

TELMA	Band 51	Seite 61 - 90	5 Abb., 3 Tab.	Hannover, November 2021
-------	---------	---------------	----------------	-------------------------

Sphagnumfarm Barver: Planung und Einrichtung einer Torfmooskultur auf Hochmoorgrünland – erste Erfahrungen

Sphagnumfarm Barver: Planning and establishment of a peatmoss culture on raised bog grassland – first experiences

JENS-UWE HOLTHUIS & BERND HOFER

Zusammenfassung

Der Torfeinsatz in den Erden und Substraten des Gartenbaus ist mit CO₂-Emissionen verbunden und eine Reduzierung durch den Ersatz mit nachwachsenden Rohstoffen daher spätestens seit der Klimaübereinkunft Paris 2015 eine gesellschaftliche Herausforderung. Torfmoose (*Sphagnum* spp.) stellen dabei einen der wenigen Ersatzstoffe dar, die die hohen qualitativen Anforderungen an Kultursubstrate erfüllen können. Mit der Einrichtung des *Sphagnum* farming Projektes „Barver“, Landkreis Diepholz, soll von 2018 bis 2021 die Torfmooskultivierung auf Hochmoorgrünland in der Praxis getestet werden. Voraussetzung zur Anlagenplanung war eine detaillierte Grundlagenerhebung des inhomogenen Torfkörpers, auf deren Basis der Oberbodenabtrag der Betriebsfläche (1 ha) und die Einrichtung des Bewässerungssystems erfolgte. Die Kulturfläche wurde abschließend manuell mit Torfmoosfragmenten von unterschiedlichen Spenderflächen beimpft. Für die erforderliche Polderbewässerung musste ein Kompromiss aus gering überstauten Schwarztorfflächen und flurnah bewässertem Weisstorfbereich akzeptiert werden.

Schnell und flächig einsetzendes Wachstum der Torfmoosfragmente signalisiert, dass regionales *Sphagnum* farming auf degradiertem, drainierten Hochmoorgrünland bei funktionierender Wasserversorgung möglich ist. Die jetzt folgende Projektphase dient der Ermittlung der optimalen Bestandsentwicklung. Daneben sind technische und rahmenpolitische Fragen bis zu einer wirtschaftlich tragfähigen landwirtschaftlichen Torfmooskultivierung zu klären.

Abstract

The use of peat in growing media for horticulture is associated with CO₂ emissions and a reduction through replacement with renewable raw materials has therefore been a social challenge since Paris Agreement 2015 at the latest. Peat mosses are one of the few substitutes that can meet the high quality requirements for growing media. With the establishment of the *Sphagnum* farming project “Barver”, Diepholz district (Niedersachsen, Germany), peat moss cultivation on raised bog grassland is to be tested in practice from 2018 to 2021.

A fundamental prerequisite of planning of the one hectare study site was an in-depth basic evaluation of its inhomogeneous peat body, being the base of site preparation and irrigation system. Finally, the study

site was inoculated manually with fragmented peat mosses of different origins. The necessary watering of the polder had to be a trade-off between flood irrigation of a black peat area and subirrigation of the adjacent white peat zone.

Rapidly and widespread growth of peat mosses indicate, that the regional cultivation of *Sphagnum* on degraded and drained bog grassland with a working irrigation system is feasible. The now starting phase is aiming on an optimal developed *Sphagnum* stock. Aside, there are technical challenges and administrative obstacles to be overcome before cultivation of peat mosses will give economically viable agricultural crops.

1. Einleitung: Paludikultur – ein notwendiger Paradigmenwechsel landwirtschaftlicher Moornutzung

Die traditionelle landwirtschaftliche Moornutzung beruht bis heute auf dauerhafter Entwässerung. Dabei wird der Wasserstand im Bodenprofil abgesenkt, Voraussetzung für Befahrbarkeit bzw. Trittfestigkeit, gleichzeitig fördert eine vergrößerte aerobe Zone das Wachstum vieler an durchlüftete Böden angewiesene Nutzpflanzen (BLANKENBURG 2015).

Mit dem Luftzutritt beginnt jedoch schleichend der mikrobielle Abbau der organischen Substanz des Torfkörpers, der große Mengen der klimaschädlichen Treibhausgase (THG) CO_2 und N_2O freisetzt (BLANKENBURG 2015). Folge der oxidativen Zersetzung des Torfes ist ein kontinuierlicher Höhenverlust, wodurch sich das Moorwasser wieder der Oberfläche nähert. Ab Wasserständen von weniger als 30 cm unter Geländeoberfläche sind intensive Nutzungen nicht mehr möglich und der Standort muss erneut und noch tiefer entwässert werden.

In diesem „Teufelskreis der Moornutzung“ verschlechtern sich Bewirtschaftungsbedingungen nach Abbau der schwach zersetzten Hochmoortorfe schleichend, aber stetig. Sie enden mit Erreichen stark zersetzter Schwarztorfe mit ungünstigen physikalischen Bodeneigenschaften: zunächst entwickeln sich staunasse Standorte mit kurzfristigen Vernässungen und langfristig haftnasse Grenzertragsböden, die sich kaum noch entwässern lassen. In Norddeutschland ist dieses Stadium bereits vielfach erkennbar. Daneben führt das aktuelle agrarökonomische Umfeld (wachsender landwirtschaftlicher Flächendruck, steigende Nachfrage als Nachweisflächen zur Gülleentsorgung, zunehmende Produktion von Energie-Mais) zu Nutzungsintensivierungen, die die THG-Emissionen und Subsidenz (Bodensackung) der organischen Böden verstärken.

Vor dem Hintergrund der Bodensackung und der THG-Emissionen ist Landwirtschaft mit abgesenkten Grundwasserständen ökologisch nicht standortgerecht und ökonomisch nicht nachhaltig. Steigende Schöpfkosten und limitierte Kapazitäten zur Nachentwässerung machen eine landwirtschaftliche Moornutzung zunehmend unattraktiv. In der Konsequenz führt dies zur Nutzungsaufgabe, begleitet vom Verlust traditioneller Arbeitsplätze und soziokultureller Identität (KUNTZE 1983; RATH & BUCHWALD 2010; TREPPEL 2015): Moore veröden.

Die negativen Auswirkungen von Höhenverlust und THG-Emissionen sind nur durch standortgemäße Anhebung der Wasserstände bis nahe der Mooroberfläche zu reduzieren (HÖPER 2015). Nur dies erhält den Torfkörper als Produktions- und Existenzgrundlage und ermöglicht eine dauerhafte Bewirtschaftung von Nieder- und Hochmooren.

Für eine moor- und klimaschonende Zukunft der Landwirtschaft auf Mooren ist daher ein Paradigmenwechsel erforderlich: Statt in Mooren gegen das Wasser zu arbeiten, ist zukünftig mit ihm zu arbeiten. Dies gilt speziell vor dem aktuellen Hintergrund der letzten trockenen Sommer, die die Sinnhaftigkeit dieses Umdenkens unterstreichen. Das Land Niedersachsen benennt u.a. folgende Ziele:

- Reduktion bewirtschaftungsbedingter Torfzehrung und damit verbundenem Höhenverlust, um Produktionsfunktion zu sichern und THG-Freisetzungen zu senken
- Entwicklung und Etablierung von Nutzungen und Maßnahmen, die bei hohen Moorwasserständen eine hohe Bewirtschaftungsintensität zulassen (NMUEK 2016).

Da dies herkömmliche landwirtschaftliche Verfahren ausschließt, ist eine Umstellung auf angepasste Nutzungskonzepte erforderlich, die Paludikulturen (WICHTMANN ET AL. 2015). Diese nachhaltige Bewirtschaftung nasser Moorstandorte wird seit zwei Jahrzehnten von der Universität Greifswald und verschiedenen Partnern erforscht.

Im Hochmoorbereich wird seit etwa 15 Jahren die landwirtschaftliche Kultivierung von Torfmoosen („Sphagnum farming“) unter verschiedenen Bedingungen (Abtorfungsfläche, Grünland) untersucht, da dies eine der wenigen standortgerecht-torferhaltenden Nutzungen nasser Hochmoore ist (GAUDIG ET AL. 2014; POULIOT ET AL. 2015; KUMAR 2017). Sie eröffnet der Landwirtschaft wie auch dem Klimaschutz erfolgversprechende Perspektiven, schützt Ressourcen und bietet vielfältige Synergien insbesondere für den Arten- und Umweltschutz (GAUDIG 2002; WICHTMANN & WICHMANN 2011A, B).

1.2 Projektziele und -struktur

Für die Umsetzung von Paludikulturen spielen Test- und Demonstrationsanlagen eine wichtige Rolle. Hier können betriebliche Prozesse technisch und ökonomisch optimiert, Organisation und Strukturen einer Verwertungskette aufgebaut und durch Akzeptanzbildung die regionale Einführung erleichtert werden (ABEL ET AL. 2019).

Vor diesem Hintergrund sollen mit der „Sphagnumfarm Barver“ regionale Erfahrungen zu Einrichtung und Betrieb einer Sphagnum Farm auf typischem, degradiertem Hochmoorgrünland gewonnen werden:

- Anforderungen und technische Umsetzung einer Sphagnum Farm
- Anlagenmanagement (Etablierung, Bewässerung, Pflege, Ernte)
- Wirtschaftlichkeit: Torfmoose als gartenbauliches Substrat, als Spendermaterial für Renaturierungsflächen oder in Sonderanwendungen

- Öffentlichkeitsarbeit: Paludikultur als klimafreundliche, torferhaltende Form der Landwirtschaft

Dabei ist ein systematisches, wissenschaftliches Untersuchungsprogramm nicht von Anfang an vorgesehen. Dieses soll zukünftig entsprechend zur Verfügung stehender Ressourcen und Partner dynamisch umgesetzt werden.

Gefördert wird die Einrichtung im Rahmen des Interregprojektes CANAPE (Creating a New Approach for Peatland Ecosystems) mit einer Laufzeit von 2018–2021 (CANAPE 2018). Die Bearbeitung erfolgt durch ein Konsortium aus dem Amt für Kreisentwicklung und Umwelt des Landkreises Diepholz (Co-Finanzierung des Vorhabens, administrative Leitung, Netzwerkarbeit), der Stiftung Naturschutz im Landkreis Diepholz (Flächeneigentümer, operative Leitung), dem Deutschen Verband für Landschaftspflege e.V. (fachliche Beratung, naturräumliche Einbindung, Öffentlichkeitsbeteiligung) sowie dem Northern Institute of Thinking (fachliche Beratung, B2A).

1.3 Sphagnum farming in Deutschland: ein aktueller Überblick

Seit 1992 gibt es aus Kanada erste Erfahrungen im Sphagnum farming („moss layer transfer technique“) (POULIOT ET AL. 2015; GAUDIG ET AL. 2017). In Deutschland kann eine erste Literaturstudie zum Einsatz von Torfmoosen zur Substratsubstitution im Jahr 2002 als Auftakt mehrerer Projekte zum Sphagnum farming gelten (GAUDIG 2002). Den Ergebnissen dieser Recherche folgten seit 2004 in Niedersachsen mehrere Langzeit-Pilotversuche zur Optimierung der Torfmoosproduktion unter wissenschaftlich kontrollierten Praxisbedingungen:

- im Landkreis Cloppenburg von 2004-2014 auf einer Abtorfungsfläche in Ramsloh (0,12 ha, Substrat: Rest-Weißtorfauflage); Projekt: „Torfmoos als nachwachsender Rohstoff“ (KAMERMANN & BLANKENBURG 2008; GAUDIG ET AL. 2017)
- im Landkreis Ammerland seit 2011 auf degeneriertem Hochmoorgrünland in Hankhausen (urspr. 4 ha, Erweiterungen: 2016 auf 14 ha, 2020 auf 16,5 ha; Substrat: Weißtorf); Projekt „Moosgrün“ (2010-2014) (KREBS ET AL. 2012; AUTORENKOLLEKTIV 2016; GAUDIG ET AL. 2018); Projekt „Moosweit“ (2016-2019), Projekt „OptiMoos“ (2019-2022).
- im Landkreis Emsland seit 2015/2016 auf zwei Abtorfungsflächen in Twist (Drenth und Provinzialmoor) (ca. 2 x 5 ha, Substrat: Schwarztorf); Projekt: „Torfmooskultivierung“ (2015-2018) (SCHMILEWSKI & KÖBBING 2016; GRAF ET AL. 2017), Projekt: „SubstratMoos“ (KÖBBING 2018), Projekt „MoosKult“ und „KlimDivMoos“ (REICH ET AL. 2019); Projekt „Torfmoosvermehrung“ (2018-2021) (BIOECONOMIE 2018).
- im Landkreis Diepholz seit 2020 auf degeneriertem Hochmoorgrünland in Barver (1 ha; Substrat: Weiß- und Schwarztorf); Projekt „CANAPE“ (CANAPE 2020).

Die Gesamtfläche aller Projekte ist noch unter 30 ha. Damit wird deutlich, dass die Studien noch weit von einem landwirtschaftlichen Maßstab entfernt sind. Daher ist es besonders wichtig mit Betriebserfahrung und Produktentwicklungen aus diesen Projekten zur großmaßstäbigen Umsetzung beizutragen. Einen umfassenden Überblick zum bisherigen Know-how der Torfmooskultivierung gibt Gaudig (GAUDIG ET AL. 2014, 2018).

Intensiv untersucht ist in den genannten Projekten der Einsatz von Torfmoosen als Alternative zu fossilem Torf, dem immer noch wichtigsten Rohstoff gärtnerischer Substrate und Blumenerden. Da die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Torfmoosen gering zersetztem Hochmoortorf ähneln, könnte *Sphagnum*-Frischmasse als nachwachsender Ersatz für Weißtorf langfristig die Produktion der Erden- und Substratwerke absichern und gleichzeitig einer nachhaltigen, klimaschonenden Landwirtschaft interessante Perspektiven bieten (CASPER & SCHMATZLER 2009; GRAF ET AL. 2017). Zur Produktion gartenbaulicher Substrate sind breitblättrige Torfmoose mit hoher Saugfähigkeit und Stabilität bevorzugt (LANDRY ET AL. 2011), wodurch Laubmoose der Sektion *Sphagnum* (früher *Cymbifolia*) (*S. palustre*, *S. papillosum*, *S. magellanicum*) besonders geeignet sind. Diese und andere Torfmoose können mit Ausnahme der Blätter aus allen Pflanzenteilen neue Pflanzen regenerieren (POSCHLOD & PFADENHAUER 1989). In Deutschland wurde die großmaßstäbliche Torfmoosproduktion bisher vor allem mit *S. papillosum* und *S. palustre* erprobt. *S. palustre* ist als produktivste Art mit schneller Etablierung und guter Regenerationskapazität (KREBS ET AL. 2012, 2018; GAUDIG ET AL. 2014) vielversprechend für *Sphagnum* farming und neben dem ebenfalls ertragreichen *S. papillosum* ein bevorzugtes Moos zur Substratherstellung. Beide Arten sind unempfindlich gegenüber mesotrophen Verhältnissen (TEMMINK ET AL. 2017). Ihre Etablierung wird durch *S. magellanicum* unterstützt (ROCHEFORT & LODE 2006). Die Sektion *Sphagnum* hat im Feuchtegradienten des Bult-Schlenkensystems ein Optimum im intermediären Bereich (CLYMO & HAYWARD 1982) und ist daher unter breiteren hydrologischen Kulturbedingungen einsetzbar. Mischungen verschiedener Moosarten zeigen speziell bei Standorten mit schwieriger Wasserversorgung oder schwankenden Wasserständen bessere Etablierungserfolge (GAUDIG 2002; HÖLZEL ET AL. 2019).

Die Eignung von torfmoosbasierten Substraten für die pflanzenbauliche Produktion ist nachgewiesen (EMMEL 2008; BLIEVERNICH ET AL. 2010; JOBIN ET AL. 2014; GAUDIG ET AL. 2018), die für die Verarbeitung sphagnumbasierter Substrate nötigen Schritte sind Kumar (KUMAR 2017) zu entnehmen.

Neben ihrer hervorragenden Eignung als Torfersatzstoff hat *Sphagnum*-Biomasse weitere, vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Gärtnerisch ist sie in der Ornamentik verbreitet. Durch ihr hohes Absorptions- und Rückhaltevermögen für Flüssigkeiten und ihre antimikrobielle Wirkung wird sie traditionell als Verbandsmaterial und für Hygieneartikel eingesetzt. Weitere Verwendungsmöglichkeiten bestehen z.B. als Dämmstoff im Baubereich, als Transport- bzw. Verpackungsmaterial, als Absorptionsmittel bei Chemikalienunfällen oder als Wasserfilter (GLIME 2007; POULIOT ET AL. 2015).

Im Substratsektor ist die Torfmoosproduktion für Nischenmärkte mit hohen Gewinnspannen bereits profitabel (z.B. Substrate für Orchideen, Terraristik), wogegen die Nutzung von Torfmoosen im Massenmarkt preisgünstiger Substrate aus Weißtorf, Kompost

oder Holzfasern (noch) nicht konkurrenzfähig ist (GAUDIG ET AL. 2014; WICHMANN ET AL. 2020). Analog zu E10-Biokraftstoffen könnte eine verpflichtende Beimischungsquote von *Sphagnum* in torfreduzierten Substraten Torfmoosproduzenten Abnahmemengen garantieren, Planungssicherheit schaffen und somit den Anbau attraktiver machen. Ein interessanter Markt für Landwirtschaft und bisherige Torfabbauer ist auch die Produktion regionaler Torfmoosarten als Starterkulturen zur beschleunigten Renaturierung von Abbauflächen.

Allgemein können Paludikulturen kommerziell bereits kostendeckend arbeiten, vor allem, falls bei einer Monetarisierung auch externalisierte Klimafolgekosten nicht-standortgerechter Moornutzungen nach dem Verursacherprinzip eingepreist würden. Da sich die relativ neue „nasse Landwirtschaft“ vielfach in Grenzbereichen des Wasser-, Boden-, Naturschutz- und Agrarumweltrechts bewegt, kann ihre Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz durch eine Neuausrichtung rechtlicher und agrarpolitischer Steuerungs- und Anreizinstrumente bedeutend verbessert werden (z.B. Gleichbehandlung von Paludikulturen als beihilfefähige Landwirtschaft nach der Ersten Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU (GAP), längere Förderzeiträume, Vermeidung widersinniger Anreize zur Fortführung entwässerungsbasierter Moornutzung, Honorierung von Ökosystemdienstleistungen: „Klima-Wirt“, THG-Reduktionen über Agrar-Umwelt-Programme, ...) (SCHÄFER 2009; KÖLSCH ET AL. 2016; WICHMANN ET AL. 2017, 2020). Solche Förderung durch Direktzahlungen ist für viele Landwirte einkommensrelevant, aber an Auflagen wie z.B. Einhaltung des „Guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustands“ gebunden. Zur Unterstützung von Paludikulturen fehlt hier derzeit noch eine Definition der guten fachlichen Praxis (GfP) für Moorböden mit Vorgaben für standortgemäße Wasserstände. Diese ist nur mit Bewirtschaftung bei flurnahen Wasserständen möglich (WICHMANN ET AL. 2018; ABEL ET AL. 2019). Zur Formulierung der GfP in der Moorbewirtschaftung werden als vordringliche Ziele der Stopp des Höhenverlustes von Mooren, Verzicht auf tiefe Entwässerung, Anhebung der Wasserstände sowie torferhaltende / -bildende Kulturen gefordert (ABEL ET AL. 2016). *Sphagnum* farming würde dieser modernen GfP-Definition entsprechen.

Wie die Projekte zeigen, mangelt es für eine ökonomische Produktion von Torfmoosen bisher an geeigneten Maschinen und Geräten für Ausbringung, Pflege und Ernte. Die verfügbaren, an trockene Böden adaptierten Landmaschinen oder Eigenentwicklungen auf Basis bestehender Fahrzeuge sind unter den hydrologischen Verhältnissen der Paludikultur bisher unzureichend. Hier ist Bedarf für Technikentwicklung sowie finanzieller Unterstützung bei deren Anschaffung erkennbar. Eine Zusammenstellung der Anforderungen nasser Moore an adaptierte maschinelle Bewirtschaftung, deren Auswirkungen auf Logistik und Infrastruktur sowie die aktuell verfügbare oder zu entwickelnde Pflege- und Erntetechnik ist Schröder zu entnehmen (SCHRÖDER ET AL. 2015).

Ein gewichtiges Argument für Paludikulturen sind Klimaschutzaspekte. Hierzu sind für die oben genannten Versuchsflächen THG-Bilanzen publiziert (Ramsloh: BEYER 2014; HÖPER 2015; Hankhausen: GÜNTHER ET AL. 2017; Drenth / Provinzialmoor: REICH ET AL.

2019; Barver: CANAPE 2020), die jedoch methodisch in ihren Systemgrenzen (z.B. Beobachtungszeitraum, Flächenkompartimente, Torfarten) und Bestimmungsverfahren abweichen und die noch keinen vollständigen Lebenszyklus der Anlagen erfassen. Nach bisherigem Kenntnisstand scheint es, dass die THG-Emissionen unter denen einer extensiven Landwirtschaft liegen. Ob das Gesamtsystem *Sphagnum* Farm dabei als eine Senke oder schwache THG-Quelle agiert, ist abhängig von ihren klimawirksamen Flächenanteilen (THG-Senke: Produktionsfläche; THG-Quellen: Bewässerungsgräben, Fahr-/Arbeitsdämme) (GÜNTHER ET AL. 2017). Bei einer ganzheitlichen Systembetrachtung sind zudem neben den unmittelbaren Klimaeffekten (Flächenvernässung, Umstellung der Nutzungsform) indirekte Klimaeffekte (Substitution von Torf durch Torfmoose, Vermeidung klimawirksamer Torftransporte z. B. aus dem Baltikum; THG-Emissionen der Flächeneinrichtung und -unterhaltung; „Leakage“) miteinzubeziehen (COUWENBERG ET AL. 2008, HÖPER 2015). Die Methoden und Verfahren zur Messung oder Berechnung von THG-Emissionen werden bei DRÖSLER ET AL. (2016) dargestellt.

Es ist zu erwarten, dass eine großflächige Umstellung der bisherigen Landwirtschaft in Mooregebieten auf nasse Paludikultur auch soziokulturelle Effekte bewirkt. Naturnahe Moore werden von Menschen emotional ambivalent wahrgenommen, von bedrohlich-geheimnisvoll bis urwüchsig-romantisch. Die heute überwiegend praktizierte landwirtschaftliche Moornutzung führt zu der vertrauten, sanften „Kultur-Landschaft“ trockener Moore. Die Umwandlung („Transformation“) solcher Moorflächen für Paludikultur stößt daher oft auf psychologische Barrieren, da dies als dramatische Veränderung und Verlust der Kultur-Landschaft empfunden wird. Die Bewirtschaftung von Mooren setzt bereits aus wasserbaulicher Sicht überbetriebliches und kooperatives Handeln voraus. Daher müssen bei der Umsetzung der Paludikultur mögliche Konfliktpotenziale analysiert und Instrumente zur Partizipation entwickelt werden (DEICKERT & PIEGSA 2016; ZIEGLER 2020). Hierzu gibt es Ansätze im Bereich von Niedermooren (z.B. KLEINHÜCKELKOTTEN & NEITZKE 2012) und aktuell durch das Projekt „MoKli – Moor- und Klimaschutz – Praxistaugliche Lösungen mit Landnutzern realisieren“ u.a. auch für Hochmoorgrünland (DVL 2021); Untersuchungen der gesellschaftlichen Aspekte des *Sphagnum* Farming stehen jedoch aus.

2. Material und Methoden

2.1 Lage und Lokalklima

Die inklusive Ausbau- und Nebenflächen 8,5 Hektar große „Sphagnumfarm Barver“ ist nahe der Ortschaft Barver im Mittleren Wietingsmoor gelegen, einer zentralen Unter-einheit der Diepholzer Moorniederung (Geokoordinaten: 52°37'55.5“N, 8°37'08.7“E) (Abb. 1).



Abb. 1: Lage der Sphagnumfarm Barver (1) sowie der Spenderflächen (2-4).
Location of Sphagnumfarm Barver (1) and of Donor sites (2-4).

Das Lokalklima ist subatlantisch - maritim geprägt. Die Summe der Jahresniederschläge beträgt etwa 750 mm. Für die nahegelegene Wetterstation Bremen (712 mm) beträgt der klimatische Wasserüberschuss 216 mm. Die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 8°C (Jan.: 0,5 °C; Juli: 16,4 °C; Moorstandorte abweichend). Die Vegetationsdauer beträgt 225 - 230 Tage (LANDKREIS DIEPHOLZ 2008). Die Jahre 2018 und 2019 weisen im Vergleich zum langjährigen Mittel sehr geringe Niederschläge auf. Im Dürrejahr 2018 lag die Niederschlagsmenge mit 420 mm deutlich unter dem langjährigen Mittel, 2019 lag sie bei einem erneut sehr trockenen Sommer dank eines nassen Herbstes mit 734 mm im Langzeitmittel. Das Frühjahr 2020 war langanhaltend sehr feucht, von April bis September folgten mehrere kurze, trocken-heiße Phasen im Wechsel mit stärkeren Regenschauern (DWD, STATION DIEPHOLZ; eigene Beobachtungen).

2.2 Grundlagenerhebung

Voraussetzung einer erfolgreichen Planung der Paludikultur sind genaue Kenntnisse zu Eigenschaften der Torfe, der Geländetopographie sowie moorhydrologische Standortverhältnisse und der Wasserverfügbarkeit vor Ort (Menge und Qualität).

2.2.1 Eigenschaften des Torfkörpers und Ausgangsvegetation am Standort der Sphagnum Farm

Um geeignete Bereiche für die Torfmoosproduktion festzustellen, erfolgte eine detaillierte Inventur der Projektfläche. Die Torfstratigraphie wurde im Raster 35 m x 35 m bis zum Mineralboden sondiert. Bestimmt wurden Höhenverhältnisse, Torfart, -mächtigkeit und Beimengungen, der Zersetzungsgrad (nach v. POST 1924) sowie Auffälligkeiten (z.B. Sandkuppen, Drainagen). Die Zersetzungsgrade erlauben eine Abschätzung der Versickerungsverluste in den mineralischen Untergrund – ein entscheidender Parameter für den Erfolg der Sphagnum Farm. Zu ihrer Bestätigung wurden zusätzlich an mehreren Stellen die K_f -Werte der stauenden Torfschichten durch Versickerungsversuche in-situ bestimmt (HOFER & PAUTZ GbR 2018). Die Kontrolle der mooreigenen Wasserstandsschwankungen und des Grundwassers auf der Projektfläche erfolgte mit insgesamt 15 Messstellen, die in 14tägigem Intervall abgelesen werden.

Die Torfstruktur (Lagerungsdichte, Zersetzungsgrad) und Nährstoffsituation (Stickstoff, Nitrat-Stickstoff, Ammonium-Stickstoff, Phosphat, Kalium) in Ober- und Unterboden wurden an 10 regelmäßig im Grünland verteilten Punkten mittels Torfrohstoffprüfung (DIN 2019) ermittelt. Um potentiell negative Auswirkungen der Flächeneinrichtung auf gesetzlich geschützte Arten und Biotope auszuschließen können, erfolgte zudem eine vegetationskundliche Bestandserhebung der Biotoptypen auf der Projektfläche (GERMER ET AL. 2018). Der später in die Anlagenplanung einbezogene, nördlich angrenzende Handtorfstich wurde nur in geringerer Intensität beprobt.

2.2.2 Chemische Eigenschaften des Bewässerungswassers am Standort der Sphagnum Farm

Die Bewässerung der Sphagnum Farm soll vorwiegend durch Entnahme aus dem nahegelegenen „Freistätter Moorkanal“ (FSMK) erfolgen, der in den Sommermonaten temporär Niedrigwasser führt. Seine chemische Eignung wurde im zweimonatigen Intervall nach DIN-Verfahren auf folgende Parameter analysiert: pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Anionen (Nitrat, ortho-Phosphat, Hydrogencarbonat), Kationen (Calcium, Kalium, Ammonium, Eisen) und Schwebstoffgehalt.

2.3 Pflanzenmaterial und Spenderflächen

Zur aktiven Bestandsetablierung der Kultivierungsfläche war eine Mischung erntefrischer, vitaler Torfmoose von *Sphagnum palustre*, *S. papillosum* und *S. magellanicum* mit Fragmentlängen von 5-10 cm ausgeschrieben.

Das Spendermaterial stammt von einer Schilfwerbungsfläche im niederländischen Kalenberg (Provinz Overijssel), von der „Sphagnum Farm Hankhausen“ in der Nähe von Oldenburg i.O. sowie von der „Sphagnumbank Provinzialmoor“ im Emsland (Abb.

1). Bei letzterer handelt es sich um eine 2008 wiedervernässte Abtorfungsfläche, die 2015/2016 großflächig mit *Sphagnum palustre* und *S. papillosum* beimpft wurde (REICH ET AL. 2019). Bei der Schilfwerbungfläche handelt es sich um Handtorfstiche, die nach Vernässung von Schilf bewachsen wurden und in deren Unterwuchs sich spontan ein dichter Torfmoosrasen vorwiegend aus *S. palustre* entwickelt hat. Die Sphagnum Farm Hankhausen ist ehemaliges Hochmoorgrünland und wurde im Mai 2011 mit *S. palustre* und *S. papillosum* bestückt (KREBS ET AL. 2012).

Auf den Spenderflächen wurden die Moose manuell (Emsland, Niederlande) oder maschinell mit Mähkorb (Oldenburg) entnommen. Die geernteten Torfmoose wurden nach Ernte nicht weiter zerkleinert (Fragmentlängen im Mittel 6 cm).

3. Ergebnisse der Grundlagenerhebungen

3.1 Torfstratigraphie und Flächeneignung, Vegetation des Standortes

Die Projektfläche zeichnet sich durch erheblich variierende Substratverhältnisse aus, was sich weitestgehend mit der Charakteristik des umgebenden „Mittleren Wietingsmoor“ deckt (SCHNEEKLOTH & SCHNEIDER 1972).

Die relativ ebene Geländeoberfläche hat im Mittel ein Niveau von etwa 36,7 m NN, der mineralische Untergrund weist eine relativ ausgeglichene Höhe um 35,5 m NN auf. Abweichend hiervon finden sich aber zwei unterirdische Sandkuppen im Nordosten (bis 36,5 m NN) und im Südwesten (bis 36,8 m NN) der Fläche. Im Bereich dieser Sandkuppen findet sich nur noch eine Resttorfauflage von 30-50 cm, sodass die Geländeoberfläche hier auf > 37,0 m NN etwas wellig erhöht ist.

Bodentypologisch liegt ein typischer Hochmoorboden über Niedermoor (HHn) vor. Der Torfkörper besteht überwiegend aus Niedermoortorfen, die aufgrund ihrer basalen Lage noch weitestgehend erhalten sind. Die Niedermoorschichten sind allgemein stark zersetzt, wobei auch kleinere Bereiche mit geringer zersetzten Radizellen-Lagen vorkommen (H 5-H 6). Oft treten Holzreste vorwiegend der Birke in den Niedermoortorfen auf, an manchen Stellen kann man schon von Bruchwaldtorfen reden.

Über dem Niedermoorkörper ist eine geringmächtige Schwarزتorfage, oft mit Übergangscharakter. Die anschließenden Hochmoorschichten werden dominiert von gering zersetzten Torfen der *Cuspidata*- oder *Acutifolia*-Sektionen.

Die Geländeoberfläche weist durch landwirtschaftliche Bearbeitung im Gegensatz zu den geringer degradierten Unterbodenhorizonten ein im Mittel 24 cm starkes vererdetkrümeliges Gefüge auf. An einigen Stellen wurde im Oberboden zudem Sandanteile festgestellt. Diese sind reliktsche Flugsande oder wurden partiell zur Bodenverbesserung aufgetragen – aber nicht gleichmäßig oder flächendeckend.

Die Gesamttorfmächtigkeiten der Projektfläche schwanken stark: während sich im Bereich der beiden Kuppen nur noch geringe Torfmächtigkeiten finden (SW: 0,2 m, NO: 0,6 m), sind genau westlich bzw. östlich von ihnen bis zum Gebietsrand relativ große Torfmächtigkeiten (NW: 1,6 m, SO: 1,2 m). Das nördliche Drittel des Standorts wurde als Handtorfstich genutzt, wobei unmittelbar an die landwirtschaftlich genutzte Fläche eine höher gelegene, teilabgetorfte „Bank“ mit Gesamttorfmächtigkeiten um 1,6 m und nicht vererdetem Weißtorf festzustellen ist. Ganz im Norden ist eine durch Abtorfung entstandene Pütte, die durch kleinräumige Abgrabungen und Stichkanten ein vielfältiges Mikrorelief aufweist.

Es wurden mehrere unterschiedliche Dränagestadien der Fläche festgestellt (Dränabstand rund 10 m). Zwischen 1997 und 2018 betrug die Subsidenz des Hochmoorgrünlands insgesamt 30-50 cm (münd. Mitteilung Hofer & Pautz GbR).

Als Ergebnis der Torfinventur konnten unter dem Kriterium flächiger Torfmächtigkeiten > 1 m zwei für Paludikultur geeignete Gebiete im Nordwesten und im Südosten der Projektfläche identifiziert werden. Die Sanderhebungen mit ihren geringen Resttorfauflagen sind nur für Infrastruktur wie Zufahrten oder Lagerflächen geeignet.

Aus vegetationskundlicher Sicht hat die aufgelassene, vorher extensiv genutzte Fläche keine Schutzwürdigkeit: die mosaikartig wechselnde hoch- und niedrigwüchsige Vegetation besteht aus wenigen Arten des mesophilen Grünlands und des Intensivgrünlands mit Stickstoffzeigern und Arten der Ruderalfluren (Biototyp UHM „Halbruderaler Gras- und Staudenfluren mittlerer Standorte“). Darüber hinaus wurden keine gefährdeten Arten nachgewiesen, auch beinhaltet die Diasporenbank kein Potential zur Aufwertung der Flächen.

3.2 Hydrologie des Standortes

Die Moorwasserstände variieren sowohl intraannuell als auch räumlich. Die höchsten Moorwasserstände (20-30 cm unter Geländeoberkante) sind im März nach der winterlichen Niederschlagsphase zu beobachten. Die tiefsten Pegelstände (80-100 cm unter GOK) sind in den Sommermonaten August-Oktober zu verzeichnen. Bei einsetzender feuchterer Witterung steigt der Moorwasserstand jedoch z.T. sehr schnell wieder an. Zusammenfassend liegen die Moorwasserstände in der Vegetationsperiode bei allen Messstellen langanhaltend unter -0,40 m und erreichen nur in den Wintermonaten ausnahmsweise Oberflächennähe. Allgemein sind die Bereiche der randlich gelegenen Sandkuppen trocken, temporär überstauende Bereiche finden sich v.a. im etwas niedriger liegenden Zentrum der Projektfläche.

Das Grundwasser schwankt jahreszeitlich parallel zum Moorwasser, jedoch liegen die Grundwasserstände im Mittel 50-60 cm unter denen der entsprechenden Moorwasserpegel.

3.3 Bodenphysikalische und -chemische Eigenschaften des Torfkörpers

Die bodenphysikalischen und chemischen Eigenschaften der Projektfläche sind den Tabellen 1 und 2 zu entnehmen.

Tab. 1: Humosität und Wasserspeicherkapazität des Hochmoorgrünlandbodens Barver vor Baubeginn (Mittelwert aus n = 21) im Vergleich zu Literaturwerten über norddeutsche Hochmoortorfe (TEICHER ET AL. 1987).

Degree of decay and water retention capacity of raised bog grassland in Barver before construction works (average, n= 21) compared with data from north German bog peats (TEICHER ET AL. 1987).

	Zersetzungsgrad	Wasserspeicherkapazität
	[H]	[Vol.-%]
norddt. Hochmoortorf n = 21 (TEICHER et al. 1987)	4,6	71
Barver (0-30 cm); n = 20	6,8	40
Barver (30-60 cm); n = 20	5,9	30

Tab. 2: Nährstoffanalyse des Hochmoorgrünlandbodens Barver vor Baubeginn (Mittelwert aus n = 21) im Vergleich zu Literaturwerten norddeutscher Hochmoortorfe (TEICHER et al. 1987). Nutrient contents of raised bog grassland in Barver before construction works (average, n= 21) compared with data from north German bog peats (TEICHER ET AL. 1987).

	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	NH ₄	NO ₃
		[mg / l]				
norddt. Hochmoortorf n = 21 (TEICHER et al. 1987)	3,1	3	9	22	k.A.	k.A.
Barver (0-30 cm); n = 20	4,2	101,6	121	37,5	11,7	25,9
Barver (nur 20-30 cm); n = 8	3,7	41,6	87,3	12,8	5,6	8,5
Barver (30-60 cm); n = 20	3,6	19,6	60,6	< 10	6,9	< 5

Im Folgenden werden Parameter abgehandelt, die für die Zielsetzung „Eignung für Paludikultur“ wichtig erscheinen.

Zunächst fällt auf, dass die Proben aus dem oberen Bereich (0-30 cm) überwiegend als mittel – stark zersetzt (H6-H8) klassifiziert sind. Literaturangaben zu natürlicherweise in norddeutschen Hochmoortorfen festzustellenden Zersetzungsgraden (nach v. Post) schwanken zwischen H3-H7 (TEICHER ET AL. 1987). In der darunter liegenden Schicht 30-60 cm finden sich schwach bis mittel zersetzte Torfe (H3-H6), nur vereinzelt wurden

höher zersetzte Anteile vorgefunden. Die Wasserspeicherkapazität des Torfkörpers ist mit 30-40 Vol.-% gegenüber ungestörten Hochmooren (TEICHER ET AL. 1987) nahezu halbiert. Auch die Bodenreaktion liegt im gesamten Profil um eine halbe bis eine ganze Einheit über dem Referenz-pH unbelasteter norddeutscher Hochmoorböden (TEICHER ET AL. 1987).

Bezüglich der Pflanzennährstoffe zeigt die Projektfläche eine oberflächennahe Anreicherung von Nährstoffen, die bei allen Nährstoffen natürliche Hochmoorwerte (TEICHER ET AL. 1987) massiv überschreiten. So liegen am Standort die Phosphatgehalte im Oberboden (0-30 cm) um den Faktor 30 über den Hochmoorreferenzwerten, bei Kalium immerhin noch um Faktor 10. Etwas geringere, aber immer noch deutlich erhöhte Nährstoffgehalte finden sich auch in der darunter liegenden Schicht 30-60 cm. Beispielsweise liegen bei Phosphat, Ammonium oder Nitrat die mittleren Gehalte im Oberboden um den Faktor 4 bis 5 höher als in der unteren Probeschicht.

Eine nachträgliche Beprobung der Schicht 20-30 cm ergibt, dass die Nährstoffbelastung überwiegend oberflächennah ist und bereits ab -20 cm ein starkes Absinken der Nährstoffgehalte erkennbar wird (Tab. 2).

3.4 Chemische Untersuchungen des Bewässerungswassers

Die chemischen Eigenschaften des zur Entnahme von Bewässerungswasser vorgesehenen Vorfluters FSMK wurden 2018–2020 mehrfach analysiert (Tab. 3).

Tab. 3: Übersicht der Analysen des Bewässerungswassers aus FSMK (Mittelwert aus $n = 12$) und Grundwasser (GrdW) im Vergleich zu typischen Werten von Porenwasser ungestörter Hochmoore (LÜTT 1992) und Empfehlungen für die Bulttorfmoosanzucht (HÖLZEL ET AL. 2019). (o- PO_4^{3-} : ortho-Phosphat; AfS: abfiltrierbare Stoffe)

Synopsis of analyses of irrigation water from FSMK (average, $n = 12$) and groundwater (GrdW) compared to typical pore water values of pristine raised bogs (LÜTT 1992) and recommendations for breeding of hummock mosses (HÖLZEL ET AL. 2019). (o- PO_4^{3-} : ortho-Phosphate; AfS: suspended solids)

	pH	el. Leitfähigkeit	HCO_3^-	o- PO_4^{3-}	NH_4^+	NO_3^-	Fe	K^+	Ca^{2+}	AfS
		[$\mu\text{S} / \text{cm}$]	[mg / l]							
FSMK ($n = 12$)	5,6	127	22,3	0,4	1	1,2	6	2,3	8,7	11,8
GrdW ($n = 1$)	5,1	266	15,6	0,06	8,6	< 0,17	13	5,1	6,3	./.
(LÜTT 1992)	3,5 - 5,8	80-180		0,078 - 0,231	0,048 - 0,31		k.A.	0,45 - 3,14	0,87 - 1,69	
(HÖLZEL ET AL. 2019)		< 120-150	< 33	< 1	< 1	< 3 - 4	k.A.	k.A.	k.A.	

Im Vergleich zu hochmoortypischen Porenwasserkonzentrationen (LÜTT 1992) zeigt der Vorfluter FSMK deutlich erhöhte Nährstoffgehalte: Calcium liegt mindestens fünffach über typischen Werten, Phosphat und Ammonium mindestens zwei- bzw. dreifach. Auch

das Grundwasser vor Ort weist z.T. deutlich erhöhte Nährstoffbefrachtungen auf (v.a. Kalium, Ammonium). Die pH-Werte von Oberflächen- und Grundwasser liegen im oberen Bereich der Referenz. Mit dem Hydrogencarbonat liegt eine gewisse Alkalinität vor.

4. Diskussion

4.1 Bodenphysikalische und -chemische Planungsgrundlagen zur Einrichtung der Sphagnum Farm

Die nachfolgenden Aussagen haben nur für den sondierten Bereich des Grünlands Gültigkeit. Die nicht mit Torfrohstoffprüfung erkundete, aber für die Anlage mitgenutzte Torfbank des nördlich angrenzenden, abgeräumten Moorbirkenwäldchen ist von seiner Struktur visuell als Weißtorf anzusprechen.

Die oberflächennahen Torfe bzw. vererdeten Oberbodenschichten des Grünlands haben sowohl in ihrer Struktur als auch im Nährstoffgehalt i.a. extreme Werte und grenzen sich darüber deutlich von den tieferliegenden Schichten ab.

Der auffällig erhöhte Anteil stark zersetzter Torfe im Oberboden ist dem Anteil an veredetem Oberboden in diesen Proben geschuldet. Die am Standort festgestellten Spitzenwerte der Humosität (H8) weisen auf die fortgeschrittene Degeneration des Oberbodens hin. Diese reicht bis in Tiefen um -20 cm. Die Struktur tieferer Bereiche scheint dagegen noch näher an unbeeinflussten Ausgangsbedingungen zu sein. Begleitet wird die Degeneration des Oberbodens von einer unterdurchschnittlich geringen Wasserspeicherkapazität, deren Ursache die tiefreichende Abnahme des Porenvolumens durch Moorsackung, Schrumpfung und mechanische Verdichtung durch Befahrung sein dürfte. Da mit der Abnahme von Grob- und Mittelporen auch die Wasserdurchlässigkeit um 1 bis 2 Zehnerpotenzen sinkt (BLANKENBURG 2015), ist am Standort die kapillare Versorgung von Torfmoosen aus tiefergelegenen Schichten vermutlich unzureichend. In der späteren Polderfläche besteht somit ein Süd-Nord-Gradient von kompaktierten, schwarztorf-ähnlichen Bereichen zu poröserem Weißtorf, was Folgen für Wasserleitfähigkeiten oder Quellungsverhalten hat (s. 4.5.1).

Die gegenüber unbeeinflussten Hochmooren deutliche erhöhte Bodenreaktion, massiv erhöhte Nährstoffgehalte sowie der Gradient zwischen Ober- und Unterboden sind ein Indiz, dass auch der Chemismus des oberflächennahen Torfkörpers im Zuge der landwirtschaftlichen Düngung und ggf. Kalkung stark verändert ist.

Insgesamt zeigen die physikalischen Kennwerte wie auch die Nährstoffsituation einen durch langjährige Entwässerung und landwirtschaftliche Nutzung strukturell stark veränderten und eutrophierten Hochmoorboden. Die stärksten Veränderungen sind dabei auf die obersten 20 cm lokalisiert. Ein Oberbodenabtrag von im Mittel 20 cm kann daher

einen Großteil der Überschüsse vor allem von Phosphor (welches am Standort das Pflanzenwachstum relevant beeinflusst, s. 4.2) und Kalium wirksam reduzieren (TEMINK ET AL. 2017) und strukturelle Schäden beseitigen. Der Abtrag des vererdeten, nährstoffangereicherten und durchwurzelten Oberbodens erleichtert auch die Rekolonisierung mit Sphagnumdiasporen durch besseren Substratkontakt und gleichmäßigere Wasserverfügbarkeit (ROCHEFORT & LODE 2006; ZAK ET AL. 2018).

4.2 Bewässerung: Chemische Untersuchungen

Torfmoose erfordern für hohe Wachstumsraten humides bis feuchtes Klima, oligo- bis mesotrophe Nährstoffgehalte (CLYMO 1973), ein saures Milieu (O'REILLY 2008) sowie flurnah gesättigte Torfoberflächen (GAUDIG ET AL. 2020). Am Standort ist die nötige ganzjährige Wasserversorgung der Torfmoose durch Niederschläge oder oberflächennah anstehendes Moorwasser nicht gewährleistet (s. 3.2). Für eine erfolgreiche Torfmooskultur ist daher zumindest in der Vegetationszeit eine aktive Zuwässerung erforderlich (BRUST ET AL. 2018; GAUDIG ET AL. 2018). Ideal hierfür wäre nährstoffärmeres Wasser aus Hochmoorkolken oder vernässten Hochmoorflächen (gespeichertes Niederschlagswasser). Da dies am Standort nicht möglich ist, muss eine Zuwässerung durch Entnahme aus dem naheliegenden FSMK erfolgen.

Die erkennbare Eutrophierung dieses Vorfluters ist auf das umgebende, landwirtschaftliche Hochmoorgrünland zurück zu führen, das hohe Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumfrachten in Gewässern bewirken kann (TEMINK ET AL. 2017).

Bei Nutzung dieses Oberflächenwassers zur Produktion von Torfmoosen werden diese mit mehr Nährstoffen versorgt als unter typischen Hochmoorbedingungen, wo Stickstoff der entscheidende Nährstoff ist (BRAGAZZA ET AL. 2004). Unter den regionalen Bedingungen Nordwest-Deutschlands wirkt Stickstoff durch hohe atmosphärische Deposition (u.a. Emissionen der Massentierhaltung) jedoch nicht mehr begrenzend und dessen limitierende Rolle für das Sphagnumwachstum wird durch Phosphor übernommen (GAUDIG 2002; GAUDIG ET AL. 2020). Entsprechend verschiebt sich auch die Bedeutung der Nährstoffe im Wasser: da die aquatische Stickstoffversorgung gegenüber der atmosphärischen Deposition zurücktritt, wird die Wasserqualität am Standort v.a. durch Phosphor und Kalium geprägt (TEMINK ET AL. 2017).

Wird Phosphat als der bedeutendste wasserbürtige Nährstoff mit Empfehlungen zur Anzucht von Torfmoosen (HÖLZEL ET AL. 2019) verglichen, zeigt sich, dass die erhöhten Phosphatkonzentrationen im FSMK für die Moose nicht problematisch sind. Ähnliches gilt für Nitrat. Das Ammoniumangebot im FSMK ist ebenfalls noch schadlos einzuschätzen, jedoch kann hier die zusätzliche atmosphärische Deposition nachteilig wirken. Die Konzentration von Bicarbonat liegt ebenfalls unter 33 mg / l bzw. einer Schwellenkonzentration von > 30 - 50 mg / l, ab der es auf Sphagnen schädlich wirkt (HÖLZEL ET AL. 2019; VICHEROVÁ ET AL. 2015).

Diese nährstoffreiche Bewässerung und insbesondere die Zufuhr von Phosphor bei ganzjährig stabilem und hohem Wasserangebot kann den Etablierungserfolg begünstigen und das Wachstum der Torfmoose stimulieren, zumal Sphagnumetablierung nicht zwingend an nährstoffarme, ombrotrophe Verhältnisse gebunden (FERLAND & ROCHEFORT 1997) und die Nährstoffverfügbarkeit in gering überstauten Beetflächen (s. 4.5.1) noch gefördert ist (GAUDIG 2002; GAUDIG ET AL. 2020; FERLAND & ROCHEFORT 1997). Durch die Speicherung und Durchmischung im Wasserreservoir (s. 4.3) wird die Qualität des entnommenen Wassers zudem homogenisiert, so dass die Torfmooskulturen eine gleichbleibend hohe und ausreichende Wasserversorgung mit relativ konstanter Nährstoffkomposition ohne saisonale Nährstoffschübe erhalten. Weiterhin zeigt das Absinken der elektrischen Leitfähigkeit in den Wintermonaten eine abnehmende Nährstoffkonzentration des Reservoirs durch Zufuhr von nährstoffärmeren Niederschlagswasser (bis Anfang Dezember 2020 \varnothing 107 $\mu\text{S} / \text{cm}$, sinkend auf \varnothing 94 $\mu\text{S} / \text{cm}$ Anfang 2021 und \varnothing 82 $\mu\text{S} / \text{cm}$ im Februar 2021).

4.3 Planung, Bau und Bestandsetablierung der Sphagnum Farm

Die Anlagenplanung beruht auf den vorangehend beschriebenen Ergebnissen der Grundlagenenerhebung, Ortsbegehungen und intensiver Abstimmung mit der Unteren Wasserbehörde. Für die regionale Umsetzung einer Sphagnum Farm sind wegen der negativen klimatischen Wasserbilanz auf Grund trockener Sommer mit hoher Verdunstung (s. 2.1 und 3.2), neben den Produktionsflächen v.a. Wasserversorgung und -speichermöglichkeiten sowie Infrastruktur zur stabilen, steuerbaren Bewässerung planungsrelevant. Entsprechend der Flächeneignung (s. 3.1) wurden zwei auf maximierte Produktionsfläche ausgelegte Polder (keine Fahrdämme innerhalb der Fläche) geplant, von denen vorerst nur einer realisiert werden konnte („NW-Polder“) (Abb. 2). Um die für eine produktive Torfmooskultur zwingend erforderliche Zuwässerung sicherzustellen (GAUDIG ET AL. 2018), ist ein Wasserspeicher vorgesehen (aus Gründen der Verkehrssicherung eingezäunt), dessen Bemessung sich an Erfahrungswerten der Sphagnum Farm Hankhausen aus einem Trockenjahr orientiert (BRUST ET AL. 2018).

Nach vorhergehender Durchtrennung erkannter Dränagen erfolgte die Einrichtung des NW-Polders im Winter / Frühjahr 2019/2020. Er hat eine quadratische Flächengeometrie von 100 m x 100 m mit einer Netto-Produktionsfläche von 0,9 ha.

Zur Einrichtung der Kulturfläche wurde der vererdete Oberboden einschließlich Vegetationsdecke auf ein vorgegebenes Planum \pm 2,5 cm abgezogen (Abb. 3). Das aktive Wassermanagement der Anlage beruht auf einem 2500 m³ fassenden, foliengedichteten Wasserspeicher.

Von diesem Reservoir wird Wasser sensorgesteuert in einen Ringgraben um die Polderfläche gepumpt. Dieser speist 16 parallel verlaufende Bewässerungsgräben (sog. „Grüppchen“), die den Wasserstand in der Produktionsfläche witterungsunabhängig und gleichmäßig einstellen und damit eine kontinuierliche Wasserversorgung der Torfmoosfrag-

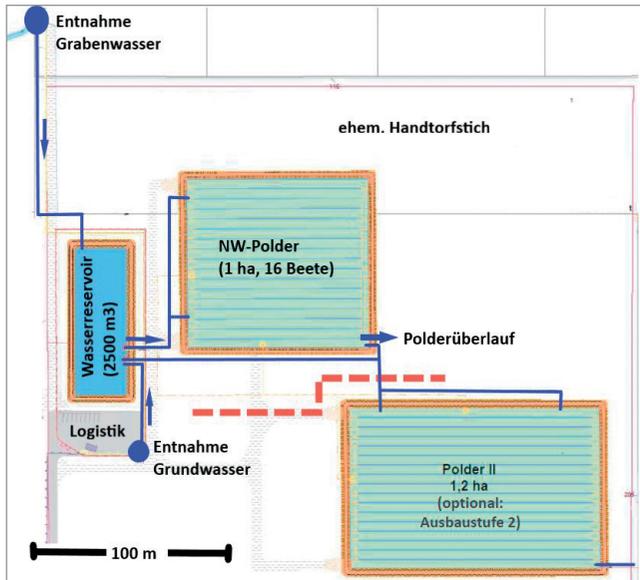


Abb. 2: Schematischer Anlagenplan der Sphagnumfarm (aktuell nur NW-Polder realisiert).
Schematic plant design of the Sphagnum farm (currently only NW polder realized).



Abb. 3: Bodenabtrag zur Einrichtung des Anzuchtpolders auf ehemaligem Hochmoorgrünland.
Removal of top soil to set up the culture polder on former bog grassland.

mente auch bei längerer Trockenheit sicherstellen. Die Gruppen unterteilen die Kulturfläche in gleich viele Beete à 6 m x 100 m, deren Breite auf die Gruppenbewässerung gering wasserdurchlässiger Torfe ausgelegt ist (s. 4.1). In Kombination mit einem manuell regulierbaren Überlauf aus Bogenrohren kann der Ziel-Wasserstand der Gruppen wahlweise als oberflächennahe Anstau- oder Überstaubewässerung des Polders eingestellt werden, bei Überschreitung des Zielwasserstands (Starkregen, winterlicher Überstau) wird in das örtliche Grabennetz entwässert.

Zur Vorbereitung der Torfmoosausbringung wurde die Poldersohle durch Verschluss des Überlaufs mehrwöchig überstaut, um die Torfe maximal aufzusättigen. Die so vorbereitete Kulturfläche wurde Anfang April 2020 mit fragmentiertem Spendermaterial (überwiegend die Zielart *Sphagnum palustre*, daneben andere Torfmoosarten wie *S. fallax* und *S. cuspidatum*) manuell in einer gleichmäßig dünnen Schicht beimpft (Abb. 4).



Abb. 4: Manuelle Ausbringung von Sphagnumfragmenten zur Beimpfung des Anzuchtpolders.
Manual spreading of Sphagnum fragments to inoculate the culture polder.

Die Kulturbegründung erfolgte mit möglichst langen Fragmenten > 5 cm, da diese die Ausbildung eines dichten Rasens beschleunigen und die Zielarten aus der Sektion *Sphagnum* empfindlich auf Fragmentierungen reagieren (GAUDIG ET AL. 2014; HÖLZEL ET AL. 2019). Der Ausbringung im späten Frühjahr ist für den Anwuchserfolg vorteilhaft, da dies einem Regenerationsoptimum von *Sphagnum* entspricht, der Bodenwassergehalt in der Regel noch hoch ist und die sensiblen Fragmente nicht durch Frost gefährdet sind

(ROCHEFORT 2001; GAUDIG ET AL. 2014). Das ausgebrachte Volumen betrug mit 50 m³/ha (Material aus Hankhausen und Provinzialmoor, jeweils 4 Kulturbeete) sowie 25 m³/ha (Material aus Kalenberg, 8 Kulturbeete) etwa die Hälfte bis ein Viertel der Menge, die in der Anlage Hankhausen initial ausgebracht worden ist. Die Deckung schwankte je nach Dichte und Materialherkunft zwischen 40 und 80 %. Abschließend wurden die Fragmente leicht angewalzt, um den Kapillarkontakt mit dem Torf herzustellen.

Da der Wasserstand der Polderfläche unmittelbar nach Ausbringung bis knapp unter die Oberfläche angehoben werden konnte, konnte auch auf eine schattierende Deckschicht aus Stroh verzichtet werden (GAUDIG ET AL. 2018).

4.4 Entwicklungs- und Pflegemanagement

Nach Ausbringung der Torfmoose erfolgt der Übergang zur Betriebs- und Erprobungsphase. Zu Beginn des Regelbetriebs war eine zeitlich enge Anlagenkontrolle erforderlich, um sich mit ihrer Reaktionsweise vertraut zu machen und um mögliche betriebstechnische Schwachpunkte frühzeitig zu erkennen und zu beheben. Von zentraler Bedeutung ist in dieser Initialphase die sorgfältige Justierung eines optimalen Zielwasserstandes und die präzise Wasserstandsführung nahe der Torfoberfläche (GAUDIG ET AL. 2014), um ein Austrocknen und Absterben der empfindlichen Torfmoosfragmente zu verhindern. Trotz Automatisierung der Bewässerung ist dabei vor allem in Hitzeperioden eine intensive Überwachung der Wasserstände erforderlich, da bspw. Pumpenausfälle oder Störungen bzw. Beschädigungen der Anlagensteuerung den Totalausfall der Kultur nach sich ziehen können. Für den Winterbetrieb erfolgt von November bis Februar eine Absenkung des Wasserstandes (s. 4.5.2) und eine Frostschutzsicherung aller witterungsexponierten Komponenten des Bewässerungssystems (Pumpen, Überläufe, ...).

Aufkommende Begleitvegetation in der Kulturfläche muss genau beobachtet und selektiv reguliert werden, um Konkurrenzdruck, Beschattung oder Aussamung zu verringern (POULIOT ET AL. 2015; GAUDIG ET AL. 2017, 2018). Als spontan auftretende Problemarten der flächeneigenen Samenbank treten Flohknöterich (*Polygonum persicaria*) und Flatterbinse (*Juncus effusus*) auf, die jedoch deutlich auf gestörte Bodenstrukturen (v.a. Dränagespuren, aber auch Gräbenränder) begrenzt sind. Mit Material der Schilfwerbungsfläche wurden u.a. Diasporen von Rohrkolben (*Typha spp.*), Schilf (*Phragmites australis*) und Igelkolben (*Sparganium erectum*) eingeschleppt. Gehölzaufschlag (v.a. *Betula pubescens*) in der Fläche oder auf Dämmen wurde ebenfalls durch Mähen reguliert.

Die Polder- und Reservoirdämme und Transportwege werden bedarfsweise gemulcht, die umgebenden Ausbau- und Nebenflächen im Spätsommer einschürig gemäht.

4.5.1 Bewässerungsmanagement bei wechselnder Torfart und Mikrotopographie

Von der ursprünglich vorgesehenen flurnahen Bewässerung der Polderfläche durch Gruppen musste aus zwei Gründen abgesehen werden. Zum einen ist in den sehr feuchten Wochen nach Ende der Erdarbeiten der in der nördlichen Polderhälfte anstehende Weißtorf durch Wasseraufnahme stärker gequollen (Moorszillation) als die schwarztorfähnlichen Torfe in der südlichen Polderhälfte. Diese unterschiedliche Rückquellung (in: OLESZCZUK & BRANDYK 2008) führt im Mikrorelief der ursprünglich ebenen Poldersohle zur Ausformung eines erkennbaren Höhengradienten. Die daraus resultierende pulartige Geländeneigung mit Nord-Südgefälle führt zwangsläufig zu Unterschieden in der vorgesehenen oberflächennahen Bewässerung: ist der Wasserpegel der Gruppen auf Niveau des kaum gequollenen Schwarztorfbereiches, befindet sich die angestiegene Weißtorfhälfte 10 - 15 cm über dem Gruppenwasserstand. Dadurch entstehen hier trotz hoher Leitfähigkeit des Weißtorfs trockene Sohlbereiche, die das Wachstum von *Sphagnum* beeinträchtigen können.

Im Schwarztorfbereich ist dessen geringe Wasserleitfähigkeit (SCHÄFER 1994) bei einer Beetbreite von 6 m für die vorgesehene flurnahe Beetbewässerung unzureichend. Das Wasser der Gruppen dringt lateral maximal 1,5 m in die Beete des Schwarztorfbereiches ein, so dass dort insbesondere in den kritischen Sommermonaten ein oberflächlich trockener Mittelstreifen von 3 m bleibt (in den durch geringe Wasserleitfähigkeit problematischen Schwarztorfbeeten erweisen sich die durchlässigeren Bodenstörungen der nicht mehr funktionsfähigen Dränagen positiv als unterstützende Bewässerungsstrukturen).

Gutes *Sphagnum*wachstum wird bei engmaschigem Bewässerungssystem (Gruppenabstand Schwarztorf: <5m) mit oberflächennahem Wasserspiegel beobachtet (GAUDIG ET AL. 2017). Auf der Projektfläche ist daher durch den nicht-homogenen Torfkörper im Polder eine flurnahe Bewässerung als unzureichend einzuschätzen. Zur Vermeidung großflächiger Ausfälle der ausgebrachten Torfmoose wurde der Gruppenwasserstand insgesamt leicht angehoben. Durch konstant schwachen Überstau (max. 3 cm) sind die Torfmoose auf der niedrigeren Schwarztorfzone flächendeckend bewässert, im Weißtorfbereich wird die kapillare Wasserversorgung der Moose durch den erhöhten oberflächennahen Wasserstand verbessert. Dieses Wasserstandsmanagement ist akzeptabel, da hohe Wasserstände von allen *Sphagnum*arten, zumindest zeitweilig, ertragen werden (DÜNHOFEN 1999) und unter austrocknenden Witterungsbedingungen offenes Wasser sogar überlebenswichtig für die Etablierung von *Sphagnum* auf nackten Torfoberfläche sein kann (SCHOUWENAARS & GOSEN 2007). Die Feinjustierung dieses Kompromissbereiches erfordert eine längere Beobachtung der Fläche, Erfahrung und situative Reaktion.

4.5.2 Auswirkung nährstoffhaltiger Bewässerung auf das Torfmooswachstum

Torfmoose sind adaptiert an feuchte oder wassergesättigte Umweltbedingungen. Ihr Wachstum hängt vor allem in den ersten zwei Jahren nach Beimpfung von einer gesicherten Wasserverfügbarkeit ab (LANDRY ET AL. 2011). Anhaltende trockene Exposition ist für sie schädlich. Hohe Wasserstände bewirken nicht nur eine optimale Wasserversorgung, sondern auch eine verbesserte Nährstoffversorgung. Die meisten *Sphagnen* wachsen daher bei langanhaltend flachem Überstau gut und werden in ihrer Entwicklung sogar unterstützt (CLYMO 1973; HAYWARD & CLYMO 1982; GAUDIG ET AL. 2020; ROCHEFORT ET AL. 2002). Bulttorfmoose (*S. magellanicum* und *S. papillosum*) reagieren dagegen eher empfindlich auf Überstau.

Die Beobachtungen des ersten halben Jahres bestätigen, dass die gewählte Überstaubewässerung diesen Anforderungen zu entsprechen scheint. Vorteilhaft erwies sich der Überstau bereits in der kritischen Initialphase als Schutz der empfindlichen Diasporen gegen mehrfach schnell einsetzende heiß-trockene Witterung und zu starke Sonneneinwirkung. Vier Wochen nach Ausbringung zeigte das Ergrünen der Beete den erfolgreichen Anwuchs der Torfmoosfragmente (Abb. 5). Erste Schwerpunkte beschleunigten Wachstums sind Grabenränder, Senkenbereiche der Baggerarbeiten sowie die dauerhaft feuchteren Bodenstörungen (Dränagen, Bereiche mit Bodenaustausch). Der Besiedlungserfolg verringert sich vor allem auf nicht überstauten, gering wasserleitenden Schwarztorfbereichen.



Abb. 5: Wachsender Torfmoosrasen vier Monate nach Beimpfung der Fläche (Juli 2020).
Growing *Sphagnum* lawn four months after inoculation of site (July 2020).

Nach vier Monaten ist die patchartige Ausbildung des Torfmoosrasens im Übergang von Schwarztorf- zu Weißtorfbereich am weitesten vorangeschritten, da hier durch die Geländeneigung eine Zone mit optimalem, flurnahem Wasserstand ist. Aber auch in den länger überstauten Schwarztorfbereichen signalisieren flächig flutende Decken intensives Wachstum. Hier dient vielfach schnellwachsende halmartige Begleitvegetation (z.B. *Eriophorum*, *Juncus*) als „Ammenpflanzen“ (GAUDIG 2002), in denen Torfmoose über die Wasseroberfläche wachsen und von denen die Entwicklung eines geschlossenen Torfmoosrasens ausstrahlt. Im niederschlagsreichen Winter und Frühjahr 2020/2021 wurde der Wasserstand insgesamt soweit abgesenkt, dass die Torfmoose stärkere Oberflächenexposition haben.

Weitere Aussagen zur Vegetationsentwicklung sind in diesem frühen Stadium nicht möglich. Eine detaillierte Einschätzung der Deckung bedarf noch längerer Beobachtung, da in den ersten zwei Jahren die Entwicklung des Torfmoosrasens noch gering ist (KAMERMANN & BLANKENBURG 2008). Parallel sind die abiotischen Wachstumsbedingungen genau zu erfassen, um deren Auswirkungen (z.B. Artenverschiebungen, Beikrautaufwuchs) planmäßiger managen zu können.

Von Interesse für eine Langzeitbeobachtung sind unter den Gegebenheiten der Anlage auch Effekte der Mikrotopographie: ob die Quellungsprozesse im Weißtorfbereich abgeschlossen sind oder die Hebung nach anhält, ob und wie sich die „Schlenken-Bedingungen“ des Überstaus auf die Zusammensetzung und Produktivität von *Sphagnen* oder konkurrierenden Gefäßpflanzen auswirken (POULIOT ET AL. 2015; GAUDIG 2002), ob die Mikrotopographie die Besiedlung durch verschiedene *Sphagnum*species selektiert (ROBROEK ET AL. 2007) oder ob sich zwischen Schwarz- und Weißtorfbereichen Unterschiede der Flächenproduktivität zeigen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

In der Diepholzer Moorniederung ist Torfmooskultivierung auf drainiertem und degeneriertem Hochmoorgrünland mit wechselnden Torfarten und -mächtigkeiten möglich, setzt jedoch für eine erfolgreiche und wirtschaftliche Umsetzung eine detaillierte Inventur der geologischen und hydrologischen Standortbedingungen voraus.

Durch die Ersteinrichtung der Sphagnumfarm Barver liegen umfassende biogeochemische, hydrologische und pflanzenökologische Erkenntnisse vor, die zukünftig regional-spezifische Aussagen zur Einrichtung vergleichbarer Flächen in der Region erlauben.

Wichtige Faktoren bei Einrichtung und Betrieb der Sphagnumfarm Barver sind bisher:

- Torfinventur: ausreichende Torfmächtigkeit, Feststellung der Torfarten und potenzieller Versickerungsraten
- Flächeneinrichtung: nivellierter Abtrag des mineralisierten, nährstoffreichen Oberbodens

- Wasser: Verfügbarkeit, Qualität
- Hydromanagement: für Dauerbetrieb ausreichend dimensionierte und robuste technische Infrastruktur; Technik vor Beimpfung funktionsfähig; regulierbare Entwässerungsmöglichkeit
- Inokulation: geeignete Torfmoose, lange Fragmente, gleichmäßige Ausbringung, Zeitpunkt Frühjahr, Mulchabdeckung bei hoher Wasserverfügbarkeit nicht erforderlich
- Entwicklungs- und Pflegemanagement: dauerhaft flurnaher Wasserstand oder geringer Überstau der Kulturfläche; regelmäßige und intensive Überwachung der Anlagentechnik und -funktionen, Entfernung konkurrierender Gefäßpflanzen

Ein Nachfolgeprojekt soll sich im laufenden Betrieb der Optimierung von Routineverfahren und der Entwicklung von bodenschonenden, multifunktional einsetzbaren Plattformmaschinen zur erleichterten, kostenoptimierten Flächenpflege widmen.

Die hohen Implementierungskosten der Ersteinrichtung entsprechen Erfahrungen von Wichmann, die aber auch große Einsparpotenziale sehen (WICHMANN ET AL. 2017). Die hier aufgebaute Kern-Infrastruktur, das erzielte Know-how und das Kontaktnetzwerk sind wichtige Faktoren zur Beschleunigung regionaler Nachfolgeprojekte. Worst case Bedingungen (Nässe im Frühjahr, trockene Hitze im Sommer) tragen dabei positiv zum Erkenntnisgewinn bei. Die Sphagnum Farm leistet Pionierarbeit beim Anlagenmanagement und bei der praxisnahen Weiterentwicklung technischer Verfahren und trägt damit zur Kostensenkung zukünftiger Paludikulturanlagen bei.

Das hier vorgestellte Projekt zeichnet sich dadurch aus, dass es auf einem äußerst ungünstigen Standort mit geringer Torfmächtigkeit, hohem Niedermoortorfanteil und intensiver landwirtschaftlicher Vorbelastung den Nachweis einer erfolgreichen Torfmoos-Etablierung erbracht hat. Es ist vorstellbar, diese Erfahrungen auf Torfabbauflächen zu übertragen, die bis auf den vorgeschriebenen Resttorfkörper (= Schwarztorf) abgetragen sind. Dies ist von besonderem Interesse, da in Niedersachsen zwischen 2017 und 2032 auf mehr als 7000 Hektar der Torfabbau ausläuft (Landkreis Diepholz: 447 ha) (SCHMATZLER 2012). Ein Teil solcher großen, zusammenhängenden und infrastrukturell erschlossenen Flächen könnte kurzfristig mit relativ geringem Aufwand für *Sphagnum* farming genutzt werden (SCHMILEWSKI & KÖBBING 2016). Eine großtechnische Umsetzung könnte entscheidende Impulse für Technologieentwicklungen sowie wirtschaftliche Tragfähigkeit durch Massenproduktion geben. Torfmooskulturen am Rande größerer Moorrenaturierungsflächen erleichtern als hydrologische Pufferzone die Umstellung benachbarter Grünlandnutzung auf nasse Bewirtschaftung. In der Folge ist auch das Projektziel der Paludikultur auf landwirtschaftlichen Hochmoorflächen (die bei Weißtorfaufgabe sogar bessere Voraussetzungen bieten, aber durch isolierte Lage und / oder kleinteilige Parzellierung schlechter zu vernässen und zu bewirtschaften sind) leichter und schneller zu erreichen.

6. Danksagung

Das Projekt CANAPE wird von der Europäischen Union im Rahmen des Interreg Vb-Programms gefördert.

Die Autoren danken den direkt beteiligten Projektpartnern Landkreis Diepholz, Stiftung Naturschutz im Landkreis Diepholz, Deutscher Verband für Landschaftspflege e.V. und Northern Institute of Thinking für die fruchtbare Zusammenarbeit und erteilten Genehmigungen. Für kreativen Rat und vielfältige Unterstützung sei den Mitarbeitern vom Europäischen Fachzentrum für Moor und Klima, vom BUND Diepholzer Moorniederung, vom Greifswald Moor Centrum, der 3N Kompetenzstelle Paludikultur Niedersachsen, dem NLWKN sowie den Firmen Moorkultur Ramsloh und Klasmann-Deilmann gedankt.

7. Literaturverzeichnis

- ABEL, S., CASPERS, G., GALL, B., GAUDIG, G., HEINZE, S., HÖPER, H., JOOSTEN, H., LANDGRAF, L., LANGE, G., LUTHARDT, V., MEISSNER, J., OSTERBURG, B., PADEKEN, K., PHILIPP, H-R., SCHRÖDER, C., STRASSBURGER, T., TIEMEYER, B., TREPPEL, M., VAN LEERDAM, A., WICHMANN, S., WICHTMANN, W., WOLLESEN, S., ZEITZ, J. (2016): Diskussionspapier zur guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Moorbodennutzung. *Telma* **46**: 155-176.
- ABEL, S., BARTHELMES, A., GAUDIG, G., JOOSTEN, H., NORDT, A., PETERS, J. (2019): Klimaschutz auf Moorböden – Lösungsansätze und Best-Practice-Beispiele. *Schriftenreihe Greifswald Moor Centrum* **03**: 84 S.
- AUTORENKOLLEKTIV (2016): Schlussbericht „Torfmooskultivierung auf Hochmoorgrünland; Teilvorhaben 1: Umsetzung und Optimierung der Torfmooskultivierung auf Hochmoorgrünland“. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz Fk 08NR223.
- BEYER, C. (2014): Greenhouse gas exchange of organic soils in Northwest Germany. Effects of organic soil cultivation, agricultural land use and restoration. Dissertation Universität Bremen., Inst. für Geographie. 262 S.
- BIOECONOMIE (2018): <https://bioeco-edr.eu/de/paludikulturen> (letzter Seitenabruf: 20.09.2020).
- BLANKENBURG, J. (2015): Die landwirtschaftliche Nutzung von Mooren in Nordwestdeutschland. *Telma Beiheft* **5**: 39-58.
- BLIEVERNICH, A., IRRGANG, S., ZANDER, M., ULRICH, C. (2010): Produktion von Torfmoosen (*Sphagnum* sp.) als Torfersatz im Erwerbsgartenbau. *Gesunde Pflanzen*: 2-8.
- BRAGAZZA, L., TAHVANAINEN, T., KUTNAR, L., RYDIN, H., LIMPENS, J., MICHAL, H., GROSVERNIER, P., TOM, H., HAJKOVA, P., HANSEN, I., IACUMIN, P., GERDOL, R. (2004): Nutritional constraints in ombrotrophic *Sphagnum* plants under increasing atmospheric nitrogen deposition in Europe. *New Phytol.* **163**: 609-616.

- BRUST, K., KREBS, M., WAHREN, A., GAUDIG, G., JOOSTEN, H. (2018): The water balance of a Sphagnum farming site in north-west Germany. *Mires and Peat* **20**/10: 1-12.
- CANAPE (2018): <https://northsearegion.eu/canape> (letzter Seitenabruf: 20.09.2020).
- CANAPE (2020): <https://northsearegion.eu/canape/news/canape-so-how-do-you-build-a-moss-farm> (letzter Seitenabruf: 20.09.2020).
- CASPERS, G., SCHMATZLER, E. (2009): Vorkommen und Verwendung von Torf in Deutschland. *Telma* **39**: 75-98.
- CLYMO, A. (1973): The growth of sphagnum: some effects of environment. *J. Ecol.* **61**: 849-869.
- CLYMO, R.S., HAYWARD, P.M. (1982): The Ecology of Sphagnum. In: SMITH, A.J.E. (ED.): *Bryophyte Ecology*. New York (Chapman & Hall). 229-289.
- COUWENBERG, J., AUGUSTIN, J., MICHAELIS, D., WICHTMANN, W. JOOSTEN, H. (2008): Entwicklung von Grundsätzen für eine Bewertung von Niedermooren hinsichtlich ihrer Klimarelevanz. Endbericht. Institut für Dauerhaft Umweltgerechte Entwicklung von Naturräumen der Erde (DUENE) e.V. Greifswald. 33 S.
- DEICKERT, S., PIEGSA, J. (2016): Mensch und Moor im Wandel der Zeiten. In: WICHTMANN, W. ET AL. (2016): *Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore*. Stuttgart (Schweizerbart). S. 157-162.
- DIN (DT. INSTITUT FÜR NORMUNG) (2019): DIN 11540: Torfe für den Gartenbau und Garten- und Landschaftsbau – Eigenschaften, Prüfverfahren, Technische Lieferbedingungen. Berlin (Beuth).
- DRÖSLER, M., FREIBAUER, A., HOMMELTENBERG, J., BECHTOLD, M., LEIBER-SAUHEITL, K., TIEMEYER, B. (2016): *Moorschutz in Deutschland – Instrumente und Indikatoren zur Bewertung von Biodiversität und Ökosystemleistungen von Mooren*. Kap. 4.7 Treibhausgase. 37 S.
- DÜNHOFEN, A.M. (1999): Der Wasserstand als einer der wichtigsten Faktoren für die Einnischung ausgewählter *Sphagnum*-Arten auf fünf österreichischen Mooren. *Abh. Zool.-Bot. Ges. Österreich* **30**: 39-47.
- DVL (DT. VERBAND FÜR LANDSCHAFTSPFLEGE E.V.) (2021): *Moor-Klimawirte – Zukunft der Landwirtschaft im Moor*. Ansbach. 48 S.
- EMMEL, M. (2008): Growing ornamental plants in Sphagnum biomass. *Acta Hort.* **779**: 173-178.
- FERLAND, C., ROCHEFORT, L. (1997): Restoration techniques for Sphagnum-dominated Peatlands. *Can. J. Bot.* **75**: 1110-1118.
- GAUDIG, G. (2002): Das Forschungsprojekt: „Torfmoose (Sphagnum) als nachwachsender Rohstoff: Etablierung von Torfmoosen – Optimierung der Wuchsbedingungen“. *Telma* **32**: 227-242.
- 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**/08: 1-11.

- GAUDIG, G., KREBS, M., JOOSTEN, H. (2017): Sphagnum farming on cut-over bog in NW Germany: Long-term studies on Sphagnum growth. *Mires and Peat* **20/04**: 1-19.
- GAUDIG, G., KREBS, M., PRAGER, A., WICHMANN, S., BARNEY, M., CAPORN, S.J.M., EMMEL, M., FRITZ, C., GRAF, M., GROBE, A., GUTIERREZ PACHECO, S., HOGUE-HUGRON, S., HOLZTRÄGER, S., IRRGANG, S., KÄMÄRÄINEN, A., KAROFELD, E., KOCH, G., KOEBBING, J.F., KUMAR, S., MATCHUTADZE, I., OBERPAUR, C., OESTMANN, J., RAABE, P., RAMMES, D., ROCHEFORT, L., SCHMILEWSKI, G., SENDŽIKAITĖ, J., SMOLDERS, A., ST-HILAIRE, B., VAN DE RIET, B., WRIGHT, B., WRIGHT, N., ZOCH, L., JOOSTEN, H. (2018): Sphagnum farming from species selection to the production of growing media: a review. *Mires and Peat* **20/13**: 1-30.
- GAUDIG, G., KREBS, M., JOOSTEN, H. (2020): Sphagnum growth under N-saturation: interactive effects of water level and P or K fertilisation. *Plant Biol.*: 394-403.
- GERMER, O., LAMBERS, J., SCHMEDES, M. (2018): Vegetationskundliches Gutachten Barver Moor (CANAPE). Wagenfeld. 2 S. mit Anhang.
- GLIME, J.M. (2007): Economic and ethnic uses of bryophytes. In: *Bryophytes: Mosses, Pt. 1, Flora of North America Vol. 27*. New York, Oxford (Flora of North America Assoc.). 14-41.
- GRAF, M., BREDEMEIER, B., GROBE, A., KÖBBING, J.F., LEMMER, M., OESTMANN, J., RAMMES, D., REICH, M., SCHMILEWSKI, G., TIEMEYER, B., ZOCH, L. (2017): Torfmooskultivierung auf Schwarztorf: ein neues Forschungsprojekt in Niedersachsen. *Telma* **47**: 109-128.
- GÜNTHER, A., JURASINSKI, G., ALBRECHT, K., GAUDIG, G., KREBS, M., GLATZEL, S. (2017/2018): Greenhouse gas balance of an establishing Sphagnum culture on a former bog grassland in Germany. *Mires and Peat* **20/02**: 1-16.
- HAYWARD, P.M., CLYMO, R.S. (1982): Profiles of water content and pore size in Sphagnum and peat, and their relation to peat bog ecology. *Proc. R. Soc. Lond. B* **215**: 299-325.
- HÖLZEL, N., KLEINEBECKER, R., KNORR, K.-H., RAABE, P., GRAMANN, G.S. (2019): Leitfaden zur Torfmoosvermehrung für Renaturierungszwecke. DBU-Bericht. 63 S.
- HÖPER, H. (2015): Treibhausgasemissionen aus Mooren und Möglichkeiten der Verringerung. *Telma Beiheft* 5: 133-158.
- HOFER & PAUTZ GBR (2018): Bericht „Voruntersuchung für die Anlage von Paludikulturfeldern“. Altenberge. 21 S. mit Anhängen. (unveröff.)
- JOBIN, P., CARON, J., ROCHEFORT, L. (2014): Developing new potting mixes with Sphagnum fibers. *Can. J. Soil Sci.* **94**: 585-593.
- KAMERMANN, D., BLANKENBURG, J. (2008): Erfahrungen und Ergebnisse eines Feldversuchs im Projekt „Torfmoos als nachwachsender Rohstoff“. *Telma* **38**: 121-144.
- KLEINHÜCKELKOTTEN, S. & NEITZKE, H.P. (2012): Potenziale und Hemmnisse für Paludikultur auf Niedermoorstandorten in Vorpommern: Ergebnisse der Akteursgespräche und -werkstätten. Forschungsbericht BMBF FKZ: 033L030D. Hannover. 31 S.

- KÖBBING, J. (2018): Abschlussbericht Projekt „Großflächige Torfmooskultivierung als Folgenutzung nach Schwarztorf-Abbau und ihr Potenzial zur nachhaltigen Produktion eines Substratausgangsstoffes als Torfersatz“ (SubstratMoos). Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz Fk 105.1-3234/1-13-2 (unveröff.).
- KÖLSCH, L., WITZEL, S., CZYBULKA, D., FOCK, T (2016): Agrarpolitische Rahmenbedingungen. In: WICHTMANN, W., SCHRÖDER, C., JOOSTEN, H. (HRSG.)(2015): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore für regionale Wertschöpfung, Klimaschutz und Biodiversität. Stuttgart (Schweizerbart). 149-152.
- KREBS, M., GAUDIG, G., JOOSTEN, H. (2012): Sphagnum farming on bog grassland in Germany – first results. Proc. 14th Int. Peat Congress Stockholm: Abstract No. 294.
- KREBS, M., GAUDIG, G., MATCHUTADZE, I., JOOSTEN, H. (2018): Sphagnum regrowth after cutting. *Mires and Peat* **20**/12: 1-20.
- KUMAR, S. (2017): Sphagnum moss as a growing media constituent: some effects of harvesting, processing and storage. *Mires and Peat* **20**/07: 1-11.
- KUNTZE, H. (1983): Probleme bei der modernen landwirtschaftlichen Moornutzung. *Telma* **13**: 137-152.
- LANDKREIS DIEPHOLZ (2008): Landschaftsrahmenplan Landkreis Diepholz. – Regionalplanung und Naturschutz. Diepholz. 613 S.
- LANDRY, J., POULIOT, R., GAUDIG, G., WICHMANN, S., ROCHEFORT, L. (2011): Sphagnum farming workshop in the Canadian Maritimes: international research efforts and challenges. *IMCG Newsletter* 2011/2-3: 42-44.
- LÜTT, S. (1992): Produktionsbiologische Untersuchungen zur Sukzession der Torfstichvegetation in Schleswig-Holstein. *Mittlg. AG Geobot. Schlesw.-Holst. u. Hamburg* **43**. 249 S.
- NMUEK (NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND KLIMASCHUTZ) (2016): Programm Niedersächsische Moorlandschaften. Hannover. 71 S.
- O'REILLY, C. (2008): Sphagna as management indicators. Final report to North Pennines AONB Partnership. Lambley. 62 S.
- OLESZCZUK, R., BRANDYK, T (2008): The analysis of shrinkage-swelling behaviour of peat-moorsh soil aggregates during drying-wetting cycles. *Agron. Res.* **6**(1): 131-149.
- POSCHLOD, P., PFADENHAUER, J. (1989): Regeneration vegetativer Sprosssteilchen von Torfmoosen – Eine vergleichende Studie an neun Sphagnum-Arten. *Telma* **19**: 77-88.
- POULIOT, R., HUGRON, S., ROCHEFORT, L. (2015): Sphagnum farming: A long-term study on producing peat moss biomass sustainably. *Ecol. Engin.* **74**: 135-147.
- RATH, A., BUCHWALD, R. (2010): Nutzung von Hochmoorgrünland in Nordwestdeutschland. *Naturschutz Landschaftsplanung* **42**/4: 108-114.
- REICH, M., ZOCH, L., GROBE, A., TIEMEYER, B., OESTMANN, J. (2019): „Auswirkungen großflächiger Torfmooskultivierung nach Schwarztorf-Abbau auf Biodiversität und Treibhausgasfreisetzung“: DBU-Abschlussbericht-AZ-33305_01.

- ROCHEFORT, L. (2001): Restauration écologique. In: PAYETTE, S., ROCHEFORT, L. (EDS.): *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Sainte-Foy (Presses de l'Université Laval). 449-504.
- ROCHEFORT, L., CAMPEAU, S., BUGNON, J.-L. (2002): Does prolonged flooding prevent or enhance regeneration and growth of Sphagnum? *Aquat. Bot.* **74**: 327-341.
- ROCHEFORT, L., LODE, E. (2006): Restoration of Degraded Boreal Peatlands. In: WIEDER, R.K.D., VITT, D.H. (EDS.): *Boreal Peatland Ecosystems*. Berlin, Heidelberg (Springer). 381-423.
- ROBROEK, B.J.M., LIMPENS, J., BREEUWER, A., SCHOUTEN, M.G.C. (2007): Effects of water level and temperature on performance of four Sphagnum mosses. *Plant Ecol.* **190**: 97-107.
- SCHÄFER, A. (2009): Moore und Euros – die vergessenen Millionen. *Archiv f. Forstwesen u. Landsch. ökol.* **43** / 4: 156-160.
- SCHÄFER, W. (1994): Physikalische Eigenschaften von Hochmoorböden. *NNA-Berichte* **2**: 39-42.
- SCHMATZLER, E. (2012): Die Torfindustrie in Niedersachsen – Ergebnisse einer Umfrage zur Zukunft der Torfgewinnung in Niedersachsen. *Telma* **42**: 27-42.
- SCHMILEWSKI, G., KÖBBING, J.F. (2016): Opportunities and Challenges of farming Sphagnum as a growing media constituent in Germany. *Proc. 15th Int. Peat Congress Kuching*. Abstract A-242: 654-657.
- SCHNEEKLOTH, H., SCHNEIDER, S. (1972): Die Moore Niedersachsens. Veröff. Nds. Inst. Landeskd. u. -entwicklg. Universität Göttingen, Reihe A, Bd. 96.
- SCHOUWENAARS, J.M., GOSEN, A.M. (2007): The sensitivity of Sphagnum to surface layer conditions in a re-wetted bog: a simulation study of water stress. *Mires and Peat* **2**/02: 1-19.
- SCHRÖDER, C., DAHMS, T., PAULITZ, J., WICHTMANN, W., WICHMANN, S. (2015): Towards large-scale peatland agriculture: addressing the challenges of biomass harvesting in wet and rewetted peatlands. *Mires and Peat* **16**/13: 1-18.
- TEICHER, K., FISCHER, P., BARTELS, W., GÜNTHER, J. (1987): Haupt- und Spurennährstoffe in Hochmoortorfen und die physikalischen Eigenschaften dieser Torfe. *Telma* **17**: 199-211.
- TEMMINK, R.J.M., FRITZ, C., VAN DIJK, G., HENSGENS, G., LAMERS, L.P.M., KREBS, M., GAUDIG, G., JOOSTEN, H. (2017): Sphagnum farming in a eutrophic world: The importance of optimal nutrient stoichiometry. *Ecol. Engin.* **98**: 196-205.
- TREPEL, M. (2015): Höhenverluste von Moorböden – eine Herausforderung für Wasserwirtschaft und Landnutzung. *Telma* **45**: 41-52.
- VICHEROVÁ, E., HÁJEK, M., HÁJEK, T. (2015): Calcium intolerance of fen mosses: physiological evidence, effects of nutrient availability and successional drivers. *Perspect. Plant Ecol. Evol. System.* **17**: 347-359.
- VON POST, L. (1924) Das genetische System der organogenen Bildungen Schwedens (The genetic system of the organogenic formations of Sweden). In: Comité International de Pédologie, IV^{ème} commission (commission pour la nomenclature et la classification des sols, commission pour l'Europe, président: B. Frosterus) (ed.) *Mémoires sur la Nomenclature et la Classification des Sols* (Memoirs on the Nomenclature and Classification of Soils), Helsingfors/Helsinki, 287-304 (in Deutsch).

- WICHMANN, S., PRAGER, A., GAUDIG, G. (2017): Establishing Sphagnum cultures on bog grassland, cut-over bogs, and floating mats: procedures, costs and area potential in Germany. *Mires and Peat* **20/03**: 1-19.
- WICHMANN, S., KREBS, M., KUMAR, S., GAUDIG, G. (2020): Paludiculture on former bog grassland: Profitability of Sphagnum farming in North West Germany. *Mires and Peat* **26/08**: 1-18.
- WICHTMANN, W., WICHMANN, S. (2011A): Paludikultur: Standortgerechte Bewirtschaftung wiedervernässter Moore. *Telma* **13/4**: 215-234.
- WICHTMANN, W., WICHMANN, S. (2011B): Environmental, Social and Economic Aspects of a Sustainable Biomass Production. *J. Sust. Energy Environ. Spec. Issue*: 77-81.
- WICHTMANN, W., SCHRÖDER, C., JOOSTEN, H. (HRSG.) (2015): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore für regionale Wertschöpfung, Klimaschutz und Biodiversität. Stuttgart (Schweizerbart).
- WICHTMANN, W., ABEL, S., DRÖSLER, M., FREIBAUER, A., HARMS, A., HEINZE, S., JENSEN, R., KREMKAU, K., LANDGRAF, L., PETERS, J., RUDOLPH, B.U., SCHIEFELBEIN, U., ULLRICH, K., WINTERHOLLER, M. (2018): Gute fachliche Praxis der Bewirtschaftung von Moorböden (Langfassung). *Natur und Landschaft* **93(8)** / 391: 4 S. Zusatzmaterial.
- ZAK, D., GOLDHAMMER, T., CABEZAS, A., GELBRECHT, J., GURKE, R., WAGNER, C., REUTER, H., AUGUSTIN, J., KLIMKOWSKA, A., MCINNES, R. (2018): Top soil removal water pollution from phosphorus and dissolved organic matter and lowers methane emissions from rewetted peatlands. *J. Appl. Ecol.* **55**: 311-320.
- ZIEGLER, R. (2020): Paludiculture as a critical sustainability innovation mission. *Research Policy*. 34 S.

Anschriften der Verfasser:

Dr. Jens-Uwe Holthuis (Korrespondenzautor)
 Europäisches Fachzentrum für Moor und Klima
 Auf dem Sande 11
 D-49419 Wagenfeld-Ströhen
 E-Mail: jens-uwe.holthuis@diepholz.de

Bernd Hofer
 Hofer & Pautz GbR
 Ingenieurgesellschaft für Ökologie, Umweltschutz und Landschaftsplanung
 Buchenallee 18
 D-48341 Altenberge
 E-Mail: hofer@hofer-pautz.de

Manuskript eingegangen am 07. Oktober 2020

