

TELMA	Band 47	Seite 109 - 128	3 Abb., 1 Tab.	Hannover, November 2017
-------	---------	-----------------	----------------	-------------------------

Torfmooskultivierung auf Schwarztorf: ein neues Forschungsprojekt in Niedersachsen

Sphagnum farming on highly decomposed peat:
a new research project in Lower Saxony

MARTHA GRAF, BIRTE BREDEMEIER, AMANDA GROBE,
JAN FELIX KÖBBING, MEIKE LEMMER, JAN OESTMANN,
DOROTHEA RAMMES, MICHAEL REICH, GERALD SCHMILEWSKI,
BÄRBEL TIEMEYER und LOTTA ZOCH

Zusammenfassung

Die Kultivierung von Torfmoosen wird von 2015 bis 2019 auf zwei industriell abgebauten und stark zersetzten Schwarztorfflächen im Landkreis Emsland praktisch erprobt und wissenschaftlich begleitet. Dazu wurden Testflächen mit Torfmoosen (v.a. *Sphagnum papillosum*, *S. palustre*, *S. magellanicum*, *S. fimbriatum*, *S. pulchrum*) von drei Spenderflächen beimpft. Die Wirtschaftlichkeit der Torfmooskultivierung und die Eignung von Torfmoosen als Substratausgangsstoff werden vom Substrathersteller Klasmann-Deilmann GmbH getestet. Das Institut für Umweltplanung der Leibniz Universität Hannover erfasst und bewertet die Wuchsleistung der unterschiedlichen Torfmoosarten und die Eignung der Kultivierungsflächen als Lebensraum für charakteristische Tier- und Pflanzenarten der Hochmoore. Die Treibhausgas-Bilanz der „moorbasierten“ Torfmoosproduktion wird vom Thünen-Institut für Agrarklimaschutz in Braunschweig untersucht. Dazu gehört auch die Quantifizierung des Einflusses der Torfmoosernte auf die Kohlenstoffbilanz der Entnahmeflächen.

Abstract

From 2015 to 2019, the cultivation of peat mosses is being tested and scientifically monitored on two industrially harvested and highly decomposed peat fields in Lower Saxony, Germany. The study sites were inoculated with peat mosses (in particular *Sphagnum papillosum*, *S. palustre*, *S. magellanicum*, *S. fimbriatum*, *S. pulchrum*) of three donor sites. The economic profitability of peat moss cultivation and the suitability of peat mosses as constituent for growing media are being tested by the substrate manufacturer Klasmann-Deilmann GmbH. The Institute of Environmental Planning at the Leibniz Universität Hannover is assessing and evaluating the growth rate of the different peat moss species and the suitability of the cultivation sites as habitats for characteristic plant and animal species of raised bogs. The greenhouse gas balance of the "peatland based" peat moss production is being evaluated by the Thünen Institute of Climate-Smart Agriculture in Braunschweig. The GHG balance includes the quantification of the influence of peat moss harvest on the C-sequestration of the donor sites.

1. Einleitung

Torfmooskultivierung ist eine Paludikultur, die aufgrund der flurnahen Grundwasserstände die derzeit einzige Nutzungsmöglichkeit von Hochmooren unter naturnahen hydrologischen und damit torferhaltenden Bedingungen darstellt (GAUDIG et al. 2014, POULIOT et al. 2015). Dabei werden die Torfmoose (*Sphagnum* spp.) auf ehemaligen Torfabbauflächen oder landwirtschaftlich vorgenutzten Torflagerstätten kultiviert und können als Substratausgangsstoff im Gartenbau eingesetzt werden. Dies stellt eine klimaschonende und nachhaltige Alternative zur Torfnutzung dar. Zusätzlich werden potenzielle Lebensräume für gefährdete Hochmoorarten geschaffen und eine Reduzierung der Treibhausgas (THG)-Emissionen im Vergleich zu konventioneller landwirtschaftlicher Nutzung ermöglicht (ebd.).

Allein in Niedersachsen werden zurzeit 125.000 ha Hochmoorflächen land- und forstwirtschaftlich genutzt (NMUEK 2016). Die klimaschonende Bewirtschaftung kultivierter Moorböden sowie der Erhalt und die Regeneration von Mooren zählen deshalb zu den wichtigsten klimapolitischen Zielen Niedersachsens (ebd.).

1.1 Torfabbau und Substratproduktion in Niedersachsen

Deutschland ist weltweit eines der bedeutendsten und innovativsten Länder bei der Herstellung von Kultursubstraten für den Produktionsgartenbau und Blumenerden für den Hobbygartenbau (BMEL 2013). In Deutschland produzieren 12.000 Gartenbaubetriebe Gemüse, Speisepilze, Kräuter, Zierpflanzen, Stauden, Sträucher und Bäume ausschließlich oder überwiegend bodenunabhängig. Weitere 40.500 Betriebe sind Erwerbsgartenbaubetriebe des Einzelhandels, des Garten- und Landschaftsbaus und sonstige Dienstleistungsbetriebe, die indirekt Kultursubstrate und Erden bei Pflanzungen einsetzen oder diese verkaufen (ZVG 2016). Torf ist seit Jahrzehnten bei der Herstellung von Substraten und Erden der bei weitem wichtigste Ausgangsstoff, da er mehr positive physikalische, chemische und biologische Eigenschaften in sich vereint, risikoärmer bei der Verwendung und für mehr Einsatzbereiche geeignet ist als andere Ausgangsstoffe (SCHMILEWSKI 2015). Der weitaus größte Teil des in Deutschland gewonnenen Torfes kommt aus Niedersachsen. SCHMATZLER (2012) prognostiziert für das Jahr 2017 eine Rohtorf-Abbaumenge von 5,8 Mio. m³. Andere Substratausgangsstoffe, wie Grünkompost, Kokos, Rindenhumus und Holzfasern werden entsprechend ihrer Eignung und Verfügbarkeit mitverwendet, können Torf aber nur zum Teil ersetzen. Insgesamt machten diese alternativen Substratausgangsstoffe im Jahr 2012 eine Menge von 1 Mio. m³ aus (IVG 2012 in SCHMATZLER 2012).

Pro Jahr liegt der Bedarf für Substrate im Erwerbsgartenbau bei 9,5 Mio m³. Um diesen Bedarf decken zu können, muss neben dem immer knapper werdenden heimischem Torf und den alternativen Substratausgangsstoffen zusätzlich Torf, hauptsächlich aus dem Baltikum, importiert werden (SCHMATZLER 2012).

Aufgrund der dementsprechend rasant zurückgehenden Torfreserven der niedersächsischen Torfwirtschaft (SCHMATZLER 2012) und mit dem Ziel Treibhausgasfreisetzung einzuschränken und die biologische Vielfalt zu schützen (ML NIEDERSACHSEN 2017a), hat das Land Niedersachsen in seiner Änderung des Landesraumordnungsprogramms (LROP) Regelungen zum Schutz kohlenstoffhaltiger Böden getroffen. Demzufolge wurden die Vorranggebiete für Rohstoffgewinnung der Rohstoffart Torf um insgesamt 66.000 ha reduziert, gleichzeitig wurden Vorranggebiete zur Torferhaltung (36.000 ha) festgelegt, in denen der Torfabbau in Zukunft in der Regel ausgeschlossen ist (NIEDERSÄCHSISCHE STAATSKANZLEI 2017). Daraus resultiert, vor allem durch Ausschöpfung der bestehenden Abbaugenehmigungen, ein zukünftig stetiger Rückgang der Torfabbaumengen. Deshalb sind die mit dem Torfsubstrat verbundenen Branchen auf die Entwicklung von Ersatzsubstraten angewiesen, die aufgrund ihrer Bedeutung vom Land Niedersachsen unterstützt wird (ML NIEDERSACHSEN 2017b).

Die niedersächsische Substratwirtschaft setzt seit Langem alternative Substratausgangsstoffe ein. Auch die Verwendung von Torfmoosen für die Pflanzenkultur ist nicht neu, denn Torfmoos ist beispielsweise in der Orchideenkultur ein anerkannter und begehrter Substratausgangsstoff. Neu ist hingegen das Bestreben, kultiviertes Torfmoos generell als Kultursubstrat oder Bestandteil von Kultursubstraten im Gartenbau einzusetzen. Derzeit steht Torfmoos nur als importierte und hochpreisige Ware aus z. B. Chile oder Neuseeland in begrenzten Mengen zur Verfügung und bietet daher keine wirtschaftliche Alternative zu Torf (AUBÉ et al. 2015, DIAZ & SILVA 2012). Eine großflächige Torfmooskultivierung bietet die Chance einer nachhaltigen Regionalentwicklung indem sie eine Langzeitperspektive für die Substratwirtschaft schafft und die Sicherung von Arbeitsplätzen in wirtschaftlich schwächeren Regionen ermöglicht.

Was derzeit einen großflächigen industriellen Torfmoosanbau in Niedersachsen hemmt, ist das Fehlen von fünf wesentlichen Voraussetzungen für die praktische Umsetzung:

1. Anbauflächen für Torfmoose,
2. Torfmoos-Impfmateriale für die Neuanlage von Anbauflächen,
3. die Entwicklung von Ernteverfahren und -maschinen für die großflächige Ernte von Torfmoosen,
4. Aufbereitungsverfahren, um die geernteten Torfmoose zu einem Substratausgangsstoff zu verarbeiten, sowie
5. eine agrarpolitische Förderfähigkeit (Flächenprämie für Anbauflächen von Torfersatzstoffen oder Förderung von torfreduzierten/-freien Substraten).

1.2 Aktueller Stand der Torfmooskultivierung

Torfmooskultivierung wird bzw. wurde bereits auf verschiedenen kleinen Versuchsfeldern im In- und Ausland getestet, u.a. in Deutschland bei den Firmen Moorkultur Ramsloh mit Versuchsbeginn 2004 und 2011 (BEYER & HÖPER 2015, GAUDIG et al. 2014)

und Klasmann-Deilmann GmbH mit Versuchsbeginn 2012 sowie auf mehreren Flächen in Kanada (POULIOT et al. 2015). Inzwischen ist eine Vielzahl von Veröffentlichungen zum Thema Torfmooskultivierung erschienen, insbesondere aus Deutschland und Kanada (vgl. GAUDIG et al. 2014, POULIOT et al. 2015).

Dennoch gibt es bisher nur vier systematisch untersuchte Testflächen zur Torfmooskultivierung, davon zwei in Kanada (vgl. POULIOT et al. 2015) und zwei in Deutschland (vgl. GAUDIG et al. 2014). Die Anzahl der getesteten Torfmoos-Arten und die Größe der Anbaufläche sind dabei mit jedem Versuch gestiegen. Großflächige Versuche fanden alle auf Weißtorf statt, weil die hydrologischen Bedingungen dort den ökologischen Ansprüchen von Torfmoosen am besten entsprechen. In dem hier vorgestellten Projekt wird Torfmooskultivierung auf einer stark zersetzten und industriell abgebauten Schwarztorf-Fläche erprobt. Dies ist von großer praktischer Bedeutung, weil auf entwässerten Hochmoorstandorten die Weißtorfschicht meistens ganz oder teilweise degradiert bzw. abgetorft ist und somit entweder nur noch eine Schwarztorfschicht existiert oder die bodenhydrologischen Eigenschaften der vererdeten Horizonte schwarztorf-ähnlich sind. Außerdem existieren in Niedersachsen mehrere tausend Hektar abgetorfte – und damit von Düngemitteln und Gefäßpflanzen weitgehend freie – Moorflächen mit der Nachnutzung Landwirtschaft, auf denen eine Nutzung für Paludikulturen eine klimafreundliche Alternative zur herkömmlichen Landwirtschaft darstellen könnte.

Ebenso war bei den bisher durchgeführten Versuchen die Bewässerungstechnik immer eine zentrale Frage, wurde aber nicht systematisch untersucht. Torfmoose brauchen ein sehr stabiles Wasserniveau, um ein optimales Wachstum zu erreichen (CAMPEAU & ROCHEFORT 1996, POULIOT et al. 2015). Für ein optimiertes Anbausystem wäre es daher notwendig, ideale hydrologische Bedingungen (Wasser knapp unter der Oberfläche) mit möglichst niedrigen Kosten und niedrigen THG-Emissionen (nur wenige offene Wasserflächen mit potenziell hohen Methanemissionen) zu kombinieren. Aus diesen Punkten leiten sich die zentralen Forschungsfragen des hier vorgestellten Projektes ab:

- Können Torfmoose als nachwachsender Rohstoff in Niedersachsen auf Schwarztorf wirtschaftlich produziert werden?
- Wie kann die Bewässerungstechnik für solche „problematischen“ Standorte optimiert werden?
- Wie entwickelt sich die floristische und faunistische Biodiversität im Vergleich zu naturnahen Mooren und anderen wiedervernässten Flächen?
- Ist die „moorbasierte“ Produktion von Torfmoosen auch unter Berücksichtigung von z. B. Bewässerungspoldern klimaneutral und wird auf den Kultivierungsflächen langfristig CO₂ gebunden?

1.3 Projektstruktur

2015 wurde begonnen abgetorfte Testflächen mit Torfmoosen von Spenderflächen zu beimpfen. Deren Entwicklung sowohl in Hinblick auf die Produktivität und Substratqualität als auch auf die sich entwickelnde Flora und Fauna sowie die THG-Emissionen wird bis 2019 untersucht. Hierfür hat sich ein Projektkonsortium zusammengefunden, das aus dem Institut für Umweltplanung der Leibniz Universität Hannover (verantwortlich für das Biodiversitäts-Monitoring), dem Thünen-Institut für Agrarklimaschutz (verantwortlich für das THG-Monitoring) und dem Substrathersteller Klasmann-Deilmann GmbH (Flächenbereitstellung, -einrichtung, Torfmoos- und Substratproduktion) besteht.

2. Untersuchungsgebiete und Methoden

Die Untersuchungsgebiete befinden sich im Norddeutschen Tiefland in den Landkreisen Emsland und Papenburg (Abb. 1). Sie sind Teil der „Ostfriesisch-Oldenburgischen Geest“, die stark von Landwirtschaft, wenigen Wäldern und ausgedehnten, heute überwiegend kultivierten oder in Abtorfung befindlichen Mooren charakterisiert ist (VON DRACHENFELS 2010). Das Klima ist atlantisch geprägt, wobei die Niederschläge zwischen 700 und 800 mm pro Jahr liegen (BfG 2017).

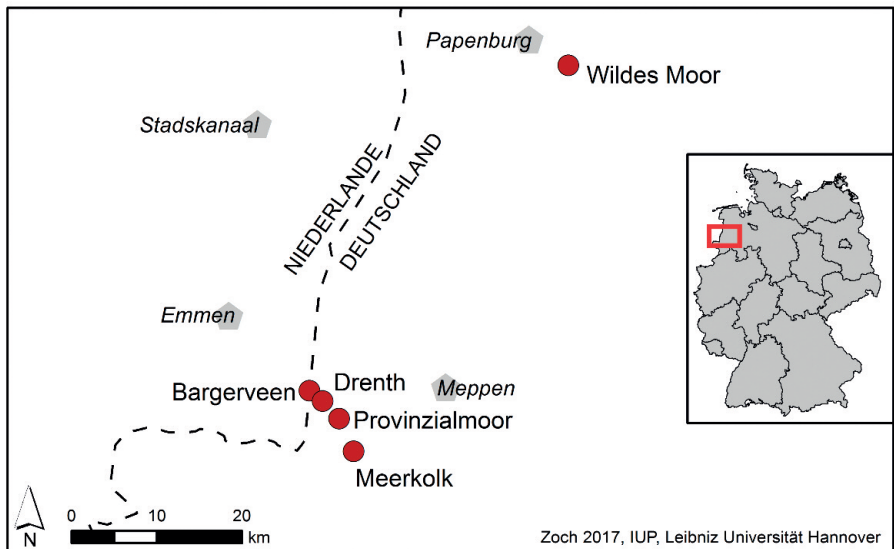


Abb. 1: Lage der Untersuchungsgebiete
Location of study sites

Im Projekt werden vergleichend Torfmooskultivierungsflächen, naturnahe Moorflächen (die auch als Spenderflächen gedient haben) und Flächen in Wiedervernässungsprojekten untersucht (Tab. 1). Alle Flächen sind zwischen 3 bis 5 ha groß. Die beiden Torfmooskultivierungsflächen „Provinzialmoor“ und „Drenth“ befinden sich im Landkreis Emsland bei Twist an der niederländischen Grenze. Die naturnahen Moorflächen sowie die Wiedervernässungsflächen liegen in unmittelbarer räumlicher Nähe.

Tab. 1: Untersuchungsgebiete mit Flächentyp und stattfindenden Untersuchungen.
Study sites with area specification and conducted assessments.

Name	Flächentyp	Untersuchungen		
		Flora	Fauna	Treibhausgase
Provinzialmoor	Kultivierungsfläche	Flora	Fauna	Treibhausgase
Drenth	Kultivierungsfläche	Flora	Fauna	Treibhausgase
Meerkolk	Naturnahe Moorfläche / Spenderfläche	Flora	Fauna	Treibhausgase
Wildes Moor	Naturnahe Moorfläche / Spenderfläche	Flora	Fauna	
Naturpark Bargerveen- Bourtanger Moor	Wiedervernässungsfläche / Spenderfläche	Flora		
Provinzialmoor Wiedervernässung 1999	Wiedervernässungsfläche	Flora	Fauna	
Provinzialmoor Wiedervernässung 2008	Wiedervernässungsfläche	Flora	Fauna	

2.1 Kultivierungsflächen

Um für die Kultivierung geeignete Testflächen zu identifizieren, wurden drei Kriterien herangezogen: (1) keine landwirtschaftliche Vornutzung, (2) keine direkt angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen und (3) geeignete abiotische Bedingungen für Torfmoose. Kriterien (1) und (2) sind erforderlich, weil ihre Nichtbeachtung zu einer Dominanz von Gräsern (z. B. Binsen) führt, die eine Konkurrenz für Torfmoose darstellen und auch zu einer Verschlechterung der Qualität des Substrats führen (Verunreinigung mit Beikräutern). Ideale abiotische Bedingungen sind ein niedriger pH-Wert (zwischen 3,5 und 6,0) und eine geringe elektrische Leitfähigkeit des Moorwassers (zwischen 10 bis 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (EGGELSMANN 1990). Während der pH-Wert des Bewässerungswassers in beiden Gebieten diesen Voraussetzungen entsprach, lag die elektrische Leitfähigkeit mit 50 bis 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ etwas höher, wobei Messungen in anderen naturnahen und wiedervernässten Hochmooren ebenfalls höhere Werte als EGGELSMANN 1990 zeigten (FRANK et al. 2014). Die Untersuchungsgebiete „Provinzialmoor“ und „Drenth“ erfüllten somit alle drei Kriterien. In beiden Gebieten wurden daraufhin jeweils 5 ha für die Torfmooskultivierung hergerichtet, mit jeweils 2,5 ha reiner Torfmoosfläche.

Provinzialmoor

Die Fläche „Provinzialmoor“ befindet sich im Eigentum der Klasmann-Deilmann GmbH und liegt innerhalb des 533 ha großen Naturschutzgebietes (NSG) „Provinzialmoor“ auf einer ehemaligen Abtorfungsfläche, die im Jahr 2008 wiedervernässt wurde. Eine kommerzielle Kultivierung von Torfmoosen steht dem eigentlichen Schutzzweck des NSGs entgegen. Die Schutzgebietsverordnung ermöglicht jedoch Maßnahmen zur Kultivierung von Torfmoosen sowie das Beimpfen und Ernten von Wiedervernässungsflächen mit heimischen Torfmoosen auf Teilflächen, wenn dies dem Schutzzweck dient (LANDKREIS EMSLAND 2013). Die Fläche „Provinzialmoor“ dient daher als sog. „Sphagnum-Bank“. Bei erfolgreichem Aufwuchs werden die hier produzierten Torfmoose ausschließlich für das Beimpfen von anderen Torfmooskultivierungsflächen und für Naturschutzprojekte zur Wiedervernässung von Mooren genutzt.

Drenth

Das Gebiet „Drenth“ (60 ha) befindet sich ebenfalls im Eigentum der Klasmann-Deilmann GmbH. Die Torfgewinnung ist dort bis 2020 genehmigt und auf einem Teilbereich von 5 ha bereits abgeschlossen. Dieser Teilbereich stand ab Mitte 2015 für die Anlage der Versuchsflächen zur Verfügung. Da die Abbaugenehmigung in diesem Teilbereich eine landwirtschaftliche Folgenutzung vorsieht, kann hier eine kommerzielle Produktion von Torfmoosen stattfinden.

2.2 Einrichtung und Management der Kultivierungsflächen

Vor der Einrichtung der beiden ausgewählten Versuchsflächen wurden die hydrologischen und stratigraphischen Gegebenheiten erfasst und eine Flächenplanung erstellt.

Die im NSG „Provinzialmoor“ gelegene Kultivierungsfläche wurde zur Be- und Entwässerung per Hand mit Gräben (Gruppen) ausgestattet (Abb. 2). Auf maschinelle Bodenbearbeitung wurde aufgrund der hydrologischen Bedingungen und des Schutzstatus verzichtet. Das Bewässerungswasser stammt aus – je nach hydrologischer Situation – zwei bis sieben benachbarten überstauten Poldern. Durch verstellbare Überläufe kann der Zufluss reguliert werden, überschüssiges Wasser fließt in einem nördlich der Fläche gelegenen Graben ab.

Die Kultivierungsfläche „Drenth“ wurde durch den Einsatz lasergesteuerter Raupen, Hydraulikbagger sowie weiterer Maschinen und Geräte für die Torfmooskultivierung vorbereitet. Insgesamt wurden 7 Polder (jeweils 0,4 ha) eingerichtet, ausgestattet im Wechsel mit offenen Gräben zur Anstaubewässerung und Entwässerung oder unterirdisch verlegten Dränagerohren und oberirdischer Tröpfchenbewässerung (Abb. 3). Das Bewässerungswasser stammt aus einem nahegelegenen, regengespeisten Teich, der bei Bedarf aus einem Grundwasserbrunnen nachgefüllt werden kann. Die elektrische Leitfähigkeit und der pH-Wert des Bewässerungswassers werden regelmäßig überprüft.

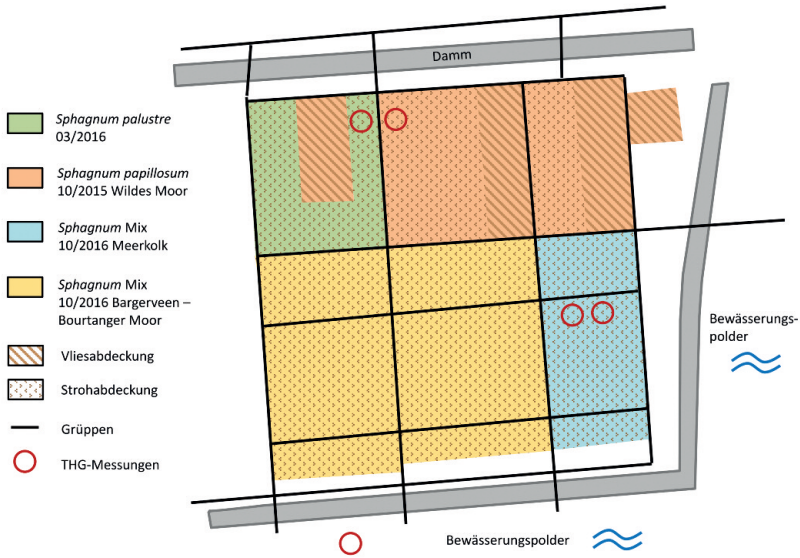


Abb. 2: Schematische Darstellung des Untersuchungsstandorts „Provinzialmoor“: *Sphagnum*-Arten, Herkunft, Beimpfungstermin und Abdeckung.
 Sketch of the study site “Provinzialmoor”: *Sphagnum* species, origin, inoculation date and cover.

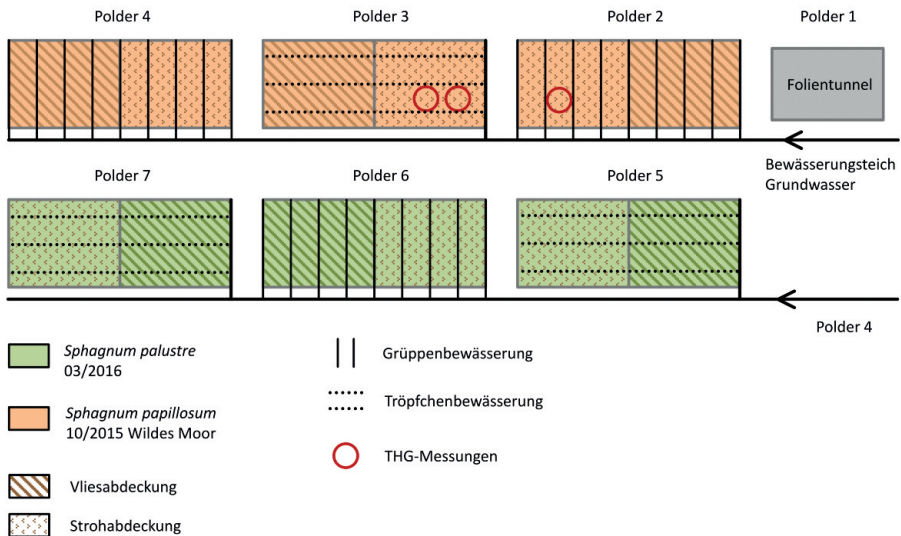


Abb. 3: Schematische Darstellung des Untersuchungsstandorts „Drenth“: *Sphagnum*-Arten, Herkunft, Beimpfungstermin, Bewässerungsart und Abdeckung.
 Sketch of the study site “Drenth”: *Sphagnum* species, origin, inoculation date, irrigation system and cover.

Angelehnt an bestehende Torfmooskultivierungsversuche (POULIOT et al. 2015, GAUDIG et al. 2014) wurden die von den Spenderflächen gesammelten Moose in einer dünnen Schicht (50 - 90 % Deckung) auf die vorbereiteten Flächen ausgebracht und zum Schutz mit Stroh bzw. Schattiervlies abgedeckt. Letzteres hat sich nicht bewährt und wurde nach einem Jahr wieder entfernt. Nach der Ausbringung wurde der Wasserstand auf den einzelnen Versuchsflächen bis knapp unter die Oberfläche angestaut.

Nach der erfolgten Anlage waren und sind während der Projektlaufzeit eine Reihe von Management-Tätigkeiten zu verrichten: in Zeiten mit hoher Verdunstung und geringem Niederschlag müssen die Versuchspolder bewässert werden, um ein Austrocknen und Absterben der Moose zu verhindern. Zur Bewässerung dienen die oben beschriebenen Polder und der Teich, aus denen über Überläufe, Pumpen, Rohre und Schläuche Wasser in die Flächen eingebracht wird.

Daneben ist die Pflege der Versuchsflächen von Bedeutung, da mit einer spontanen und für die Substratherstellung unerwünschten Ansiedlung von Gefäßpflanzen, wie beispielsweise Gräsern oder Birken, gerechnet werden muss. Im Rahmen des Projektes werden deshalb auch unterschiedliche Mahdkonzepte getestet.

2.3 Spenderflächen

Im Rahmen der Vorbereitung dieses Projektes wurden 13 mögliche Spenderflächen auf ihre Eignung geprüft. Die Auswahlkriterien waren (1) eine zusammenhängende Fläche von mindestens 0,5 ha Bult-Torfmoosen und (2) gute Zugänglichkeit. Drei Spenderflächen erfüllten diese Kriterien: Das NSG „Meerkolk“ in Geeste, das Landschaftsschutzgebiet (LSG) „Wildes Moor“ bei Papenburg sowie der Internationale Naturpark „Bourtanger Moor-Bargerveen“. Bei den Spenderflächen „Meerkolk“ und „Wildes Moor“ handelt es sich um naturnahe Hochmoorflächen, die nie oder nur in geringem Maße durch Weißtorfabbau beeinflusst wurden. Deshalb findet sich hier eine große Vielfalt an Torfmoosarten wie *Sphagnum papillosum*, *S. palustre*, *S. pulchrum*, *S. magellanicum*, *S. centrale*, *S. capillifolium* und *S. compactum*. Im Naturpark „Bourtanger Moor - Bargerveen“ wurde eine Spenderfläche innerhalb eines umfangreichen Wiedervernässungsgebiets gewählt, auf der sich großflächig Torfmoose wieder angesiedelt haben (v.a. *Sphagnum palustre* und *S. fimbriatum*).

Auf den Spenderflächen wurden die Moose von Hand oder mit leichten maschinellen Handmähern entnommen. Dabei handelte es sich hauptsächlich um Bult-Torfmoose (vor allem *Sphagnum papillosum*, *S. palustre* und *S. magellanicum*), die ursprünglich zur Bildung des jetzigen Torfkörpers in den lokalen Mooren geführt haben.

2.4 Wiedervernässungsflächen

Im NSG „Provinzialmoor“ erfolgen neben den Untersuchungen auf der Kultivierungsfläche auch vergleichende floristische und faunistische Erfassungen auf zwei Wiedervernässungsflächen. Die Flächen wurden 1999 und 2008 wiedervernässt und befinden sich somit in unterschiedlichen Stadien der Renaturierung. Auf der älteren Fläche hat sich bereits ein dichter Bestand aus Wollgras und Pfeifengras mit vereinzelt Torfmoospolstern gebildet. Die im Jahr 2008 wiedervernässte Fläche ist bisher nur in geringem Umfang von hochmoortypischer Vegetation wiederbesiedelt und wird zeitweise noch überstaut.

3. Forschungsfelder

Das Projekt ist in vier Themenbereiche gegliedert: (1) Flora (Biodiversität auf den Flächen und Wachstum der Torfmoose), (2) Fauna, (3) THG-Bilanz der „moorbasierten“ Torfmoosproduktion und (4) Wirtschaftlichkeit und Eignung von Torfmoosen als Substratausgangsstoff.

3.1 Flora

Die Mehrheit der Hochmoorarten ist in Deutschland in ihrem Bestand gefährdet. Sogar in wiedervernässten Mooren wurde beobachtet, dass mehrere typische Hochmoorpflanzenarten selbst nach 30 Jahren die Flächen nicht wiederbesiedeln konnten, darunter viele torfbildende Torfmoosarten (ROSINSKI 2012, LEMMER 2016). Das Beimpfen der Moore mit Torfmoosfragmenten und die damit verbundene vegetative Vermehrung scheinen die einzige Möglichkeit für mehrere Torfmoosarten, wie zum Beispiel die Bult-Torfmoose *Sphagnum papillosum* und *S. magellanicum*, die Moore wieder zu besiedeln (GONZÁLEZ et al. 2014). Die Kultivierung von Torfmoosen könnte neben der nachhaltigen Produktion eines Substratausgangsstoffes auch einen potenziellen Lebensraum für weitere gefährdete Hochmoorarten schaffen. In Deutschland wurden für die Torfmoosproduktion bis jetzt vor allem zwei der heimischen *Sphagnum*-Arten (*S. papillosum* und *S. palustre*) in Feldversuchen getestet (GAUDIG et al. 2014). Im vorliegenden Projekt wird daher die Wachstumsleistung von weiteren Torfmoosarten (u. a. *S. magellanicum* und *S. fimbriatum*) getestet, um die produktivsten Arten unter den gegebenen Bedingungen zu identifizieren.

Im Teilprojekt Flora sollen die folgenden Forschungsfragen beantwortet werden:

- Welche Torfmoosarten zeigen die beste Wachstumsleistung bei einer Kultivierung auf Schwarztorf?
- Welchen Einfluss haben die Rahmenbedingungen der Kultivierung (z.B. Bewässerungsform, Abdeckung, Mahd) auf die Wachstumsleistung der Torfmoose?

- Welchen Einfluss haben die abiotischen Faktoren auf die Wuchsleistung der Torfmoose?
- Welchen Einfluss hat die Torfmoosübertragung auf die floristische Diversität der Kultivierungs- und Spenderflächen?
- Wie unterscheiden sich Lebensraumstrukturen, floristische Diversität und Artensammensetzung der Torfmooskultivierungsflächen von Wiedervernässungsflächen und naturnahen Mooren?

Hierzu wird auf den Kultivierungsflächen das Wachstum der Moose in Höhe und Deckung erfasst. Die Vegetation (Torfmoose, andere Moose und Gefäßpflanzen) wird ebenfalls auf Spender- und Wiedervernässungsflächen untersucht und bezüglich Artenvielfalt und Artenzusammensetzung mit den Kultivierungsflächen verglichen. In den Kultivierungsflächen erfolgt ein stündliches Monitoring des Wasserstandes mit regelmäßig in der Fläche verteilten automatischen Messdatensammlern (Dipper-PT von Seba Hydrometrie).

3.2 Fauna

Mit der Wiedervernässung und flächigen Etablierung von Torfmoosen werden auf den Kultivierungsflächen auch potenzielle Lebensräume für typische Hochmoorarten geschaffen. Aufgrund der ständig nassen, sauren und nährstoffarmen Bedingungen und der Dominanz von Torfmoosen ähneln die Kultivierungsflächen den zentralen offenen Bereichen der naturnahen Hochmoore. Möglicherweise können diese Flächen deshalb auch von den hoch spezialisierten und stark gefährdeten Tierarten der Hochmoore besiedelt werden. Inwieweit diese Potenziale tatsächlich genutzt werden können, ist jedoch weitgehend unbekannt. Auf einer Torfmooskultivierungsfläche bei Rastede (Oldenburg) zeigte die Untersuchung der Spinnen-Zönose, dass sich mit der Etablierung der Torfmoose auch eine Vielzahl an Hochmoorarten (u.a. *Pardosa sphagnicola*, *Erigonella ignobilis*) ansiedelten (MUSTER et al. 2015). Andere Studien zur Fauna von Hochmooren (u.a. BARNDT 2014, SPITZER & DANKS 2006, FRANK 2014, LITTLEWOOD et al. 2010, MÜNCH 2004, NICKEL & GÄRTNER 2009) legen nahe, dass diese Flächen neben den bereits untersuchten Spinnen auch für die Reproduktion unterschiedlicher moortypischer Insektenarten aus verschiedensten Artengruppen wie Ameisen, Libellen, Tagfalter, Wasserkäfer oder Zikaden nützlich sein könnten. Für diverse Vogelarten (z. B. Watvögel), Reptilien (z. B. Kreuzotter) und Amphibien (z. B. Moorfrosch) sind diese Flächen möglicherweise als Teillebensraum nutzbar.

Gleichzeitig machen Untersuchungen zu den Auswirkungen von Renaturierungen auf die Fauna (MAZEROLLE et al. 2006, VAN DUINEN et al. 2003, VAN DUINEN et al. 2007) deutlich, dass der Besiedlungserfolg häufig von Details der praktischen Ausführung abhängt. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Einbindung der Torfmooskultivierungsflächen in die Landschaft sowie die Intensität der Bewirtschaftung und Flächenpflege entscheidend auf die Strukturvielfalt der Flächen und somit auf die Eignung als (Teil-)Lebensraum auswirken.

Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen die im Rahmen dieses Teilprojektes beantwortet werden:

- Welche Tierarten besiedeln oder nutzen die Torfmooskultivierungsflächen?
- Welche Faktoren (z. B. Spendermaterial, Flächenalter, Mahd der Gefäßpflanzen) beeinflussen die faunistische Diversität auf den Kultivierungsflächen?
- Welche faunistische Diversität stellt sich auf den Torfmooskultivierungsflächen im Vergleich zu wiedervernässten bzw. naturnahen Hochmoorflächen ein?
- Welche Auswirkungen hat die Torfmoosernte auf die Wirbellosenfauna einer Spenderfläche?

Zur Beantwortung dieser Fragen soll eine Vielzahl von Artengruppen untersucht werden, um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass es bei den meisten Artengruppen nur wenige, dafür hoch spezialisierte Arten sind, die diesen Lebensraum besiedeln. In sechs Untersuchungsgebieten erfolgt in den Jahren 2017 und 2018 die Erfassung von Vögeln, Reptilien, Amphibien, Libellen und Tagfaltern mit etablierten Standardmethoden (FISCHER et al. 2005, KORNDÖRFER 1992, SCHLÜPMANN & KUPFER 2009, SIEDLE 1992, POLLARD & YATES 1993). Zur Erfassung von Spinnen, Ameisen, Käfern und anderen, nicht vor Ort bestimm- baren epigäischen Wirbelosengruppen werden Proben der obersten lebenden Torfmoos- schicht genommen und im Labor bestimmt (u.a. KLAUSNITZER 2005, HEIMER & NENTWIG 1991, FREUDE et al. 1965).

3.3 Austausch von Treibhausgasen

Aufgrund der optimierten Bewässerung und der gezielten Beimpfung können Torfmoos- kultivierungsflächen ein schnelleres Biomassewachstum (POULIOT et al. 2015) und eine günstigere THG-Bilanz als andere wiedervernässte Flächen aufweisen. In Deutschland liegen dazu nur Daten von zwei Flächen vor, die eine THG-Bilanz von $-3,0 \text{ t CO}_2\text{-Äq. ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (BEYER & HÖPER 2015, etablierte Moosfläche) bzw. $-5,0$ bis $8,6 \text{ t CO}_2\text{-Äq. ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (GÜNTHER et al. 2017, Initialphase) aufweisen, während nach IPCC (2014) die Werte für wiedervernässte Hochmoore zwischen $-2,3$ und $15,5 \text{ t CO}_2\text{-Äq.}$ variieren. Negative Werte bedeuten eine Nettoaufnahme von Treibhausgasen aus der Atmosphäre, während positive Werte eine Freisetzung aus dem Ökosystem in die Atmosphäre darstellen. Die größten Unsicherheiten resultieren dabei aus der Emission von Methan (CH_4). Im Hinblick auf langfristige Perspektiven ist auch die Entwicklung des THG-Austauschs unter wärmeren Bedingungen interessant. Messungen in borealen und (sub)arktischen Gebieten haben gezeigt, dass die Auswirkungen experimenteller Temperaturerhöhungen auf die THG-Flüsse uneinheitlich sind, da sowohl die Biomasseproduktion moorspezifischer Arten als auch die Ökosystematmung erhöht werden kann. Somit wurde je nach Standortbedingun- gen und Witterung eine erhöhte Senkenfunktion für Kohlendioxid (CO_2), eine stärkere CO_2 -Quelle oder aber auch kein Netto-Effekt festgestellt (JOHNSON et al. 2013, PEARSON et al. 2015, SULLIVAN et al. 2008). Auch zur möglichen Erhöhung von CH_4 -Emissionen

wurden widersprüchliche Ergebnisse gefunden (TURETSKY et al. 2008, VAN WINDEN et al. 2012, JOHNSON et al. 2013). Bei der Torfmooskultivierung wird der lebende Teil der Sphagnum geerntet, bisher unbekannt ist aber, wie viel frische organische Substanz langfristig gespeichert wird bzw. ob frische oder alte organische Substanz als gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) ausgetragen wird. Auch in relativ intakten Mooren kann das durch die Ökosystematmung freigesetzte CO₂ einen Anteil „alten“ Kohlenstoffs enthalten (HARDIE et al. 2009) oder neueren Ursprungs sein (LEITH et al. 2014). TRINDER et al. (2008) stellten beispielsweise fest, dass in Gefäßpflanzen wie z. B. *Eriophorum vaginatum* weniger des frisch fixierten CO₂ in der Biomasse gespeichert wird als in Sphagnum.

Aus diesen Punkten ergeben sich folgende Fragen:

- Wie ist die THG-Bilanz der gesamten „moorbasierten“ Produktionskette (Spenderflächen, Vermehrungs- und Ernteflächen, Bewässerungspolder) von Torfmoosen?
- Welche Bewässerungsverfahren sind unter dem Aspekt der THG-Minimierung optimal?
- Wie resilient gegenüber Klimaänderungen sind Torfmooskultivierungsflächen unter mitteleuropäischen Klimabedingungen im Vergleich zu naturnahen Flächen?
- Wird so viel atmosphärisches CO₂ langfristig festgelegt, dass trotz Ernte Torfbildung stattfinden kann?

Die Messung des THG-Austauschs erfolgt mit der statischen Haubenmethode, bei der Kunststoffhauben (0,78 m x 0,78 m x 0,5 m) temporär auf fest im Boden installierte Rahmen aufgesetzt werden und die Änderung der Konzentrationen der THG während der Verschlusszeit gemessen wird (LEIBER-SAUHEITL et al. 2014, LIVINGSTON & HUTCHINSON 1995). Die Flüsse von CH₄ und Lachgas (N₂O) werden mit nicht-transparenten manuellen Hauben alle 2 bis 3 Wochen gemessen, während zur Ermittlung des CO₂-Austauschs monatlich ganztägige Intensivmesskampagnen mit abwechselnd transparenten (Netto-Ökosystemaustausch NEE) und nicht-transparenten (Ökosystematmung Reco) Hauben durchgeführt werden.

Die Ermittlung der jährlichen CO₂-Bilanz erfolgt nach LEIBER-SAUHEITL et al. (2014). Dabei werden für jeden Messkampagnentag Abhängigkeitsfunktionen zwischen Photosynthese (GPP = NEE - Reco) und der photosynthetisch aktiven Strahlung sowie zwischen Reco und Temperatur parametrisiert. Die ermittelten Modellparameter dienen mit Hilfe halbstündlich aufgezeichneter Klimadaten der Berechnung der Jahresbilanz des CO₂-Austauschs. N₂O- und CH₄-Flüsse werden entweder linear interpoliert oder bei guten Zusammenhängen mit Steuergrößen (z.B. Grundwasserstand, Temperatur) mit nicht-linearen Funktionen modelliert. Die Gesamt-Klimawirkung ergibt sich aus der flächengewichteten Summe der THG-Bilanzen der einzelnen Schritte der „moorbasierten“ Produktionskette. Dabei werden die eventuell erhöhten CH₄-Emissionen des Bewässerungspolders sowie die Ernte und die Emissionen der Wege und Dämme (Literaturwerte) mit einbezogen.

Zur Annäherung an Klimawandelbedingungen wurden ausgewählte Messvarianten mit Open-Top-Kammern ausgestattet, die um 0,6 bis 2,0°C höhere Temperaturen bewirken (MARION et al. 1997, SULLIVAN et al. 2008, TURETSKY et al. 2008). Die Isotopenstudie erfolgt nur auf den Flächen in „Drenth“ und soll zeigen, in welchen Kompartimenten der Untersuchungsflächen „neuer“ Kohlenstoff gebunden wird. Der erste Versuchsteil besteht in der Altersdatierung der verschiedenen Kohlenstoffpools und -flüsse. Der zweite Teil umfasst ein ^{13}C -Pulse-Labeling-Experiment (vgl. z. B. TRINDER et al. 2008). ^{13}C ist ein natürliches stabiles Isotop des Kohlenstoffs, mit dessen Hilfe der Verbleib von Photosyntheseprodukten in Ökosystemen verfolgt werden kann.

3.4 Wirtschaftlichkeitsberechnung und Substrateinsatz

Entscheidend für die großflächige Torfmooskultivierung und ihr Potenzial zur nachhaltigen Produktion eines Substratausgangsstoffes als Torfersatz ist ihre Wirtschaftlichkeit. Um eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchzuführen, werden alle anfallenden Kosten für beide Versuchsstandorte erfasst und möglichen Erlösen gegenüber gestellt.

Ziel der Torfmooskultivierung ist es, einen mit dem zu ersetzenden Weißtorf gleichwertigen Ausgangsstoff für die Substratherstellung zu erhalten. Aus Sicht der Verwendung im Pflanzenbau weist *Sphagnum* vergleichbare positive physikalische und chemische Eigenschaften wie der Weißtorf auf. Besonders vorteilhaft im Vergleich zu Weißtorf ist das noch geringere Volumengewicht der getrockneten Torfmoose.

Nach der Ernte ist die Aufbereitung der Torfmoose erforderlich. Zur Aufbereitung von Torfmoosen bestehen in Deutschland bisher keine längerfristigen Erfahrungen.

Proben des geernteten Spendermaterials werden folgendermaßen aufbereitet:

1. Separation: Trennung von Fremdstoffen, wie unerwünschte Gefäßpflanzen (Wildkräuter), z. B. durch Absieben;
2. Trocknung bzw. Auspressen von Torfmoosen: unerlässlich für die Weiterverarbeitung und Senkung von Transportkosten;
3. Hygienisierung: Prüfung der Verhinderung des Auskeimens bzw. des Austreibens von im Torfmoos enthaltenen Samen und Pflanzenteilen (Unkrauttests), durch Dämpfung, Trocknung oder Sterilisation mit Gammastrahlen;
4. Fraktionierung: Herstellung von Chargen einheitlicher Partikelgröße mittels Zerschneiden und Sieben, mit anschließender Volumenbestimmung;
5. Lagerung der Torfmoose zur Prüfung chemischer, biologischer und physikalischer Veränderungen und
6. Mischung von aufbereiteten Torfmoosen mit Weißtorf.

Um die Eignung der aufbereiteten Torfmoose für die Pflanzenkultur zu testen, wurden bzw. werden im Frühjahr 2016 und Sommer 2017 umfangreiche Pflanzenverträglichkeitstests (Keimpflanzentests) und Kulturversuche mit Topfpflanzen in Kooperation mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Versuchsanstalt für Gartenbau) bzw. der Hochschule Osnabrück (Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur) durchgeführt.

4. Ausblick

Durch dieses Projekt wird es möglich sein, eine ökonomische und naturschutzfachliche Bewertung sowie THG-Bilanz für die Torfmooskultivierung auf Schwarztorf zu erstellen. Die Eignung von Torfmooskultivierungsflächen als Lebensraum für gefährdete Hochmoorarten wird für verschiedene Artengruppen untersucht, für die es bislang nur wenige Erkenntnisse gibt. Bisher waren Messungen der THG-Bilanz auf die Torfmooskultivierungsflächen selbst beschränkt (vgl. BEYER & HÖPER 2015). In diesem Projekt wird erstmals die gesamte „moorbasierte“ Produktionskette der Torfmooskultivierung betrachtet und somit auch die Auswirkungen der Ernte auf die Kohlenstoffbilanz der Entnahmeflächen quantifiziert.

Verschiedene Torfmoosarten werden aufbereitet, getrocknet, hygienisiert und als Substratausgangsstoff getestet. Insbesondere die Aufbereitung und Hygienisierung ist bisher wenig untersucht, jedoch entscheidend für einen Einsatz im Gartenbau. Die unterschiedlichen Abdeckmaterialien (Stroh und Vlies) sowie die getestete Be- und Entwässerungstechnik sind aufgrund des unterliegenden Schwarztorfes und der zu erwartenden trockeneren Sommer von entscheidender Bedeutung für eine langfristige Etablierung von Torfmoosen. Daher wird auch untersucht, welche Bewässerungsvarianten eine sichere Torfmoosproduktion trotz steigender Temperaturen in Niedersachsen erlauben. Die in diesem Projekt erzielten Ergebnisse werden auch über Torfmooskultivierungsflächen hinaus Hinweise auf die Klimaresilienz wiedervernässter Hochmoore und mögliche Notwendigkeiten bei der Anpassung von Wiedervernässungen geben.

Die Ergebnisse des vorliegenden Projektes könnten zudem als wichtige Grundlage für die gezielte Förderung der Torfmooskultivierung dienen. Denn eine politische Unterstützung der Bereitstellung von Kultivierungsflächen und die Anerkennung der Förderfähigkeit von Torfersatzstoffen wären vor dem Hintergrund der bisherigen Forschung wünschenswert. Dies wäre beispielsweise in Form von Flächenprämien und/oder einer Förderung torfreduzierter/-freier Substrate denkbar.

Weitere Forschungsprojekte können helfen, noch offene Fragen zu optimalen Ernteverfahren, Produktivitätssteigerung, Wiederanwuchs, Ernteverfahren, Auswirkungen auf Biodiversität etc. zu beantworten. Möglicherweise kann eine Indoor-Kultivierung zu

höherer Produktivität und einer Vermeidung von Wildkräutern führen und damit eine Mahd und Hygienisierung überflüssig machen. Eine Wirtschaftlichkeit ist allerdings fraglich und muss geprüft werden.

Das vorliegende Projekt mit seiner wissenschaftlichen Begleitforschung läuft noch bis Mitte 2019. Danach wird eine erste Ernte der aufgewachsenen Torfmoose angestrebt.

5. Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Niedersächsischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die finanzielle Unterstützung der Projekte „KlimDivMoos“ und „MoosKult“ sowie beim Landkreis Emsland, der Stadt Papenburg, der Staatlichen Moorverwaltung und dem Staatsbosbeheer für die erteilten Genehmigungen. Ein Dank geht außerdem an das 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe und Bioökonomie e. V. für die Unterstützung bei der Projektentwicklung und -beantragung.

6. Literaturverzeichnis

- AUBÉ, M., QUENUM, M., & RANASINGHE, L. L. (2015): Characteristics of Eastern Canadian cultivated Sphagnum and potential use as a substitute for perlite and vermiculite in peat-based horticultural substrates. – *Mires and Peat* **16**(3): 1-18.
- BARNDT, D. (2014): Beitrag zur Kenntnis der Arthropodenfauna der nährstoffarmen Torfmoosmoore Kellsee und Himmelreichsee (Land Brandenburg). – *Märkische Entomologische Nachrichten* **16**(2): 93-137.
- BEYER, C. & HÖPER, H. (2015): Greenhouse gas emissions from rewetted bog peat extraction sites and a *Sphagnum* cultivation site in Northwest Germany. – *Biogeosciences* **12**: 2101-2117.
- BFG - BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (2017): Hydrologischer Atlas Deutschland. Aufgerufen am 14.06.2017: <http://geoportal.bafg.de/mapapps/resources/apps/HAD/index.html?lang=de>
- BMEL - BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2013): Zukunftsstrategie Gartenbau. Abschlussbericht zum Zukunftskongress Gartenbau am 11./12. September 2013 in Berlin. – 83 S.
- CAMPEAU, S. & ROCHEFORT, L. (1996): Sphagnum regeneration on bare peat surfaces: field and greenhouse experiments. – *Journal of Applied Ecology* **33**: 599-608.
- DIAZ, M. F., & SILVA, W. (2012): Improving harvesting technique in Chilean peatlands. – *Chilean Journal of Agricultural Research* **72**: 296-300.
- EGGELSMANN, R. (1990): Moor und Wasser. – In: Göttlich, K.: Moor- und Torfkunde: 288-320; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).

- FISCHER, S., FLADE, M. & SCHWARZ, J. (2005): Revierkartierung. – In: SÜDBECK, P., ANDRETTZKE, H., FISCHER, S., GEDEON, K., SCHIKORE, T., SCHRÖDER, K. & SUDFELDT, C.: Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel Deutschlands: 47-53; Radolfzell.
- FRANK, M. (2014): Beitrag zur aktuellen Zusammensetzung der Libellenfauna (Odonata) im NSG Grambow Moor (Nordwest-Mecklenburg). – *Virgo - Mitteilungsblatt des entomologischen Vereins Mecklenburg* **17**(1): 4-23.
- FRANK, S., TIEMEYER, B., GELBRECHT, J. & FREIBAUER, A. (2014): High soil solution carbon and nitrogen concentrations in a drained Atlantic bog are reduced to natural levels by 10 years of rewetting. – *Biogeosciences* **11**(8): 2309-2324.
- FREUDE, H., HARDE, K. W. & LOHSE, G. A. (1965): Die Käfer Mitteleuropas. – Krefeld (Goecke & Evers).
- GAUDIG, G., FENGLER, F., KREBS, M., PRAGER, A., SCHULZ, J., WICHMANN, S. & JOOSTEN, H. (2014): Sphagnum farming in Germany - a review of progress. – *Mires and Peat* **13**: 1-11.
- GONZÁLEZ, E., HENSTRA, S., ROCHEFORT, L., BRADFIELD, G. & POULIN, M. (2014): Is rewetting enough to recover Sphagnum and associated peat-accumulating species in traditionally exploited bogs? – *Wetlands Ecology and Management* **22**: 49-62.
- GÜNTHER, A., JURASINSKI, G., ALBRECHT, K., GAUDIG, G., KREBS, M. & GLATZEL, S. (2017): Greenhouse gas balance of an establishing *Sphagnum* culture on a former bog grassland in Germany. – *Mires and Peat* **20**, Article 2: 1-16.
- HARDIE, S.M.L., GARNETT, M.H., FALICK, A.E., OSTLE, N.J. & ROWLAND, A.P. (2009): Bomb-¹⁴C analysis of ecosystem respiration reveals that peatland vegetation facilitates release of old carbon. – *Geoderma* **153**: 393-401.
- HEIMER, S. & NENTWIG, W. (1991): Spinnen Mitteleuropas. – 543 S.; Berlin, Hamburg (Paul Parey).
- IPCC - INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2014): 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National greenhouse gas inventories: Wetlands.
- JOHNSON, C.P., PYPKER, T.G., HRIBLIAN, J.A. & CHIMNER, R.A. (2013): Open top chambers and infrared lamps: A comparison of heating efficacy and CO₂/CH₄ dynamics on a Northern Michigan Peatland. – *Ecosystems* **16**: 736-748.
- KLAUSNITZER, B., HANNEMANN, H.-J. & SENGLAUB, K. (2005): Exkursionsfauna von Deutschland: Wirbellose: Insekten. – 959 S.; 10. Aufl.; München (Spektrum Akademischer Verlag).
- KORNDÖRFER, F. (1992): Hinweise zur Erfassung von Reptilien. – In: TRAUTNER, J.: Arten- und Biotop-schutz in der Planung: Methodische Standards zur Erfassung von Tierartengruppen: 53-60; Weikersheim (Josef Margraf).
- LANDKREIS EMSLAND (2013): Verordnung über das Naturschutzgebiet „Provinzialmoor“ in der Gemeinde Twist, Landkreis Emsland.
- LEIBER-SAUHEITL, K., FUSS, R., VOIGT, C. & FREIBAUER, A. (2014): High CO₂ fluxes from grassland on histic Gleysol along soil carbon and drainage gradients. – *Biogeosciences* **11**: 749-761.

- LEITH, F.I., GARNETT, M.H., DINSMORE, K.J., BILLET, M.F. & HEAL, K.V. (2014): Source and age of dissolved and gaseous carbon in a peatland-riparian-stream continuum: a dual isotope (^{14}C and $\delta^{13}\text{C}$) analysis. – *Biogeochemistry* **119**: 415 – 433.
- LEMMER, M. (2016): Das Wachstum natürlicher und mikrovermehrter Torfmoosfragmente von *Sphagnum magellanicum* und *Sphagnum capillifolium* unter verschiedenen Bedeckungen. – 41 S.; unveröffentlichte Masterarbeit an der Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung.
- LIVINGSTON, G. P. & HUTCHINSON G. L. (1995): Enclosure-based measurement of trace gas exchange: application and sources of error. – In: MATSON, P. A., HARRISS, R.C.: Biogenic Trace Gases: Measuring Emissions from Soil and Water: 14-50; Cambridge, UK (Blackwell Science).
- LITTLEWOOD, N., ANDERSON, P., ARTZ, R., BRAGG, O., LUNT, P. & MARRS, R. (2010): Peatland biodiversity. – IUCN UK Peatland Programme.
- MARION, G.M., HENRY, G.H.R., FRECKMAN, D.W. et al. (1997): Open-top designs for manipulating field temperature in high-latitude ecosystems. – *Global Change Biology* **3**: 20-32.
- MAZEROLLE, M. J., POULIN, M., LAVOIE, C., ROCHEFORT, L., DESROCHERS, A. & DROLET, B. (2006): Animal and vegetation patterns in natural and man-made bog pools: implications for restoration. – *Freshwater Biology* **51**: 333-350.
- ML NIEDERSACHSEN (2017a): Begründung zur Verordnung zur Änderung der Verordnung über das Landes-Raumordnungsprogramm (LROP) – Teil A-G.
- ML NIEDERSACHSEN (2017b): Begründung zur Verordnung zur Änderung der Verordnung über das Landes-Raumordnungsprogramm (LROP) – Teil I – zusammenfassende Erklärung.
- MÜNCH, W. (2004): Neue Funde der stark gefährdeten Moorameisen *Myrmica vandeli*, *M. gallienii* und *Formica transcaucasica* in Südbaden. – In: OSTEN, T.: Beiträge der Hymenopterologen-Tagung in Stuttgart. Stuttgart: Arbeitskreis Hymenoptera der DGaaE: 45-47.
- MUSTER, C., GAUDIG, G., KREBS, M. & JOOSTEN, H. (2015): Sphagnum farming: the promised land for peat bog species? – *Biodiversity and Conservation* **24**: 1989-2009.
- NICKEL, H. & GÄRTNER, E. (2009): Tyrphobionte und tyrphophile Zikaden (Hemiptera, Auchenorrhyncha) in der Hannoverschen Moorgeest – Biotopspezifische Insekten als Zeigerarten für den Zustand von Hochmooren. – *Telma* **39**: 45-74; Hannover.
- NIEDERSÄCHSISCHE STAATSKANZLEI (2017): Umweltbericht zur Änderung der Verordnung über das Landes-Raumordnungsprogramm Niedersachsen. – 284 S.
- NMUEK – NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND KLIMASCHUTZ (2016): Programm Niedersächsische Moorlandschaften – Grundlagen, Ziele, Umsetzung. – 71 S.; Hannover.
- PEARSON M., PENTTILÄ T., HARJUNPÄÄ L., LAIHO R., LAINE J., SARJALA T., SILVAN, K. & SILVAN, N. (2015): Effects of temperature rise and water-table-level drawdown on greenhouse gas fluxes of boreal sedge fens. – *Boreal Environment Research* **20**: 489-505.
- POLLARD, E. & YATES, T. J. (1993): Monitoring Butterflies for Ecology and Conservation. – 274 S.; London (Chapman & Hall).

- POULIOT, R., HUGRON, S., & ROCHEFORT, L. (2015): Sphagnum farming: A long-term study on producing peat moss biomass sustainably. – *Ecological Engineering* **74**: 135-147.
- ROSINSKI, E. (2012): Renaturierungspotential von industriell abgetorften Hochmoorflächen in NW-Deutschland. – 44 S.; unveröffentlicht Masterarbeit an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Institut für Landschaftsökologie.
- SCHLÜPMANN, M. & KUPFER, A. (2009): Methoden der Amphibienerfassung – eine Übersicht. – *Zeitschrift für Feldherpetologie* **15**: 7-84.
- SCHMATZLER, E. (2012): Die Torfindustrie in Niedersachsen – Ergebnisse einer Umfrage zur Zukunft der Torfgewinnung in Niedersachsen. – *Telma* **42**: 27-42; Hannover.
- SCHMILEWSKI, G. (2015): Kultursubstrate auf Torfbasis: Notwendige Produktionsmittel für die nachhaltige Entwicklung des Gartenbaus. – *Telma Beiheft* **5**: 71-92; Hannover.
- SIEDLE, K. (1992): Libellen: Eignung und Methoden. – In: TRAUTNER, J.: Arten- und Biotopschutz in der Planung: Methodische Standards zur Erfassung von Tierartengruppen: 97-110; Weikersheim (Josef Margraf).
- SPITZER, K. & DANKS, H. V. (2006): Insect biodiversity of boreal peat bogs. – *Annual Review of Entomology* **51**: 137-161.
- SULLIVAN, P.F., ARENS, S.J.T., CHIMNER, R.A. & WELKER, J.M. (2008): Temperature and microtopography interact to control carbon cycling in a high arctic fen. – *Ecosystems* **11**: 61-76.
- TRINDER, C.J., ARTZ, R.R.E. & JOHNSON, D. (2008): Contribution of plant photosynthate to soil respiration and dissolved organic carbon in a naturally recolonising cutover peatland. – *Soil Biology and Biochemistry* **40**: 1622-1628.
- TURETSKY, M.R., TREAT, C.C., WALDROP, M.P., WADDINGTON, J.M., HARDEN, J.W. & MCGUIRE, A.D. (2008): Short-term response of methane fluxes and methanogen activity to water table and soil warming manipulations in an Alaskan peatland. – *Journal of Geophysical Research* **133**: G00A10.
- VON DRACHENFELS, O. (2010): Überarbeitung der Naturräumlichen Regionen Niedersachsens. – *Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen* **40**: 249-252.
- VAN DUINEN, G.-J. A., BROCK, A. M., KUPER, J. T., LEUVEN, R. S. E. W., PEETERS, T. M., ROELOFS, J. G., VAN DER VELDE, G., VERBERK, W. C. E. P. & ESSELINK, H. (2003): Do restoration measures rehabilitate fauna diversity in raised bogs? A comparative study on aquatic macroinvertebrates. – *Wetlands Ecology and Management* **11**: 447-459.
- VAN DUINEN, G.-J. A., VERBERK, W. C. E. P. & ESSELINK, H. (2007): Persistence and recolonisation determine success of bog restoration for aquatic invertebrates: a comment on Mazerolle et al. (2006). – *Freshwater Biology* **52**: 381-382.
- VAN WINDEN, J.F., REICHART, G.-J., MCNAMARA, N.P., BENTHIE, A. & DAMSTÉ, J.S.S. (2012): Temperature induced increase in methane release from peat bogs: A mesocosm experiment. – *PLoS ONE* **7(6)**: e39614.
- ZVG – ZENTRALVERBAND GARTENBAU E.V. (2016): Jahresbericht 2016. – 65 S.

Anschriften der Verfasser

Korrespondierende Autorin: Dr. M. Graf

Dr. M. Graf, Prof. Dr. M. Reich , B. Bredemeier, A. Grobe,
M. Lemmer, L. Zoch
Leibniz Universität Hannover
Institut für Umweltplanung
Herrenhäuser Straße 2
D-30419 Hannover
E-Mail: graf@umwelt.uni-hannover.de

Dr. B. Tiemeyer, J. Oestmann
Thünen-Institut für Agrarklimaschutz
Bundesallee 50
D-38116 Braunschweig

Dr. J. F. Köbbing, D. Rammes, G. Schmilewski,
Klasmann-Deilmann GmbH
Land Use und Nachhaltigkeitsmanagement
Georg-Klasmann Straße 2-10
D-49744 Geeste - Groß Hesepe

Manuskript eingegangen am 28. Juli 2017