

## Projektabschlussbericht

„Aktivierung der Hochmoorregeneration durch Ansiedlung von  
Bulttorfmoosen“

AZ 34436/01+02 - 33/0



## **Projektabschlussbericht**

### **Förderbereich 6 – Naturschutz / Förderthema 12 – Naturschutz und nachhaltige Naturnutzung in Nutzlandschaften und Schutzgebieten**

#### **Gesamtkosten**

280.302,00 €

#### **Fördermittelhöhe**

240.284,00 €

#### **Projektlaufzeit**

46 Monate

#### **Bewilligungsempfänger**

##### *Antragsteller*

Stiftung Lebensraum Moor, Tannenhof 16, 49377 Vechta

##### *Projektpartner*

Gramoflor GmbH & Co. KG, Diepholzer Straße 173, 49377 Vechta

Institut für Landschaftsökologie (ILök) Arbeitsgruppen Ökosystemforschung und Biodiversität (Prof. Dr. Hölzel) und Ökohydrologie und Stoffkreisläufe (Prof. Dr. Knorr), Westfälische-Wilhelms-Universität Münster, Heisenbergstr. 2, 48149 Münster

#### **Information und Kontakt**

Stiftung Lebensraum Moor - [www.stiftung-lebensraum-moor.de](http://www.stiftung-lebensraum-moor.de)

Gabriela Gramann ([info@stiftung-lebensraum-moor.de](mailto:info@stiftung-lebensraum-moor.de))

Institut für Landschaftsökologie - [www.uni-muenster.de/Landschaftsoekologie/](http://www.uni-muenster.de/Landschaftsoekologie/)

Prof. Dr. Dr. hc Norbert Hölzel ([nhoelzel@uni-muenster.de](mailto:nhoelzel@uni-muenster.de)),

Prof. Dr. Klaus-Holger Knorr ([kh.knorr@uni-muenster.de](mailto:kh.knorr@uni-muenster.de)),

Prof. Dr. Till Kleinebecker ([till.kleinebecker@umwelt.uni-giessen.de](mailto:till.kleinebecker@umwelt.uni-giessen.de))

#### **Seitenzahl**

30

## **Inhaltsverzeichnis**

### **1. Einleitung**

#### **1.1 Motivation**

### **2. Methodik**

#### **2.1 Modulbeschreibungen**

2.1.1 Modul i Freilandvermehrung unter Praxisbedingungen

2.1.2 Modul ii Etablierung von Torfmoosen unter Praxisbedingungen

2.1.3 Modul iii Untersuchung der Effekte von etablierten Bultorfmoosen auf Treibhausgasemissionen

2.1.4 Modul iv Indikatoren zur Beurteilung der Potentiale und des Erfolgs einer Torfmoosetablierung in der Renaturierungspraxis

#### **2.2 Projektablauf**

2.2.1 Projektphase 1 (2019)

2.2.2 Projektphase 2 (2020-21)

2.2.3 Projektphase 3 (2022)

### **3. Projektergebnisse**

3.1 Torfmoosvermehrung / Erhaltungszucht

3.2 Torfmoosetablierung

3.2.1 Etablierungserfolg

3.2.2 Indikatoren für den Etablierungserfolg

3.3 Potenzielle Reduktion von Treibhausgasemissionen durch Etablierung von Bultorfmoosen

### **4. Öffentlichkeitsarbeit**

4.1 Öffentlichkeitsarbeit

4.2 Veröffentlichungen / Handlungsempfehlungen

### **5. Fazit**

#### **5.1 Ausblick**

### **6. Literatur**

### **7. Anhang**

## **Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1. Schematischer Querschnitt der aktiv gestalteten Torfbank-Anlage auf einer im Ober-Unterfeld-Verfahren wiedervernässten Abtorfungsfläche.

## **Tabellenverzeichnis**

Tab. 1. Übersicht der Versuchsanlage mit 78 verschiedenen Versuchsvarianten, verteilt auf 11 Versuchsträgern in wiedervernässten Abtorfungsflächen des Großen Moores bei Barnstorf.

Tab. 2. Zusammenfassung zur Charakterisierung der Standortbedingungen auf den eingerichteten Versuchsträgern.

Tab. 3. Geplanter und angepasster Projektablauf.

Tab. 4. Übersicht zum Stand der Maßnahmenumsetzung zur Entwicklung eines Monitoringkonzeptes.

Tab. 5. Darstellung der Erfolgsquoten und des mittleren relativen Flächenzuwachses ausgebrachter Bultorfmoosvarianten auf eingerichteten Versuchsträgern (VT) unter verschiedenen Bedingungen.

Tab. 6. Klassifizierung der mittleren THG-Emissionen (A: Methan; B: Kohlendioxid) aus Plots beimpft mit Bultorfmoosen im Vergleich zu unbeimpften Kontrollen und dem THG-Reduktionspotential.

## **Anhang**

Anhang 1.1. Ergebnisse des Monitorings zum Etablierungserfolg getesteter Bultorfmoosvarianten auf beimpften Versuchsträgern unter Praxisbedingungen (frühe Stadien mit Torfbänken).

Anhang 1.2. Ergebnisse des Monitorings zum Etablierungserfolg getesteter Bultorfmoosvarianten auf beimpften Versuchsträgern unter naturnahen Bedingungen (Übergangsstadien mit Ammenpflanzen, späte Stadien mit Torfmoos- und Schwingrasen).

Anhang 1.3. Ergebnisse des Monitorings zum Etablierungserfolg getesteter Bultorfmoosvarianten auf beimpften Versuchsträgern unter simulierten Referenzbedingungen (Torfmoosvermehrungsflächen im Freiland und auf Gewächshaustischen).

## **1. Einleitung**

Hochmoore sind besondere Ökosysteme, wichtiger Lebensraum für eine einzigartige Fauna und Flora, und von zunehmender Bedeutung für den Klimaschutz, da sie große Mengen an Kohlenstoff speichern. In Deutschland sind nahezu alle Hochmoore im Laufe der letzten 200 Jahre stark degeneriert, vor allem durch landwirtschaftliche Nutzung sowie durch Torfabbau. Eine Wiedervernässung oder gar Regeneration durch großflächige Wiederansiedlung der hochmoortypischen Vegetation ist hochkomplex, da diese Prozesse besonderen hydrologischen Bedingungen unterliegen und viel Zeit erfordern.

Durch die aktive Wiederansiedlung von Bulttorfmoosen wird ein entscheidender Beitrag zur Regeneration von Hochmooren geleistet, da die Bildung und Erhaltung von Moorböden ohne torfbildende Pflanzen nicht möglich sind. Bulttorfmoose gelten als "Ecosystem Engineers" und Schlüsselfaktor, um das Hochmoorwachstum wieder in Gang zu setzen (Hölzel et al. 2019). Für den Moor- und Klimaschutz bilden sie eine unverzichtbare Säule, wobei sowohl praxistaugliche und nachhaltige Verfahren zur Wiederansiedlung als auch allgemein anerkannte Standards zur Überwachung des Maßnahmen Erfolges erforderlich sind (Raabe et al. 2018; BMU 2023). Die Regeneration von Hochmooren kann so gezielt gefördert und ihre bedeutsamen Ökosystemleistungen für Natur und Gesellschaft dauerhaft wiederhergestellt werden.

Das Projekt AktiMoos hatte zum Ziel, Verfahren zur Etablierung von Bulttorfmoosen in nach Abtorfung wiedervernässten Hochmooren mithilfe kontrollierter Feldexperimente zu testen und damit eine fundierte Datengrundlage für die Frage zu liefern, ob und unter welchen Bedingungen die Regeneration dieser Ökosysteme aktiviert werden kann. Die Maßnahmen im Projekt umfassten daher nicht nur die Demonstration von erfolgreichen und möglichst praxisnahen Ansiedlungstechniken, sondern insbesondere auch die Durchführung von umfangreichen Datenerhebungen zur Überwachung der Aktivierbarkeit einer Hochmoorregeneration auf speziell dazu eingerichteten experimentellen Flächen. Dabei sollten insbesondere die biogeochemische Charakterisierung der Wiedervernässungsflächen und die Messung von Treibhausgas (THG)-Emissionen wichtige Erkenntnisse für die Wirksamkeit der Maßnahmen liefern.

Dieser Abschlussbericht stellt das Projekt und die erzielten Ergebnisse vor und bietet eine Zusammenfassung der Methoden, Erkenntnisse und Empfehlungen, die aus dem Projekt gewonnen wurden. Es wird gezeigt, wie die Etablierung von Bulttorfmoosen als Maßnahme zur Aktivierung der Hochmoorregeneration erfolgreich durchgeführt werden kann und welche Indikatoren sich zur Überprüfung des Etablierungserfolgs eignen. Gleichzeitig werden auch Grenzen aufgezeigt, die teilweise aus der begrenzten Zeitskala eines solchen Projekts heraus begründet sind.

### **1.1 Motivation**

Mit dem Vorhaben AktiMoos sollte ein wichtiger Beitrag zur Erhaltung und Regeneration der Ökosystemleistungen von Hochmooren geleistet und die dabei gewonnenen Erkenntnisse für Wissenschaft und Praxis zugänglich gemacht werden (Tiemeyer et al. 2017; BMU 2022). Hauptziel des Projektes ist es, die Aktivierbarkeit der Hochmoorregeneration durch Ansiedlung von Bulttorfmoosen zu untersuchen. Dabei sollten Möglichkeiten zur Umsetzung beispielhaft aufgezeigt und die erfolgversprechendsten Maßnahmen zur standortspezifischen Etablierung identifiziert werden, um die Wirksamkeit dieser Maßnahmen für die Renaturierungspraxis zu demonstrieren. Hieraus sollten auf langfristigen

Erfolg ausgerichtete Handlungsempfehlungen für die aktive Einbringung von Bulttorfmoosen zu Renaturierungszwecken abgeleitet werden.

Als wichtige Grundlage für standortspezifische Untersuchungen zur erfolgreichen Etablierung von Bulttorfmoosen unter verschiedenen, der Renaturierungspraxis entsprechenden Ausgangsbedingungen wurde ein Monitoring durchgeführt, um die entscheidenden Erfolgsfaktoren für eine Aktivierung der Hochmoorregeneration mit wissenschaftlichen Methoden zu identifizieren. Die hydrologischen Bedingungen sind für eine erfolgreiche Wiederansiedlung von Bulttorfmoosen kritisch, allerdings sind diese insbesondere auf jungen Wiedervernässungsflächen oft schwierig optimal einzustellen (Blankenburg 2004). Da in Zukunft durch den Klimawandel mit einer Verschärfung der Problematik der Wasserverfügbarkeit zu rechnen ist, erscheint es umso wichtiger, frühzeitig und mit angemessenen Maßnahmen gegenzusteuern (MU 2016). Die in AktiMoos gewonnenen Daten sollten dann zur Ableitung von Handlungsempfehlungen verwendet werden. Dies ist insbesondere deshalb von Bedeutung, da unter Schutz stehende Bulttorfmoose in der Regel nur in sehr kleinen Mengen aus dem Freiland entnommen werden dürfen (Zoch et al. 2022). Eine gezielte Vermehrung ist daher unumgänglich und auch möglich, wie im Rahmen eines Vorgängerprojektes gezeigt wurde (Hölzel et al. 2019; Raabe et al. 2019). In der Renaturierungspraxis sollte das Material jedoch stets sehr gezielt und nur unter geeigneten Bedingungen eingebracht werden.

AktiMoos hatte daher zum Ziel die für die Etablierung von Bulttorfmoosen notwendigen Standortbedingungen zu identifizieren, um bei Ansiedlungsmaßnahmen eine möglichst hohe Erfolgsquote zu erreichen und standortspezifische Lösungsansätze zu demonstrieren. Darüber hinaus sollte durch Flussmessungen von klimarelevanten Spurengasen auch die Klimawirkung einer aktiven Etablierung von Bulttorfmoosen untersucht werden. Damit sollte das Projekt einen wichtigen Beitrag zur Lösung aktueller und zukünftiger Probleme bei der Renaturierung von Hochmoorökosystemen leisten.

## **2. Methodik / Projektablauf**

Das Projekt untersuchte unterschiedliche Maßnahmen der aktiven Einbringung von Bulttorfmoosen und deren Kombination im Freiland. Die Wirksamkeit der Maßnahmen sollte über einen Zeitraum von mindestens zwei Jahren dokumentiert werden, um belastbare Aussagen zur standortspezifischen Eignung von Maßnahmen und artspezifischen Anforderungen an die Beimpfungsfläche treffen zu können sowie geeignete Indikatoren zur Kontrolle und Prognose des Etablierungserfolgs abzuleiten.

Die Feldexperimente wurden modellhaft auf im sogenannten "Ober-Unterfeld-Verfahren" abgetorften Wiedervernässungsflächen angelegt, da diese Flächen bereits in frühen Renaturierungsstadien gute und aktiv kontrollierbare hydrologische Bedingungen bieten. Als naturnahe Referenzflächen wurden weitere potenzielle Standorte für die Einbringung von Bulttorfmoosen ausgewählt. Das im Projekt benötigte Spendermaterial wurde aus dem Projekt "Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur Etablierung von Bulttorfmoosen in wiedervernässten Hochmooren nach Abtorfung" (DBU-Aktenzeichen 31995-33/0) zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus stellte der Projektpartner Gramoflor Personal und logistische Unterstützung für die Anlage und Durchführung der Feldexperimente bereit.

## 2.1 Modulbeschreibungen

### 2.1.1 Modul i Freilandvermehrung unter Praxisbedingungen

Mithilfe dieses Moduls sollte ein grundlegender Beitrag zur Überwindung des Spendermaterialmangels geleistet werden, um Renaturierungsmaßnahmen im größeren Maßstab umsetzen zu können. Die im Vorgängerprojekt eingerichteten Vermehrungsanlagen wurden in AktiMoos insbesondere als Referenzsysteme für optimale Etablierungsbedingungen genutzt.

Im Fokus standen der Erhalt einer hochmoortypischen und für spätere Stadien repräsentativen Artengemeinschaft, die Effizienz der Bewässerung und die gezielte Anzucht standortangepasster Arten/Artsmischungen. Die Überwachung und Optimierung der bestehenden Strukturen zur *Sphagnum*-Vermehrung im Freiland und auf Gewächshaustischen dienten den folgenden Zielen:

- Verwendung als Referenz für Optimalbedingungen, unter denen Bulttorfmoose besonders hohe Zuwachsraten zeigen
- Sicherstellung der Verfügbarkeit von Spendermaterial zur Ausbringung im Freiland
- Optimierung der Vermehrungsfläche durch gezieltes Management und Versuche

### 2.1.2 Modul ii Etablierung von Torfmoosen unter Praxisbedingungen

Das Hauptziel dieses Moduls war es, standortangepasste und praxistaugliche Ausbringungstechniken zur erfolgreichen Etablierung zu erproben. Hierfür sollten typische Standortbedingungen verschieden alter, repräsentativer Wiedervernässungsflächen und deren Entwicklungsperspektiven berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck wurde eine an die spezifischen Bedingungen im Untersuchungsgebiet angepasste Versuchsanlage mit Torfbänken entwickelt für den Vergleich mit naturnahen sowie künstlichen Referenzbedingungen. Ziel der Versuchsanlage war es, die Auswirkungen verschiedener Ausbringungs- (Torfmoos-Arten, Soden-Dimensionen) und Versuchsträger-Varianten (künstlich angelegte Mikroreliefstrukturen in frühen Stadien, Ammenpflanzen in Überstangsstadien, Torfmoos- und Schwinggrasen in späten Stadien) auf die Entwicklung von Torfmoos-Soden zu untersuchen und geeignete Methoden und Indikatoren für den Etablierungserfolg abzuleiten.

Die Ausbringungsvarianten wurden in vier Testgruppen (TG1-4) zusammengefasst, da sie unterschiedliche Ausbringungsmethoden (Moosarten, Sodendimension, zusätzliche THG-Kragen) umfassten und aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Spendermaterial und Möglichkeiten, die Versuchsfelder gleichermaßen einzurichten, ein unterschiedliches Spektrum an Standortbedingungen darstellen:

- TG1: Ausbringung einer Moosmischungs- und Einzelart-Variante (*S. papillosum*) in alle ausgewählten Plots unter Praxisbedingungen (frühe Stadien), naturnahen Bedingungen (Übergangs- und späte Stadien) sowie Referenzbedingungen (Freilandvermehrung bzw. Tischvermehrung).

- TG2: Zusätzliche Ausbringung von zwei weiteren Einzelart-Varianten (*S. medium*, *S. rubellum*) in alle Plots mit Ausnahme von Übergangsbedingungen (Ammenpflanzen) aufgrund von beschränkter Zugänglichkeit.
- TG3: Ausbringung einer Kombination der drei Einzelarten in kleiner Sodendimension (3x150 statt 1x 300 cm<sup>2</sup>).
- TG4: Zusätzliche Ausbringung einer zweiten Moosmischungs-Sode mit THG-Kragen ([K]) (THG = Treibhausgas) und der zusätzlichen Einrichtung einer unbeimpften Kontrolle ebenfalls mit THG-Kragen ([K]), auf allen Versuchsträgern auf denen diese Maßnahme umgesetzt werden konnte (Torf- bzw. Substratmächtigkeit > 30 cm).

Tab. 1. Übersicht der Versuchsanlage mit 78 verschiedenen Versuchsvarianten (in jeweils dreifacher Wiederholung) verteilt auf 11 Versuchsträger (VT1–11) in wiedervernässten Abtorfungsflächefflächen des Großen Moores bei Barnstorf (Praxisbedingungen = frühe Stadien; naturnahe Bedingungen = Übergangs- und späte Stadien) sowie simulierten Referenzbedingungen [FV = Freilandvermehrung, TV = Tischvermehrung] mit Zuordnung der verwendeten Bultorfmoos-Ausbringungsvarianten unterschiedlicher Artenzusammensetzung (X = Moosmischung; P/p = *S. papillosum*; M/m = *S. medium*; R/r = *S. rubellum*) und Sodendimension (Großbuchstaben = große Sodendimension [= 300 cm<sup>2</sup>]; Kleinbuchstaben = kleine Sd. [= 150 cm<sup>2</sup>]). Ergänzungen: K = unbeimpfte Kontrolle; [K] = K mit THG-Kragen [X] = Moosmischung mit THG-Kragen. Insgesamt umfasste die Versuchsanlage 234 Untersuchungseinheiten, bestehend aus 201 Torfmoos-Soden und 33 Kontrollen. Zum Zwecke des Monitorings und der Vergleichbarkeit wurden diese in 4 Testgruppen (TG1-4) unterteilt.

	Praxisbedingungen			Naturnahe Bedingungen				Referenzbedingungen			
	Früh			Übergang		Spät	FV	TV			
VT	VT1	VT2	VT3	VT4	VT5	VT6	VT7	VT8	VT9	VT10	VT11
X	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
P	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M	3	3	3	.	.	.	3	3	3	3	3
R	3	3	3	.	.	.	3	3	3	3	3
p	3	3	3	.	.	.	3	3	.	3	3
m	3	3	3	.	.	.	3	3	.	3	3
r	3	3	3	.	.	.	3	3	.	3	3
[X]	3	3	3	3	3	.	3	3	3		
[K]	3	3	3	3	3	(3)	3	3	3	(3)	(3)

TG 1	TG 2	TG 3	TG 4
------	------	------	------

Insgesamt wurden 11 Versuchsträger (VT1-11) eingerichtet, auf denen 201 Torfmoos-Soden und 33 Kontrollen platziert wurden. Die Torfmoos-Soden wurden in vier verschiedenen Artenzusammensetzungen und zwei verschiedenen Sodendimensionen ausgebracht (Tabelle 1).

Die zu erprobenden Techniken sollten für repräsentative Stadien der Renaturierung und typische Standortbedingungen angepasst werden. Die Maßnahmen im Projekt zielten daher darauf ab, standortspezifische Feldversuche einzurichten, die diese Bedingungen beispielhaft abbilden: auf aktiv gestalteten Torfbänken als frühe Stadien der Renaturierung

(VT1-3), auf bereits etablierten Ammenpflanzen (Scheiden-Wollgras, Flatter-Binse) als Übergangsstadien (VT4-6), und auf Torfmoos- und Schwingrasen (VT7-8) als spätere Stadien der Standortentwicklung. Dazu sollte ein entsprechendes Monitoring zur Ableitung von Handlungsempfehlungen durchgeführt werden.

Konkret wurden folgende Teilziele verfolgt:

- A) Erprobung einer möglichst frühen Besiedlung unter Praxisbedingungen durch Optimierung der standörtlichen Bedingungen in zeitweise hoch überstauten Unterfeldern (Simulation durch Anlage von Torfbänken)
- B) Test der Eignung von natürlichen Ansiedlungspunkten (Ammenpflanzen, Torfmoosrasen, Schwingrasen) in Übergangs- und späteren Sukzessionsstadien
- C) Vergleich der Wuchsleistung unter A) und B) mit beabsichtigten „Optimal“-Bedingungen wie sie auf Freiland-Vermehrungsfeldern eingerichtet wurden, um die frühen Besiedlungsmöglichkeiten auf den aktiv gestalteten Torfbänken, sowie die Eignung der ausgewählten Plots in den Übergangs- und späten Stadien besser einschätzen zu können.

Hauptziel war es, durch den Einsatz unterschiedlicher Arten und Sodendimensionen die geeignetste(n) Ansiedlungstechnik(en) für bestimmte Standortverhältnisse zu identifizieren und Empfehlungen für die Praxis abzuleiten.

### **2.1.3 Modul iii Untersuchung der Effekte von etablierten Bulttorfmoosen auf Treibhausgasemissionen**

Im Rahmen des Vorhabens AktiMoos wurden experimentelle Flächen ausgewählt, auf denen die Wirkung einer Bulttorfmoosdecke auf die Methanemissionen bei der Wiedervernässung untersucht werden sollte (Testgruppe 4, vgl. Tab.1). Da Torfmoose und insbesondere Bulttorfmoose methanoxidierende Mikroorganismen beherbergen, wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Etablierung von Bulttorfmoosen bei der aktiven Renaturierung dabei helfen kann, negative Auswirkungen durch temporär erhöhte Methanemissionen nach der Wiedervernässung zu reduzieren. Hierzu wurden in allen Versuchsvarianten Messkragen mit (Moosmischungen) und ohne Torfmoosbeimpfung (Kontrolle) eingerichtet und die Methanemissionen durch manuelles Aufsetzen einer zylindrischen, verdunkelten Haube mittels portablen Gasanalysator gemessen. Während im ersten Jahr (2020) alle Plots der Testgruppe an drei Terminen (im Zeitraum August bis Oktober) gemessen wurden, um die Ausgangsbedingungen hinreichend charakterisieren zu können, wurde in den Folgejahren (2021, 2022) eine Auswahl getroffen. Die Entwicklung der eingebrachten Bulttorfmoose wurde im Rahmen des bis Ende 2021 stattfindenden Monitorings beobachtet und aufgezeichnet, wenngleich unklar war, ob Effekte erst nach einer weitgehenden Etablierung der Torfmoose erwartet werden können. Dies liegt darin begründet, dass der Hauptemissionsweg für Methan in Gegenwart von Gefäßpflanzen die Emission durch die Luftleitgewebe ist. Die Bulttorfmoosdecke kann jedoch nur Emissionen über Diffusion durch den Boden reduzieren, da Emissionen über die Luftleitgewebe von Gefäßpflanzen effektiv an den methanoxidierenden Mikroorganismen der Torfmoose vorbeigeführt werden. Es wurde daher damit gerechnet, dass innerhalb des vergleichsweise kurzen Etablierungszeitraums noch keine starken Effekte messbar sind.

#### **2.1.4 Modul iv Monitoring zur Ableitung von Indikatoren zur Beurteilung der Potentiale und des Erfolgs einer Torfmoosetablierung in der Renaturierungspraxis**

Um festzustellen, welche Indikatoren geeignet sind die Erfolgsaussichten einer Wiederansiedlung zu beurteilen wurde eine umfassende Datenbank mit Informationen zu den Eigenschaften und dem Wachstum der ausgebrachten Bultorfmoose sowie zu wichtigen Umweltparametern wie saisonale Wasserstandshöhen, Wasserchemie, chemisch-physikalische Torfeigenschaften, Stöchiometrie der Torfmoose und der Zusammensetzung der Umgebungsvegetation aufgebaut. Ziel war es, nicht nur ein praxistaugliches Monitoringkonzept auf wissenschaftlich fundierter Grundlage zu entwickeln, sondern auch die Ergebnisse zum Etablierungserfolg verschiedener Maßnahmen durch eine standardisierte Datenaufnahme vergleichbar zu machen. Nach Anlage der Experimente wurden dementsprechend Daten über das Flächen- und Höhenwachstum sowie die Vitalität der Torfmoos-Soden, die Hydrologie und Nährstoffverhältnisse des Standortes und die Umgebungsvegetation über einen Zeitraum von etwa zwei Jahren erhoben.

Das Monitoring diente letztlich vier Kernfragen, die sich jeweils den 4 Testgruppen zuordnen lassen:

Mit Testgruppe 1 (TG1) wurde ein möglichst breites Spektrum von Standortbedingungen untersucht. Hierfür wurden alle Versuchsflächen mit 2 Torfmoos-Varianten (Moosmischung, *S. papillosum*) in großer Sodendimension (300 cm<sup>2</sup>) beimpft.

Die Testgruppe 2 (TG2) wurde eingerichtet, um artspezifische Unterschiede zu identifizieren. Mit Ausnahme der Übergangsstadien (VT4-6) konnten 8 der 11 Versuchsträger zu diesem Zweck mit 2 zusätzlichen Einzelart-Varianten (*S. medium*, *S. rubellum*) in großer Sodendimension beimpft werden.

Mithilfe der Testgruppe 3 (TG3) wurden Effekte der Sodendimension untersucht, um die Relevanz eines optimalen, standortangepassten Materialeinsatzes zu bewerten. Hierfür wurden 7 der 11 Versuchsträger zusätzlich mit kleineren Soden (150 cm<sup>2</sup>) der Einzelart-Varianten aus Testgruppe 2 beimpft.

Mit Testgruppe 4 (TG4) wurden die Effekte einer erfolgreichen Torfmoos-Etablierung auf die THG-Emissionen untersucht, insbesondere das Methan-Reduktionspotenzial. Dazu wurden 8 der 11 Stadien/Referenzen mit einer zusätzlichen Moosmischungs-Variante beimpft und diese mit einem Kragen ausgestattet, um den Gasfluss im Vergleich zu einer nicht beimpften Kontrolle durch manuelle Haubenmessungen zu bestimmen.

#### Vorläufige Charakterisierung der Standortbedingungen

Tabelle 2 gibt eine Zusammenfassung der Standortbedingungen der Versuchsträger (VT1-11), auf denen die Torfmoos-Varianten in Sodenform ausgebracht wurden. Die verschiedenen VT-Gruppen umfassen dabei verschiedene Torfbank-Varianten innerhalb einer OUV-Fläche im frühen Stadium (I: Praxisbedingungen), ältere Sukzessionsstadien in unmittelbarer Nachbarschaft zu den künstlich gestalteten frühen Stadien und späte Sukzessionsstadien auf weiteren Versuchsflächen (II: Naturnahe Bedingungen) bis hin zu künstlich angelegten Torfmoos-Vermehrungsflächen (III), die als Referenz mit möglichst optimalen Wachstumsbedingungen dienten. Die VT-Gruppen wurden so gewählt bzw. gestaltet, dass sie Unterschiede und Gemeinsamkeiten bei den für die Torfmoos-Etablierung wichtigsten Standortfaktoren wie Wasserregime, Torfart und -mächtigkeit, Vegetationstyp, Diversität/Artenreichtum und Konkurrenzbedingungen aufweisen. Die gesammelten

Informationen bilden die Grundlage für die Identifikation von für den Etablierungserfolg entscheidenden Faktoren und für die Ableitung von praxistauglichen Indikatoren. Es wurden drei VT-Gruppen (I: Praxisbedingungen/frühe Stadien; II: Naturnahe Bedingungen/Übergangsstadien und späte Stadien; III: Referenzbedingungen/ Vermehrungsflächen) getestet. Das Versuchsdesign in frühen Stadien umfasste künstlich angelegte bzw. aktiv gestaltete Mikroreliefstrukturen, wodurch unterschiedliche Situationen direkt nach Abtorfung (vegetationsfrei) dargestellt werden sollte: VT1 mit niedriger Torfbank, VT2 mit hoher Torfbank und VT3 mit hoher Torfbank und Zugabe von Weißtorf. Übergangsstadien (VT4-6): VT4 mit jüngeren/niedrigeren Horsten des Scheiden-Wollgrases, VT5 mit älteren/höheren Horsten des Scheiden-Wollgrases, VT6 mit Horsten der Flatter-Binse.

Späte Stadien (VT7-8): VT7 mit Torfmoosrasen, VT8 mit Schwingrasen

Als Referenz wurde das Wachstum der Moose in drei Vermehrungsanlagen mit optimaler Wasserversorgung (VT9, VT10 und VT11) dokumentiert. Diese waren:

- Freilandvermehrung auf Schwarztorf mit Oberflurbewässerung (VT9)
- Freilandvermehrung auf Weißtorf mit Unterflurbewässerung (VT10)
- Tischvermehrung auf Weißtorf mit Überkopfbewässerung (VT11)

Zu den Faktoren, die nach vorläufigem Stand der Datenauswertung von besonderer Bedeutung für den Etablierungserfolg sind, gehören:

- Die Entfernung der Soden zum mittleren Wasserstand im ersten Jahr sowie zum Niedrigstwasserstand im zweiten Jahr
- Die Deckung an Gefäßpflanzen und Streu in Übergangsstadien sowie die Deckung an Schlenkentangmoosen in späten Stadien

Tab. 2. Zusammenfassung zur Charakterisierung der Standortbedingungen auf den eingerichteten Versuchsträgern (VT1–11). OUV = Ober-Unterefeld-Verfahren; FT = Frästorf-Verfahren; ST = Sodenstich-Verfahren; FV = Freilandvermehrung; TV = Tischvermehrung; Sukzessionsstadien: früh = < 5 Jahre; ÜG/Übergangsstadien = 5–15 Jahre; spät = > 15 Jahre; R\_früh = Referenz für frühe Stadien; R\_späte = Referenz für späte Stadien; TB = Torfbank-Variante; AP = Ammenpflanzen; TR = Torfmoosrasen; SR = Schwingrasen; Wassermanagement/Bewässerung: OFB = Oberflurbewässerung; UFB = Unterflurbewässerung; ÜKB = Überkopfbewässerung; WT = Weißtorf (+ = aktive Zugabe); ST = Schwarztorf (gewachsen); nT = nackter Torf; Ev = *Eriophorum vaginatum*; Ea = *Eriophorum angustifolium*; Je = *Juncus effusus*; SM = Schlenkendorfmoos-(co)-dominiert; HG = hochmoortypische Gefäßpflanzen; BM = Bultorfmoos-dominiert.

VT-Variante	VT1	VT2	VT3	VT4	VT5	VT6	VT7	VT8	VT9	VT10	VT11
VT-Gruppe	I/Praxisbedingungen			II/naturnahe Bedingungen				III/Referenzbedingungen			
Versuchsfläche	V2 (OUV)						V3 (FT)	V4 (ST)	V5 (FV)		V1 (TV)
Sukzessionsstadium	früh			ÜG-1	ÜG-2		spät-1	spät-2	R_früh/spät	R_spät-2	R_früh/spät
VT-/Referenz-Kategorie	TB1	TB2	TB2+	AP1	AP2	AP2b	TR	SR	TB/TR-R	SR-R	TB/SR-R
WS-Median [cm]	~10	~17	~14	~12	~15	~11	~2	~5	~5	~10	~10
WS-Amplitude [cm]	~35	~35	~35	~35	~35	~35	~45	~20	konstant	konstant	konstant
Wassermanagement	(ja)	(ja)	(ja)	(ja)	(ja)	(ja)	nein	nein	ja (OFB)	ja (UFB)	ja (ÜKB)
Überstaudauer [d]	~90	~30	~60	~75	~50	~80	~250	~100	minimal	minimal	kein
mit. Überstauhöhe [cm]	~-5	~-2	~-3	~-4	~-3	~-4	~-8	~-2	(sehr flach)	(sehr flach)	0
Torfart/Substrat	ST	ST	WT+	ST	ST	ST	ST	WT	ST	WT+	WT+
Torfmächtigkeit [cm]	~40	~50	~30+20	~50	~60	~40	~150	~250	~200	~5	~3
Vegetationstyp	Stroh+nT	Stroh+nT	Stroh+nT	Ev+SM	Ev+SM	Je+SM	Ea+SM	SM+Ea	HG+BM	BM+HG	BM+nT
Diversität	gering	gering	gering	mittel	mittel	gering	gering	mittel	mittel	hoch	mittel
Konkurrenz (GP)	gering	mittel	gering	mittel	hoch	sehr hoch	mittel	gering	mittel	sehr gering	sehr gering
Konkurrenz (BM/SM)	sehr gering	sehr gering	sehr gering	hoch	mittel	hoch	hoch	sehr hoch	mittel	sehr hoch	gering

## 2.2 Projektablauf

Tab. 3. Geplanter und angepasster Projektablauf. SLM: Stiftung Lebensraum Moor; GF: Gramflor GmbH & Co. KG; ILÖK: Institut für Landschaftsökologie

Jahr	18	2019				2020				2021				2022			Verant- wortlich	Beteiligt		
	Quartal	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II			III	...
<b>(i) Freilandvermehrung</b>																				
a) Aufrechterhaltung/Monitoring																		GF	GF	ILÖK
b) Neuanlage/Nachbeimpfungen																		GF	GF	ILÖK
<b>(ii) Etablierung von Bulttorfmoosen</b>																				
a) Anlage der Mikroreliefstrukturen																			ILÖK	GF
b) Einrichtung der Experimente																			ILÖK	GF
c1) Monitoring / Erfolgskontrollen																			ILÖK	(GF)
c2) Laboranalysen																			ILÖK	
d) Ableitung Handlungsempfehl.																			ILÖK	GF/SLM
<b>(iii) Effekte auf Treibhausgasemissionen</b>																				
a) Einrichtung THG-Dauermessstellen																			ILÖK	
b) Gasflussmessungen																			ILÖK	ILÖK
c) THG-Datenanalyse																			ILÖK	ILÖK
<b>(iv) Indikatoren für die Renaturierungspraxis/Monitoringkonzept</b>																				
a1) Labor- und Datenanalyse																			ILÖK	
a2) Ableitung von Indikatoren																			ILÖK	SLM/GF
<b>(i-iv) Veröffentlichung der Ergebnisse / Öffentlichkeitsarbeit</b>																				
a) Wissenschaftliche Publikationen																			ILÖK	ILÖK
b) Veröffentlichung Handlungsempf.																			SL	SLM
c) Vorstellung Monitoringkonzept																			ILÖK	ILÖK
Ursprüngliche Planung (Projektantrag)																				
Tatsächlicher Projektablauf																				

### 2.2.1 Projektphase 1 (2019) – Einrichtung von Etablierungsexperimenten unter Praxisbedingungen, Aufrechterhaltung und Versuche zur Optimierung der Torfmoosvermehrung

Zu Beginn des ersten Projektjahrs (März 2019) wurden Torfbankstrukturen auf einer von Gramflor GmbH & Co. KG zur Verfügung gestellten Abtorfungsfläche, die in den kommenden Jahren schrittweise nach dem sogenannten Ober-Unterefeld-Verfahren (OUV) wiedervernässt werden sollte, angelegt. Diese und weitere naturnahe (verschiedene Sukzessionsstadien) sowie künstlich angelegte Versuchsflächen wurden ausgewählt, weil die Wasserstände der vergangenen Jahre grundsätzlich als geeignet zur Ansiedlung von Bulttorfmoosen eingestuft wurden (Raabe et al. 2019). Nach Fertigstellung der Oberflächenbearbeitung der unterschiedlich hohen Torfbankvarianten im April 2019 konnte mit der Beimpfung der Versuchsträger begonnen werden. Allerdings stellte sich heraus, dass der Wasserstand auf der OUV-Fläche mit den neu angelegten Torfbänken in diesem Jahr aufgrund der extremen Trockenheit des Vorjahres und der anhaltend geringen Frühjahrsniederschläge bereits Anfang April stark abgesunken war. Daher erschien es wenig sinnvoll, die Anlage des Versuchs wie ursprünglich geplant durchzuführen, was den

Verzicht auf das Ausbringen von kleinen Soden und Fragmenten zur Folge hatte. Diese Maßnahme war notwendig, um das dadurch eingesparte Spendermaterial für einen späteren Neustart nutzen zu können. Währenddessen sollte ein Monitoring mit reduziertem Aufwand durchgeführt werden, und der Neustart des Versuchs sollte entweder im Herbst oder im Frühjahr des nächsten Jahres erfolgen (Tab.4).

Für den weiteren Projektverlauf war es daher wichtig, eine Entscheidung über das noch verfügbare Spendermaterial und den Umfang des in den Folgejahren noch zu leistenden Monitorings zu treffen, um die verbleibenden Projektressourcen möglichst effizient einzusetzen und gleichzeitig die Erreichung der wichtigsten Projektziele sicherstellen zu können. Bis dahin umfassten die Arbeiten im ersten Projektjahr die kontinuierliche Betreuung der Tischvermehrung mit der Einrichtung von Kontrollen sowie die Erarbeitung von Checklisten und Verfahrensanweisungen zur Überwachung und Pflege derselbigen durch Bodenfeuchte-Messungen und die Bekämpfung unerwünschter Begleitvegetation.

Zusammenfassend war das erste Projektjahr 2019 somit von Herausforderungen geprägt, vor allem aufgrund der ungewöhnlich frühen, sehr starken und langanhaltenden Austrocknung der Versuchsanlage sowie der Schwierigkeiten bei der Einschätzung der Eignung der Fläche für die kontrollierten Torfbank-Experimente. Trotz dieser Rückschläge konnten auch positive Erfahrungen bei der Etablierung von Bulttorfmoosen gesammelt werden, insbesondere zeigten sich Erfolge bei der Verwendung von kompakten Moosmischungen zur Beimpfung von Ammenpflanzen in Übergangsstadien und Schwingrasen in älteren Sukzessionsstadien im Vergleich zu lockeren Einzelart-Varianten (aufgrund eines augenscheinlich ungünstigen Fläche-zu-Höhe-Verhältnisses). Angesichts der Möglichkeit, eine zweite OUV-Fläche für Paralleluntersuchungen ab Herbst 2019 vorzubereiten und spätestens im Frühjahr 2020 einzurichten, wurde beschlossen, zur ursprünglich geplanten Versuchsanlage zur kontrollierten Erprobung verschiedener Ausbringungsvarianten zurückzukehren und einen neuen Versuchsstart für das Frühjahr 2020 vorzubereiten (Stiftung Lebensraum Moor 2019). Dazu musste jedoch zunächst ein stärkerer Fokus auf Maßnahmen zur Wiederherstellung repräsentativer Ausgangsbedingungen auf den Torfbänken der ersten OUV-Fläche gelegt werden (Aufrauung der Oberfläche mit Bodenfräse notwendig, aufgrund der gebildeten tiefen Schrumpfrisse, wodurch in der Mitte der Torfbänke eine flache Mulde entstand und zugleich die Ausbringungshöhe herabgesenkt werden konnte, vgl. Abb. 1).

Nachdem bereits zu Beginn des Projekts zahlreiche Anpassungen vorgenommen werden mussten, um den ursprünglichen Zeitplan für die Entwicklung eines Monitoringkonzeptes einzuhalten, schien es dem Projektteam sinnvoll, die geplanten Flächen und somit auch die Fläche für die Torfbänke trotz der Trockenheit weiter beizubehalten. Trotz des hohen Aufwands eine Ersatz-Fläche für Paralleluntersuchungen herzurichten, wurde beschlossen, zur ursprünglich vorgesehenen Versuchsanlage zurückzukehren und wie beschrieben einen neuen Anlauf der Beimpfung für das Frühjahr 2020 vorzubereiten.

### 2.2.2 Projektphase 2 (2020-21)

Bereits vor der winterlichen Überstauphase erfolgte die aufgrund der starken Trockenheit des Vorjahres notwendig gewordene Optimierung der Versuchsbedingungen auf den bestehenden Torfbänken (Abb. 1), um die frühen Stadien der Renaturierung wieder

repräsentativ abbilden zu können. Eine Neubeimpfung aller Varianten war dabei unumgänglich, um durch parallele Beimpfung eine Vergleichbarkeit mit den Ammenpflanzen in den direkt angrenzenden naturnahen Übergangsstadien, sowie den älteren Sukzessionsstadien (VT7: Torfmoosrasen; VT8: Schwingrasen) und den Referenzbedingungen auf den Vermehrungsflächen herzustellen.

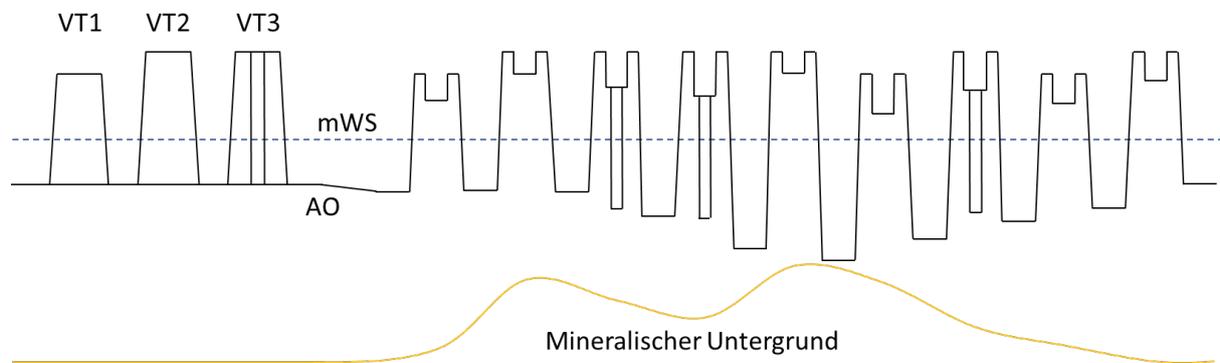


Abb. 1. Schematischer Querschnitt der aktiv gestalteten Torfbank-Anlage auf einer im Ober-Unterfeld-Verfahren wiedervernässten Abtorfungsfläche. Links: Anlage 2019; Rechts: Anlage 2020: VT1 = niedrige Torfbank-Variante; VT2 = hohe Torfbank-Variante; VT3 = hohe Torfbank-Variante mit Zugabe von Weißtorf; mWS = mittlere Wasserstand; AO = Abbauordinate.

Auch das Jahr 2020 verlief zunächst außerordentlich herausfordernd, da die erste OUV-Fläche mit den bereits fertig neu hergerichteten Torfbänken aufgrund geringer winterlicher Niederschläge im Frühjahr erneut niedrigere Wasserstände als im langjährigen Mittel aufwies. Erschwerend hinzu kamen ab März 2020 die pandemiebedingten erheblichen Einschränkungen. Als Behelfsansatz für die starke Trockenheit in der Torfbankfläche wurde begonnen, zur Wasserstandsanhhebung überschüssiges Wasser einer in unmittelbarer Nähe gelegenen Fläche herbei zu pumpen. Dies ist sicher für eine Umsetzung in der Praxis aufgrund der hier besonderen Situation kein gängiger Ansatz, war aber für die Durchführung der Experimente unter den hier vorgesehenen, kontrollierten Bedingungen der geeignetste Lösungsansatz. Schließlich sollten die unterschiedlichen Torfbankhöhen unterschiedliche Entfernungen zum mittleren Wasserspiegel abbilden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die entsprechend angepassten Feldexperimente im Jahr 2020 trotz der vielfältigen Herausforderungen erfolgreich angelegt werden konnten. Es wurden insgesamt 4 Versuchsfelder im Vechtaer Moor eingerichtet, die 11 Versuchsträger-Varianten umfassen, welche verschiedene Renaturierungsstadien und Referenzsysteme darstellen. Die Versuchsanlage beinhaltete insgesamt 234 Untersuchungseinheiten, bestehend aus 201 Torfmoos-Soden und 33 Kontrollen, welche entsprechend ihrer Verteilung auf den verschiedenen Versuchsträgern, ihrem Alter entsprechend entweder verschiedenen Sukzessionsstadien (früh, Übergang, spät) zugeordnet oder als künstliche Referenzsystem (Vermehrungsflächen) zusammengefasst wurden. Mithilfe der Einteilung von 4 Testgruppen (TG1-4) wurden schließlich die genannten Fragen zum Einfluss von (i) Standortbedingungen, (ii) Torfmoosarten und (iii) der Sodendimension auf die Torfmoos-Etablierung sowie (iv) die Effekte erfolgreicher Torfmoos-Etablierung auf THG-Emissionen untersucht.

Aufgrund der reduzierten Personalkapazitäten und coronabedingten Einschränkungen bei der Datenaufnahme im Freiland sowie anhaltender Verzögerungen des Laborbetriebs musste das Arbeitsprogramm jedoch reduziert werden. Unter diesen Umständen war die Erreichung der wichtigsten Projektziele nur im Rahmen einer Projektverlängerung möglich.

### 2.2.3 Projektphase 3 (Verlängerungszeitraum) – Validierung potenzieller Indikatoren und Fertigstellung eines Kompaktleitfadens zur Torfmoosvermehrung und -wiederansiedlung

Um belastbare Daten zur Validierung potenzieller Indikatoren zu erhalten, war es notwendig eine standardisierte Datenerhebung über einen Zeitraum von mind. zwei Jahren durchzuführen. Dementsprechend konnte ein Großteil der Feldarbeiten erst gegen Ende 2021 abgeschlossen werden, u.a. weil auch Analysen zu bereits im Vorgängerprojekt angelegten Pots einbezogen werden sollten, um Erkenntnisse über den langfristigen Etablierungserfolg (>5 Jahre) in den Leitfaden einfließen lassen zu können. Aufgrund anhaltender Unterkapazitäten konnten diese Daten und Daten zur Nährstoffstöchiometrie und zu Artverschiebungen in den ab 2020 angelegten Varianten aus zeitlichen Gründen nur eingeschränkt erhoben und ausgewertet werden. Der Kompaktleitfaden konnte aufgrund der beschriebenen Verzögerungen erst im Herbst 2022 fertiggestellt werden.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über den Stand der Maßnahmenumsetzung beim Aufbau einer Datenbank als Grundlage für die (Weiter-)Entwicklung eines Monitoringkonzepts. Sobald die Daten vollständig aufbereitet und abschließend ausgewertet sind, kann auch die Ableitung bzw. Validierung von Indikatoren abgeschlossen werden.

Tabelle 4. Übersicht zum Stand der Maßnahmenumsetzung zur Entwicklung eines Monitoringkonzeptes. Für noch anstehende Aufgaben wurde eine Priorisierung vorgenommen und ggf. an pandemiebedingte Einschränkungen weiter angepasst. Abkürzungen: a = abgeschlossen; b = begonnen; - = nicht umgesetzt (n.e. = nicht erforderlich; z.a. = zu aufwändig/Verzicht); x = noch ausstehend/bei Bedarf; ! = primär/ unverzichtbar; \* = sekundär/ unter Vorbehalt (z.B. abhängig vom Zeitpunkt).

Projektjahr	2019	05/2020	2020–21	12/2021	2020–22		
Monitoring-Maßnahmen	Vor-/Finale Charakter.	Vor-Char. / Beprobung	begleitend/ laufendes M.	Finale Char. / Beprobung	Laborarb. / Datenaufb.	Daten- auswertung	Evaluation/ Abschluss
<i>Wachstumsparameter (Sphagnum)</i>							
- Lateraler Flächenzuwachs (LaZ)	■ -	■ - (n.e.)	☑!	☑!	☑a	☑b	☑b
- Vertikaler Höhenzuwachs (VeZ)	■ -	■ - (n.e.)	☑	(☑)	☑a	☑b	☑b
- Biomasse (Total/Capitula)	☑/☑	☑!/☑!	■/■ - (z.a.)	■/☑!	■/☑b	■/■x	...
<i>Vitalitätsparameter (Sphagnum)</i>							
- Vitalität/Austrocknungsgrad	☑	■ - (n.e.)	☑!	■ - (n.e.)	☑a	☑a	☑b
- Wassergehalt (Total/Capitula)	■ -	☑/■ - (n.e.)	■/■ - (z.a.)	■/☑* (a./n.e.)	■ n.e.	■x	...
- Stöchiometrie (C/N/P/K)	■ -	☑!	■ - (z.a.)	☑!	■x	...	...
- Capitula-/Individuen-Dichte	■ -	☑!	■ - (z.a.)	☑*	■x	...	...
<i>Plotspezifische Parameter</i>							
- Ausbringungshöhe/HWT	☑!	☑	☑	☑!	☑a	☑a	☑b
- Bodenfeuchte (TG4/TB)	☑!	■ - (n.e.)	☑!	■ - (n.e.)	☑a	☑b	...
- Umgebungsvegetation (alle)	■ -	■ - (n.e.)	☑!	■ - (n.e.)	☑a	☑a	☑b
- Porenwasserchemie (TG4)	■ -	■ - (n.e.)	☑	■ - (n.e.)	☑a	☑b	...
- THG-Emissionen (TG4)	■ -	■ - (n.e.)	☑	■ - (n.e.)	☑a	☑b	☑b
<i>Stadienspezifische Parameter</i>							
- Torfeigenschaften (alle)	☑!	☑!	■ - (n.e.)	☑!	☑a	☑a	☑b
- GP-Biomasse (alle)	■ -	■ - (n.e.)	☑!	■ - (n.e.)	☑a	☑a	☑b
- GP-Stöchiometrie (C/N/P/K)	■ -	■ - (n.e.)	☑*	■ - (n.e.)	■x	...	...
<i>Flächenspezifische Parameter</i>							
- Wasserstände	☑	☑	☑	☑	☑a	☑b	☑b
- Historie/Umfeld-Situation	☑	☑	■ - (n.e.)	■ - (n.e.)	☑b	☑b	☑b

### 3. Projektergebnisse

#### 3.1 Torfmoosvermehrung / Erhaltungszucht

##### Projektphase 1-2 (Zwischenbericht 2019-20)

Aufgrund der beschriebenen Probleme wurde im ersten Projektjahr statt der vorgesehenen Feldexperimente eine intensive Betreuung der Torfmoosvermehrungsanlagen auf den Gewächshaustischen und im Freiland durchgeführt. Dies lieferte wichtige neue Erkenntnisse für die Vermehrung des Spendermaterials.

So zeigte sich, dass die Wasserversorgung und -qualität in einigen Vermehrungsfeldern und -tischen nicht optimal eingestellt werden konnte, was zu einer Stagnation insbesondere des Wachstums von *S. rubellum* führte. Als mögliche Ursache wurden zu hohe Calciumkonzentrationen im Bewässerungswasser ausgemacht. Interessanterweise konnte für diese scheinbar besonders empfindliche Art auch auf dem Schwingrasen kein nachhaltiger Etablierungserfolg im Sinne eines positiven Biomassezuwachses festgestellt werden. *S. rubellum* kann daher nur eingeschränkt für die Vermehrung und die anschließende Ausbringung auf Renaturierungsflächen empfohlen werden und ist bestenfalls als Beimengung in Artmischungen sinnvoll.

Durch kontinuierliche Überwachung der Bodenfeuchte und die aktive Regulation unerwünschter Begleitvegetation konnte die Tischvermehrung optimiert werden. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass auch zukünftig ausreichend Spendermaterial von den Vermehrungstischen zur Verfügung steht. Eine Optimierung und Erweiterung der Vermehrung im Freiland, unter weniger gut kontrollierbaren Bedingungen, war jedoch nicht erforderlich, da die Torfmoose vergleichsweise gute Zuwächse erreichten. Mit den Tischvermehrungen wurden dennoch umfangreiche Daten zu Optimalbedingungen für das Bultorfmosswachstum gesammelt.

Zur regelmäßigen Überwachung der Torfmoosvermehrung auf den Gewächshaustischen wurde eine Checkliste für die Durchführung aller notwendigen Arbeiten entwickelt. Die Checkliste umfasste zunächst Arbeiten im Umfang von 1 Wochenarbeitsstunde. Regelmäßige Inspektionen wurden durchgeführt, aber nicht aufgezeichnet, um den Arbeitsaufwand gering zu halten. Darüber hinaus sollte die Wasserqualität der Zisternen alle drei Monate nach festgelegten Richtwerten geprüft werden. Zusätzlich wurden Schattierungsnetze für die Vermehrungstische angeschafft, um bei Bedarf 75 % der Fläche beschatten zu können. Länger negativ nachwirkende Effekte einer Frühjahrstrockenheit sollten zukünftig damit vermieden werden. Dies ist besonders empfehlenswert, da der Anstau und die künstliche Beregnung von oben oft nur zeitverzögert aktiviert werden kann, oder bei mangelnder Wasserqualität im Sommer eine vorübergehende Deaktivierung der künstlichen Bewässerung notwendig sein könnte, um einer Überversorgung der Torfmoose mit potenziell toxisch wirkenden Mineralstoffen vorzubeugen.

### 3.2 Torfmoosetablierung

#### 3.2.1 Etablierungserfolg

Tabelle 5 zeigt den Etablierungserfolg aller getesteten Ansiedlungsvarianten auf Basis des relativen Flächenzuwachses. Um die Wirksamkeit der verschiedenen Torfmoos-Ausbringungsvarianten unter verschiedenen Standortbedingungen bewerten zu können, wurden Erfolgsquoten berechnet. Eine Erfolgsquote von 100% bedeutet dabei eine erfolgreiche Etablierung und damit flächenmäßiger Vergrößerung aller ausgebrachten Soden einer Variante (3 von 3) und 0% keine Etablierung mit positivem Zuwachs (0 von 3).

Tabelle 5. Darstellung der Erfolgsquoten (nach Farben: dunkelgrün = 100%; hellgrün = 67%, gelb = 33%, rot = 0%) und des mittleren relativen Flächenzuwachses (zwischen 07/2020 und 12/2021) ausgebrachter Bultorfmoos-Varianten auf eingerichteten Versuchsträgern (VT) unter verschiedenen Bedingungen. Ausbringungsvarianten: X = Moosmischung; [X] = Moosmischung mit THG-Kragen; P/p = *S. papillosum*; M/m = *S. medium*; R/r = *S. rubellum*) und Sodendimension (Großbuchstaben = große Sodendimension [= 300 cm<sup>2</sup>]; Kleinbuchstaben = kleine Sd. [= 150 cm<sup>2</sup>]).

VT	Praxisbedingungen			Naturnahe Bedingungen				Referenzbedingungen			
	Früh			Übergang		Spät		FV	TV		
	VT1	VT2	VT3	VT4	VT5	VT6	VT7	VT8	VT9	VT10	VT11
X	++	+++	+++	++	+++	++	---	++	++	+	+++
P	+++	++	+++	++	+++	+++	---	+++	++	+	+++
M	+++	+++	+++	/	/	/	---	+++	++	+++	+++
R	++	+	++	/	/	/	---	+	+	+++	++
p	++	++	+++	/	/	/	---	++	/	+	+++
m	+++	++	+++	/	/	/	---	+++	/	+++	+++
r	++	+	++	/	/	/	---	-	/	++	++
[X]	++	++	+	++	+	/	---	+	+		

TG	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	83%	100%
TG1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	83%	100%
TG2	100%	92%	100%	-	-	-	0%	100%	92%	92%	100%
TG3	78%	89%	100%	-	-	-	0%	78%	-	89%	100%
TG1-3	90%	90%	100%	-	-	-	0%	90%	-	90%	100%

Mit Ausnahme der zu nassen Torfmoosrasenfläche (durchgehend 0% Erfolgsquote auf VT7) konnten alle getesteten Bultorfmoos-Varianten auf den verschiedenen Versuchsträgern der anderen Flächen (VT1-6, VT8-11) zumindest einmal (33%), aber zumeist häufiger als in 67% der Fälle erfolgreich etabliert werden. Geringere Erfolgsquoten wurden dabei vor allem für kleine Soden sowie für die Arten *S. rubellum* und *S. papillosum* festgestellt.

In frühen Sukzessionsstadium verlief die Etablierung auf der hohen Torfbank-Variante mit zusätzlichem Weißtorf (VT3, Abb. 1) am erfolgreichsten, wobei mit der kleineren Sodendimension und für *S. rubellum* teilweise etwas geringere Erfolgsquoten erzielt wurden. Der Etablierungserfolg unter Referenzbedingungen, also auf den Vermehrungsflächen (im Freiland: VT9-10, sowie auf Gewächshaustischen: VT11) mit simulierten optimalen Wachstumsbedingungen, war insgesamt mit den Erfolgsquoten unter Praxisbedingungen vergleichbar (90%-100%), wenngleich bei *S. papillosum* und *S. rubellum* in einigen Varianten auch hier trotz vermeintlich idealer Bedingungen niedrigere Erfolgs- und Wachstumsraten beobachtet wurden. In den Übergangsstadien mit Ammenpflanzen (VT4-6) war die Ansiedlung für alle Versuchsvarianten erfolgreich, wenngleich unter diesen

Bedingungen nur ein Teil der Torfmoos-Varianten getestet werden konnte (Moosmischung und *S. papillosum* in großer Sodendimension). Die größten Unterschiede zwischen den Versuchsträgern zeigten sich in den späten Sukzessionsstadien. Hier verlief die Etablierung entweder ähnlich erfolgreich wie unter den Praxis- und Referenzbedingungen (VT1-3; VT9-11), oder sie scheiterte mit allen eingesetzten Varianten aufgrund von dauerhaft zu nassen Bedingungen bzw. starker Konkurrenz durch flotierende Schlenken-Torfmoose infolge einer nicht ausreichend tragfähigen Schwingrasen-Decke komplett (VT7/gefluteter Torfmoosrasen).

Insgesamt zeigen unsere Ergebnisse, dass es im Zeitraum 2020-21 in den meisten Fällen möglich war, Bult-Torfmoose erfolgreich in geeigneten Sukzessionsflächen, jedoch ohne aufwändige bzw. mit nur minimalen hydrologischen Maßnahmen (einmalige Wasserstands-anhebung im Frühjahr), zu etablieren. Die Wahl der Ausbringungsvariante und die während des Untersuchungszeitraums vorherrschenden Standortbedingungen beeinflussten die Erfolgsquote. Da sich einige Arten unter bestimmten Bedingungen besser etablieren als andere, ist es empfehlenswert, die für die spezifischen Bedingungen und den gewünschten Zweck am besten geeignete Torfmoosart und Sodengröße zu wählen, um den initialen Ansiedlungserfolg von 33% auf 100% zu steigern.

### **3.2.2 Indikatoren für den Etablierungserfolg (Testgruppe 1+2)**

Im Zeitraum 2020-21 hatten alle Ausbringungsvarianten den mit Abstand geringsten Etablierungserfolg unter den sehr nassen Bedingungen auf der nicht tragfähigen Torfmoosrasenflächen (VT7). Darüber hinaus deuten die Ergebnisse darauf hin, dass je nach Kombination von Bulltorfmoos-Variante und Standortbedingungen unterschiedliche Indikatoren für die Beurteilung des Etablierungserfolgs geeignet sind. Abgesehen von der ungewöhnlich lang anhaltenden Trockenheit auf der OUV-Fläche im ersten Projektjahr (mittlerer sommerlicher Wasserstand 2019: > 40 cm) und dem ebenfalls zu lang anhaltenden Überstau auf VT7 im zweiten und dritten Projektjahr (mittlerer winterlicher Wasserstand 2020-21, VT7: -10 cm ) konnte leider noch nicht vollständig geklärt werden, welche zusätzlichen Indikatoren im Rahmen des vorbereitenden und/oder begleitenden Monitorings der Torfmoos-Wiederansiedlungen standardmäßig erhoben werden sollten, um größtmögliche Erfolgsquoten sicherzustellen. Für eine fundierte Aussage über die Notwendigkeit teilweise aufwändiger Datenerhebungen sind allerdings zunächst weiterführende Untersuchungen notwendig.

Die Tabellen im Anhang (1.1-1.3) geben einen Einblick über die vorliegenden Ergebnisse zu den standardmäßig erfassten Wachstums- und Standortparametern der Torfmoosvarianten der Testgruppen 1 und 2. Diese und weitere Daten aus unserer Datenbank werden zukünftig zunächst zur weiteren Validierung der bisher abgeleiteten Indikatoren ausgewertet. Bei Bedarf und nach Klärung datenschutzrechtlicher Fragen können diese Daten auch für externe Nutzungen angefragt werden.

### 3.3 Potenzielle Reduktion von Treibhausgasemissionen durch Etablierung von Bultorfmoosen (Testgruppe 4)

Mit Hilfe Studierender wurden erste Ergebnisse erhoben, um eine Einschätzung des Potenzials von Bultorfmoosen zur Reduzierung von Treibhausgas-Emissionen (THG) im ersten Jahr nach der Wiederansiedlung zu erhalten. Dies diente dazu, nach den beschriebenen Verzögerungen im Rahmen des Projektes noch mögliche Effekte zu identifizieren und Daten für spätere Untersuchungen bereitzustellen. Aus den mittleren Emissionen der neun mit Bultorfmoosen beimpften Plots (T1-5, T7-T9) wurde im Verhältnis zu den unbeimpften Kontrollen [K] das THG-Reduktionspotenzial (RP) abgeschätzt. Zur vorläufigen Bewertung wurden die Ergebnisse klassifiziert (Tab. 6).

Tab. 6. Klassifizierung der mittleren THG-Emissionen (A: Methan; B: Kohlendioxid) aus Plots (T1-5, T7-T9) beimpft mit Bultorfmoosen [X] im Vergleich zu unbeimpften Kontrollen [K] und dem THG-Reduktionspotenzial ( $RP = [K]/[X]$ ). Die zugrundeliegenden Haubenmessungen ( $n=3$  pro Plot) des Jahres 2020 wurden an drei Terminen (K1: 1. & 2. August; K2: 29. & 30. August; K3: 2. & 4. Oktober) durchgeführt.  $CH_4$ -Emissions-Klassifizierung (in  $mg\ CH_4-C\ m^{-2}\ d^{-1}$ ): 0-10 = sehr gering; >10-20 = gering; >20-40 = mittel; >40-80 = hoch; >80 = sehr hoch.  $CO_2$ -Emissions-Klassifizierung (in  $g\ CO_2-C\ m^{-2}\ d^{-1}$ ): 0-5 = sehr gering; >5-10 = gering; >10-20 = mittel; >20-40 = hoch; >40 = sehr hoch. RP-Klassifizierung: E = stark negativ (<0.5); D = negativ (>0.5-1.0); C = schwach (>1.0-1.5); B = positiv (>1.5-2.0); A = stark positiv (>2.0).

#### A: $CH_4-C\ (mg\ m^{-2}\ d^{-1})$

		T1	T2	T3	T4	T5	T7	T8	T9
K1	[K]	0-10	0-10	0-10	>20-40	>20-40	>20-40	>80	>10-20
	[X]	0-10	0-10	0-10	>20-40	>40-80	>20-40	>80	>10-20
	RP1	D	A	A	C	D	C	C	C
K2	[K]	0-10	0-10	0-10	>20-40	>20-40	>40-80	>80	>40-80
	[X]	0-10	0-10	0-10	0-10	>10-20	>20-40	>80	>10-20
	RP2	D	D	A	A	B	B	E	A
K3	[K]	>10-20	0-10	0-10	>10-20	>10-20	>20-40	>80	>20-40
	[X]	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	>40-80	>10-20
	RP3	B	E	A	A	B	A	A	B
K1-3	[K]	0-10	0-10	0-10	>20-40	>20-40	>20-40	>80	>20-40
	[X]	0-10	0-10	0-10	0-10	>20-40	>20-40	>80	>10-20
	RP1-3	C	D	A	B	C	B	C	A

#### B: $CO_2-C\ (g\ m^{-2}\ d^{-1})$

		T1	T2	T3	T4	T5	T7	T8	T9
K1	[K]	0-5	0-5	>10-15	>20	>20	>5-10	0-5	0-5
	[X]	0-5	0-5	>10-15	>15-20	>20	>5-10	>5-10	0-5
	RP1	E	D	D	C	D	C	D	D
K2	[K]	0-5	0-5	0-5	>15-20	>15-20	>10-15	0-5	0-5
	[X]	0-5	0-5	>5-10	>5-10	>10-15	>10-15	>5-10	0-5
	RP2	D	D	E	B	B	C	D	C
K3	[K]	0-5	0-5	0-5	>5-10	>5-10	>5-10	0-5	0-5
	[X]	0-5	0-5	0-5	>10-15	>5-10	>5-10	0-5	0-5
	RP3	A	D	E	D	C	C	B	D
K1-3	[K]	0-5	0-5	>5-10	>15-20	>15-20	>5-10	0-5	0-5
	[X]	0-5	0-5	>5-10	>10-15	>10-15	>5-10	0-5	0-5
	RP1-3	D	D	D	C	C	C	D	D

Bei den Methan-Emissionen zeigten die untersuchten Plots überwiegend ein nur schwaches bis leicht positives Reduktionspotenzial (RP), wobei T3, T4, T7 und T9 die höchsten RPs aufwiesen. Allerdings variierten die Ergebnisse zwischen den Messkampagnen, wobei einige zu Beginn zunächst schwache RPs aufwiesen. Bei den Plots mit insgesamt schwachen oder negativen Reduktionspotentialen (T1, T2, T5, T8) variierten die Ergebnisse zudem am stärksten, wobei zwar überwiegend negative, aber zeitweise auch positive RPs auftraten.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen im ersten Jahr zeigten eine höhere Variabilität, und die beimpften Plots wiesen insgesamt ein geringeres Potenzial zur CO<sub>2</sub>-Reduktion im Vergleich zur CH<sub>4</sub>-Reduktion auf. Über alle Termine hinweg wurden entweder schwache oder negative RPs festgestellt, während einige Plots (T1, T4, T5, T8) zumindest zeitweise auch positive RPs zeigten.

Die Ergebnisse des Studienprojekts bestätigten die Annahme, dass Bultorfmoose in den untersuchten Plots bereits früh das Potenzial haben, Methan-Emissionen zu reduzieren, während die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen in der kurzen Zeit insgesamt schwach bis negativ ausfiel. Wir führen die insgesamt geringen Effekte darauf zurück, dass ein großer Teil der Methanemissionen in vergleichbaren Standorten durch die Luftleitgewebe von Gefäßpflanzen (z.B. *Eriophorum spp.*, *Juncus spp.*) erfolgt und somit diese durch die Bultorfmoose stärker verdrängt werden müssten, um klare Effekte zu beobachten. Bezüglich CO<sub>2</sub> kann vermutet werden, dass auf stark zersetztem, refraktärem Torf selbst das Vorhandensein von Bultorfmoosen die Bodenatmung durch Eintrag frischer Streu erhöhen kann oder es zumindest nicht erniedrigt. Um das Potenzial der verpflanzten Bultorfmoose zur Emissionsminderung besser zu verstehen, wurden in den Folgejahren weitere Untersuchungen durchgeführt, die auch mögliche Einflussfaktoren wie Wasserstände, Bodenfeuchte, Porenwasserchemie und Vegetation berücksichtigen. Diese Datenbasis und zukünftige Studien im Rahmen eines laufenden EU-Projektes (Biodiversa+, BiodivRestore; 2022-2025) können dazu beitragen, die Rolle von Bultorfmoosen bei der Minderung von THG-Emissionen besser zu verstehen.

## 4. Öffentlichkeitsarbeit

### 4.1 Öffentlichkeitsarbeit

Das Projekt AktiMoos richtet sich an alle Akteure im Moorschutz und in der Hochmoorrenaturierung, hier vor allem an die Praktiker in Wirtschaft, Naturschutzbehörden und Naturschutzorganisationen sowie die engagierten Wissenschaftler an Universitäten und in Forschungseinrichtungen. Entsprechend wurde mit diesen Ansprechpartnern, national wie international, ein intensiver fachlicher Austausch geführt. Dieser wird über die Projektinhalte und die Projektlaufzeit hinaus weitergeführt, im Rahmen anderer Forschungsprojekte ebenso wie im Rahmen von Renaturierungsprojekten, auf Fachtagungen und Symposien sowie durch Veröffentlichungen in wissenschaftlichen und fachlichen Veröffentlichungen.

Das Institut für Landschaftsökologie forscht und lehrt seit Jahren zum Thema Moor. So partizipieren die Studierenden in vollem Umfang von den wissenschaftlich relevanten Erkenntnissen, die im Zusammenhang mit dem Projekt AktiMoos gewonnen wurden.

Parallel fokussieren Gramoflor und die Stiftung Lebensraum Moor ihre Öffentlichkeits- und Aufklärungsarbeit seit Jahren vor allem auf Wirtschaftsbereiche wie den Gartenbau, wo Torf nach wie vor ein wichtiger Rohstoff für die Herstellung von Gemüse, Obst und lebendem Grün ist, ebenso wie im Sinne einer „Umweltbildung Moor“ auf junge Menschen und die interessierte Öffentlichkeit. Die Erfahrung zeigt, dass insbesondere Führungen in die Versuchseinrichtungen und auf die Renaturierungsflächen eine maximale Aufmerksamkeit und Sensibilität für die Bedeutung und den Schutz von Mooren erzielen.

### 4.2 Veröffentlichungen / Handlungsempfehlungen

Wie im Projektantrag unter Kap. 9 beschrieben (Stiftung Lebensraum Moor, 2018), lag der Schwerpunkt der Öffentlichkeitsarbeit von Beginn an auf der Zusammenfassung der gewonnenen Projekterkenntnisse als Handlungsempfehlung mit Monitoring-Konzept. Diese sollte in Form eines kompakten, fachlich anspruchsvollen und dabei verständlichen Leitfadens allen Interessierten zugänglich und so auch auf andere Vorhaben übertragbar gemacht werden. Der deutschsprachige „Leitfaden zur Torfmoosvermehrung und -etablierung für Renaturierungszwecke“ wurde im Herbst 2022 durch die DBU publiziert, die englische Übersetzung folgt in Kürze. Neben dem hier vorliegenden Abschlussbericht bildet diese Handlungsempfehlung den Kern der Veröffentlichungen zum Projekt.

Eine stark gekürzte Darstellung der Möglichkeiten zur Vermehrung und Ansiedlung von Bulttorfmoosen floss im Rahmen der Mitwirkung des Institutes für Landschaftsökologie an der Neuauflage der „Handlungsempfehlungen zur Renaturierung von Hochmooren in Niedersachsen“, GeoBericht 45, des LBEG Niedersachsen, ein. Da die Veröffentlichung im Frühjahr 2022, also vor der offiziellen Publikation der Projektergebnisse AktiMoos, erfolgte, wurden hier nur inhaltliche Schwerpunkte vorgestellt.

Im Sinne einer fortlaufenden Verbesserung der Renaturierungspraxis und des Moorschutzes wollen die Kooperationspartner die Aufklärung und Sensibilisierung, den Austausch und den Wissenstransfer auf wissenschaftlicher ebenso wie auf praktischer Ebene, innerhalb Deutschlands ebenso wie international, aktiv weiterführen. Ein deutlich gestiegenes Interesse an der Thematik „Moor“ im Zuge von Natur- und Artenverlust sowie globalem Klimawandel kommt diesem Bestreben entgegen.

## 5. Fazit

Mit dem erfolgreichen Abschluss des Vorhabens „AktiMoos“ können die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

Modul i: Torfmoosvermehrungsflächen als Referenz für Optimalbedingungen des Torfmooswachstums

- A) Referenzsysteme sind wichtig für die Beurteilung der Ergebnisse. Die Erfolgsquoten im Freiland können aufgrund von Bedingungen, die nicht vollständig kontrollierbar sind, entsprechend niedriger ausfallen. Die Referenzbedingungen mit suboptimalen Erfolgsquoten ähneln dabei vor allem sehr frühen (mit nacktem Torf, stellenweise zu nass aufgrund von Oberflurbewässerung) oder sehr späten Stadien (bei bereits etablierten konkurrenzstärkeren Zielarten).
- B) Für den optimalen Betrieb einer Torfmoos-Vermehrung im Freiland ist eine kontinuierliche Betreuung der Anlage wichtig. Ausreichend große Wasserspeicher (Regenwasser, bzw. detaillierte Angaben im Handlungsleitfaden des Projektes) in der unmittelbaren Nähe und eine funktionierende Technik (auch hierzu finden sich detaillierte Vorschläge im Handlungsleitfaden) sind kritische Erfolgsfaktoren, ansonsten kommt es auch hier zu Ausfällen in der Etablierung.
- C) Eine Kombination aus gut abgestimmten Maßnahmen des Managements (klare Zuständigkeiten und Verfahrensanweisungen/Checkliste) mit regelmäßiger Überwachung und Pflege ist notwendig.

Modul ii: Etablierungserfolg unter Praxisbedingungen im Freiland

- D) Die Anlage von Torfbänken in Verbindung mit einer einfachen, aber gut abgestimmten Regulation des Wasserstandes zu Beginn der Vegetationsperiode kann als wirksame Technik für die schnelle und erfolgreiche Wiederansiedlung von begrenzt verfügbaren Bulttorfmoosen angesehen werden. Besonders vielversprechend erscheint die Umsetzung dieser Technik in frühen Stadien von industriell eher kleinflächig abgetorften und gut kontrollierbaren Vernässungsflächen, da die Höhe der Torfbänke für einen idealen mittleren Wasserstand angepasst werden kann und möglichst große Soden ausgebracht werden können. Eine hydrologisch intakte Nachbarfläche oder eine Struktur (Graben, überstaute Fläche, etc.), die auch als Wasserquelle oder Reservoir in Zeiten des Wassermangels dient, kann sehr sinnvoll sein.
- E) Bulttorfmoose, die in Sodenform ausgebracht wurden, können im Winterhalbjahr eine längere flache Überstauung (bis 100 Tage, < 5 cm) problemlos tolerieren. Sie scheinen sogar davon zu profitieren, sobald der Wasserstand zu Beginn der Vegetationsperiode langsam wieder sinkt. Höhere und ausgedehnte Überstauungen sind jedoch negativ und können bis zum vollständigen Verlust der Soden führen.
- F) Der richtige Zeitpunkt und die Methodenwahl für die Flächenvorbereitung (aktive Gestaltung von Mikroreliefstrukturen, initiale Wasserstandsanhhebung und/oder Ausbringung von Stroh bei Bedarf) sowie die gezielte Auswahl und Ausbringung von einzelnen Arten trägt zur Optimierung des Etablierungserfolgs von Bulttorfmoosen

bei. Die Verwendung von Moosmischungen als Soden oder die Beimpfung von Ammenpflanzen sind in den meisten Fällen gleichwertige Alternativen. Es ist sorgfältig zu prüfen, unter welchen Bedingungen sich eine Ausbringung im Herbst als vorteilhafter erweisen kann.

#### Modul iii: Effekte von Torfmoosen auf Treibhausgas-Emissionen

- A) Die Ansiedlung von Bulttorfmoosen kann sich positiv auf die Reduktion von Methanemissionen auswirken. Aufgrund der Kleinflächigkeit von Soden-Verpflanzungen, wird diese Technik aber nicht ausreichen, um kurzfristig einen signifikanten Beitrag zur Reduktion der Methanemissionen und vollständigen Reaktivierung der Kohlenstoffbindung zu leisten. Der hohe Beitrag der Emissionen durch vaskuläre Pflanzen wird erst reduziert werden, wenn die Moose dominant sind.
- B) Da vor allem eine durch Torfmoose dominierte Vegetationsdecke die Methanemissionen reduzieren kann, ist es umso wichtiger, die Entwicklung einer hochmoortypischen, Sphagnum-dominanten Vegetation frühzeitig zu fördern
- C) Durch Sicherstellung der Verfügbarkeit von naturnahen Spendermaterial mit hochwertiger Qualität (Artenzusammensetzung, intakte Sodenform) kann direkt zu Beginn und mit zunehmender Entwicklungsdauer dennoch erwartet werden, einen wichtigen Beitrag zur Reduktion von THG-Emissionen zu erzielen.

#### Modul iv: Indikatoren für den Etablierungserfolg

- A) Monitoring und adäquates Management sind entscheidend, um sicherzustellen, dass die Entwicklung erfolgreich verlaufen kann und bei auftretenden Störungen im Rahmen der Möglichkeiten rasch reagiert werden kann. Zu berücksichtigende Faktoren sind Trockenphasen (Vitalität: Ausbleichen und Absterben) und Überstau (nicht länger als 100 Tage) in frühen Stadien, Entwicklung hochmoortypischer bzw. untypischer Begleitvegetation (Nährstoffsituation) in Übergangsstadien, sowie das Einsinken oder Überwachsen der Soden (mangelnde Tragfähigkeit, Konkurrenz mit Schlenken-Torfmoosen) in späten Stadien.
- B) Nach sorgfältiger Standortwahl und Vorbereitung günstiger Ansiedlungspunkte bei Bedarf ist der Wasserstand der wichtigste Faktor für den Erfolg der Wiederansiedlung bei von Hand gepflanzten Torfmoossoden. Günstige Wasserstände in Übergangs- und späten Stadien können an der Ausgangsvegetation häufig bereits abgeschätzt werden, während unter Praxisbedingungen in frühen Stadien in der Regel ein funktionierendes Management erforderlich ist.
- C) Aufgrund stark schwankender Witterungsverhältnisse können insbesondere in frühen Stadien vorübergehend Pflegemaßnahmen erforderlich sein, damit sich die als Initiale gepflanzten Soden auch nach längeren oder wiederholt ungünstigen Perioden gegen eine sich zwischenzeitlich ebenfalls etablierende und zeitweise konkurrenzstärkere Umgebungsvegetation behaupten und sich dauerhaft auf den Flächen ansiedeln und weiter ausbreiten können. Anzeichen für die Notwendigkeit eines Eingriffs sind hier die Zunahme der oberirdischen Biomasse und der Streu von Gefäßpflanzen, sowie Stagnation des Torfmooswachstums und Artenverschiebung aufgrund von Beschattung und Konkurrenz durch flotierende Schlenken-Torfmoose.

## 5.1 Ausblick

Wenngleich die Etablierung von Bulttorfmoosen auf Torfbänken im Ober-Unterefeld-Verfahren mithilfe begleitender Maßnahmen, u.a. zur Optimierung des Mikroklimas, erfolgreich verlaufen ist, hängt die langfristige Wirksamkeit von aktiv gestalteten Mikroreliefstrukturen zur möglichst frühen Ansiedlung von Bulttorfmoosen davon ab, ob die Ausbringungshöhe richtig gewählt wurde im Verhältnis zu den mittleren, maximalen und minimalen Wasserständen der Fläche. Zur Überprüfung der Nachhaltigkeit des Etablierungserfolgs sollte die Versuchsfläche weiterhin überwacht und, falls nötig, vereinzelt Pflegemaßnahmen durchgeführt werden und/oder die Fläche höher bzw. tiefer eingestaut werden.

Aufgrund der besseren Begehrbarkeit nach dem Sommer und der anstehenden Herbst- und Winterniederschläge scheint der Herbst ein besserer Zeitpunkt zur Einbringung von Bulttorfmoosen zu sein, vor allem wenn der Wasserstand nicht zu früh zu hoch ist und eventuell vor oder bei der Verpflanzung angefallenes lockeres Material abtransportiert wird, um bei steigenden Wasserständen oder nach starkem Regenfall eine Verschlammung zu vermeiden. Der Zeitpunkt im Herbst ergänzt sich auch sehr gut mit der Möglichkeit, Torfmoose aus einem Vermehrungsansatz zu nutzen, der im Jahr zuvor im Frühjahr angesetzt wurde und damit etwa anderthalb Jahre gewachsen ist (im Regelfall ausreichend Biomasse nach anderthalb Jahren).

Manche Fragen sind noch offen und sollten in weiteren Projekten untersucht werden, z.B. ob ein ähnlicher Ansatz zur Verwendung lokaler Populationen wie beim sogenannten "Regiosaatgut" von Grünlandpflanzen notwendig ist, oder auch Material aus weiter entfernten Ausgangspopulationen verwendet werden kann. Dahinter steht die Frage, ob nahe gelegene (innerhalb eines Standorts) oder weiter entfernte Populationen (zwischen den Standorten) eine höhere genetische Vielfalt aufweisen. Grundlegende Forschungen wäre also erforderlich, um die Relevanz der Herkunft bei Torfmoosen zu verstehen, da mehr Flexibilität bei der Herkunft die Verfügbarkeit von Spendermaterial verbessern könnte.

Die Stiftung Lebensraum Moor hat sich die Entwicklung von Hochmooren zum Ziel gesetzt. Hierfür ist die ausreichende Verfügbarkeit von Pflanzgut hochmoortypischer Vegetation essentiell. Die Vermehrung von Bulttorfmoosen wird daher durch Gramoflor und die Stiftung Lebensraum Moor weitergeführt und weiterentwickelt. Überschüssige Torfmoose sollen dabei wie bereits in der Vergangenheit auch anderen Akteuren für Renaturierungs- und Forschungszwecke zur Verfügung gestellt werden.

## 6. Literatur

Blankenburg, J. (2004): Praktische Hinweise zur optimalen Wiedervernässung von Torfabbauf Flächen. Geofakten 14: 1-12.

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2022): Nationale Moorschutzstrategie. Berlin.

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2023): Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz - Kabinettsbeschluss vom 29. März 2023. Berlin.

Hölzel, N., Kleinebecker, T., Knorr, K.-H., Raabe, P. & Gramann, G. (2019): Leitfaden zur Torfmoosvermehrung für Renaturierungszwecke. – Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück.

LBEG – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (2022): Handlungsempfehlungen zur Renaturierung von Hochmooren in Niedersachsen. Geoberichte 45. Hannover.

MU - Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2016): Programm Niedersächsische Moorlandschaften. Hannover.

Raabe, P., Kleinebecker, T., Knorr, K.-H., Hölzel, N. & Gramann, G. (2018): Vermehrung und Ansiedlung von Bulttorfmoosen in der Hochmoorrenaturierung – erste Ergebnisse eines Pilotprojekts im Landkreis Vechta (Niedersachsen). – Telma 48: 71–80.

Raabe, P., Hölzel, N., Gramann, G., Kleinebecker, T. & Knorr, K.-H. (2019): Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur Etablierung von Bulttorfmoosen in wiedervernässten Hochmooren nach Abtorfung. – Abschlussbericht zum Forschungsprojekt. DBU-AZ: 31995-33/0. Münster.

Stiftung Lebensraum Moor (2018): Projektantrag – Aktivierung der Hochmoorregeneration durch Ansiedlung von Bulttorfmoosen (AktiMoos). DBU-Aktenzeichen 34436/01-33/0. Vechta.

Stiftung Lebensraum Moor (2019): Erster Zwischenbericht. DBU-Aktenzeichen 34436/01-33/0. Vechta.

Tiemeyer, B., Bechtold, M., Belting, S., Freibauer, A., Förster, C., Schubert, E., Dettmann, U., Frank, S., Fuchs, D., Gelbrecht, J., Jeuther, B., Laggner, A., Rosinski, E., Leiber-Sauheitl, K., Sachteleben, J., Zak, D. & Drösler, M. (2017): Moorschutz in Deutschland - Optimierung des Moormanagements in Hinblick auf den Schutz der Biodiversität und der Ökosystemleistungen : Bewertungsinstrumente und Erhebung von Indikatoren. Bonn: Bundesamt für Naturschutz, 319 p, BfN Skripten 462.

Zoch, L., Grobe, A., Raabe, P., Hölzel, N., Kleinebecker, T., Knorr, K.-H., Köbbing, J. F. & Schneider J. (2022): Ausblick – Aktive Wiederansiedlung der hochmoortypischen Vegetation. - In: LBEG Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (eds.): Handlungsempfehlungen zur Renaturierung von Hochmooren in Niedersachsen. - GeoBer. 45, 97-99, Hannover.

## 7. Anhang

### Praxisbedingungen (aktive Herrichtung in frühen Stadien)

Anhang 1.1. Ergebnisse des Monitorings (Mittelwerte) zum Etablierungserfolg getesteter Bulttorfmoosvarianten (a-d) auf beimpften Versuchsträgern unter Praxisbedingungen (VT1 = niedrige Torfbankvariante; VT2 = hohe Torfbankvariante; VT3 = hohe Torfbankvariante mit Weißtorf). Die Ergebnisse sind sortiert nach der Rangfolge der Versuchsträger auf Grundlage des mittleren lateralen Flächenzuwachs ( $LZ_{Sode}$ ), der aus der Differenz zwischen dem Soden-Deckungsgrad ( $D_{Sode}$ ) zu Beginn (1: 07/2020) und am Ende (2: 12/2021) des Monitoring-Zeitraumes berechnet wurde. Weitere Parameter: Vitalität ( $Vi_{Sode}$ ), Stroh-Deckungsgrad ( $D_{Str}$ ), Gefäßpflanzen-Deckungsgrad ( $D_{Gp}$ ), vertikaler Höhenzuwachs ( $VZ_{Sode}$ ), Anzahl hochmoortypischer Begleitarten ( $Ba_{Sode}$ ), Entfernung zum Median-Wasserstand ( $HW_{med}$ : 3 = 3. Halbjahr, 2 = 2. Halbjahr; 1 = 1. Halbjahr), Überstaudauer und -höhe (Üs-D/-H).

VT	$LZ_{Sode}$ 17M	$D_{Sode}2/1$ [%]	$Vi_{Sode}2/1$ [%]	$D_{Str}2/1$ [%]	$D_{Gp}2/1$ [%]	$VZ_{Sode}$ [mm]	$Ba_{Sode}1/2$ [AZ]	$HW_{med}3/2/1$ [cm]	Üs-D/-H [d]/[cm]
<b>a) Moosmischung</b>									
VT3	2,5	39/16	78/83	43/83	24/5	+31	3,7/2,7	16/5/20	46/-3
VT2	2,3	33/15	84/75	46/82	42/4	+34	3,7/2,3	18/6/21	33/-2
VT1	1,9	34/18	91/87	43/79	39/1	+32	3,0/2,3	11/-1/13	93/-6
<b>b) <i>S. papillosum</i></b>									
VT1	2,4	44/18	89/85	22/76	64/1	+36	2,3/1,2	11/-1/14	97/-6
VT3	2,4	48/20	74/64	45/77	30/1	+9	2,7/1,2	15/3/19	65/-4
VT2	1,7	30/17	64/50	52/82	29/1	0	2,3/0,8	21/10/25	16/-2
<b>c) <i>S. medium</i></b>									
VT1	2,7	50/18	84/77	31/75	41/1	+28	3,0/1,5	13/1/17	79/-5
VT2	2,3	40/17	70/55	35/77	40/1	+15	3,0/1,0	19/7/22	25/-2
VT3	2,2	33/15	57/67	39/83	34/1	+21	3,0/1,7	15/3/18	66/-4
<b>d) <i>S. rubellum</i></b>									
VT3	2,0	27/14	76/79	37/84	41/1	+42	2,7/1,2	14/2/16	74/-4
VT2	1,6	21/13	67/34	33/86	57/1	+21	1,7/1,3	21/8/23	26/-2
VT1	1,5	22/14	94/63	40/81	46/1	+45	1,7/1,0	13/1/14	86/-5

## Naturnahe Bedingungen (Übergangs- und späte Stadien)

Anhang 1.2. Ergebnisse des Monitorings (Mittelwerte) zum Etablierungserfolg getesteter Bultorfmoosvarianten (a-d) auf beimpften Versuchsträgern unter naturnahen Bedingungen (VT4 = jüngeres Übergangsstadium mit Wollgras-Ammenpflanzen; VT5 = älteres Übergangsstadium mit Wollgras-Ammenpflanzen; VT6 = älteres Übergangsstadium mit Flatterbinse-Ammenpflanzen; VT7 = spätes Stadium mit Wollgras-Torfmoosrasen; VT8 = spätes Stadium mit Schwingrasen). Die Ergebnisse sind sortiert nach der Rangfolge der Versuchsträger auf Grundlage des mittleren lateralen Flächenzuwachs ( $LZ_{Sode}$ ), der aus der Differenz zwischen dem Soden-Deckungsgrad ( $D_{Sode}$ ) zu Beginn (1: 07/2020) und am Ende (2: 12/2021) des Monitoring-Zeitraumes berechnet wurde. Weitere Parameter: Vitalität ( $Vi_{Sode}$ ), Schlenkentorfmoos-Deckungsgrad ( $D_{SM}$ ), Gefäßpflanzen-Deckungsgrad ( $D_{Gp}$ ), vertikaler Höhenzuwachs ( $VZ_{Sode}$ ), Anzahl hochmoortypischer Begleitarten ( $Ba_{Sode}$ ), Entfernung zum Median-Wasserstand ( $HW_{med}$ : 3 = 3. Halbjahr, 2 = 2. Halbjahr; 1 = 1. Halbjahr), Überstaudauer und -höhe (Üs-D/-H).

VT	$LZ_{Sode}$ 17M	$D_{Sode}2/1$ [%]	$Vi_{Sode}2/1$ [%]	$D_{SM}2/1$ [%]	$D_{Gp}2/1$ [%]	$VZ_{Sode}$ [mm]	$Ba_{Sode}1/2$ [AZ]	$HW_{med}3/2/1$ [cm]	Üs-D/-H [d]/[cm]
<b>a) Moosmischung</b>									
VT5	2,1	49/24	89/53	14/33	30/37	+34	2,3/3,3	18/6/20	32/-2
VT6	1,8	30/16	93/71	51/53	15/33	+37	0,0/1,7	14/2/15	74/-4
VT4	1,6	34/21	95/80	32/36	36/47	+31	3,0/3,0	13/1/15	83/-5
VT8	1,6	44/28	97/92	51/67	27/20	+26	2,7/3,0	5/-1/9	94/-3
VT7	0,4	7/20	97/39	73/49	22/20	-7	1,7/1,8	1/-11/15	172/-10
<b>b) <i>S. papillosum</i></b>									
VT5	2,4	57/23	91/75	16/14	36/42	+43	1,3/1,3	17/5/20	40/-3
VT6	2,3	50/22	88/71	25/41	19/35	+43	0,0/0,3	16/3/17	64/-4
VT4	1,7	41/24	82/52	16/19	42/54	+17	2,0/1,3	14/2/16	76/-4
VT8	2,2	65/30	91/57	35/61	14/17	+14	2,0/1,2	6/1/11	75/-2
VT7	0,5	12/26	92/41	60/33	28/21	+2	1,3/0,7	2/-10/15	164/-10
<b>c) <i>S. medium</i></b>									
VT8	2,2	59/26	99/96	45/65	12/18	+42	2,3/1,7	6/2/10	66/-2
VT7	0,4	8/21	97/60	63/42	31/29	+11	1,3/1,2	2/-11/14	168/-10
<b>d) <i>S. rubellum</i></b>									
VT8	1,3	27/21	95/91	68/74	13/10	+18	2,0/1,2	7/1/11	45/-2
VT7	0,1	2/16	51/44	64/53	40/33	-5	1,0/1,0	2/-13/14	175/-12

## Referenzbedingungen (Optimalversorgung analog zu Vermehrungsansätzen)

Anhang 1.3. Ergebnisse des Monitorings (Mittelwerte) zum Etablierungserfolg getesteter Bulttorfmoosvarianten (a-d) auf beimpften Versuchsträgern unter simulierten Referenzbedingungen (VT9 = Freilandvermehrung auf Schwarztorf mit Oberflurbewässerung; VT10 = Freilandvermehrung auf Weißtorf mit Unterflurbewässerung; VT11 = Tischvermehrung auf Weißtorf mit Überkopfbewässerung). Die Ergebnisse sind sortiert nach der Rangfolge der Versuchsträger auf Grundlage des mittleren lateralen Flächenzuwachs ( $LZ_{Sode}$ ), der aus der Differenz zwischen dem Soden-Deckungsgrad ( $D_{Sode}$ ) zu Beginn (1: 07/2020) und am Ende (2: 12/2021) des Monitoring-Zeitraumes berechnet wurde. Weitere Parameter: Vitalität ( $Vi_{Sode}$ ), Begleitpflanzen-Deckungsgrad ( $D_{BM}$ ), Gefäßpflanzen-Deckungsgrad ( $D_{Gp}$ ), vertikaler Höhenzuwachs ( $VZ_{Sode}$ ), Anzahl hochmoortypischer Begleitarten ( $Ba_{Sode}$ ), Entfernung zum Median-Wasserstand ( $HW_{med}$ : 3 = 3. Halbjahr, 2 = 2. Halbjahr; 1 = 1. Halbjahr), Überstaudauer und -höhe (Üs-D/-H).

VT	$LZ_{Sode}$ 17M	$D_{Sode}2/1$ [%]	$Vi_{Sode}2/1$ [%]	$D_{BM}2/1$ [%]	$D_{Gp}2/1$ [%]	$VZ_{Sode}$ [mm]	$Ba_{Sode}1/2$ [AZ]	$HW_{med}3/2/1$ [cm]	Üs-D/-H [d]/[cm]
a) Moosmischung									
T11	2,3	47/20	94/92	21/11	19/4	+15	3,7/3,0	9/9/8	0/-
T9	1,7	30/21	94/91	16/13	32/18	+1	3,0/2,7	2/3/4	0/-
T10	1,5	30/24	90/82	79/78	14/17	+8	3,0/4,0	8/8/10	0/-
b) <i>S. papillosum</i>									
T11	2,5	66/26	81/63	14/10	5/1	-5	1,7/1,0	10/10/10	0/-
T9	1,9	48/25	98/92	16/12	38/19	+17	2,3/0,8	3/3/3	0/-
T10	1,1	27/24	88/57	73/74	11/9	+1	1,8/0,8	7/8/9	0/-
c) <i>S. medium</i>									
T11	2,9	73/25	90/84	16/11	9/1	+1	1,2/1,0	9/10/9	0/-
T10	2,4	46/19	90/91	64/77	23/19	+25	2,7/1,3	8/9/9	0/-
T9	1,9	43/23	95/90	27/22	28/12	+10	2,7/2,0	2/2/1	0/-
d) <i>S. rubellum</i>									
T10	2,6	39/15	97/70	81/84	15/12	+14	2,3/0,7	7/7/9	0/-
T11	1,8	33/19	96/87	23/12	8/11	+11	1,5/0,8	8/9/8	0/-
T9	1,0	17/16	93/79	13/14	49/27	-4	0,8/0,8	2/2/3	0/-