtert.

Die Handreichung richtet sich an landwirtschaftliche Betriebe, Solarunternehmen, Akteurinnen und Akteure der öffentlichen Verwaltung sowie an die interessierte Öffentlichkeit. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Trotz sorgfältiger Erstellung übernehmen die Beteiligten keine Haftung für die Inhalte. Für die Planung und Umsetzung konkreter Projekte ist stets eine standortspezifische Prüfung des Einzelfalls unter Einbeziehung technischen, betriebswirtschaftlichen und rechtlichen Fachwissens erforderlich.

Inhalt

Moor-PV – Nachhaltige Energieerzeugung auf wiedervernässten Moorböden	3
I Abkürzungsverzeichnis	5
I I Tabellenverzeichnis	6
I I I Abbildungsverzeichnis	7
1 Überblick – Technologie und Motivation.....	8
1.1 Einleitung.....	8
1.2 Erfordernis der Wiedervernässung der Moore	8
1.3 Energiewende und Ausbau der Photovoltaik	8
1.4 Bisherige Erfahrungen mit Photovoltaik auf Moorböden	10
2 Daten und Fakten zur Moor-Nutzung für PV-Anlagen	11
2.1 Hintergrund Moor.....	11
2.2 Chancen und Herausforderungen von Moor-PV.....	14
2.3 Treibhausgas-Minderungspotenzial von Moor-PV.....	16
3 Technische Herausforderungen und Lösungsansätze	19
3.1 Anlagendesign: Ansätze für Photovoltaik-Systeme auf Moor-Standorten	19
3.2 Installation, Wartung und Rückbau	21
4 Rechtliche Rahmenbedingungen	23
4.1 Rechtliche Definition der Flächenkulisse für »Moor-PV«	23
4.2 Die Errichtung von Photovoltaikanlagen auf wiedervernässten Mooren.....	23
4.2.1 Bauordnungs- und Bauplanungsrecht	23
4.2.2 Natur- und Artenschutzrecht.....	24
4.2.3 Gewässerschutzrecht	25
4.3 Der Betrieb von Photovoltaik-Anlagen auf Moorböden	26
4.3.1 Einordnung und Analyse des EEG.....	26
4.3.2 Sonstige beihilferechtliche Auswirkungen	29
4.3.3 Kontroll- und Sorgfaltspflichten des Moor-PV-Betreibers	29
5 Politische Handlungsempfehlungen.....	31
6 Literatur	34

I Abkürzungsverzeichnis

EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
FPV	Floating PV
GAPDZV	GAP-Direktzahlungen-Verordnung
GAPKondV	GAP-Konditionalitäten-Verordnung
PV-FFA	PV-Freiflächenanlage
PV	Photovoltaik
THG	Treibhausgase
UVPg	Umweltverträglichkeitsprüfung
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
WHG	Wasserhaushaltsgesetz

I I Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Minderungspotenziale von Treibhausgasemissionen bei Moor-PV und Paludi-PV im Vergleich zu PV-FFA in Tonnen CO ₂ -Äquivalente pro Hektar und Jahr.....	17
---	----

III Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Netto-PV-Zubau: Ist-Werte bis 2024, möglicher Ausbaupfad zur Erreichung der gesetzlichen Ziele nach EEG 2023	9
Abbildung 2: Torferhaltende und torfzehrende Bewirtschaftungsbedingungen in Mooren. 12	
Abbildung 3: Torfprofil eines stark degradierten Moorbodens in der Friedländer Großen Wiese. August 2020.	13
Abbildung 4: Gründung und Verankerung bei Torfmächtigkeit mit Rammfundamenten. ...	19

1 Überblick – Technologie und Motivation

1.1 Einleitung

Die jüngsten Novellen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG 2023) markieren den Aufbruch für eine neue Nutzung wiedervernässter Moorböden: Werden entwässerte Moorböden im Zuge der Errichtung einer Solaranlage dauerhaft wiedervernässt, so kann für den erzeugten Strom seit 2023 eine finanzielle Förderung in Anspruch genommen werden [1]. Damit soll ein Beitrag geleistet werden, um Treibhausgasemissionen von entwässerten organischen Böden zu reduzieren und Flächen für den Ausbau erneuerbarer Energien zu erschließen.

Als Moorböden im Sinne einer Nutzung für Moor-PV und damit dieser Handreichung werden nur entwässerte, degradierte organische Böden betrachtet, welche derzeit landwirtschaftlich genutzt werden. Naturschutzfachlich wertvolle Moore und solche innerhalb gesetzlicher Schutzgebiete sind hingegen ausgenommen. Diese Eingrenzung der Flächenkulisse ist notwendig, um den Belangen des Naturschutzes vor dem Hintergrund der Biodiversitätskrise in ausreichender Form Rechnung zu tragen. Bei der konkreten Umsetzung solcher Photovoltaik (PV)-Anlagen besteht jedoch noch eine Vielzahl offener Fragen, darunter: Was ist bei der Umsetzung von Moor-PV-Anlagen zu beachten? Wie kann eine ausreichende und dauerhafte Wiedervernässung der Fläche gewährleistet werden? Und welche Flächen zählen im Sinne des EEG 2023 als entwässerte Moorböden?

Diese Handreichung möchte für Landwirtschaftsbetriebe, Solarfirmen und die öffentliche Verwaltung den aktuellen Wissensstand aufzeigen, wie doppelter Klimaschutz durch Moor-PV leichter und zielgerichteter in die Praxis umgesetzt werden kann sowie Handlungsempfehlungen daraus ableiten.

1.2 Erfordernis der Wiedervernässung der Moore

In Deutschland stammen derzeit sieben Prozent der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen), 54 Mio. Tonnen CO₂-Äq. [1] von entwässerten organischen Böden (im Folgenden: Moorböden), die bundesweit nur einen Flächenanteil von fünf Prozent einnehmen. Moorböden sind v.a. in der norddeutschen Tiefebene und im Alpenvorland verbreitet und werden überwiegend landwirtschaftlich genutzt. Moorböden nehmen beispielsweise in Mecklenburg-Vorpommern 12 %, und in Niedersachsen 14 % der Landesfläche ein [3, 4]. In Mecklenburg-Vorpommern sind sie die größte Einzelquelle von Treibhausgas-Emissionen und emittieren mehr als doppelt so viel wie die Sektoren Energie und Industrie zusammen [5, 6]. Treibhausgas-Emissionen aus Mooren können faktisch nur durch Wiedervernässung reduziert werden. Die Böden werden entwässert, um sie herkömmlich nutzbar zu machen, zumeist für eine landwirtschaftliche Nutzung. Dadurch oxidiert der kohlenstoffreiche Boden und CO₂ gelangt in die Atmosphäre.

Wassergesättigte Moorböden sind hingegen klimaneutral. Zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2045 müssen alle Emissionen möglichst auf Netto-Null reduziert werden. Das bedeutet für Moore, dass sie möglichst flächendeckend wiedervernässt werden müssen.

1.3 Energiewende und Ausbau der Photovoltaik

Als wichtigen Baustein der Energiewende sieht das Erneuerbare-Energien-Gesetz 2023 (EEG 2023) einen Ausbau der Photovoltaik auf 400 GW_p bis zum Jahr 2040 vor (siehe Abbildung 1)[7, 8]. Weil etwa die Hälfte dieses Zubaus von bis zu 22 GW_p pro Jahr in der Freifläche erwartet wird, zeichnet sich erheblicher Flächenbedarf und steigender Druck auf das ohnehin knappe Flächenangebot ab.

Das theoretische Flächenpotenzial, welches sich durch eine Kombination von Moor-Wiedervernässung und PV-Anlagen ergibt, ist gewaltig. Allein die degradierten, landwirtschaftlich genutzten Moorböden ohne naturschutzrechtlich einschränkende Schutzauflagen in Mecklenburg-Vorpommern ergeben zusammen über 85.000 Hektar. Das entspricht einer Fläche, die ausreichen würde, um die installierte PV-Leistung in Deutschland fast zu verdoppeln¹ [9].

Deutschlandweit erstrecken sich Moorböden auf 1,9 Mio. ha, von welchen sich 55 % als Grünland und 19 % als Ackerland in der landwirtschaftlichen Nutzung befinden [3]. Auf Basis aller landwirtschaftlich genutzten Moorböden von ca. 1,4 Mio. ha und einer PV-Belegungsdichte von 0,4 - 0,8 MW_p/ha ergeben sich technische Potenziale von ca. 560 bis 1.120 GW_p. Innerhalb dieser Zahl sind jedoch noch Schutzgebiete integriert, die explizit nicht mitbetrachtet werden sollen. Bei einer isolierten Betrachtung der Ackerflächen, bei denen i. d. R. keine naturschutzrechtlichen Einschränkungen vorliegen, ergibt sich ein Flächenpotenzial von rd. 334.500 ha [2]. Dies entspricht bei der zuvor genannten Belegungsdichte einem technischen Potenzial von ca. 134-268 GW_p. Bislang waren landwirtschaftliche Flächen von einer Förderung im EEG grundsätzlich ausgeschlossen, mit Ausnahme von Streifen an Schienen und Autobahnen oder – je nach Bundesland – Flächen in sog. benachteiligten Gebieten. Das im Februar 2022 veröffentlichte Eckpunktepapier »Ausbau der Photovoltaik auf Freiflächen im Einklang mit landwirtschaftlicher Nutzung und Naturschutz« der Bundesministerien BMWK, BMUV und BMEL läutete die Trendwende ein [10]. In der darauffolgenden Novelle des EEG wurde neben der kombinierten Nutzung von Flächen für Landwirtschaft und Photovoltaik (sog. Agri-Photovoltaik) auch landwirtschaftlich genutzte Moorböden als neue Flächenkategorie aufgenommen. Voraussetzung für eine finanzielle Förderung ist die Wiedervernässung der entwässerten Moorböden. Konkrete Anforderungen der Bundesnetzagentur hierzu finden sich in Kapitel 4.

Außerhalb des EEG 2023 bestehen jedoch noch keine Anforderungen an die Wiedervernässung der Moore. Werden PV-Anlagen auf nicht oder nur unzureichend wiedervernässten Moorböden errichtet, bleiben die bodenbürtigen Treibhausgas-Emissionen bestehen, und das Potenzial des sektorübergreifenden Klimaschutzes wird nicht gehoben. Bei Errichtung von PV-Anlagen auf Moorböden ohne Anpassung an hohe Wasserstände, emittieren und degradieren die Moorböden über die gesamte Anlagenlaufzeit weiter. Die Treibhausgasbilanz der PV-Anlage steigt durch hinzuziehen der Treibhausgasemissionen aus den entwässerten Moorböden um 38-72% ([11], eingereicht).

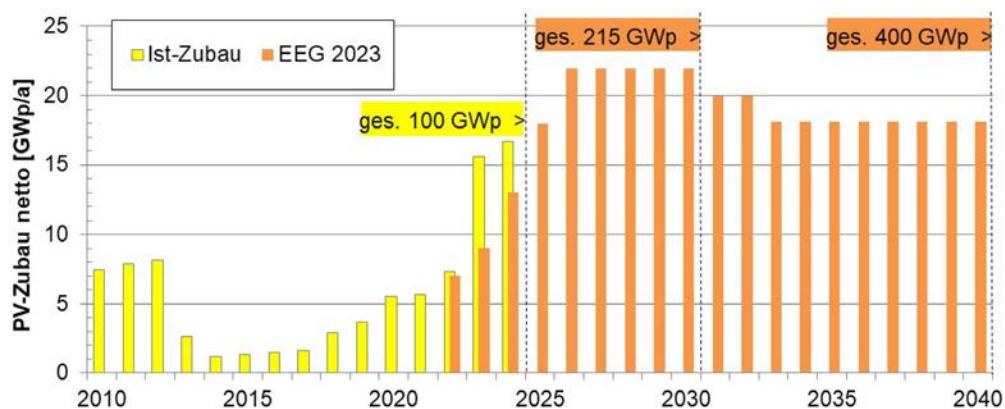


Abbildung 1: Netto-PV-Zubau: Ist-Werte bis 2024, möglicher Ausbaupfad zur Erreichung der gesetzlichen Ziele nach EEG 2023 [7]. ©Fraunhofer ISE

¹ Von ca. 66 GW_p Ende 2022 auf bis zu 120 GW_p bei einer angenommenen Leistung für Moor-PV-Anlagen von 0,8 MW_p pro Hektar.

1.4 Bisherige Erfahrungen mit Photovoltaik auf Moorböden

In Deutschland sind Ende 2024 erst etwa eine Handvoll Projekte zu PV auf Moorböden bekannt, die sich mit der Wiedervernässung auseinandergesetzt haben. Die ersten praktischen Erfahrungen im Bau und dem anschließenden Betrieb einer PV-Anlage auf wiedervernässtem Moor sind aus dem Solarpark Lottorf bekannt, welcher im Folgenden kurz porträtiert wird.

Der Solarpark Lottorf im Kreis Schleswig-Flensburg, Schleswig-Holstein, wurde als PV-Freiflächenanlage (PV-FFA) auf einem ehemals entwässerten Niedermoor mit stark variierenden Torfmächtigkeiten zwischen 0,1 und 2,2 Metern errichtet. Die Anlage verläuft entlang der Bahntrasse Flensburg-Neumünster und wird über das EEG gefördert. Sie umfasst eine Gesamtfläche von 30 ha, inkl. Ausgleichsfläche, und hat eine Leistung von 17 MW_p. Errichtet wurde der Solarpark in zwei Bauabschnitten in den Jahren 2021 und 2023. Der Boden ist aufgrund früherer Entwässerung größtenteils stark degradiert. Durch weitgehende Kappung der Drainagerohre und den Bau eines Fahrdammes wird das Wasser nun in der Fläche zurückgehalten. So konnten auch im Sommer 2024 auf weiten Teilen flurnahe Wasserstände erreicht werden. Torferhaltende Wasserstände (Definition s. Kapitel 2) flächendeckend und ganzjährig umzusetzen, wird von den Anlagenbetreibern als große Herausforderung betrachtet. Gründe sind unter anderem zunehmend trockene Sommer und die unterschiedliche Beschaffenheit des Geländes sowie noch vorhandene entwässernde Grabenstrukturen zur Entwässerung benachbarter Flächen.

Die Fläche wird zudem als Dauergrünland ökologisch bewirtschaftet. Bei den wachsenden Kulturen handelt es sich überwiegend um Süßgras, in nassen Bereichen um Binsen. Die Unterkonstruktion der Anlage besteht aus verzinkten Rammpfählen, welche zum Schutz vor Korrosion mit Epoxidharz beschichtet sind. Die Baugenehmigung ist für 20 Jahre erteilt, danach kann die Anlage voraussichtlich vollständig zurückgebaut werden.

Der Solarpark Lottorf wurde als Best-Practice PV-FFA im Rahmen der Selbstverpflichtung »Gute Planung« des Bundesverbandes neue Energiewirtschaft errichtet [12]. Mit diesem Gütesiegel sollen Belange der Energiewende, des Umwelt- und Naturschutzes und der Landwirtschaft vereint werden. Diese Selbstverpflichtung erfordert jedoch nicht die Berücksichtigung von Klimaschutzbelangen und im Speziellen die Wiedervernässung von Moorböden. Sie nennt jedoch im Zuge der Selbstverpflichtung zur Erhöhung der biologischen Vielfalt die Möglichkeit projektspezifischer Bewertungsansätze bei besonderen Schutzzielen, darunter auch die Wiedervernässung von Mooren.

Auch international liegen bislang kaum Erfahrungen zum Thema PV auf Moorböden vor. Nennenswert erscheinen Aktivitäten in Dänemark und dem US-Bundestaat Vermont. Nahe von Viuf und Håstrup in den Gemeinden Kolding und Vejle, Region Süddänemark, wird eine großflächige PV-FFA gebaut, zwischen der auch Platz für Feuchtgebiete mitgeplant ist. Die Baugenehmigung wurde im Mai 2023 erteilt [13, 14]. Im US-Bundestaat Vermont wurde vom Ministerium für Umweltschutz ein Programm zum Schutz von Feuchtgebieten aufgesetzt, welches PV-Firmen helfen soll, Feuchtgebiete rechtzeitig zu identifizieren und möglichst aus der Bauplanung herauszunehmen [15]. Anders als in diesem Leitfaden geht es dabei um Feuchtgebiete allgemein, in denen Moorböden dort nur einen kleinen Teil ausmachen.

2 Daten und Fakten zur Moor-Nutzung für PV-Anlagen

2.1 Hintergrund Moor

In Deutschland bedecken Moorböden fünf Prozent der Landesfläche, wobei der Flächenanteil in den norddeutschen Bundesländern mit zwölf Prozent besonders hoch ist [4]. Fast alle Moore werden entwässert (s. Kapitel 1) und sind daher von außen nur schwer als Moor erkennbar. Naturnahe Moore sind sehr selten und stehen unter Schutz. Über 70 % aller Moorböden werden aktuell landwirtschaftlich genutzt, auch hier befindet sich ein Teil innerhalb von Schutzgebieten [3,16].

Was ist ein Moor?

Moorböden sind kohlenstoffreiche organische Böden. Im EEG 2023 zählen dazu Böden, welche die Voraussetzungen des § 11 Abs. 2 der GAP-Konditionalitäten-Verordnung (GAPKondV) erfüllen und der Erstellung der Gebietskulisse nach § 11 Abs. 3 GAPKondV zugrunde gelegt werden können. Böden nach § 11 Abs. 2 GAPKondV sind Böden mit mindestens 7,5 % organischem Bodenkohlenstoffgehalt oder mindestens 15 % organischer Bodensubstanz in einer horizontalen oder schräg gestellten Bodenschicht von 10 cm Mächtigkeit innerhalb der oberen 40 cm des Profils.

Durch die derzeit übliche Entwässerung gelangt Sauerstoff in den ursprünglich wassergesättigten kohlenstoffreichen Boden und führt zu Oxidationsprozessen (= Zersetzungsprozessen). Dadurch gelangt gebundener Kohlenstoff als CO₂ in die Atmosphäre. Nur ganzjährige Wassersättigung schützt den kohlenstoffreichen Boden vor der Zersetzung und der Emission von CO₂. Besonders kohlenstoffreiche organische Böden werden als Moor bezeichnet und haben eine Torfschicht. Torf bildet sich aus Ablagerungen von vor Ort aufgewachsenen und dann abgestorbenen und humifizierten Pflanzen, welche nicht vollständig zersetzt wurden. Die Zersetzung von Wurzeln, Blättern etc. wird durch hohe Wasserstände und damit mangelndem Sauerstoff gehemmt [17]. Im Weiteren beziehen wir uns v.a. auf Moore, die Aussagen treffen aber auch zumeist auf andere organische Böden zu.

Die hohen Wasserstände können verschiedener Herkunft sein und Moore unterschiedlich prägen. Hochmoore erhalten ihr Wasser nur über den Niederschlag, weshalb sie natürlicherweise nährstoffarm und sauer sind und den typischen Lebensraum für Torfmoose bilden. Niedermoore werden zudem über das Grundwasser gespeist, wodurch die Moore nährstoffreicher, aber auch kalkreicher und somit basischer sein können. Hier gehören insbesondere Seggen, Braunmoose und Röhrichte wie Schilf und Rohrkolben zur moortypischen Vegetation [17].

Folgen der Entwässerung und Funktion moortypischer Vegetation

Durch langjährige Entwässerung kommt es zur Zersetzung der Torfe, wodurch deren Wasserspeicherkapazität sinkt [17]. Die ursprüngliche Schwammfunktion vieler Torfe, die hohe Wassermengen aufnehmen oder auch abgeben konnten und damit natürliche Schwankungen im Wasserangebot gut ausgleichen konnten, geht durch die Zersetzung verloren. Die Wiederherstellung gleichbleibender Wasserstände in Flurhöhe wird dadurch erschwert. Auch die Fähigkeit der Wasserdurchlässigkeit der Torfe sinkt. Einerseits kann es dadurch vermehrt zu Staunässe auf der Fläche kommen. Oberflächlich stehendes Was-

ser ist daher kein Indiz für einen auch nassen, wassergesättigten Moorboden. Andererseits wird die Herstellung gleichmäßiger Wasserstände über die gesamte Fläche hinweg erschwert, da das Wasser aus z. B. einem angestauten Graben nicht mehr gut durch den stark degradierten Torf in entferntere Flächenabschnitte fließen kann. Langjährige Entwässerung verursacht zudem Moorschwind und Moorsackung, wodurch sich zum Teil ein Mikrorelief mit ausgeprägten Höhenunterschieden ausgebildet hat. Mit der Etablierung moortypischer Vegetation besteht die Chance, dass Torfbildung erneut einsetzt und sich zuerst eine Streuschicht und sehr langsam wieder eine neue Torfschicht bildet, die sich jeweils auch regulierend auf den Wasserhaushalt auswirkt.

Wiedervernässung

Wiedervernässung bedeutet die Herstellung flurnaher, torferhaltender Wasserstände. Nur mit hohen Wasserständen, die auch im Sommermittel nicht unter 10 cm unter Flur fallen, werden torferhaltende Bedingungen geschaffen und der Kohlenstoff im Boden gesichert [18]. Ziel einer Wiedervernässung muss daher sein, den Moorboden ganzjährig und ausreichend nass zu halten. Abbildung 2 zeigt die unterschiedlichen Auswirkungen verschiedener Wasserstände auf den Torfboden und die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen.

Der Wasserrückhalt kann passiv, z. B. durch Grabenverschlüsse und aktiv, z. B. durch regulierbares Stauen oder sommerliches Pumpen von Wasser aus den Vorflutern in die Fläche erfolgen (ebd.). Im Sommer ist das Halten eines Wasserstands in Flurhöhe besonders anspruchsvoll, da viel Wasser verdunstet und in vielen Regionen Deutschlands im Zuge des Klimawandels meist weniger Niederschläge fallen als im Winterhalbjahr. Der Rückhalt von Wasser aus dem Winterhalbjahr ist daher sehr wichtig, insbesondere auch bei zunehmender Sommertrockenheit aufgrund des Klimawandels.

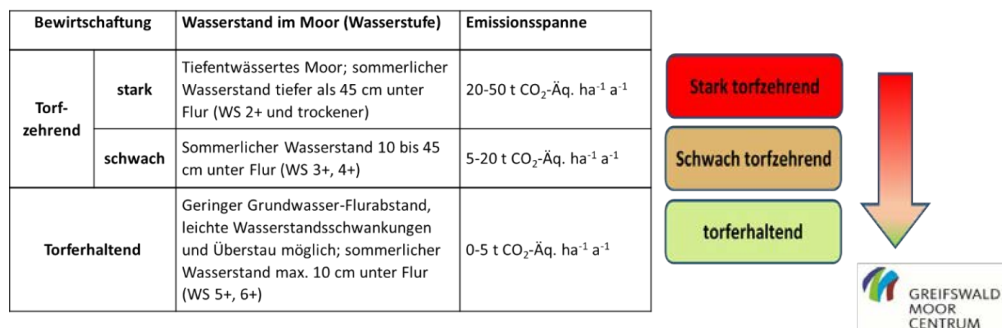


Abbildung 2: Torferhaltende und torfzehrende Bewirtschaftungsbedingungen in Mooren (nach Närmann et al. 2022).

Bisher durchgeführte Wiedervernässungsmaßnahmen weisen oft auf beträchtlichen Flächenanteilen keine torferhaltenden Wasserstände auf [19]. Daher muss bei zukünftigen Wiedervernässungen die Erreichung torferhaltender Wasserstände vom Anfang an optimal geplant und durch ein dauerhaftes Monitoring und falls notwendig ein Nachjustieren gewährleistet werden. Nach der Wiedervernässung ist die Bildung einer geschlossenen Vegetationsdecke entscheidend, um eine weitere Torfdegradation auszuschließen. In der Planung kann auf umfangreiche Erfahrungen zur Restaurierung von Mooren für den Naturschutz bzgl. Hydrologie, Wasserbau, Moorökologie aufgebaut werden, um die spezifischen Gegebenheiten von Mooren bei den Baumaßnahmen zu berücksichtigen (siehe auch [20, 21]).

Da degradierte Moorböden schlechter Wasser aufnehmen und speichern können, sind sie besonders schwer wiederzuvernässen. Es müssen daher Mindestanforderungen an

die Wiedervernässung gefunden werden, welche den bestmöglichen Klimaschutzeffekt sicherstellen und trotzdem für Anlagenbetreibende handhabbar und kalkulierbar sind. In einigen Gebieten werden torferhaltende Bedingungen aufgrund von Wasserknappheit schwer zu erreichen sein. Trotzdem sollte auch hier der Wasserstand so hoch wie möglich angestaut werden, um einerseits die Torfzehrung und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen so gut wie möglich zu reduzieren und zusätzlich den Landschaftswasserhaushalt durch größtmöglichen Wasserrückhalt zu stabilisieren.

Ein hydrologisches Gutachten ermöglicht, flächenspezifisch die notwendigen Maßnahmen zur Erreichung torferhaltender Wasserstände festzustellen. Es fehlen jedoch Standards für die Erstellung solcher Gutachten, damit alle Erfordernisse vergleichbar geprüft werden können. Das hydrologische Gutachten soll beschreiben, welche wasserbaulichen Maßnahmen notwendig sind, wie hoch das Wasser im Winter angestaut werden muss, um die Zielwasserstände im Sommer zu erhalten und ob Zusatzwasser im Sommer benötigt wird und wenn ja, ob dieses in der Umgebung verfügbar ist. Falls über den Bau einer Solaranlage nicht das gesamte Moor wiedervernässt wird, sollte mit Hilfe eines hydrologischen Gutachtens sichergestellt werden, dass die Errichtung und der Betrieb der Solaranlagen der vollständigen Wiedervernässung des gesamten Moores nicht im Wege stehen [22].



Abbildung 3: Torfprofil eines stark degradierten Moorbodens in der Friedländer Großen Wiese. August 2020. © Greifswald Moor Centrum

Paludikulturen: Ansätze zur Kombination mit Landwirtschaft

Bisher ging die Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten Mooren und kohlenstoffreichen Böden meist mit dem Stopp der landwirtschaftlichen Nutzung und damit einem Verlust von Nutzfläche einher. Um nachhaltige Nutzungsperspektiven zu bieten, weiter Wertschöpfung aus der Biomassegewinnung zu ermöglichen und damit auch die lokale und regionale Akzeptanz gegenüber einer Wiedervernässung zu fördern, können verschiedene Varianten »nasser« Land- und Forstwirtschaft (= Paludikultur) nach Wiedervernässung umgesetzt werden [23, 18].

Paludikultur ist die land- bzw. forstwirtschaftliche Nutzung wiedervernässter Moorböden bei Erhalt des Torfes [23]. Sie eignet sich weniger zur Produktion von Nahrungsmitteln, sondern vielmehr zur Biomasseerzeugung für die stoffliche und energetische Nutzung,

auch als Alternative zu fossilen Roh- und Brennstoffen. Derzeit ist eine solche Bewirtschaftung noch mit hohen Kosten sowie einem erheblichen betrieblichen Mehraufwand verbunden. Auch nachgelagerte Abnahmestrukturen und Wertschöpfungsketten müssen meist noch vor Ort etabliert werden. Perspektivisch bietet sich durch die Biomasseverwertung zusätzlich die Chance einer weiteren Kohlenstoffsenke, indem der gebundene Kohlenstoff aus der Biomasse in langlebigen Produkten fixiert wird. Förderprogramme für Paludikulturen sind z.T. auf Landesebene etabliert und auf Bundesebene in Vorbereitung.

2.2 Chancen und Herausforderungen von Moor-PV

Neben der Bewirtschaftung mit Paludikulturen kann auch eine Nutzung der wiedervernässten Fläche für die Installation von PV-Anlagen eine (zukünftig) wirtschaftlich interessante Alternative darstellen. Auch eine Kombination beider Ansätze in Form von Paludi-PV ist denkbar. Allerdings sind diese Ansätze bisher kaum erprobt und mit erheblichen Veränderungen für die heutigen Eigentümer und Eigentümerinnen und Nutzen verbunden. Deswegen müssen diese neuen Nutzungsmöglichkeiten jetzt technologisch vorangetrieben, intensiv mit Interessensvertretungen diskutiert und durch Förderung über Forschung und Entwicklung (FuE) hinausgehend umgesetzt werden.

Erarbeitung von Flächenkulissen

Moor-PV-Anlagen sollten nur mit der zeitgleichen Wiedervernässung der Fläche errichtet werden, da andernfalls eine Verfehlung der gesetzlichen Klimaziele befördert wird. Die Suche nach für PV-Anlagen geeigneten Flächen sollte sich auf degradierte, landwirtschaftlich genutzte Moorböden ohne naturschutzrechtlich einschränkende Schutzauflagen konzentrieren [21]. In degradierten Moorböden haben sich die hydrophysikalischen Eigenschaften des Torfes im Oberboden irreversibel geändert, da sie meist schon Jahrzehnte tief entwässert und z. B. als Acker oder Grünland intensiv genutzt wurden. Eine Beschreibung und Bildmaterial degradierter Torfe findet sich in der Bodenkundlichen Kartieranleitung [24] und den Steckbriefen Moorsubstrate [25].

Nasse Moore bieten einen einzigartigen Lebensraum für seltene moorspezifische Tier- und Pflanzenarten und sind daher auch zum Schutz der Biodiversität besonders bedeutsam. Naturnahe Moore in Deutschland haben häufig Offenlandcharakter, und die moortypische Biodiversität ist auf Lichteinfall angewiesen. PV-Anlagen sollten daher nur außerhalb von Schutzgebieten und auf Flächen mit geringem ökologischem Wert errichtet werden.

Für eine erste Eingrenzung des Suchraums schlagen wir die Paludikultur-Flächenkulisse 1 »Eignung ohne Prüfauflagen« vor. Solche Flächenkulissen liegen für Mecklenburg-Vorpommern [23] sowie für Baden-Württemberg, Brandenburg und Schleswig-Holstein [18] vor und umfassen rd. 85.500 ha (MV), 5.100 ha (BW), 52.800 ha (BB) bzw. 72.300 ha (SH). Für Niedersachsen sind bisher nur Niedermoorböden in einer groben Kulisse betrachtet, die lediglich 22.000 ha umfasst [26]. Hochmoore und andere organische Böden nehmen einen hohen Flächenanteil in Niedersachsen ein, jedoch liegen für sie bisher keine Flächenkulissen vor. Hierbei könnte der Suchraum ebenfalls jene Hochmoore und andere organische Böden mit Feldblock ohne Schutzstatus (Acker und Intensivgrünland) umfassen [21].

Auswirkungen auf die moortypische Vegetation

Die Auswirkungen von PV-Anlagen auf die Etablierung und den Erhalt von flächendeckender moortypischer Vegetation ist noch nicht erforscht. Damit sich standortangepasste, torfschützende Vegetation auf den wiedervernässten Böden ausbilden kann,

muss ausreichend Licht auf den Boden gelangen. PV-Anlagen müssen daher über der Vegetation stehen und die Module versetzt, vertikal oder mit hinreichend großem Reihenabstand errichtet werden. Idealerweise kann sich eine Kohlenstoffsenke durch torfbildende Vegetation etablieren [27].

Erkenntnisse im Bereich der Agri-PV weisen darauf hin, dass sich Verschattungsgrade bis zu 40 % bei den meisten Kulturarten nicht oder nur in begrenztem Umfang (Ertragsrückgang von weniger als 40 %) negativ auf das Pflanzenwachstum auswirken. Solange noch keine belastbaren Forschungsergebnisse zu Verschattungstoleranzen moortypischer Vegetation vorliegen, könnte als Maximalwert der zulässigen punktuellen Verschattung auf der Fläche z. B. 50 % angesetzt werden.

Paludi-PV

Ähnlich wie bei Agri-PV-Anlagen kann bei einer Anpassung der PV-Anlage an die für den Maschineneinsatz notwendigen Durchfahrtshöhen und -breiten sowie an die Lichtbedürfnisse der Kulturpflanzen die Fläche auch weiterhin landwirtschaftlich bewirtschaftet werden. Durch die Kombination von Flächenbewirtschaftung und Solarstromproduktion könnte eine weitere Einkommenserhöhung, -stabilisierung und -diversifizierung ermöglicht werden. Eine Kombination von nachhaltiger Stromerzeugung mit multifunktionellen Systemen wie bei den Paludikulturen birgt somit große Potenziale, die sich sowohl in der lokalen Wertschöpfung als auch in einer massiven Verringerung der Treibhausgasemissionen aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung niederschlagen.

Der Nachweis der technischen Machbarkeit des Paludi-PV-Ansatzes steht derzeit noch aus. Unabhängig von der späteren Biomasseverwertung muss die PV-Anlage mit einem Vegetationsmanagement kompatibel sein, um ein Verschatten oder Überwachsen der Anlagen zu verhindern. Für die Planung der Moor-PV-Anlage sollte also von Anfang an eine Zielvegetation feststehen, auch um die Mahd bzw. Flächenpflege von Beginn an berücksichtigen zu können. Für die Mahd kommt eine spezielle, an hohe Wasserstände angepasste Technik zum Einsatz, welche Platz zum Fahren und Rangieren benötigt.

Umgang mit flurnahen Wasserständen

Je höher der Wasserstand auf der Fläche, desto schwieriger wird deren Zugänglichkeit und desto aufwendiger bzw. teurer werden Wartungs- oder Pflegemaßnahmen. Anlagenbetrieb und Wartungen müssen bei Moor-PV jedoch auch bei hohen Wasserständen und (insbesondere im Winter) bei Wasserüberstau möglich gemacht werden. Zudem fehlen Erfahrungen, ob und wie ein Anlagenrückbau bzw. ein Repowering auf mehrjährig wiedervernässten Flächen erfolgen kann. Für die Biomasseernte mit Spezialtechnik auf nassen Standorten sind hohe Investitionen nötig, Lohnunternehmen sind in diesem Bereich wenig etabliert. Erntetechnik aus der Landschaftspflege kann nur ineffizient eingesetzt werden, sodass die Mahd sehr lange braucht. Für eine Beweidung mit Schafen sind die im Moor erforderlichen Wasserstände zu hoch. Eine Schafbeweidung eignet sich höchstens bei feuchten, schwach torfzehrenden Bedingungen (Abbildung 2, [18], S. 274 ff)). Wasserbüffel kommen zwar mit den hohen Wasserständen zurecht, sind aber deutlich größer, schwerer und behörnt, was bei der Höhe der Aufständigung und der Standfestigkeit von Moor-PV-Anlagen berücksichtigt werden müsste.

Hebelwirkung

Die Errichtung von PV-Anlagen auf Moorflächen kann und sollte als Hebel für eine Erhöhung des Umfanges der jährlich wiedervernässten Moorböden genutzt werden. Dabei sind Moorkörper als hydrologische Einheiten zu betrachten und möglichst vollständig zu vernässen, auch wenn die geplante PV-Fläche nur ein Teil davon ausmacht. Investitionen in die Abtrennung von »vernässten Inseln in einer weiterhin entwässerten Landschaft«

sind zu vermeiden. So könnte Photovoltaik dazu beitragen, die notwendige Wiedervernässungsrate von fünf Prozent der landwirtschaftlich genutzten Moorböden (50.000 ha pro Jahr) bei gleichzeitig fortgesetzter wirtschaftlicher Flächennutzung zu erreichen. Auf den wiedervernässten, aber nicht mit PV-Anlagen genutzten Flächen können gezielt moorbezogene Artenschutzmaßnahmen und Paludikultur umgesetzt werden [21, 27]. Die Eignung für PV-Anlagen kann sich für Teilbereiche unterscheiden, z. B. könnten höher gelegene Randbereiche mit geringeren Torfmächtigkeiten, seltenerem Wasserüberstau oder besserer Zugänglichkeit einfacher umzusetzen sein. Um torferhaltende Wasserstände auch in Randflächen zu erreichen, ist oft ein Überstau in den tieferliegenden Bereichen notwendig. Die Beeinflussung von Flächen, welche nicht direkt von PV-Anlagen überbaut werden sollen, müssen vom Anlagenbetreibenden mit betrachtet und ggf. entschädigt werden [22].

Herausforderungen bei der Projektierung und Aufbau von Kooperationsstrukturen

Die Berücksichtigung der Besonderheiten von Moorböden während der Baumaßnahmen, der Wartung und des Rückbaus stellt die Projektierung von Moor-PV-Anlagen vor besondere Herausforderungen (s. Abschnitt 3.2). Eine parallele bzw. gemeinsame Planung der Baumaßnahmen von Solaranlage und Wiedervernässung ist notwendig, um gegenseitige Bedingungen berücksichtigen zu können, z. B. den Standort des Trafos oder Zuwegungen, die gleichzeitig für hydrologische Abgrenzungen sowie zur Kabelführung genutzt werden können [22].

Für Planung, Genehmigung und Kontrolle der Maßnahmen bedarf es zusätzlicher Kapazitäten und Fachkräfte in den entsprechenden Behörden sowie bei privaten Firmen (z. B. Planungs- und Ingenieurbüros). Durch die Vielzahl der Personen mit Flächeneigentum und Betroffenen sind umfangreiche Genehmigungsverfahren zu erwarten.

Für die Wiedervernässung ganzer hydrologischer Einheiten wird die Zusammenarbeit vieler Eigentümer und Eigentümerinnen notwendig, weshalb der Aufbau von Kooperationsstrukturen sinnvoll scheint, in denen alle Betroffenen mit Eigentum und möglicherweise auch weitere Betroffene auch von der Moor-PV profitieren. Welche Kooperationsstrukturen hierfür geeignet sind und wie deren Aufbau gefördert werden kann, muss noch geklärt werden. Bei der Wiedervernässung kommt es zu vielfältigen Betroffenheiten, die auf dem Moor oder in der Nachbarschaft zum Moor liegen können. So können Infrastrukturen, wie Siedlungen, Verkehrswege oder Gastrassen beeinflusst werden, angrenzende land- oder forstwirtschaftliche Nutzungen betroffen sein oder Drainagen und Verrohrungen angrenzender Gebiete verändert werden müssen, wenn sie auf den entwässerten Zustand des Moores ausgelegt sind. Welche rechtlichen Herausforderungen sich in diesem Zusammenhang ergeben, wird in Kapitel 4 näher erläutert.

2.3 Treibhausgas-Minderungspotenzial von Moor-PV

Für das Erreichen der nationalen Klimaschutzziele müssen sich die Maßnahmen der unterschiedlichen Sektoren ergänzen. PV-Anlagen auf dafür wiedervernässten Moorböden können sektorenübergreifend zum Klimaschutz beitragen [21]:

1. im Energiesektor durch die Nutzung von Sonnenenergie statt fossiler Energieträger,
2. im Landnutzungssektor durch die Reduktion von CO₂-Emissionen durch Wiedervernässung,
3. ggf. in anderen Sektoren durch langfristige Speicherung von Kohlenstoff in Produkten aus Paludikultur (= torferhaltende, produktive Bewirtschaftung wiedervernässter Moore).

Die zu erwartenden Treibhausgas-Minderungen durch die PV-Stromerzeugung können anhand der durchschnittlichen CO₂-Emissionen im Strommix abgeschätzt werden. Bei einer PV-Belegungsdichte von 0,4 – 0,8 MW_p pro Hektar und einer Stromerzeugung von 1.000 kWh pro kW_p könnten durch Moor-PV pro Jahr und Hektar zwischen 120 und 240 t CO₂ eingespart werden. Da im Zuge der Energiewende die durchschnittlichen CO₂-Emissionen im Strommix kontinuierlich sinken, reduzieren sich allerdings auch die potenziellen zukünftigen Treibhausgas-Minderungen durch die Erzeugung erneuerbaren Stroms.

Landwirtschaftlich genutztes Moor-Grünland emittiert durchschnittlich 32 t CO₂-Äq. je Hektar und Jahr, Moor-Acker sogar 40 t CO₂-Äq. je Hektar und Jahr und gelten damit als stark torfzehrend [16]. Das Treibhausgas-Minderungspotenzial hängt insbesondere vom Wasserstand ab, welcher durch eine Wiedervernässung erzielt wird. Je tiefer insbesondere die sommerlichen Wasserstände sinken, desto höher bleiben die Emissionen [28]. Werden sommerliche Wasserstände in Flurhöhe erreicht, ist das volle Minderungspotenzial durch torferhaltende Bedingungen erreicht. Das durchschnittliche Minderungspotenzial von Grünland und Acker durch Wiedervernässung liegt bei 26 und 34 t CO₂-Äq. je Hektar und Jahr [16]. Zusammen mit den CO₂-Minderungen im Stromsektor liegt das Treibhausgas-Minderungspotenzial von Moor-PV somit bei 146 bis 274 t CO₂-Äq. (s. Tabelle 1, Spalte 2025).

Wird durch eine zusätzliche Nutzung von Paludikultur-Biomasse langfristig Kohlenstoff in den erzeugten Produkten gebunden, so können durch Moor-PV weitere Treibhausgas-Minderungen erzielt werden. Nachwachsende Rohstoffe können dadurch als Alternative zu fossilen Roh- und Brennstoffen z. B. als Baumaterialien zur Dekarbonisierung im Gebäudesektor beizutragen [29]. Die damit verbundenen Treibhausgas-Minderungen können annähernd die Minderungspotenziale durch die Wiedervernässung erreichen (ebd.).

Tabelle 1: Übersicht der Minderungspotenziale von Treibhausgasemissionen bei Moor-PV und Paludi-PV im Vergleich zu PV-FFA in Tonnen CO₂-Äquivalente pro Hektar und Jahr.

	Minderungspotenziale in t CO ₂ -Äq. ha ⁻¹ a ⁻¹					
	2025		2030		2035	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Moor-PV*	146	274	86	154	26	34
Mit Hebelwirkung Wiedervernässung (Faktor 3)	198	342	138	222	78	102
Paludi-PV**	169	305	109	185	49	65
Mit Hebelwirkung Wiedervernässung und Paludi (Faktor 3)	268	434	208	314	148	194
PV-FFA***	330		165		0	

*Bei einem CO₂-Verdrängungsfaktor von 300 g pro erzeugter kWh in 2025 und einer linearen Reduktion auf null bis 2035.

**Bei angenommenen Treibhausgas-Minderungen von 90 % im Vergleich zu den erwarteten Minderungspotenzialen durch Wiedervernässung ohne Paludikultur.

***Bei einer installierten Leistungsdichte von 1,1 MW_p pro Hektar.

In Summe könnten so Paludi-PV-Systeme beim heutigen Strommix zu einer Vermeidung von 169 bis 305 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr beitragen. Wenn eine Hebelwirkung bei der Wiedervernässung dazu führt, dass pro Hektar Paludi-PV zwei weitere Hektar wiedervernässt und mit Paludikulturen bewirtschaftet werden, so erhöht sich die potenzielle Vermeidung auf 268 bis 434 t CO₂-Äq. pro Hektar. Wird im Jahr 2035 Treibhausgasneutralität im Stromsektor erreicht, so findet durch den erzeugten PV-Strom keine weitere CO₂-Verdrängung statt. Die Minderungspotenziale beschränken sich dann nur noch auf die Vermeidung der CO₂-Emissionen durch die Wiedervernässung und die langfris-

tige Kohlenstoffbindung in ggf. erzeugten Produkten aus Paludikultur-Biomasse. Vergleicht man diese Werte mit Treibhausgas-Minderungen herkömmlicher PV-FFA, so wird die Relevanz einer Berücksichtigung langfristiger Minderungspotenziale besonders deutlich (s. Tabelle 1).

3 Technische Herausforderungen und Lösungsansätze

Der Technologiereifegrad von Moor-PV ist derzeit noch sehr niedrig. Technische Lösungsansätze können aus bereits existierenden Systemen wie PV-FFA oder schwimmenden PV-Anlagen abgeleitet werden. Abhängig vom jeweiligen ökologischen Moortyp (und damit z. B. des pH-Wertes) ergeben sich dabei unterschiedliche Anforderungen, unter anderem bei der Fundamentierung und Verankerung der Anlage sowie bei der Auswahl geeigneter Materialien und Komponenten. Ähnliches gilt für Installation, Wartung, Repowering und den Rückbau der Anlagen.

3.1 Anlagendesign: Ansätze für Photovoltaik-Systeme auf Moor-Standorten

Fundamentierung und Unterkonstruktion

Bei einer geringen Mächtigkeit des Moorkörpers ist nach aktuellem Kenntnisstand zu- meist der effizienteste Weg der Verankerung, diese direkt durch die Torfschicht in den darunterliegenden mineralischen Untergrund zu rammen oder zu schrauben. Hierzu können klassische Rammfundamente, aber auch spezielle Verankerungstechniken genutzt werden (siehe Abbildung 4). Bodenschonende Verankerungstechniken sind zu bevorzugen, um Schäden an der Vegetation und Bodenverdichtung zu vermeiden. Ähnlich wie bei herkömmlichen PV-FFA gewähren Auszugstests und angemessene Rammtiefen statische Sicherheit. Dabei ist die Beschaffenheit des Untergrunds unter dem Moorkörper von entscheidender Bedeutung. Bei sandigen Böden stellt eine Gründung per Rammfundament eine Schwierigkeit dar. Im Gegensatz dazu sind andere mineralische Untergründe – etwa ein Stoffgemisch wie Lehm – sehr gut geeignet, um diese im Boden zu halten. Es ist daher ratsam, frühzeitig ein geologisches Gutachten einzuholen.

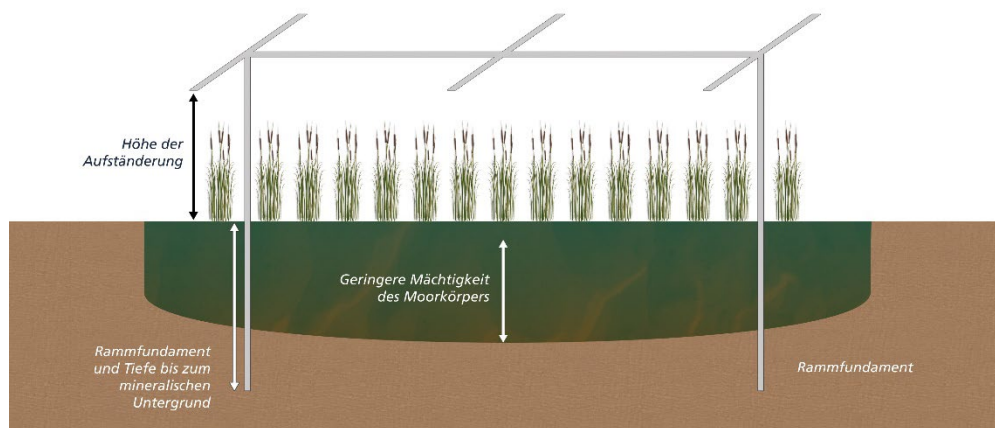


Abbildung 4: Gründung und Verankerung bei Torfmächtigkeit mit Rammfundamenten. © Fraunhofer ISE

Mit zunehmender Mächtigkeit des Moorkörpers wird der Einsatz klassischer Ramm- oder Schraubfundamente sowie Verankerungen erschwert. Gründen die Verankerungen nicht tief genug auf mineralischem Untergrund, können ein Versinken oder Verdrehungen der Aufständerungskomponenten die Folge sein. Je größer die Torfmächtigkeit, desto höher

sind auch die Ramm- und Materialkosten. Die bodenkundlichen und geologischen Standortbedingungen sind daher wichtige Faktoren für die Rentabilität einer Moor-PV-Anlage. Sollte sich eine permanente Überstauung von Teilflächen nicht vermeiden lassen, sind Möglichkeiten zur Anwendung von Floating-PV-Ansätzen (FPV) mit deutlich geringerer Aufständerrhöhe denkbar. Dadurch könnten Material und Kosten eingespart werden. Allerdings ist der Überstau aufgrund erhöhter Methanemissionen und verzögerter Entwicklung torfbildender Vegetation bei der Wiedervernässung für die Erreichung der Klima- und Biodiversitätsziele nicht bevorzugt. Die Schwimmkörper bestehen typischerweise aus HDPE (High-density polyethylene) und sind dadurch korrosions- und UV-beständig. Je nach Systemdesign, variieren sie in ihrer Größe. Die Fundamentierung bei schwimmenden PV-Anlagen in künstlichen Seen erfolgt üblicherweise im mineralischen Untergrund am Ufer und / oder am Grund. Systeme dieser Art wurden in Moorflächen bislang weder installiert noch detaillierter konzipiert. Bei einer Umsetzung sollten Ansätze verfolgt werden, die wesentliche Beschädigungen an Boden und Torfkörper vermeiden. Um keine permanenten Störungen des Torfkörpers durch bewegliche Teile der Verankerung zu haben, könnte z. B. oberirdisch oder auf Ausläufern von Mineralböden im Moor verankert werden.

PV-Technologie, Systemkomponenten und Belegungsichten

Bei der Auswahl der Systemkomponenten wie PV-Module, Steckerverbindungen, Verkabelung und Wechselrichter sollte das erhöhte Risiko von Wasserkontakt berücksichtigt werden. Technische Lösungsansätze können sich dabei an der Komponentenauswahl schwimmender PV-Anlagen orientieren, mit z. B. wasserdichten Steckerverbindungen oder dem Einsatz robuster Glas-Glas-Module.

Glas-Glas-Module weisen zudem eine gewisse Teiltransparenz (ca. 10 %) auf, was zu einer höheren und gleichmäßigeren Lichtverfügbarkeit für die moortypische Vegetation führt. Darüber hinaus ist in den letzten Jahren im Markt ein klarer Trend hin zu Glas-Glas-Modulen mit aktiver Rückseite zu beobachten, sogenannte bifaziale PV-Module. Diese können auch das Licht, welches auf die Rückseite trifft, zur Stromerzeugung nutzen. Dadurch können die Stromerträge je nach Albedo des Untergrunds und der Ausrichtung des PV-Moduls gesteigert werden. Durch die tendenziell größeren Reihenabstände und eventuell höhere Aufständerrhöhe von Moor-PV-Anlagen erreicht typischerweise mehr Licht die PV-Modulrückseiten als bei herkömmlichen PV-FFA. Im Gegensatz dazu weisen Wasseroberflächen und feuchte Vegetation eine geringe Albedo auf. Darum empfiehlt es sich, den Einsatz bifazialer PV-Module im konkreten Fall zu prüfen. Die Kühlung durch Verdunstungseffekte des Wassers steigert die PV-Moduleffizienz und ermöglicht so höhere elektrische Erträge.

Eine ausreichend hohe und gleichmäßige Lichtverfügbarkeit auf dem Boden kann neben teiltransparenten PV-Modulen durch eine erhöhte Aufständerrhöhe, schmalere PV-Modulreihen oder einer Ausrichtung bzw. Nachführung der PV-Module in Ost-West-Richtung erreicht werden [30]. Ein weiterer Vorteil nachgeführter PV-Module ist eine gleichmäßigere Niederschlagsverteilung auf der Fläche und damit auch der Vermeidung von potenzieller Erosion des Moorbodens.

Je nach Systemdesign und möglicher landwirtschaftlicher Weiternutzung der Fläche kann mit unterschiedlichen Belegungsichten gerechnet werden. Geringste Belegungsichten sind bei bodennah aufgeständerten Systemen mit landwirtschaftlicher Bewirtschaftung (0,2 bis 0,4 MW_p/ ha), die höchsten Belegungsichten bei schwimmenden Systemen (bis zu 1 MW_p/ ha) zu erwarten.

3.2 Installation, Wartung und Rückbau

Um baubedingte Bodenverdichtung und Torfmineralisation so gering wie möglich zu halten, sollte der Schutz des Bodens über eine bodenkundliche Baubegleitung sichergestellt werden [31]. Bodenkundliche Erfordernisse für PV-Anlagen wurden von der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt erarbeitet. Diese empfiehlt für PV-FFA, Bodeneingriffe auf das geringstmögliche Maß einzugrenzen, Bodenverdichtungen beim Bau zu minimieren und Anforderungen zum Schutz vor Stoffeinträgen in den Boden festzusetzen [32]. So soll sichergestellt werden, dass die hydrologischen Eigenschaften des Torfkörpers nicht wesentlich negativ beeinflusst werden, die geringe Tragfähigkeit der Böden berücksichtigt wird, sowie zusätzliche baubedingte Bodenverdichtung und weitere Torfmineralisierung vermieden werden [22]. Es sind noch Mindestanforderungen an den Moor- und Bodenschutz während des Anlagenbaus und des PV-Betriebs festzulegen.

Tragfähigkeit von Moorböden und Maschineneinsatz

Die Befahrbarkeit von nassen Moorböden ist eingeschränkt. Sie hängt von der Tragfähigkeit der Grasnarbe und der Standfestigkeit des Untergrundes ab, welche durch die Vegetation, den Wasserstand und den Bodenzustand beeinflusst werden [33]. Eine geschlossene Grasnarbe ist besonders tragfähig, eine nicht geschlossene Grasnarbe hingegen verringert die Tragfähigkeit generell. Bei der Planung von PV-Systemen auf Moorböden sollten Wartungs- und Rückbauarbeiten daher von Anfang an mitberücksichtigt werden. Sie sollten bei trockenen Bedingungen stattfinden, also möglichst im Sommer. Um bei der Nutzung von dafür benötigten Maschinen den Bodendruck gering zu halten, sollte auf ein geringes Gesamtgewicht geachtet werden, sowie Möglichkeiten genutzt werden, um die Auflagefläche zu erhöhen, z. B. durch Doppelbereifung oder Raupenfahrzeuge (ebd.). Mehrmaliges Befahren von gleichen Flächenabschnitten ist zu vermeiden, um Bodenverdichtung zu reduzieren. Dies kann insb. durch das frühzeitige und geplante Verteilen der Baumaterialien auf der Fläche vor Baubeginn erreicht werden.

Solange der Wasserstand in einer Moorfläche noch nicht final in Flurhöhe angehoben wurde, kann bei der Installation möglicherweise noch mit herkömmlichen Maschinen gearbeitet werden. Um die Bauvoraussetzungen im Vorhinein beurteilen zu können, gilt es, in der Planung ebenfalls die Beschaffenheit der Zuwegung zu den Moor-Flächen zu berücksichtigen [34]. Dies ist bei der Flächenpflege, sowie bei der Installation, Wartung und beim Rückbau von PV-Anlagen zu berücksichtigen.

Notwendige Bodenaushübe und Materialeinsatz

Bei den Errichtungsarbeiten von Verankerungen und Infrastruktur ist auch zu beachten, dass ggf. relevante stauende Schichten nicht beschädigt werden. Das kann bei einigen Hochmooren, aber auch bei Stauwasserversumpfungsmooren der Fall sein. Weiterhin sollte der ausgehobene Torf nicht oxidieren. Dieser Torf kann beispielsweise zur Verfüllung von Gräben effektiv genutzt werden und erhalten bleiben. Die Kabelführung sollte so weit wie möglich oberirdisch entlang der PV-Module umgesetzt werden [35]. Um Torfverluste und andere Beeinträchtigungen des Bodens auf ein Minimum zu reduzieren, sollten der Wegebau und die ggf. notwendige Verlegung von Kabelschächten zusammen mit den hydrologisch notwendigen Abgrenzungen geplant werden. Dabei ist die vorliegenden Bodenbeschaffung und der Wasserstand zu berücksichtigen, um die notwendige Tragfähigkeit der Wege zu gewährleisten, ohne eine tiefere Auskoffierung zu benötigen, die andernfalls einen großen Torfverlust mit sich zieht [35, 32]. Dies gilt es unbedingt zu vermeiden. Bei allen bodenschutzrelevanten Aspekten muss auch berücksichtigt werden, dass der Vergleichszustand das entwässerte Moor mit kontinuierlicher Torfdegradierung ist (und nicht ein »perfektes« natürliches Moor).

Moorböden können sehr saure bis alkalische (kalkhaltige) pH-Werte aufweisen, was bei der Materialwahl der Trägerelemente beachtet werden muss, um unerwünschte chemische Reaktionen zu verhindern. So sollten z. B. keine verzinkten Legierungen in sauren Mooren genutzt werden [22]. Ebenso ist ein Eintrag von mineralischem Material und Schwermetallen in den Moorboden nach Stand der Technik zu vermeiden. Dies gilt auch für den Eintrag von Pestiziden, Herbiziden, chemisch-synthetischen Reinigungsmitteln oder Düngemitteln. Wiedervernässte Moorböden sind wassergesättigt, sodass sich punktuelle Einträge von Schadstoffen über das Wasser in der Fläche sowie im Vorfluter ausbreiten können. Potenzielle Stoffeinträge sollten über ein Langzeitmonitoring wissenschaftlich untersucht werden, um im Bedarfsfall Gegenmaßnahmen ableiten zu können.

4 Rechtliche Rahmenbedingungen

4.1 Rechtliche Definition der Flächenkulisse für »Moor-PV«

Moor-PV umfasst den Betrieb von PV-Anlagen auf landwirtschaftlich genutzten Moorböden, wenn die Flächen mit der Errichtung der PV-Anlage dauerhaft wiedervernässt werden. Nicht damit erfasst sind nicht landwirtschaftlich genutzte Moorböden, da auf diesen anderen Landnutzungskategorien meist erhebliche naturschutzrechtliche Belange einer Nutzung für PV-Anlagen entgegenstehen. Die Wiedervernässung dieser entwässerten Moorböden erfordert die Gestaltung des Zusammenspiels von Wasserwirtschaft, Wasser- und Bodenverbänden, Fachverwaltungen, Naturschutzorganisationen und Landnutzenden. Die Koordination kann über Strategien und Programme gefördert werden. Daneben bestehen insbesondere auf regionaler Ebene bei der Umsetzung von Moorvernässungen häufig Unklarheiten bei dem Umgang mit Zielkonflikten (Wasserversorgung, Entwässerung, Naturschutz, Hochwasserschutz, Klimaschutz, landwirtschaftliche Produktion). Diese Konflikte können durch Raumordnungsvorgaben entschärft werden. Das klassische Instrument zur Abstimmung von raum- und bodenwirksamen Zielkonflikten ist die Raumordnung. Diese Abstimmung ist bei Vorhaben zur Wiedervernässung über ein einfaches wasserrechtliches Genehmigungsverfahren oder ein Planfeststellungsverfahren auf der Grundlage des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) zu konkretisieren. Die Art des Verfahrens hängt im Wesentlichen von der Anzahl der Betroffenen und von den prognostizierten Auswirkungen der geplanten Maßnahmen ab. In der Regel werden Planfeststellungsverfahren durchgeführt. Ein wasserrechtlicher Planfeststellungsbeschluss oder eine Plangenehmigung sind gemäß § 68 Abs. 1 WHG immer dann erforderlich, wenn es sich bei der Maßnahme um einen Gewässerausbau handelt. Neben den Vorgaben des Wasserrechts sind für die Vernässung die Regelungen des Natur- und Artenschutzes sowie des Bodenschutz- und Bauplanungsrechts zu beachten.

4.2 Die Errichtung von Photovoltaikanlagen auf wiedervernässten Mooren

Die Errichtung einer Photovoltaikanlage auf einem wiedervernässten Moor (Moor-PV) muss die Vorgaben des Bauordnungs- und Bauplanungsrechts berücksichtigen. Zudem setzen das Naturschutz- und das Wasserhaushaltsrecht rechtliche Rahmenbedingungen, die zwingend zu beachten sind.

4.2.1 Bauordnungs- und Bauplanungsrecht

Der Bau einer Moor-PV-Anlage setzt als »bauliche Anlage« regelmäßig eine Baugenehmigung nach der jeweiligen Landesbauordnung voraus, da er das Landschaftsbild verändert. Die Genehmigung ist bauordnungsrechtlich zu erteilen, wenn alle öffentlich-rechtlichen Vorschriften vorliegen, die Anforderungen an das Bauvorhaben enthalten. Dies umfasst auch die bauplanungsrechtlichen Regelungen der §§ 29 ff. BauGB. Insoweit unterscheiden sich die Voraussetzungen für die Genehmigungsfähigkeit des Vorhabens danach, ob a) die Anlage im Geltungsbereich eines bestehenden Bebauungsplans (§ 8 ff. BauGB) liegt oder b) im Außenbereich nach § 35 BauGB.

a) Der Bebauungsplan wird nach den Vorgaben des BauGB und des Kommunalrechts durch die Gemeinde erlassen. Der Bebauungsplan kann allgemeiner Natur sein oder nur für ein spezifisches Projekt erlassen werden (vorhabenbezogener Bebauungsplan § 12 BauGB). In beiden Fällen ist als Art der baulichen Nutzung des zu beplanenden Grundstücks die Festsetzung als sonstiges Sondergebiet mit der Zweckbestimmung und Art der

Nutzung als PV-FFA gem. § 11 Abs. 2 S. 2 BauNVO zweckmäßig. Der Erlass eines Bebauungsplans ist regelmäßig mit hohem fachlichem, personellem und finanziellem Aufwand für die Gemeinde verbunden.

b) Liegt kein Bebauungsplan vor, bestimmt sich die bauplanungsrechtliche Zulässigkeit nach den Bestimmungen in BauGB zum Außenbereich (§ 35 BauGB). Der § 35 BauGB manifestiert den städtebaulichen Grundsatz der Einschränkung der Zulässigkeit von Vorhaben: Der Außenbereich ist von baulichen Anlagen freizuhalten, insoweit die Anlagen nicht ihrem Wesen nach in den Außenbereich gehören. Dies ist insbesondere relevant für die Erfüllung des Planmäßigkeitsgrundsatzes aus § 1 Abs. 1 BauGB, den Umweltschutz und die Wahrung der öffentlichen Belange aus § 35 Abs. 3 S. 1 BauGB. § 35 Abs. 1 BauGB beinhaltet eine abschließende Aufzählung der privilegierten Vorhaben im Außenbereich, welche dann zulässig sind, wenn öffentliche Belange (nicht abschließend aufgeführt in § 35 Abs. 3 S. 1 BauGB) nicht entgegenstehen und die ausreichende Erschließung gesichert ist. In jedem Fall muss bei diesen Vorhaben eine Abwägung zwischen dem Vorhabenszweck und dem öffentlichen Belang erfolgen.

Im Außenbereich könnten die planungsrechtliche Zulässigkeit und Genehmigungsfähigkeit für Moor-PV nur dann bejaht werden, soweit § 35 Abs. 1 oder 2 BauGB dies als privilegiertes oder sonstiges Vorhaben grundsätzlich zulassen. Dies ist gegenwärtig jedoch häufig nicht der Fall. Im Jahr 2023 wurde mit § 35 Abs. 1 Nr. 8 lit. b BauGB zwar ein neuer Privilegierungstatbestand für Solarenergie eingeführt. Regelmäßig wird sich die Fläche aber nicht in einem Abstand von bis zu 200 m von einer Autobahn bzw. einem zweigleisigen Schienenweg befinden. Der ebenfalls neu eingefügte Privilegierungstatbestand für Agri-PV-Anlagen in § 35 Abs. 1 Nr. 9 BauGB scheidet ebenfalls aus, da es sich bei den Flächen nach § 48 Abs. 1 S. 1 Nr. 5 lit. a bis c EEG 2023 nicht um Moorboden handeln darf. Moor-PV kann in der Regel auch nicht unter die § 35 Abs. 1 Nr. 1 und 2 BauGB subsumiert werden, da sie üblicherweise mit dem Zweck der Stromeinspeisung in das öffentliche Netz errichtet und betrieben werden, so dass eine daraus abgeleitete dienende Funktion zugunsten des landwirtschaftlichen Betriebs und die damit verbundene Privilegierung ausscheidet. Ebenfalls ist § 35 Abs. 1 Nr. 3 BauGB hier nicht einschlägig, da eine geforderte Ortsgebundenheit bei PV-FFA nicht gegeben ist. Zudem können sie aufgrund des regelmäßigen Widerspruchs zu den öffentlichen Belangen der Darstellungen des Flächennutzungsplans (§ 35 Abs. 3 Nr. 1 BauGB) oder des Berührens der Belange des Naturschutzes etc. (§ 35 Abs. 3 Nr. 5 BauGB) auch nicht als sonstiges Vorhaben nach § 35 Abs. 2 BauGB privilegiert sein. Ob eine Privilegierung möglich ist, muss deshalb im Einzelfall abgewogen werden.

Nach der derzeitigen Rechtslage ist zur baurechtlichen Genehmigung einer Moor-PV-Anlage ein Bebauungsplan in der Regel unentbehrlich. Dies ergibt sich aus den Anforderungen des Bauplanungsrechts und der in der Regel fehlenden Privilegierungsmöglichkeit von Moor-PV im Außenbereich. Der Bebauungsplan und die Genehmigung müssen schließlich die gewässerschutzrechtlichen Belange berücksichtigen. Daher darf die Errichtung und der Betrieb von Moor-PV-Anlagen keine nachteilige Veränderung der Gewässereigenschaften mit sich bringen. Stattdessen muss die Leistungsfähigkeit des Wasserhaushalts erhalten und eine Vergrößerung und Beschleunigung des Wasserabflusses vermieden werden.

Eine Genehmigung nach § 4 BlmSchG ist nicht erforderlich, da Moor-PV nicht in Anhang 1 der 4. BlmSchV als genehmigungsbedürftige Anlage aufgeführt ist.

4.2.2 Natur- und Artenschutzrecht

Des Weiteren sind zur Genehmigung und Umsetzung eines Moor-PV-Vorhabens neben den bauplanungs- und bauordnungsrechtlichen Bestimmungen auch weitere Regelungen, insbesondere des Umweltfachrechts, einzuhalten.

Eine erhebliche Herausforderung stellt das Natur- und Artenschutzrecht dar. Die Errichtung von Moor-PV verursacht eine Veränderung und mögliche Verdrängung der bestehenden Flächennutzung. Die erforderliche Einzäunung der Anlagen führt auch zum Verlust oder Verkleinerung von Lebensräumen. Bei einer Standortwahl auf wiedervernässten Mooren können direkte Auswirkungen auf Pflanzen, Tiere und die biologische Vielfalt entstehen. Regelmäßig wird daher eine derartige Anlage als naturschutzrechtlicher Eingriff (§§ 13 ff. BNatSchG) zu werten sein. Soweit es sich um eine vermeidbare Beeinträchtigung handelt, ist diese zu unterlassen (§ 15 Abs. 1 S. 1 BNatSchG). Daher ist die Reduzierung der jeweiligen schutzgut- und maßnahmenpezifischen Auswirkungen auf das jeweilige Mooregebiet von großer Bedeutung.

Durch entsprechende Festsetzungen bereits in der Bauleitplanung bestehen auch bei der Realisierung von Moor-PV-Anlagen zahlreiche Möglichkeiten zur Minimierung der Eingriffsintensität auf Natur und Landschaft. Zudem können die betroffenen naturschutzfachlichen Belange durch städtebauliche Verträge oder Nebenbestimmungen der Baugenehmigung abgesichert werden. Kriterien für die Beachtung der naturschutzfachlichen Belange kann ein reduzierter Gesamtversiegelungsgrad einer Moor-PV-Anlage sein, der extensive Bewuchs von Spontanvegetation oder heimischen standortgerechten Arten und eine ausreichende Versickerung der Niederschläge. Bei der Errichtung der Anlage ist darauf zu achten, dass der Bodenaushub getrennt und flächenschonend gelagert wird [36].

4.2.3 Gewässerschutzrecht

Wird mit den geplanten Wiedervernäsungsmaßnahmen ein Gewässer, d. h. ein oberirdisches Gewässer, ein Küstengewässer oder das Grundwasser aufgehoben, verändert oder geschaffen, ist das Wasserrecht anzuwenden.²

Zu beachten ist, dass neben den bundesrechtlichen Vorgaben wie dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) auch die jeweiligen landesrechtlichen Regelungen von Bedeutung sind.

Grundsätzlich gilt für sämtliche Handlungen an Gewässern, die Auswirkungen auf Gewässer haben, der Grundsatz der nachhaltigen Gewässerbewirtschaftung gemäß § 6 WHG. Dieser Grundsatz ist bei der Auslegung der wasserrechtlichen Vorschriften von hoher Bedeutung. Die Art des wasserrechtlichen Verfahrens hängt im Wesentlichen von der Anzahl der Betroffenen und von den prognostizierten Auswirkungen der geplanten Maßnahmen ab.

Zu klären ist zum einen, ob eine behördliche Erlaubnis bzw. Bewilligung benötigt wird oder ob lediglich eine Unterhaltungsmaßnahme vorliegt, die ohne eine solche Erlaubnis bzw. Bewilligung umgesetzt werden darf. Handelt es sich um eine erlaubnis- bzw. bewilligungspflichtige Benutzung eines Gewässers, so ist der Frage nachzugehen, ob die Voraussetzungen für die Erteilung der Erlaubnis bzw. Bewilligung erfüllt werden können. Unterfällt das Vorhaben nach dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) diesem Gesetz, muss das Erlaubnis- bzw. Bewilligungsverfahren auch die Anforderungen des UVPG erfüllen.

² Vgl. dazu umfassend Schlacke, S. & Sauthoff, M. (2024): Rechtsfragen im Zusammenhang mit der Wiedervernäsung von Mooren – unter besonderer Berücksichtigung des Rechts des Landes Mecklenburg-Vorpommern. Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe 02/2024 (Selbstverlag, ISSN 2627-910X), 210 S

Zum anderen ist zu prüfen, ob es sich bei einer Wiedervernässungsmaßnahme um einen Gewässerausbau handelt. Erwogen wird, die Wiedervernässung als Herstellung eines Gewässers anzusehen.³

Ist ein Ausbau zu bejahen, so ist zu klären, welche Wiedervernässungsmaßnahmen planfeststellungsbedürftig sind oder lediglich per Planfeststellung (mit-)geregelt werden können, ohne dass sie für sich genommen planfeststellungsbedürftig wären. Möglicherweise sind die geplanten Maßnahmen auch als Errichtung einer Anlage in oder an einem Gewässer einzustufen, sodass ein gesonderter Gestattungstatbestand in Betracht kommt.

4.3 Der Betrieb von Photovoltaik-Anlagen auf Moorböden

4.3.1 Einordnung und Analyse des EEG

Moor-PV-Anlagen sind als Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien i. S. d. § 3 Nr. 1 EEG einzustufen. Der Betreiber einer solchen Anlage hat daher einen Anspruch gegenüber dem Betreiber des Netzes für die allgemeine Versorgung (im Folgenden bezeichnet als Netz) auf vorrangigen Netzanschluss nach § 8 Abs. 1 EEG. Dabei ist die Netzanschlussvariante zu ermitteln, welche die geringsten Gesamtkosten aufweist. Erst wenn diese Variante gefunden ist, wird bestimmt, wer welche Kosten zu tragen hat: Die Netzanschlusskosten trägt der Anlagenbetreiber, die Netzausbaukosten der Netzbetreiber (vgl. §§ 16, 17 EEG). Darüber hinaus steht dem Betreiber der Moor-PV-Anlage gegenüber dem Netzbetreiber nach § 11 Abs. 1 EEG ein Anspruch auf vorrangige Abnahme des erzeugten Stroms zu.

Betreiber von Anlagen mit einer installierten Leistung von mehr als 100 kW sind verpflichtet, den Strom an einen Dritten zu vermarkten (sog. verpflichtende Direktvermarktung). Bei der Ermittlung der Anlagengröße sind die »Verklammerungsvorschriften« des § 24 Abs. 1 und 2 EEG zu beachten. Im Fall der geförderten Direktvermarktung hat der Anlagenbetreiber gegenüber dem Netzbetreiber nach § 20 EEG einen Anspruch auf die sog. Marktprämie. Diese ist die Differenz zwischen dem sog. anzulegenden Wert und dem Jahresmarktwert für Solarenergie. Da der Strom an den Direktvermarkter verkauft wird und dieser dafür den vereinbarten Preis an den Anlagenbetreiber zahlt, erhält der Betreibende bei der geförderten Direktvermarktung für den eingespeisten Strom in Summe also die Marktprämie vom Netzbetreiber und den mit dem Direktvermarkter vereinbarten Preis. Bei der sonstigen Direktvermarktung kann der Anlagenbetreiber keine finanzielle Förderung vom Netzbetreiber beanspruchen, sondern nur den mit dem Käufer vereinbarten Preis für den gelieferten Strom. Allerdings ist es in diesem Fall möglich, den Strom als »Grünstrom« zu vermarkten und z. B. sog. Herkunftsnachweise zu erhalten.

Betreiber von Moor-PV-Anlagen mit einer installierten Leistung von mehr als 1.000 kW müssen erfolgreich an einer Ausschreibung für Solaranlagen teilnehmen, wenn sie eine finanzielle Förderung nach dem EEG 2023 in Anspruch nehmen wollen (vgl. § 22 Abs. 3 S. 2 Nr. 1 EEG). Eine Ausnahme von der Pflicht zur Ausschreibung gilt, wenn die Moor-PV-Anlage von einer sog. Bürgerenergiegesellschaft i.S.d. § 3 Nr. 15 EEG betrieben wird: In diesem Fall erhöht sich die Grenze auf 6.000 kW (vgl. § 22 Abs. 3 S. 2 Nr. 2 EEG). Im Rahmen dieser Ausschreibung wird die Höhe des anzulegenden Werts ermittelt. Für Anlagen, die diese Grenzen nicht überschreiten, wird die Höhe der finanziellen Förderung gesetzlich festgelegt (vgl. § 48 Abs. 1 S. 1 Nr. 5 lit. e bzw. 1a EEG).

Mit dem Solarpaket I wurde die maximale Menge eines Gebots bei den Ausschreibungen des ersten Segments – zu dem auch Moor-PV gehört – von 20 MW auf 50 MW erhöht (vgl. 37 Abs. 3 EEG). Damit können nun auch Anlagen mit einer Leistung von mehr als

³ Aufgeworfen etwa bei Martinez, Rechtliche Ansätze zur Beschleunigung des Moorbodenschutzes in Deutschland, Vortrag, DBU-Tagung 1. Juni 2023 Osnabrück, S. 15 abrufbar unter: <https://www.dbu.de/app/uploads/Juristische-Perspektive-Rechtliche-Ansaetze-zur-Beschleunigung-des-Moorbodenschutzes-in-Deutschland-Prof.-Dr.-Jose-Martinez-Universitaet-Goettingen.pdf> .

20 MW, die aufgrund von Skaleneffekten kosteneffizienter sind, eine finanzielle Förderung nach dem EEG 2023 erhalten.

Grundsätzlich scheidet bei »klassischen« PV-FFA eine finanzielle Förderung aus, wenn die Anlagen auf entwässerten Moorböden errichtet werden (vgl. § 37 Abs. 1 Nr. 2; 48 Abs. 1 S. 1 Nr. 3 EEG). Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass vor der Änderung des EEG durch das Solarpaket I nur entwässerte Moorböden von einer finanziellen Förderung ausgeschlossen waren, die auch landwirtschaftlich genutzt wurden. D.h., der Schutz von entwässerten Moorböden ist insoweit erweitert worden. Moorboden ist nach § 3 Nr. 34a EEG jeder Boden, der die Voraussetzungen des § 11 Abs. 1 GAP-Konditionalitäten-Verordnung (GAPKondV) erfüllt und der Erstellung der Gebietskulisse nach § 11 Abs. 3 GAPKondV zugrunde gelegt werden kann.

Allerdings sieht das EEG 2023 einen eigenen Fördertatbestand für die sog. Moor-PV. Voraussetzung ist hier, dass die Anlagen auf Moorböden errichtet werden, die entwässert und landwirtschaftlich genutzt worden sind, und die Flächen mit der Errichtung der Solaranlage dauerhaft wiedervernässt werden (vgl. § 37 Abs. 1 Nr. 3 lit. e; 48 Abs. 1 S. 1 Nr. 5 lit. e bzw. 1a EEG).

Die Details zu den Voraussetzungen für eine finanzielle Förderung der Moor-PV-Anlagen werden in einer Festlegung der BNetzA bestimmt. In ihrer Festlegung (Az. 4.08.01.01/1#4) wurden insbesondere folgende Anforderungen aufgestellt [36]:

- Für die Definition des Bodens als Moorboden wird auf die Bestimmung der GAPKondV abgestellt, die im Zeitpunkt des Gebotstermins gilt, bei Anlagen, die nicht an den Ausschreibungen teilnehmen dürfen (vgl. dazu oben), ist die Fassung im Zeitpunkt der Inbetriebnahme entscheidend.
- Die entwässerten Moorböden müssen zum jeweiligen Gebotstermin bzw. bei Anlagen, die nicht an den Ausschreibungen teilnehmen dürfen (vgl. dazu oben), 24 Monate vor der jeweiligen Inbetriebnahme der Anlage landwirtschaftlich genutzt worden sein. D.h., es muss sich bei den Flächen um Ackerland, Dauergrünland und Dauerweideland oder Dauerkulturen handeln und auf diesen eine landwirtschaftliche Tätigkeit im Sinne des Art. 4 Abs. 1 VO (EU) Nr. 2021/2115 erfolgt sein.
- Mit Errichtung der besonderen Solaranlagen muss eine dauerhafte Wiedervernässung erfolgen. Dies ist der Fall, wenn (anzustrebende) Mindestwasserstände von 10 cm/30 cm unter Flur im Winter/Sommer erreicht werden. Vorgaben für den Zeitraum nach dem Ende der finanziellen Förderung enthält die Festlegung nicht. Dem Netzbetreiber ist bei Inbetriebnahme eine behördliche wasserrechtliche Zulassung oder ein Förderbescheid nach der Bundesförderrichtlinie für Moorklimaschutz oder ein hydrologisches Gutachten als Nachweis der angestrebten Mindestwasserstände vorzulegen.
- Die Errichtung und der Betrieb der besonderen Solaranlage und der weiteren technischen Einrichtungen wie etwa Netzanschlussleitungen darf nicht mit der Wiedervernässung konfliktieren.
- Die Module der besonderen Solaranlage müssen sich über dem Moorboden befinden, weitere technische Einrichtungen dürfen auch außerhalb des Moorbodens errichtet werden.
- Die Errichtung der besonderen Solaranlage darf vor dem Beginn der baulichen Wiedervernässungsmaßnahmen erfolgen. Eine Inbetriebnahme der besonderen Solaranlage darf jedoch erst nach dem Beginn der baulichen Wiedervernässungsmaßnahmen erfolgen. Die baulichen Wiedervernässungsmaßnahmen sind so durchzuführen, dass die Wiedervernässung unverzüglich nach der Inbetriebnahme eingeleitet werden kann.

- Bei der Errichtung sind folgende Punkte zu beachten:
 - Die besondere Solaranlage muss dem aktuellen Stand der Technik entsprechen, welche dem Netzbetreiber durch sachverständige Gutachten bei Inbetriebnahme zu bestätigen ist,
 - Eine Vegetationsentwicklung muss möglich sein,
 - Landschaftspflegemaßnahmen dürfen nicht behindert werden,
 - Ein Eintrag von moorschädigenden Substanzen wird vermieden,
 - Eine bodenschonende und rückstandlose Rückbaufähigkeit der besonderen Solaranlagen muss gewährleistet sein.
- Eine standortangepasste landwirtschaftliche Nutzung der wiedervernässten Fläche ist erlaubt.
- Innerhalb von fünf Jahren nach der Inbetriebnahme muss das Erreichen der anzustrebenden Mindestwasserstände, der Abschluss der baulichen Maßnahmen zur Wiedervernässung sowie die Durchführung fortlaufender Wiedervernässungsmaßnahmen dem Netzbetreiber durch die zuständige Behörde, einen Umweltgutachter oder ein sachverständiges Ingenieurbüro nachgewiesen werden. Sofern die baulichen Maßnahmen nach fünf Jahren nicht abgeschlossen sind oder die anzustrebenden Mindestwasserstände noch nicht erreicht worden sind, muss die fortlaufende Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen von der zuständigen Behörde, einem Umweltgutachter oder einem sachverständigen Ingenieurbüro bestätigt werden. Diese Bestätigung muss u.a. enthalten, dass die baulichen Maßnahmen nicht innerhalb der fünf Jahre abgeschlossen werden konnten und weiterhin durchgeführt werden. In diesem Fall muss der Anlagenbetreiber dem Netzbetreiber spätestens nach weiteren fünf Jahren die Wiedervernässung nach diesen Vorgaben erneut bestätigen.

Bei der Festlegung kann die BNetzA die zusätzliche landwirtschaftliche Nutzung der Flächen (Paludikultur) regeln, sodass die Anlage dann als Moor-Agri-PV-Anlage bezeichnet werden kann (s. Abschnitt 2.2). Davon hat die BNetzA in der erwähnten Festlegung auch Gebrauch gemacht.

Da die Errichtung und der Betrieb von Moor-PV gegenüber »klassischen« PV-FFA mit höheren Kosten verbunden ist, sieht das EEG eine höhere finanzielle Förderung für diese Anlagen vor. Das Solarpaket I hat diesbezüglich wesentliche Änderungen des EEG mit sich gebracht: Diese »Mehrvergütung« wird zukünftig in einem wettbewerblichen Verfahren ermittelt und kann zudem auch für Anlagen in Anspruch genommen werden, die nicht an den Ausschreibungen teilnehmen dürfen (vgl. dazu oben). Dazu im Einzelnen:

Die Ausschreibungstufen des sog. ersten Segments – zu diesen gehört auch die Moor-PV – werden zweistufig durchgeführt: In der ersten Stufe der Ausschreibung treten nur die besonderen Solaranlagen – neben Moor-PV auch Floating-PV, Parkplatz-PV und bestimmte Agri-PV – miteinander in Wettbewerb (vgl. § 37d EEG). Das Ausschreibungsvolumen für dieses sogenannte Untersegment beträgt im Jahr 2025 800 MW und wird bis zum Jahr 2029 stufenweise auf insgesamt 2.075 MW ansteigen. Der Höchstwert für das erste Segment liegt im Jahr 2025 bei 6,80 ct/kWh. Für das Untersegment wird in § 37d Abs. 2 EEG ein eigener Höchstwert festgelegt, der nach Sinn und Zweck der Regelung über dem Höchstwert für das erste Segment liegt. Denn damit soll die Möglichkeit eröffnet werden, dass Gebote für Moor-PV mit einem Gebotswert von mehr als 6,80 ct/kWh einen Zuschlag erhalten – sofern sie sich in dem Untersegment gegenüber den Mitbietenden durchsetzen können. Der Höchstwert für das Untersegment soll sich ab dem Jahr 2025 aus vorangegangenen Gebotsterminen ableiten. Da aufgrund der fehlenden europarechtlichen Genehmigung jedoch eine solche Ausschreibung für das Untersegment nicht durchgeführt wurde, ist unklar, wie dieser Höchstwert bestimmt wird. Welche Gebote in diesem Bereich bezuschlagt werden, hängt allerdings von der Wettbewerbssitu-

ation ab. D.h., es kann nicht damit gerechnet werden, dass ein Gebot mit einem Gebotswert von 9,5 ct/kWh auch einen Zuschlag erhält. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang auch, dass Parkplatz-PV vorrangig bezuschlagt wird. Der Höchstwert reduziert sich seit dem Jahr 2025 in Abhängigkeit von den Ausschreibungsergebnissen der letzten drei vorangegangenen Gebotsterminen, deren Ergebnisse zum Gebotstermin bekanntgegeben wurden, beträgt jedoch höchstens 9,5 ct/kWh (vgl. § 37b Abs. 2 EEG). Sind alle Gebote für das Untersegment bezuschlagt bzw. das Ausschreibungsvolumen erreicht oder überschritten, treten in der zweiten Stufe der Ausschreibung alle ggf. nicht bezuschlagten Gebote aus dem Untersegment und alle anderen Gebote für Anlagen des ersten Segments miteinander in Wettbewerb – allerdings ist hier der Höchstwert für das erste Segment zu beachten – im Jahr 2025 nur noch 6,80 ct/kWh (zuvor 7,37 ct/kWh im Jahr 2024). Überschreitet der Gebotswert eines Gebots für eine Moor-PV also diesen Wert und ist nicht im Untersegment bezuschlagt worden, wird es von der Ausschreibung in der zweiten Stufe ausgeschlossen.

Wie erläutert erhalten auch Moor-PV, die nicht an den Ausschreibungen teilnehmen dürfen (vgl. dazu oben), eine Zusatzvergütung. Ab dem Jahr 2025 errechnet sich die Zusatzvergütung aus der Differenz zwischen dem jeweils im vorangegangenen Kalenderjahr im Untersegment geltenden Höchstwert und dem anzulegenden Wert nach § 48 Abs. 1 EEG. Da der Höchstwert für das Untersegment im Jahr 2024 bei 9,5 ct/kWh lag könnte dieser Wert für die Berechnung herangezogen werden. Allerdings ist auch hier fraglich, ob dieser Höchstwert herangezogen werden darf. Denn aufgrund der fehlenden europarechtlichen Genehmigung wurde eine solche Ausschreibung für das Untersegment nicht durchgeführt, sodass der Höchstwert – so könnte man argumentieren – gar nicht „gegolten“ hat. Denkbar wäre eine analoge Anwendung des § 48 Abs. 1b Satz 2 EEG.

Allgemein ist anzumerken, dass zahlreiche Vorschriften, die mit dem Solarpaket I in das EEG aufgenommen wurden, u.a. auch die Vorschriften zum Untersegment, unter einem beihilferechtlichen Genehmigungsvorbehalt stehen (vgl. § 101 EEG). D.h., erst ab der beihilferechtlichen Genehmigung durch die Europäische Kommission dürfen die in § 101 EEG angeführten Vorschriften angewandt werden. Bis dahin gelten noch die entsprechenden »alten« Regelungen in der am 15.05.2024 geltenden Fassung.

4.3.2 Sonstige beihilferechtliche Auswirkungen

Nach der GAP-Direktzahlungen-Verordnung (GAPDZV) können Betriebsinhaber EU-Beihilfen für Flächen beanspruchen, die primär landwirtschaftlich genutzt werden. Dies gilt gemäß § 12 Abs. 4 Nr. 6 GAPDZV auch, wenn auf diesen Flächen Agri-PV-Anlagen errichtet werden. Dabei handelt es sich entsprechend der Definition in der Verordnung um eine auf einer landwirtschaftlichen Fläche errichteten Anlage zur Nutzung von solarer Strahlungsenergie, die eine Bearbeitung der Fläche unter Einsatz üblicher landwirtschaftlicher Methoden, Maschinen und Geräte nicht ausschließt und die landwirtschaftlich nutzbare Fläche unter Zugrundelegung der DIN SPEC 91434:2021-05 um höchstens 15 Prozent verringert. Werden die Voraussetzungen erfüllt, gelten verkürzt gesagt 85 Prozent der Fläche als förderfähig.

4.3.3 Kontroll- und Sorgfaltspflichten des Moor-PV-Betreibers

Grundsätzlich muss derjenige, der eine Gefahrenlage schafft oder fortdauern lässt, die notwendigen und zumutbaren Vorkehrungen treffen, um eine Schädigung anderer zu verhindern. Die gebotene Verkehrssicherung umfasst diejenigen Maßnahmen, die ein umsichtiger und verständiger, in vernünftigen Grenzen vorsichtiger Mensch für notwendig und ausreichend hält, um andere vor Schäden zu schützen. Wird diese Pflicht verletzt, drohen Schadensersatzansprüche nach § 823 Abs. 1 BGB.

Im Zusammenhang mit der Errichtung und dem Betrieb einer Moor-PV-Anlage ist u.a. § 10 EEG zu beachten. Danach müssen die Ausführung des Anschlusses und die übrigen für die Sicherheit des Netzes notwendigen Einrichtungen den im Einzelfall notwendigen

technischen Anforderungen des Netzbetreibers und § 49 EnWG entsprechen. § 49 EnWG bestimmt - verkürzt gesagt - dass die Einhaltung der allgemeinen technischen Regeln vermutet wird, wenn die Anforderungen der technischen Regeln des Verbands der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE) erfüllt werden.

5 Politische Handlungsempfehlungen

Damit das Potenzial der Moor-PV zur Beschleunigung der notwendigen Wiedervernäsung von Moorböden und dem Ausbau erneuerbarer Energien zeitnah genutzt werden kann, ist die Umsetzung einer Reihe von politischen Maßnahmen notwendig. Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung von Moorschutzmaßnahmen ist allgemein die konsequente Nachschärfung und Umsetzung der Nationalen Moorschutzstrategie und des Bundesklimaschutzgesetzes (§3a). Dazu zählen die Etablierung und Beauftragung von Institutionen, welche die Erreichung der Ziele und Zwischenziele sicherstellen, die Entwicklung eines Pakets politischer Instrumente inklusive eines geeigneten Modells für die Lastenteilung zwischen Bund, Ländern und Kommunen sowie die Einbindung der Moorschutzstrategie in Verfahren zur Flurbereinigung oder ähnlicher Prozesse (für weiterführende Informationen zu allgemeinen Handlungsempfehlungen s. [22, 37]).

Konkrete zu empfehlende Maßnahmen in Bezug auf Moor-PV umfassen Anpassungen der rechtlichen Rahmenbedingungen sowohl innerhalb als auch außerhalb des EEG sowie eine systematische und praxisnahe Forschungsförderung, welche auf möglichst zeitnahe Klärung der dringlichsten offenen Fragen abzielt.

Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen

Die Schaffung geeigneter rechtlicher Rahmenbedingungen bezieht sich im Wesentlichen auf das öffentliche Recht (Wasserrecht, Baurecht, Planungsrecht und Genehmigungsrecht) und das Energierecht.

Ein wichtiger erster Schritt für alle Rechtsbereiche ist die zügige Feststellung geeigneter Flächenkulissen für die Errichtung von Moor-PV-Anlagen, welche u. a. Belange des Naturschutzes berücksichtigen. Für eine Identifizierung geeigneter Flächenkulissen ist die Prüfung von bestehenden Schutzgebieten und eine zeitnahe Festlegung von Mindestanforderungen an den Degradierungszustand der Moorböden durch einen Fachkreis dringend zu empfehlen [22]. Schutzgebiete und nicht degradierte Moorböden sollten aufgrund des hohen Naturschutzpotenzials, ihrer ökologischen Funktionen und fehlender eruieter Praxiserfahrungen vorsorglich aus der Kulisse ausgeschlossen werden [ebd.]. Um eine zielführende und nachhaltige Umsetzung von Moor-PV-Anlagen zu ermöglichen, sollten ebenso Mindestanforderungen in Bezug auf hydrologische Gutachten und den Bodenschutz festgelegt werden. Bodenschutz kann bei Errichtung, Betrieb und Rückbau über eine bodenkundliche Baubegleitung sichergestellt werden [32]. In hydrologischen Gutachten sollten neben den im EEG 2023 genannten Mindestwasserständen, welche einen absoluten Wert als Minimum angeben, zusätzlich mit Zielwasserständen gearbeitet werden, welche zur bestmöglichen Reduktion der Treibhausgasemissionen im Sommerhalbjahr (April – September) im Mittel bei 10 cm unter Flur oder höher liegen sollten [23].

Mit dem Solarpaket I wurden sog. naturschutzfachliche Mindestkriterien in das EEG aufgenommen. Diese sollen die Vereinbarkeit von geförderten Freiflächenanlagen mit Natur und Landschaft weiter verbessern. In §§ 37 Abs. 1a; 48 Abs. 6 EEG ist ein Katalog von fünf Mindestkriterien aufgeführt, von denen die Betreibenden mindestens drei erfüllen müssen. Diese Anforderungen sind allerdings keine Voraussetzung für die finanzielle Förderung. Vielmehr führt ein Verstoß gegen diese Vorgaben zu Strafzahlungen nach § 52 EEG. Da ein zunehmender Anteil des Stroms aus PV-Anlagen zukünftig ohne finanzielle Förderung nach dem EEG vermarktet werden wird, sollten die Anforderungen nicht nur an Anlagen gestellt werden, die eine finanzielle Förderung nach dem EEG 2023 in Anspruch nehmen, sondern auch auf Freiflächenanlagen erstreckt werden, die keine finanzielle Förderung beanspruchen. Zudem sollten diese Mindestkriterien im Sinne der Nationalen Moorschutzstrategie dahingehend erweitert werden, dass die Errichtung von PV-Anlagen auf entwässerten Moorböden nicht zulässig ist, wenn die Flächen mit der Errichtung der PV-Anlage nicht dauerhaft wiedervernässt werden. Dies könnte sehr leicht umgesetzt werden, indem die Vorgaben aus §§ 37 Abs. 1a; 48 Abs. 6 EEG in § 9 EEG

überführt werden und um die Regelung zu den entwässerten Moorböden erweitert wird. Zudem müsste die Regelung zur Sanktionierung in § 52 EEG entsprechend angepasst und in § 100 EEG eine Übergangsregelung vorgesehen werden. Auf diese Weise könnte eine bundesweit einheitliche rechtliche Regelung geschaffen werden, die bislang fehlt.⁴

Die Kommunen nehmen bei der praktischen Abwicklung der Genehmigungsverfahren eine zentrale Rolle ein. Daher sollte die Verfügbarkeit ausreichender Informationen sichergestellt und kommunale Kapazitäten zur Bearbeitung der Verfahren bei Bedarf ausgebaut werden.

Eine zentrale, operative Herausforderung für die Moor-Wiedervernässung ist das Prinzip der Freiwilligkeit, wodurch besitzhabende Personen einer kleinen Teilfläche die Vernässung ganzer hydrologischer Einheiten blockieren können. Für die Planung von Vernässungsmaßnahmen ist daher das Zusammenspiel von Wasserwirtschaft, Wasser- und Bodenverbänden, Fachverwaltungen, Naturschutz und Landnutzenden notwendig. Dazu gehören sowohl ein funktionierender Dialog zwischen den Akteuren als auch angemessene Formate der Mediation in Streitfällen. Daneben bestehen insbesondere auf regionaler Ebene bei der Umsetzung von Moorvernässungen häufig Unklarheiten bei dem Umgang mit Zielkonflikten.

Bei der Konzeptionierung und Implementierung der Anreizsysteme sollten als Grundprinzip Pioniere bessergestellt werden als Nachzügler. Dies umfasst auch eine gezielte Steuerung der Verteilung von Einkommensmöglichkeiten aus der PV-Stromproduktion an Eigentümerinnen und Bewirtschafter der Fläche, die damit für ihre Opportunitätskosten der Wiedervernässung kompensiert werden. Um den Spagat zwischen der Erreichung der politischen Ziele (torferhaltende Wasserstände mit z. B. mindestens 10 cm Pegel unter Flur) und einer angemessenen Investitionssicherheit für Moor-PV-Anlagen zu schaffen, sollten individuelle Ziele der Wiedervernässung standortabhängig gesetzt werden und bei Prüfungen und möglichen Sanktionen zwischen fremd- und selbstverschuldeter Verfehlung der Ziele unterschieden werden. Maßgeblich für Genehmigung und Förderung von Moor-PV sollte dabei die Umsetzung von Wiedervernässungsmaßnahmen inkl. Monitoring und ggf. Nachbesserung sein, welche auf eine vollständige Wiedervernässung der Flächen abzielen.

Erprobungs- und Forschungsbedarf

Die Auswirkungen der Errichtung von Solaranlagen auf dafür wiederzuvernässende Moorböden insbesondere im Hinblick auf Torferhalt, Klimabilanz, Wasserhaushalt, Biodiversität, Technik, gesellschaftliche Akzeptanz sowie Wirtschaftlichkeit und Geschäftsmodelle sind noch nicht erforscht. Zu den positiven Effekten von Wiedervernässung auf Torferhalt, Klimabilanz, Wasserhaushalt, Biodiversität etc. liegen allerdings umfangreiche Forschungsergebnisse vor.

Offene Fragen in Bezug auf Torferhalt und Klimabilanz bestehen im Bereich der Installation von Moor-PV-Anlagen, der Lichtverfügbarkeit unter den Anlagen und dem Wasserhaushalt. Bei der Installation von Moor-PV-Anlagen sollten allen voran Bestimmungsfaktoren möglicher resultierender Emissionen durch Bauarbeiten, Bodenaushub und Beeinträchtigung der Bodenfunktionen näher untersucht werden. Evidenzbasierte Handlungsempfehlungen bezüglich bodenschonender Installations- und Wartungsarbeiten gilt es weiterzuentwickeln. Zentrale Forschungsfragen zum Anlagendesign und dessen Auswirkungen auf die Lichtverfügbarkeit und damit dem Wachstum der moortypischen Vegetation sind für Torferhalt und Klimabilanz ebenso wichtig wie Auswirkungen der Anlagen

⁴ Zu weiteren Änderungsvorschlägen siehe Martinez, Rechtliche Ansätze zur Beschleunigung des Moorbodenschutzes in Deutschland, Vortrag, DBU-Tagung 1. Juni 2023 Osnabrück, S. 15 abrufbar unter: <https://www.dbu.de/app/uploads/Juristische-Perspektive-Rechtliche-Ansaetze-zur-Beschleunigung-des-Moorbodenschutzes-in-Deutschland-Prof.-Dr.-Jose-Martinez-Universitaet-Goettingen.pdf>.

auf den Landschaftswasserhaushalt z. B. durch eine geringere Verdunstung, welche die Wiedervernässung begünstigen könnte, oder der Möglichkeit, Pumpen mit dem verfügbaren Strom zu betreiben.

Hinsichtlich Auswirkungen von Moor-PV auf die Biodiversität sollten sowohl Chancen als auch Risiken erforscht werden, welche sich durch die Veränderungen der Lebensräume insbesondere von Insekten, Amphibien und Vögeln ergeben.

Technische Forschungsbedarfe bestehen hinsichtlich Auswirkungen der Wiedervernässung auf die technischen Komponenten unter Berücksichtigung der zum Teil sauren oder alkalischen Bedingungen, Kontakt der Materialien mit dauerhafter Feuchtigkeit, mögliche Bodenbewegungen und einer nachhaltigen Fundamentierung auch in Bezug auf einen vollständigen Rückbau der Anlagen.

Um speziell auch das Potenzial von Kombinationen mit PV-Anwendungen und Paludikulturen zu heben, sollten die Verschattungstoleranzen von Paludikulturen und Bewirtschaftungsmöglichkeiten zwischen oder unter den PV-Modulen demonstriert und anwendungsnah untersucht werden. Entscheidend erscheint in diesem Zusammenhang der Austausch und die Vernetzung mit laufenden Forschungsarbeiten v. a. im Bereich der Agri-PV und dem Anbau von Paludikulturen.

Für alle genannten Forschungsbereiche sollten unbedingt auch Aspekte der gesellschaftlichen Akzeptanz sowie die in Frage kommenden Geschäftsmodelle und deren Wirtschaftlichkeit analysiert und in der Praxis ausgewertet werden. Denn nur mit einer breiten gesellschaftlichen Unterstützung können die notwendigen Maßnahmen auch effizient umgesetzt werden. Und nur mit Aussicht auf Wirtschaftlichkeit kann eine Bereitschaft entstehen, die zusätzlich bei Moor-PV erforderlichen Schritte auch zu gehen. Die Forschungsergebnisse schaffen Grundlagen, um Moor-PV-Projekte auf Moorböden zu bewerten, mögliche negative Auswirkungen der Anlagen zu identifizieren, diese zu vermeiden bzw. bei bestehenden Anlagen anzupassen. Der dringende Handlungsbedarf hinsichtlich der Erreichung unserer Klimaschutzziele legt nahe, die vorgeschlagenen Maßnahmen möglichst zeitnah auszuarbeiten und umzusetzen, um das Potenzial eines doppelten Klimaschutzes durch PV-Systeme auf wiedervernässten Moorböden in absehbarer Zeit zu heben.

6 Literatur

- [1] *Umweltbundesamt*: 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“ Ausgabe 2022.
- [2] *Nordt, A.; Wichmann, S.; Risse, J. et al.*: Potenziale und Hemmnisse für Paludikultur – Hintergrundpapier zur Studie „Anreize für Paludikultur zur Umsetzung der Klimaschutzziele 2030 und 2050“, Berlin Ausgabe 2022.
- [3] *Wittnebel, M.; Frank, S.; Tiemeyer, B.*: Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland – Johann Heinrich von Thünen-Institut Working Paper 212 (2023), S. 1-78.
- [4] *Tegetmeyer, C.; Barthelmes, K.-D.; Busse, S. et al.*: Aggregierte Karte der organischen Böden Deutschlands. Greifswald Moor Centrum, Greifswald Ausgabe Januar 2020.
- [5] *Uellendahl, K.; Hirschelmann, S.; Abel, S. et al.*: Treibhausgas-Emissionen der moorreichen Bundesländer und die Rolle der organischen Böden – Informationspapier Ausgabe 2023.
- [6] *Hirschelmann, S.; Tanneberger, F.; Wichmann, S. et al.*: Moore in Mecklenburg-Vorpommern im Kontext nationaler und internationaler Klimaschutzziele - Zustand und Entwicklungspotenzial – Faktensammlung, Greifswald, 2. geringfügig geänderte Fassung Ausgabe Juni 2020.
- [7] *Statistisches Bundesamt*: Pressemitteilung Nr. N 012 vom 1. März 2023 – 87 % der importierten Photovoltaikanlagen kamen im Jahr 2022 aus China. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2023.
- [8] *Dr. Harry Wirth, Fraunhofer ISE*: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fraunhofer ISE Ausgabe April 2025.
- [9] *Burger, B.*: Energy-Charts – Die Seite für interaktive Grafiken zu Stromproduktion und Börsenstrompreisen. Fraunhofer ISE, 2023, <https://www.energy-charts.info/index.html?l=de&c=DE> [Zugriff am: 02.01.2023].
- [10] *Die Bundesregierung*: Eckpunktepapier BMWK, BMUV und BMEL – Ausbau der Photovoltaik auf Freiflächen im Einklang mit landwirtschaftlicher Nutzung und Naturschutz, Berlin Ausgabe Februar 2022.
- [11] *Schwill, F.; Bentsen, N.S.; Pump, C. et al.*: Greenhouse gas balance of solar parks built on peatlands in Germany.
- [12] *Strohmayr, B.*: Gute Planung von PV-Freilandanlagen – Wie sich Belange der Energiewende, des Umwelt- und Naturschutzes und der Landwirtschaft vereinen lassen, Berlin Ausgabe September 2022.
- [13] *Better Energy*: Residents of Kolding and Vejle municipalities lead the way for the next generation of solar parks, 2023, <https://www.betterenergy.com/news/residents-of-kolding-and-vejle-municipalities-lead-the-way-for-the-next-generation-of-solar-parks/> [Zugriff am: 09.03.2025].
- [14] *Telenor A/S*: Telia og Telenor skal afdage strøm fra kommende Better Energy solcellepark i Kolding og Vejle Kommune. Telenors, 2023.
- [15] *AGENCY OF NATURAL RESOURCES*: Wetlands | Department of Environmental Conservation, 2023, <https://dec.vermont.gov/watershed/wetlands> [Zugriff am: 02.01.2023].
- [16] *Tiemeyer, B.; Freibauer, A.; Borraz, E.A. et al.*: A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. In: *Ecological Indicators* 109 (2020), S. 105838. <https://doi.org/10.1016/j.ecoind.2019.105838>.
- [17] *Succow, M.; Joosten, H.*: Landschaftsökologische Moorkunde. Schweizerbart, Stuttgart, 2001.
- [18] *Närmann, F.; Birr, F.; Kaiser, M. et al. (Hrsg.)*: Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden, BfN-Skripten Heft 616, Bundeamt für Naturschutz, Bonn, 2021.

- [19] Barthelmes, A.; Abel, S.; Barthelmes, K.-D. et al.: Evaluierung von Moor-Wiedervernässung in Deutschland. Naturschutz und Biologische Vielfalt Ausgabe 2021.
- [20] Nordt, A.; Abel, S.; Hirschelmann, S. et al.: Leitfaden für die Umsetzung von Paludikultur Ausgabe 2022.
- [21] Greifswald Moor Centrum: Informationspapier des Greifswald Moor Centrum zu Photovoltaik-Anlagen auf Moorböden. Greifswald Moor Centrum, Greifswald Ausgabe März 2022.
- [22] Greifswald Moor Centrum: Stellungnahme des Greifswald Moor Centrum zum Festlegungsentwurf der Bundesnetzagentur Ausgabe 2023.
- [23] Schröder, C.; Hohlbein, M.; Wichmann, S. et al.: Umsetzung von Paludikultur auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Mecklenburg-Vorpommern – Fachstrategie zur Umsetzung der nutzungsbezogenen Vorschläge des Moorschutzeskonzeptes. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern Ausgabe 2017.
- [24] Hartmann, K.-J.; Bauriegel, A.; Dehner, U. et al. (Hrsg.): Bodenkundliche Kartieranleitung KA6 in 2 Bänden – Band 1: Grundlagen, Kennwerte und Methoden. Band 2: Geländeaufnahme und Systematik. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Nägele und Obermiller; AG Boden, BGR Hannover, Monographien von BGR und LBEG, Schweizerbart'sche, E; BGR, Stuttgart, 2024.
- [25] Luthardt, V.; Schulz, C.; Meier-Uhlher, R.: Steckbriefe Moorsubstrate, 2. Auflage Ausgabe 2015.
- [26] Tanneberger, F.; Birr, F.; Couwenberg, J. et al.: Saving soil carbon, greenhouse gas emissions, biodiversity and the economy: paludiculture as sustainable land use option in German fen peatlands. In: Regional Environmental Change 22 (2022), Heft 2. <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01900-8>.
- [27] Lechtape, C.; Hirschelmann, S.; Nordt, A. et al.: Stellungnahme des Greifswald Moor Centrum zum Entwurf Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz. Greifswalder Moor Centrum, 2022.
- [28] Couwenberg, J.; Thiele, A.; Tanneberger, F. et al.: Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as proxy. In: Hydrobiologia 2011 (2011), Heft 674, S. 67-89.
- [29] Nordt, A.; Dahms, T.: Paludi-tiny house - a demonstrator for climate friendly building materials Ausgabe 2021.
- [30] Fraunhofer ISE: Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende – Ein Leitfaden für Deutschland Ausgabe April 2022.
- [31] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Umweltfachliche Grundlagen für die Errichtung von Photovoltaikanlagen auf Standorten im Donaumoos Ausgabe Oktober 2022.
- [32] Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt: Freiflächen-Photovoltaik – ja, aber nicht ohne Bodenschutz! Ausgabe 2023.
- [33] Wichtmann, W.; Schröder, C.; Joosten, H. (Hrsg.): Paludikultur - Bewirtschaftung nasser Moore – Klimaschutz - Biodiversität - regionale Wertschöpfung. Schweizerbart'sche, 2016.
- [34] Keinath, T.: Photovoltaik-Systeme auf Moor-Standorten, Freiburg Ausgabe 2022.
- [35] Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende: Photovoltaik auf wiedervernässten Moorböden – Eine neue Flächenkulisse im EEG 2023, 2022, <https://www.naturschutz-energiewende.de/fachwissen/veroeffentlichungen/photovoltaik-auf-wiedervernaessten-moorboeden-eine-neue-flaechenkulisse-im-ee-2023/> [Zugriff am: 02.01.2023].
- [36] Bundesnetzagentur: Festlegung zu den besonderen Solaranlagen nach § 85c EEG Ausgabe 2023.
- [37] Abel, S.; Peters, J.; Metzner, J. et al.: Offener Brief an die Minister*innen – Moor- und Klimaschutz in der Landwirtschaft: Bereitschaft ist da, aber geeignete Angebote fehlen. In: : moorwissen.de, 2022, S. 1-3.

Kontakt

Agnes Katharina Wilke
agnes.katharina.wilke@ise.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstraße 2
79110 Freiburg
www.ise.fraunhofer.de

© Fraunhofer ISE 2026
Titelbild: © Wattmanufactur

