Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Verbundvorhaben: Torfmooskultivierung auf Hochmoorgrünland; Teilvorhaben 1: Umsetzung und Optimierung der Torfmooskultivierung auf Hochmoorgrünland

Zuwendungsempfänger:

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald - Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät - Biologie - Institut für Botanik und Landschaftsökologie

Parnter im Greifswald Moor Centrum

Förderkennzeichen:

08NR223 bzw. **22022308**

Laufzeit:

01.10.2010 bis **31.01.2015**

Datum der Veröffentlichung: 24.06.2016

Gefördert durch:

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMELV für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

I. Ziele ... 1
1. Aufgabenstellung ... 1
2. Stand der Technik ... 2
3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen ... 3
II. Ergebnisse ... 4
1. Erzielte Ergebnisse ... 4
A. Saatgutproduktion (AP 8) ... 4
1. Torfmooswand ... 4
2. Moosperlen BeadaMoss® ... 4
B. Großmaßstäbige Umsetzung des gesamten Produktionsverfahrens (AP 1 - 6, 9) ... 6
1. Ausgangssituation Hochmoorgrünland ... 6
2. Einrichtung der Versuchsfläche in Hankhausen auf Hochmoorgrünland ... 7
3. Etablierung, Wachstum und Regeneration der Torfmoose ... 10
3.1. Etablierung ... 11
Sphagnum-Art ... 12
Ausbringdichte der Torfmoose ... 13
Fragmentgröße ... 13
Strohabdeckung ... 14
Alternative Verfahren zur Flächeneinrichtung ... 14
3.2. Wachstum ... 15
Wasserversorgung ... 16
Nährstoffversorgung ... 18
Konkurrenz durch andere Sphagnum-Arten ... 20
Gefäßpflanzenaufwuchs ... 21
Verpilzung ... 22
Weitere Störfaktoren: Tiere ... 22
Alternative Formen der Flächeneinrichtung ... 23
3.3. Ernte und Wiederbesiedlungspotential/ Regeneration (in Ramsloh) ... 23
4. Nebeneffekte ... 24
4.1. Treibhausgasemission (Zusammenfassung Abschlussbericht Universität Rostock, Teilvorhaben 2, FKZ: 22009910; verändert) ... 24
4.2. Biodiversität ... 25
Flora ... 25

Fauna (Spinnenfauna) 26
5. Ökonomische Bewertung (Verfahrensgestaltung, Kostenkalkulation, Optimierungsmöglichkeiten) 27
5.1. Betriebswirtschaftliche Ebene 27
5.1.1. Verfahrensgestaltung 27
Flächeneinrichtung, Flächenmanagement, Ernte 27
Vorgangsliste und Netzplan als Planungsinstrument 27
5.1.2. Kostenkalkulation 28
Planungs- und Genehmigungskosten 28
Flächenvorbereitung 28
Kulturetablierung 29
Automatisches Wassermanagement 29
Zaunbau 29
Gesamtkosten der Flächenherrichtung 29
5.2. Volkswirtschaftliche Ebene (Ökosystemleistungen, Beihilfefähigkeit) 31
5.2.1. Externe Effekte und Ökosystemdienstleistungen 31
5.2.2. Agrarpolitische Rahmenbedingungen für die Torfmooskultivierung als neue Landnutzungsform: Beihilfefähigkeit und Grünlandschutz 31
5.2.3. Politische Rahmenbedingungen in Niedersachsen 32
C. Torfmoos als Substratrohstoff (AP 7, 9) 33
1. Verwendung von alternativen Substratausgangsstoffen in Deutschland (AP 9) 33
2. Marktpotentiale: Internationaler Torfmooshandel, Schwerpunkt: Torfmoossammlung in Chile (AP 9) 33
3. pflanzenbauliche Versuche 34
D. Erkundung weiterer Einsatzmöglichkeiten von Paludikultur (AP 10) – REED – 36
2. Verwertung 37
3. Erkenntnisse von Dritten 38
4. Veröffentlichungen 39
Erfolgte Veröffentlichungen (Aufsätze) 39
Erfolgte Veröffentlichungen (Vorträge) 40
Geplante Veröffentlichungen 43

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1. BeadaMoss® (Fotos: www.BeadaMoss.co.uk)..... 4
Abb. 2. Deckung vitaler Torfmoose (in %), gewachsen aus BeadaMoss®-Perlen im Gewächshaus. Entwicklung in Abhängigkeit von Unterlage und Wasserstand. 5
Abb. 3. Lage des Untersuchungsgebietes. a) Übersichtskarte (Quelle: Westermann Schulbuchverlag GmbH), b) im Luftbild erkennbare kleinflächige, intensive Nutzung des Hankhauser Moores mit Versuchsfläche vor der Einrichtung (rot umrandet) (Quelle: maps.google.de, 24.06.2010)..... 6
Abb. 4. Versuchsplan des Feldversuches im Hankhauser Moor mit Angabe der Versuchsvarianten..... 7
Abb. 5. Schematische Darstellung des Produktionssystems mit Befahren der Kulturfläche (li) und die Umsetzung auf Teilfläche 1 mit drei nebeneinanderliegenden Torfmooskultur-Streifen (Foto re). 8
Abb. 6. Schematische Darstellung des Produktionssystems mit Fahrdämmen (li) und die Umsetzung auf Teilfläche 2 mit 2*2 Torfmoosstreifen und drei Fahrdämmen (Foto re). 8
Abb. 7. Lage der 350 Dauerquadrate (rote Punkte) auf der Feldversuchsfläche im Hankhauser Moor. 10
Abb. 8. Entwicklung von a) mittlerer Deckung (in %) und b) Rasenhöhe (in cm) von Torfmoosen sowie c) des Wasserstandes auf den Versuchsflächen zur Torfmooskultivierung in Ramsloh und in Hankhausen (Teilflächen 1+2, „Wallfläche“). In Hankhausen: Test von 2 *Sphagnum*-Arten (*S. palustre, S. papillosum*), bei *S. palustre* mit unterschiedlich großen Ausgangsfragmenten (ganze vs. gehäckselte Moose). Nach 12 Monaten erfolgte in Hankhausen die manuelle Nachsaat mit ganzen Moosen (grüner Pfeil), deshalb Zusammenfassung der Varianten ab Bonitur 14 Monate nach Einrichtung. Blauer Pfeil markiert Beginn der maschinellen Pflegemahd durch Befahrung auf den Flächen mit *S. palustre* der Teilflächen 1+2. 12
Abb. 9. Wasserstände bezogen auf Geländeoberkante und Höhe des Torfmoosrasens (gemessen in den Dauerflächen im Umkreis von 5 m um Brunnen 1, ab 2012 Mittelwert aller Flächen) in cm auf der Ramslohfläche. Von Dezember 2005 bis Dezember 2009 sowie von April 2012 bis März 2014 eigene manuelle Messungen in Brunnen 1, von Dezember 2009 bis Juni 2010 manuelle Messungen des vti (Johann Heinrich von Thünen-Institut Braunschweig), von Juni 2010 bis Dezember 2011 Messungen mittels Datalogger des vti. Entfernung von Brunnen 1 und vti Pegelrohr ca. 2 m. Der Höhenunterschied der Geländeoberkante bei Brunnen 1 und vti Pegelrohr von ca. 5 cm wurde für die Darstellung der Wasserstände korrigiert. 15
Abb. 10. Biomasseproduktion bei der Torfmooskultivierung. a) Kumulative Biomasseproduktion (in g Trockenmasse pro m²) auf den Versuchsflächen zur Torfmooskultivierung in Ramsloh (2004-2013) und Hankhauser Moor (2011-2014) und b) Zusammensetzung der Biomasse nach Torfmoosarten für *S. palustre* u. *S. papillosum* auf Fläche 1+2 sowie S. palustre auf der „Wallfläche“ in Hankhausen 36 Monate nach der Einrichtung (2011-2014)..... 16
Abb. 11. Monatliche Wassermengen übers Jahr (in m³ pro ha Produktionsfläche), die zur Bewässerung der Torfmooskultur in Hankhausen zusätzlich zum Niederschlag notwendig waren (Werte für 2014) und überschüssiges Wasser, das durch die Überläufe aus der Fläche abfloss (Werte für Okt. 2012 – September 2013). Der Abfluss im Feb 2013 war sehr hoch und wird deshalb verkürzt aber mit Nennung der Gesamtmenge dargestellt. Grund der hohen Abflussmenge war das Absenken der Wasserstände durch Herunterstellen der Überläufe. 17
Abb. 12. Nährstoffgehalte der Torfmooskapitula (Stickstoff-N, Orthophosphat- P, Kalium- K in mg/gTM) von *S. palustre* (n=56) u. *S. papillosum* (n=23) in Hankhausen (Biomasseproben vom Mai 2014) und *S. papillosum* in Ramsloh (n=61, Biomasseproben vom Oktober 2010). 19

Abb. 13. Entwicklung der Artenzusammensetzung der Torfmoosschicht (mittlerer prozentualer Anteil an der Torfmoosgesamtdeckung) auf der a) *S. palustre*- und b) *S. papillosum*- Variante über den Zeitraum von August 2011 (3 Monate nach der Einrichtung) bis Mai 2014 auf der Fläche 1+2 in Hankhausen. 20
Abb. 14. Deckung neu gebildeter Torfmoos-Capitula in % auf der Versuchsfläche Ramsloh a) Entwicklung seit der manuellen Ernte (Darstellung des Mittelwertes mit Standardabweichung) sowie b) nach 2,5 Jahren im Vergleich zur Ausgangsdeckung der Torfmoosstängel nach der maschinellen Ernte. 23
Abb. 15. Anteiliger Zeitbedarf der Arbeitsgänge bei der Flächenvorbereitung von Teilfläche 1+2 28
Abb. 16. Aufteilung der Gesamtkosten der Flächeneinrichtung: a) mit und b) ohne Berücksichtigung des Torfmoosankaufs als Anteil bei der Kulturetablierung 30

Tabellenverzeichnis

Tab. 1. Nährstoffanalyse des Oberbodens vor der Einrichtung des Feldversuches Hankhausen (Mittelwert aus n=8) im Vergleich zu Literaturwerten von Regenmoortorfen. 7
Tab. 2. Auf der Versuchsfläche in Hankhausen im Herbst 2014 bestimmte Pilzarten. 22

I. Ziele

Ziel des Projektes ist die nachhaltige Kultivierung von Torfmoosen (*Sphagnum* als Frischmasse). Das an der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald entwickelte Konzept der „Paludikultur“, vom lateinischen ‚palus‘ - Sumpf, ist ein Landnutzungskonzept für wiedervernässte bzw. nasse bewirtschaftete Moore, das den Torfkörper dauerhaft erhält und Nutzungs- und Schutzinteressen gleichermaßen integriert. Torfmooskultivierung ist Paludikultur auf degradierten Hochmooren mit ganzjährig hohen Wasserständen. Sie bietet nicht nur die Möglichkeit einer nachhaltigen, klimaschonenden Nutzung von Mooren, sondern zugleich die regionale Produktion eines nachwachsenden Torfersatzstoffes zur Herstellung von Kultursubstraten für den Gartenbau.

1. Aufgabenstellung

- das wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen, Vorarbeiten

Vor Projektbeginn umfassten die bisherigen Arbeiten des Antragstellers:

1. Literaturstudie (Gaudig 2001),
2. FNR-Projekt „Torfmoos als nachwachsender Rohstoff“ (2004 – 2007) mit Gefäßversuchen zur Produktivität von Torfmoosen, einem Feldversuch zur Etablierung von Torfmoosen auf abgetorftem Hochmoor und Versuchen zur pflanzenbaulichen Eignung von Torfmoos-Biomasse (FKZ 22005902),
3. InnoNet-Projekt „Torfmooskultivierung auf schwimmfähigen Vegetationsträgern (MOOSFARM)“ (2007 – 2010),
4. DBU-Promotionsstipendium „Torfmooskultivierung in Georgien“ (2007 – 2010),
5. ZIM-Projekt „Industrielle Produktion von Torfmoos zur Herstellung von innovativen Kultursubstraten für den Erwerbsgartenbau (PROSUGA)“ (2010 – 2013)

Das Projekt umfasste zahlreiche Untersuchungen im Rahmen des Feldversuches im Hankhauser Moor:

1. die Etablierung und Entwicklung der Torfmoose auf zuvor als Grünland genutzten Hochmoorflächen,
2. die Effekte auf die Biodiversität (Pflanzenarten, Spinnenfauna),
3. das Gefahrenpotential durch wachstumshemmende Faktoren (Kulturschäden),
4. die hydrologischen Anforderungen einer Torfmooskultur (Wasserbilanz),
5. die Bilanzierung der Treibhausgasflüsse des gesamten Produktionssystems in der Etablierungsphase,
6. die technische Machbarkeit sowie
7. die Wirtschaftlichkeit der Torfmooskultivierung.

Für die Ausweitung der Anwendungsbereiche von kultivierter Torfmoos-Biomasse wurden pflanzenbauliche Versuche mit Moorbeet-Pflanzen und Orchideen durchgeführt.

Um die Bereitstellung von „Saatgut“ zu ermöglichen, wurde nach einer weiteren Methode zur massenhaften Herstellung von *Sphagnum*-Diasporen geforscht.

Die Ergebnisse des MOOSGRÜN-Projektes sind in Kapitel II. dargestellt.

- Planung und Ablauf des Vorhabens

Das ursprüngliche Vorhaben, die Fläche noch im Herbst 2010 einzurichten, musste witterungsbedingt und aus organisatorischen Gründen auf Frühjahr 2011 verschoben werden. Alle anderen Arbeitspakete wurden wie geplant durchgeführt.

2. Stand der Technik

- wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

In einer Literaturstudie wurde der Stand der Wissenschaft zum Thema Torfmooswachstum dargestellt und daraus die Fragen hinsichtlich der kommerziellen Nutzung von Torfmoosen formuliert. Diese wurden in Gewächshausexperimenten im Rahmen des abgeschlossenen FNR-Projektes „Torfmoos als nachwachsender Rohstoff“ (FKZ 22005902) erfolgreich untersucht. Zudem wurde in einem Feldexperiment (1.200 m²) mit Unterstützung des Torfwerkes Moorkultur Ramsloh die Etablierung von Torfmoosen auf abgetorften Hochmoorgrünlandflächen erforscht. Als Weiteres wurde in pflanzenbaulichen Versuchen die Eignung von Torfmoos-Biomasse als Substrat im Gartenbau getestet. Es wurde festgestellt, dass Torfmoos-Biomasse sowohl als Substratbestandteil als auch pur für die Weiterkultur von Zierpflanzen geeignet ist. Als hervorzuhebende positive Eigenschaften der Torfmoos-Biomasse haben sich geringe N-Immobilisierung und eine fungizide Wirkung herausgestellt. Auch im abgeschlossenen MOOSFARM Projekt wurden erfolgreich pflanzenbauliche Versuche mit acht verschiedenen Kulturpflanzenarten aus den Gruppen Gemüse, Zierpflanzen und Gehölze durchgeführt.

Neben der nachhaltigen Produktion eines Substratausgangsstoffes bieten *Sphagnum*-Kulturen aus naturschutzfachlicher Sicht ein erhebliches Potential als Ersatzlebensraum für die bedrohte Hochmoorfauna und -flora. In einer Pilotstudie wurde dieser Aspekt am Beispiel der Spinnenfauna auf der Versuchsfläche Ramsloh untersucht. Bereits kurz nach der Einrichtung wies die Fläche in dieser Hinsicht ein hochwertiges Artenspektrum auf, das durchaus Ähnlichkeiten mit dem von intakten Hochmooren erkennen ließ.

Im durchgeführten MOOSGRÜN-Projekt wurde die Übertragbarkeit der Ergebnisse zur Torfmooskultivierung auf abgetorftem Hochmoor auf Hochmoorgrünlandflächen geprüft.

Um eine sogenannte Torfmooswand zur Produktion von Saatgut zu entwickeln, wurden bestehende Systeme zur vertikalen Begrünung als Grundlage verwendet.

3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Bei der Durchführung des MOOSGRÜN-Projektes waren mehrere Projektpartner und Auftragnehmer involviert:

Die Universität Rostock (Prof. Stephan Glatzel) führte die Versuche zur Treibhausgasbilanz durch. Als kompetenter Partner beschäftigt sich Prof. Stephan Glatzel seit über 13 Jahren mit dem Austausch klimarelevanter Spurengase in Feuchtgebieten und speziell auch abgetorften und unterschiedlich restaurierten Hochmooren. Er hatte zum Zeitpunkt der Antragstellung zu diesen Themen 13 referierte Publikationen veröffentlicht und bei nationalen und internationalen Tagungen vorgestellt.

Die Deutsche Torfgesellschaft mbH (DTG) mit Sitz in Scharrel ist ein führendes deutsches Unternehmen in der Granulierung von Torfen und dessen Veredelung zu wertvollen, organisch mineralischen Düngern, Ölbindern und Wasserenthärtern. Es werden ca. 3000 t im Jahr produziert. Die Hauptgesellschafter sind die Griendtsveen AG und das Torfwerk Moorkultur Ramsloh. Die Deutsche Torfgesellschaft mbH hat eine Fläche für die Feldversuche (5 ha neu) bereitgestellt.

Das Torfwerk Moorkultur Ramsloh GmbH und Co. KG (MOKURA) mit Sitz im Saterland ist Eigentum der Familie Koch und produziert seit über 80 Jahren Torfrohstoffe und Spezialerden für den Hobby- und Erwerbsgartenbau. Das Produktionsvolumen liegt zurzeit bei ca. 500.000 m² pro Jahr. Das Torfwerk Moorkultur Ramsloh stellte weiterhin die 1.200 m² bestehende Torfmooskulturfläche in Ramsloh bereit und übernahm die Versuchseinrichtung im Hankhauser Moor, die technische Betreuung und Pflege dieser Fläche, stellte Unterkunft und Lager in Hankhausen und Ramsloh sowie kultivierte Torfmoose vom eigenfinanzierten Feldversuch in Ramsloh zur Verfügung.

Die pflanzenbaulichen Versuche zur Eignung von Torfmoos-Biomasse für Moorbeetpflanzen wurde durch die Landesversuchsanstalt für Gartenbau (LVG) in Bad Zwischenahn (Niedersachsen) sowie zur Eignung von lebenden Torfmoosen für die Orchideenkultur durch die Staatliche Forschungsanstalt für Gartenbau Freising durchgeführt.

HYDROTELM – Frank Edom (Dresden) in Zusammenarbeit mit Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH (Bannewitz) ist ein Team von Spezialisten mit langjährigen Erfahrungen in Untersuchungen und Modellierung zur Moorhydrologie und -hydrostatik, Hydrogeologie, Hydroklimatologie in unterschiedlichen Mooren Mittel- u. Osteuropas, wie zahlreiche Publikationen belegen[1]. Sie entwickeln eigene leistungsfähige, innovative Bearbeitungswerkzeuge zur individuellen Lösung komplexer integrativer hydrologischer Fragestellungen, was essentiell für die Erstellung des hydrologischen Anforderungskataloges für die Torfmooskultivierung im Projekt war.

Für die Messung der hydraulischen Parameter der Torfe konnte das Fachgebiet Bodenkunde und Standortslehre der Humboldt-Universität zu Berlin (AG Prof. Jutta Zeitz) gewonnen werden.

[1] http://www.hydro-consult.de/publikationen/01-10_moor.html

II. Ergebnisse

1. Erzielte Ergebnisse

A. Saatgutproduktion (AP 8)

1. Torfmooswand

Für eine großflächige Umsetzung der Torfmooskultivierung sind große Mengen *Sphagnum*-Diasporen (Torfmoosfragmente) als Ausgangsmaterial zur Etablierung der Kulturen notwendig, die in natürlichen Beständen in Deutschland nicht zur Verfügung stehen. Eine potentielle Methode zur massenhaften Herstellung von *Sphagnum*-Diasporen ist deren vertikaler Anbau. Hierzu existiert ein japanisches Patent, auf dessen Basis im Projekt eine Torfmooswand entwickelt wurde.

Im Versuch wurden verschiedene Beleuchtungssysteme erfolgreich getestet. Die Deckung vitaler Moose von *Sphagnum palustre*, die Rasenhöhe und Capitula-Anzahl nahmen stetig zu.

Neben *S. palustre* wuchsen 11 weitere *Sphagnum*-Arten erfolgreich an der Torfmooswand. Bis auf 2 cm abgeschnittene Torfmoose von *S. palustre* und *S. papillosum* regenerierten innerhalb eines halben Jahres, die Regeneration von *S. fallax* erfolgte signifikant langsamer. Im Vergleich zu einer neu eingerichteten Torfmooswand waren bei *S. palustre* und *S. papillosum* keine Unterschiede festzustellen, so dass die Saatgutproduktion durch das weitaus weniger aufwendigere Weiterwachsen der verbliebenen Torfmoosstängel fortgesetzt werden kann. Um möglichst vitale Torfmoospflanzen für deren Einsatz als Saatgut zu gewinnen, ist ein kurzer Erntezyklus an der Torfmooswand empfehlenswert.

Das im Freiland ausgebrachte Erntegut von der Torfmooswand hatte nach einem Jahr einen geschlossenen, gut wüchsigen Torfmoosrasen gebildet und ist deshalb als Saatgut für die Begründung einer Torfmooskultur geeignet.

2. Moosperlen BeadaMoss®

Bei der Recherche zur Multiplikation von Torfmoosen wurde die Firma Micropropagation Services in Großbritannien ermittelt, die Torfmoose unter sterilen Bedingungen multipliziert und dann kleine Moosabschnitte in einer gallertigen Hülle unbekannter Rezeptur verkapselt (Abb. 1). Diese sogenannten BeadaMoss®-Perlen wurden für die Wiederbesiedlung degradierter Moore mit Torfmoosen z.B. in den Pennines (Großbritannien) getestet. Die Verkapselung verhindert das Austrocknen der Torfmoose nach der Ausbringung und enthält auch wachstumsstimulierende Substanzen.

Abb. 1. BeadaMoss® (Fotos: www.BeadaMoss.co.uk)

Im Projekt wurde die Eignung von BeadaMoss®-Perlen für die Torfmooskultivierung zunächst in Gewächshausversuchen getestet, wo die Deckung vitaler Torfmoose aus Moosperlen nur auf Torf stetig zunahm, bei hohem Wasserstand stärker als bei tiefem (Abb. 2). Dahingegen konnten sich auf der Schwimmmatte, also unter sehr nassen Bedingungen, keine Torfmoose aus Moosperlen etablieren.

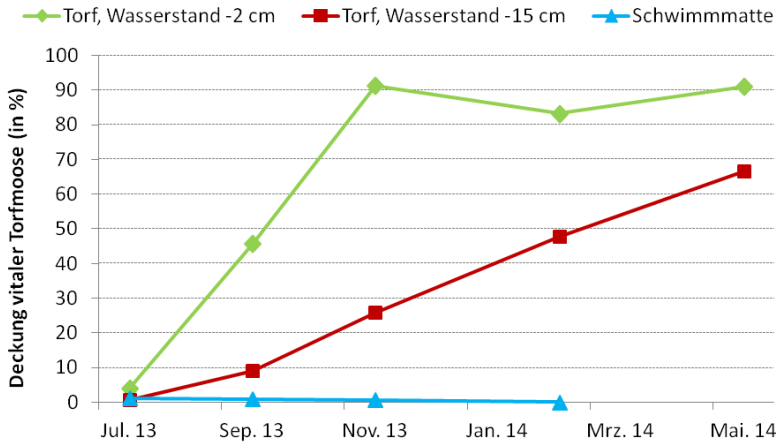

Abb. 2. Deckung vitaler Torfmoose (in %), gewachsen aus BeadaMoss®-Perlen im Gewächshaus. Entwicklung in Abhängigkeit von Unterlage und Wasserstand.

Auf der Versuchsfläche in Hankhausen etablierten sich trotz hoher Ausbringdichten nach einem Jahr nur vereinzelt Torfmoose. Da die Etablierung eines geschlossenen Torfmoosrasens aus Torfmoos-Fragmenten deutlich schneller und verlässlicher erfolgt, scheinen BeadaMoss®-Perlen für die Etablierung einer Torfmooskultur ungeeignet. Deshalb wurden die BeadaMoss®-Perlen von MicroPropagation Services zu SoluMoss™ weiterentwickelt und an die Bedingungen bei der Torfmooskultivierung angepasst. Der großflächige Test von SoluMoss™ steht noch aus.

- ➔ Die konstruierte Torfmooswand eignet sich für die Produktion von Torfmoos-Saatgut verschiedener *Sphagnum*-Arten. Verschiedene Beleuchtungssysteme sind geeignet. Die an der Torfmooswand multiplizierten Torfmoos-Diasporen etablierten im Freiland innerhalb eines Jahres einen geschlossenen, gut wüchsigen Torfmoosrasen und sind somit als Saatgut geeignet. Um möglichst vitale Torfmoospflanzen für deren Einsatz als Saatgut zu gewinnen, ist ein kurzer Erntezyklus an der Torfmooswand empfehlenswert.
- ➔ BeadaMoss®-Perlen sind für die Einrichtung einer Torfmooskultur ungeeignet.

B. Großmaßstäbige Umsetzung des gesamten Produktionsverfahrens (AP 1 - 6, 9)

Untersuchungsgebiet für den Feldversuch zur Untersuchung der großmaßstäbigen Umsetzung des gesamten Produktionsverfahrens ist das Hankhauser Moor bei Rastede nördlich von Oldenburg (Abb. 3a). Das Hankhauser Moor am Ostrand des Rasteder Geestrandes gehört zum Ipweger Moorkomplex in der Wesermarsch. Die Rasteder Bäke im Norden und die Schanze östlich und südlich des Hankhauser Moores entwässern in die Jade. Schöpfwerke sorgen für einen gleichmäßigen Wasserstand in den Vorflutern. Das Moor wird überwiegend als Intensivgrünland, teilweise auch als extensives Grünland genutzt (Abb. 3b). Infolge der Nutzung bzw. aufgrund des dadurch verursachten Moorschwundes lag die Geländeoberfläche der Versuchsfläche ca. 0,5 m unter NN.

Abb. 3. Lage des Untersuchungsgebietes. a) Übersichtskarte (Quelle: Westermann Schulbuchverlag GmbH), b) im Luftbild erkennbare kleinflächige, intensive Nutzung des Hankhauser Moores mit Versuchsfläche vor der Einrichtung (rot umrandet) (Quelle: maps.google.de, 24.06.2010).

1. Ausgangssituation Hochmoorgrünland

Die Vegetation des Hochmoorgrünlandes zeigte ein mäßig intensive Bewirtschaftung an, mit Wiesen-Rispengras (*Poa pratensis*) und Honiggras (*Holcus lanatus*) als dominanten Gräsern. Von den bis zu 2,70 m mächtigen Torfen waren die obersten 10 bis 20 cm stark vererdet und hatten eine Trockenrohdichte von 0,25 g cm^{-3}. Darunter lagen bis 1,5 m mächtige, schwach bis mittel stark zersetzte Torfmoostorfe mit einer deutlich geringeren Trockenrohdichte (0,06 g cm^{-3} in 30-45 cm Tiefe) und deshalb hohen Wasserleitfähigkeiten (bis zu 0,02 m/d). Im Vergleich zu einem natürlichen Hochmoor war der Oberboden vor der Einrichtung des Feldversuchs deutlich nährstoffreicher (Tab. 1).

An der Oberfläche wurden starke Höhenunterschiede von 83 cm auf der gesamten Fläche und bis zu 43 cm innerhalb der einzelnen Teilflächen festgestellt. Diese sind auf die langjährige Entwässerung und dem daraus resultierenden Moorschwund zurückzuführen.

Tab. 1. Nährstoffanalyse des Oberbodens vor der Einrichtung des Feldversuches Hankhausen (Mittelwert aus n=8) im Vergleich zu Literaturwerten von Regenmoortorfen.

	Stickstoff g N/kg	Orthophosphat g P/kg	Kalium g K/kg	CN Verhältnis	pH
Oberboden	21,3	3,2	1,5	15,7	4,9
Regenmoortorfe[2]	5-15	0,1-0,6	0,1-0,9	>33	<5,6

2. Einrichtung der Versuchsfläche in Hankhausen auf Hochmoorgrünland

Nach einer Planungsphase erfolgte die eigentliche Einrichtung der Versuchsfläche in Hankhausen, bestehend aus Flächenvorbereitung (ebene Ausgangsfläche, Infrastruktur für Wassermanagement inklusive Bewässerungsgrüppen in 10 m Abstand, Anlage von Fahrdämmen) und Kulturetablierung (maschinelle Ausbringung der Moose und von Stroh, Bewässerung). Anfang Juni 2011 war die Einrichtung der Versuchsfläche abgeschlossen.

Im Feldversuch wurden in verschiedenen Produktionssystemen zwei *Sphagnum*-Arten (*S. papillosum, S. palustre*) unterschiedlicher Herkunft in verschiedenen Ausbringdichten und -größen sowie Strohabdeckungen getestet (vgl. Abb. 4).

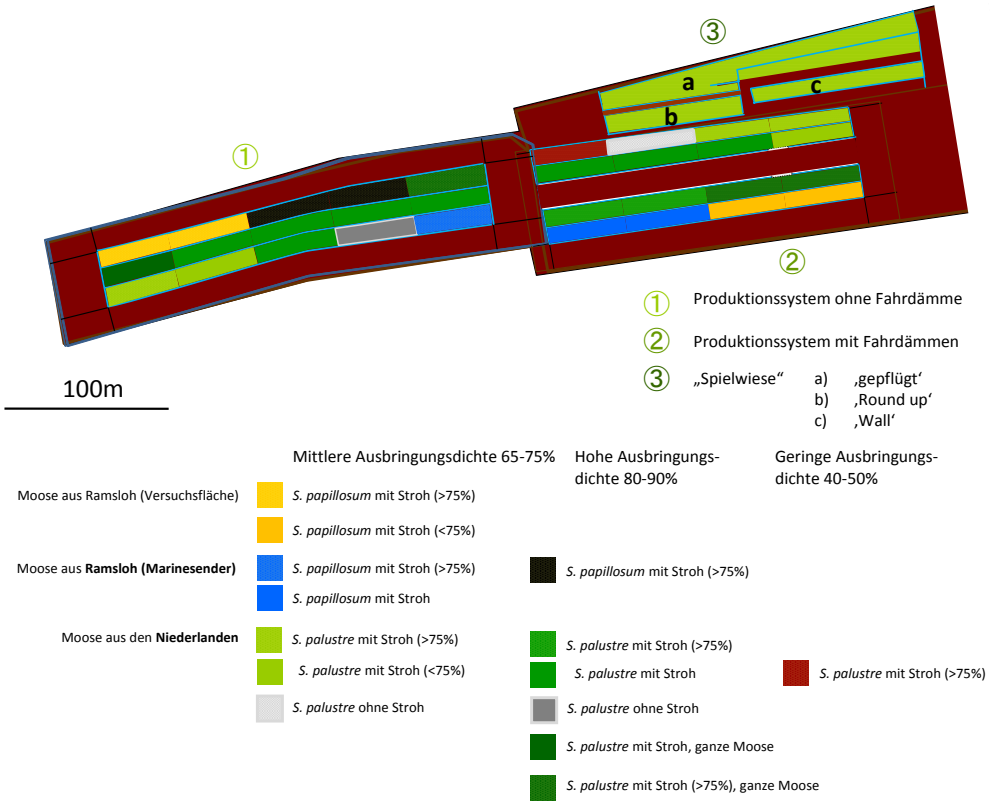

Abb. 4. Versuchsplan des Feldversuches im Hankhauser Moor mit Angabe der Versuchsvarianten.

[2] Succow, M. & Joosten, H. (2001) Landschaftsökologische Moorkunde. Schweizerbart’sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Die Produktionssysteme unterscheiden sich im Vorhandensein von Fahrdämmen. Auf Teilfläche ① wird ein Produktionssystem ohne Fahrdämme erprobt, das angepasste Technik für das Befahren der Kulturfläche zu Pflegemahd und Ernte erfordert (vgl. Abb. 5). Auf der Teilfläche ② wurde ein System mit Fahrdämmen eingerichtet, von denen aus die Bewirtschaftung (Pflegemahd, Grüppenreinigung, Ernte, Abtransport der Biomasse) möglich ist (vgl. Abb. 6).

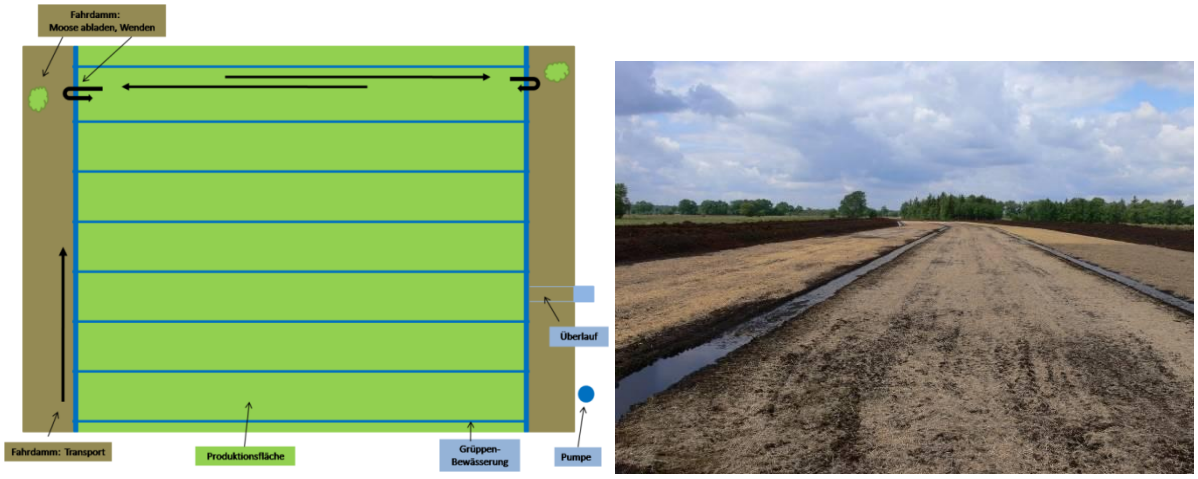

Abb. 5. Schematische Darstellung des Produktionssystems mit Befahren der Kulturfläche (li) und die Umsetzung auf Teilfläche 1 mit drei nebeneinanderliegenden Torfmooskultur-Streifen (Foto re).

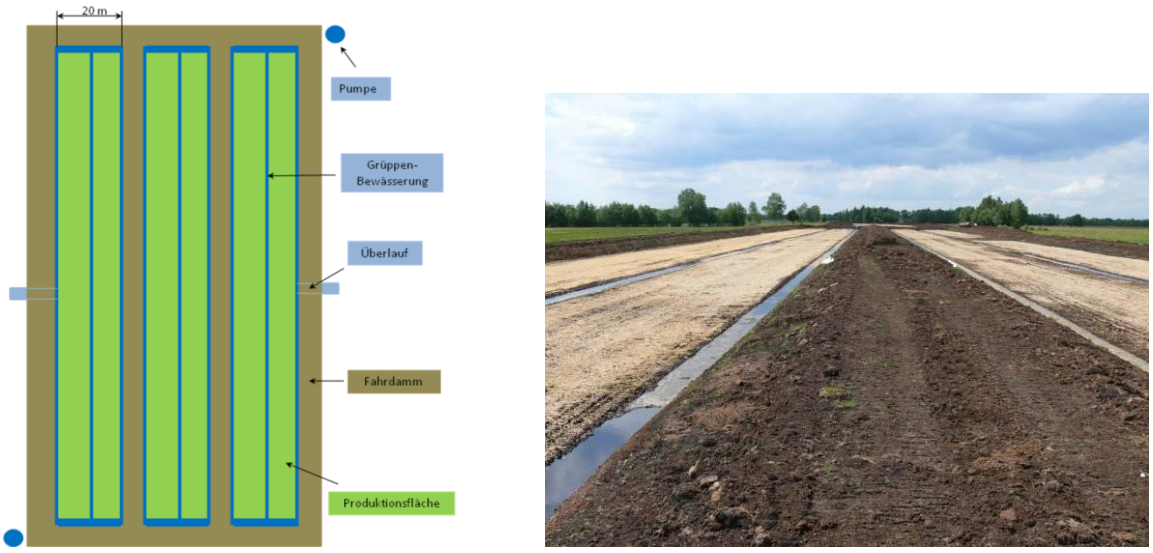

Abb. 6. Schematische Darstellung des Produktionssystems mit Fahrdämmen (li) und die Umsetzung auf Teilfläche 2 mit 2*2 Torfmoosstreifen und drei Fahrdämmen (Foto re).

Zusätzlich wurden auf der Teilfläche ③ alternative Verfahren zur Flächeneinrichtung getestet. Zwei Verfahren erprobten eine Vorbereitung des Grünlandes für die Torfmooskultur ohne aufwendiges Abschälen des vererdeten und stark durchwurzelten Oberbodens. Eine weitere Variante unterschied sich hinsichtlich der Bewässerung.

- „Pflug-Fläche“ (3a): Nachdem die Grünlandvegetation gemulcht war, wurde die Fläche mit einer Tiefe von ca. 30-40 cm gepflügt, anschließend gefräst, eingeebnet und verfestigt.
- „Roundup-Fläche“ (3b): Um die Grünlandvegetation zu entfernen, wurde ein Kontaktherbizid mit Breitbandwirkung (Glyphosat, Handelsname Roundup) appliziert und die Fläche nach 10 Tagen gemulcht. Eine Biomasse-Beräumung der Fläche erfolgte nur unvollständig.
- „Wallfläche“ (3c): Wie auf den Teilflächen 1+2 wurde der vererdete Oberboden mit dem Bagger abgetragen. Zwischen der Kultivierungsfläche und den Grüppen wurden jedoch ca. 50 cm schmale Wälle gewachsenen Torfs stehen gelassen, die ein Anheben des Grüppenwasserstandes über das Niveau der Torfmoose erlauben. Hierdurch soll ein potentielles Wasserdefizit im zentralen Bereich des Moosfeldes ausgleichbar sein.

Das ausgebrachte Torfmoos-Saatgut entstammte drei Herkünften: aus Schilfwerbungsflächen in den Niederlanden (*S. palustre*) sowie von zwei Standorten in Ramsloh (*S. papillosum*). Neben den Zielarten waren andere *Sphagnum*-Arten (insbesondere *S. fallax*) sowie Gefäßpflanzen und Streu (bis 25 Vol. %) enthalten. Das Saatgut von der Versuchsfläche Ramsloh enthielt die höchste Anzahl keimfähiger Gefäßpflanzensamen (v.a. *Juncus effusus* (Flatterbinse), *Drosera rotundifolia* (Rundblättriger Sonnentau), *Betula pubescens* (Moorbirke)). Die Torfmoose wurden ganz (Länge im Mittel 6 cm) oder zerkleinert (Länge im Mittel 1 cm) ausgebracht.

Um die Etablierungsphase der Torfmoose und die Ausbildung eines geschlossenen Torfmoosrasens zu beschleunigen, erfolgte Mitte April 2012 eine Torfmoos-Nachsaat, indem auf Bereiche ohne oder mit sehr geringer Torfmoosdeckung frische, ganze Moose (Art entsprechend der Variante) manuell ausgestreut wurden.

Von der insgesamt 3,75 ha großen Versuchsfläche wachsen auf 2,025 ha Torfmoose (Produktionsfläche aus Torfmoos-Streifen). Der Rest ist Infrastruktur.

Zum Flächenmanagement der Torfmooskultur gehören die Mahd der Gefäßpflanzen, die Kontrolle der Wasserstände und des automatischen Wassermanagements sowie die Reinigung der Grüppen. Die Mahd erfolgte in Ramsloh und zunächst auch in Hankhausen mit einer Motorsense, in der Vegetationsperiode 14tägig bis monatlich. Um die Flächen mit geringerem zeitlichem und personellem Aufwand mähen zu können, entwickelte der Projektpartner MOKURA eine geeignete Mahdmaschine. Seit Mai 2013 wurde ein modifizierter Einachser zur Mahd auf den Produktionsflächen mit Ausnahme der sehr nassen Teilflächen eingesetzt. Die Fahrdämme wurden regelmäßig mit einem Schlepper gemulcht. Die Wasserstände wurden 14tägig kontrolliert, die Grüppen alle zwei Jahre mit einem Bagger gereinigt.

3. Etablierung, Wachstum und Regeneration der Torfmoose

Zur regelmäßigen Untersuchung der Entwicklung der Torfmoose im Feldversuch Hankhausen wurden 350 Dauerbeobachtungsflächen mit einer Größe von je 25x25 cm auf der Versuchsfläche eingerichtet (Abb. 7) und mit einem Trimble Differential-GPS im August 2011 eingemessen. Die Dauerbeobachtungsflächen wurden je Versuchsparzelle (10x50 m) zufallsverteilt angelegt. Die Markierung der einzelnen Dauerquadrate erfolgte mittels eines perforierten Plastikrohres, um die jeweiligen Wasserstände aufnehmen zu können.

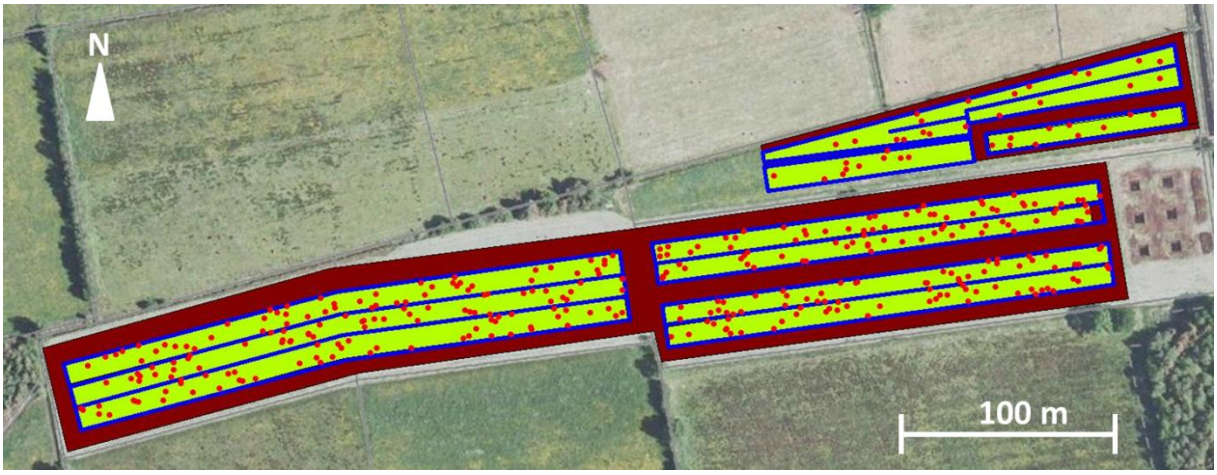

Abb. 7. Lage der 350 Dauerquadrate (rote Punkte) auf der Feldversuchsfläche im Hankhauser Moor.

Um die Entwicklung der ausgebrachten Torfmoose zu untersuchen, wurden dreimal jährlich folgende Parameter innerhalb der Dauerbeobachtungsflächen aufgenommen:

- Torfmoosdeckung, -höhen und -vitalität
- Strohdeckung und -höhen
- Vegetation (Deckungen der einzelnen Pflanzenarten) und Aufwuchshöhe.

Die Ausgangssituation für die Flächen 1+2 wurden Anfang Juni und für die Fläche 3 Anfang Juli 2011 erfasst.
Um den Biomassezuwachs zu bestimmen, wurden jeweils nach einem ganzen Jahr Wachstum (Mai 2012, 2013, 2014 auf den Flächen 1+2; Mai 2013, 2014 auf Fläche 3c ‚Wall') von 3 Dauerbeobachtungsflächen pro Einrichtungsvariante die mittleren 15x15 cm geerntet, sofern Torfmoosvegetation vorhanden war. Die Biomasseproben wurden im Labor nach *Sphagnum*-Arten, Gefäßpflanzen sowie Braunmoosen sortiert, die Capitulaanzahl der Torfmoose gezählt, die Probe im Trockenschrank bei 80 °C für 48 Stunden getrocknet und die Trockenmasse bestimmt.

Zudem wurde die Untersuchung des im November 2004 vom Projektpartner MOKURA eingerichteten Pilotfeldversuches zur Torfmooskultivierung auf degradiertem Hochmoor in Ramsloh fortgesetzt. Einmal jährlich wurden nach denselben Methoden wie beim Feldversuch in Hankhausen Vegetationsaufnahmen durchgeführt und Biomasseproben entnommen. Auf den maschinell abgeernteten Flächen in Ramsloh wurde zweimal jährlich die Vegetation aufgenommen um die Regeneration des Torfmoosrasens zu untersuchen.

3.1. Etablierung

Nach der Einrichtung der Versuchsfläche nahmen Deckung und Rasenhöhe der Torfmoose stetig zu. In Hankhausen wies *Sphagnum palustre*, ganz ausgebracht, nach einem Jahr mit durchschnittlich 75% Deckung und 3,6 cm Rasenhöhe die beste Etablierung und Wuchsleistung auf. Wurden die Torfmoose zerkleinert ausgebracht, etabliert sich *S. palustre* doppelt so schnell wie *S. papillosum* (mittl. Deckung mit 64% bzw. 34%, mittl. Rasenhöhe 2,7 bzw. 1,3 cm). Im Vergleich bedeckte *S. papillosum*, zerkleinert ausgebracht, ein Jahr nach Flächeneinrichtung in Ramsloh bereits 47% mit einer durchschnittlichen Rasenhöhe von 2 cm. Die Etablierung eines weitgehend geschlossenen Torfmoosrasens (90% Deckung) dauerte in Ramsloh mit ca. 3,5 Jahren jedoch deutlich länger als in Hankhausen, wo sich der Torfmoosrasen beider *Sphagnum*-Arten schon nach 1,5 Jahren etabliert hatte (vgl. Abb. 8a, b), beschleunigt durch eine manuelle Torfmoos-Nachsaat (ca. 1 Jahr nach der Einrichtung). Zudem wurde nur in Hankhausen ein gleichmäßig hoher Wasserstand erreicht (Abb. 8c). Sobald starke Wasserstandschwankungen auftreten, ist die Etablierung verzögert (Ramsloh). Als Proxies für die Wasserversorgung der Torfmoose wurden die Höhe der Torfoberfläche und der Abstand zum Bewässerungssystem ausgewertet. Auf beiden Versuchsflächen war die Etablierung schlechter, je höher die Torfoberfläche lag (Höhenunterschied bis 13 bzw. 14 cm). Die zur Bewässerung eingebrachten Dränrohre auf der Versuchsfläche in Ramsloh hatten nur bis zu einem Abstand von 0,5 bis 1,5 m einen positiven Einfluss auf die Torfmoosetablierung, vermutlich aufgrund der geringen Wasserleitfähigkeit im anstehenden Schwarztorf. Dahingegen hat der Abstand zum Graben auf der Versuchsfläche in Hankhausen keinen Einfluss auf die Torfmoosetablierung, da der hier vorkommende weniger stark zersetzte Weißtorf eine hohe Wasserleitfähigkeit aufweist.

- ➔ Um schnellstmöglich einen geschlossenen Torfmoosrasen zu erreichen, ist ein ausgeglichen hoher Wasserstand essentiell. Dieser kann bei einer ebenen Fläche mit gut wasserleitenden, oberflächig anstehenden Torfen leicht eingestellt werden. Die (manuelle) Nachsaat mit vitalen Torfmoosen in Bereichen ohne oder mit sehr geringer Torfmoosdeckung beschleunigt die Schließung des Torfmoosrasens.
- ➔ Das Hauptziel des Feldversuches im Projekt, die Etablierung einer gut wachsenden Torfmooskultur auf Hochmoorgrünland, wurde erreicht.

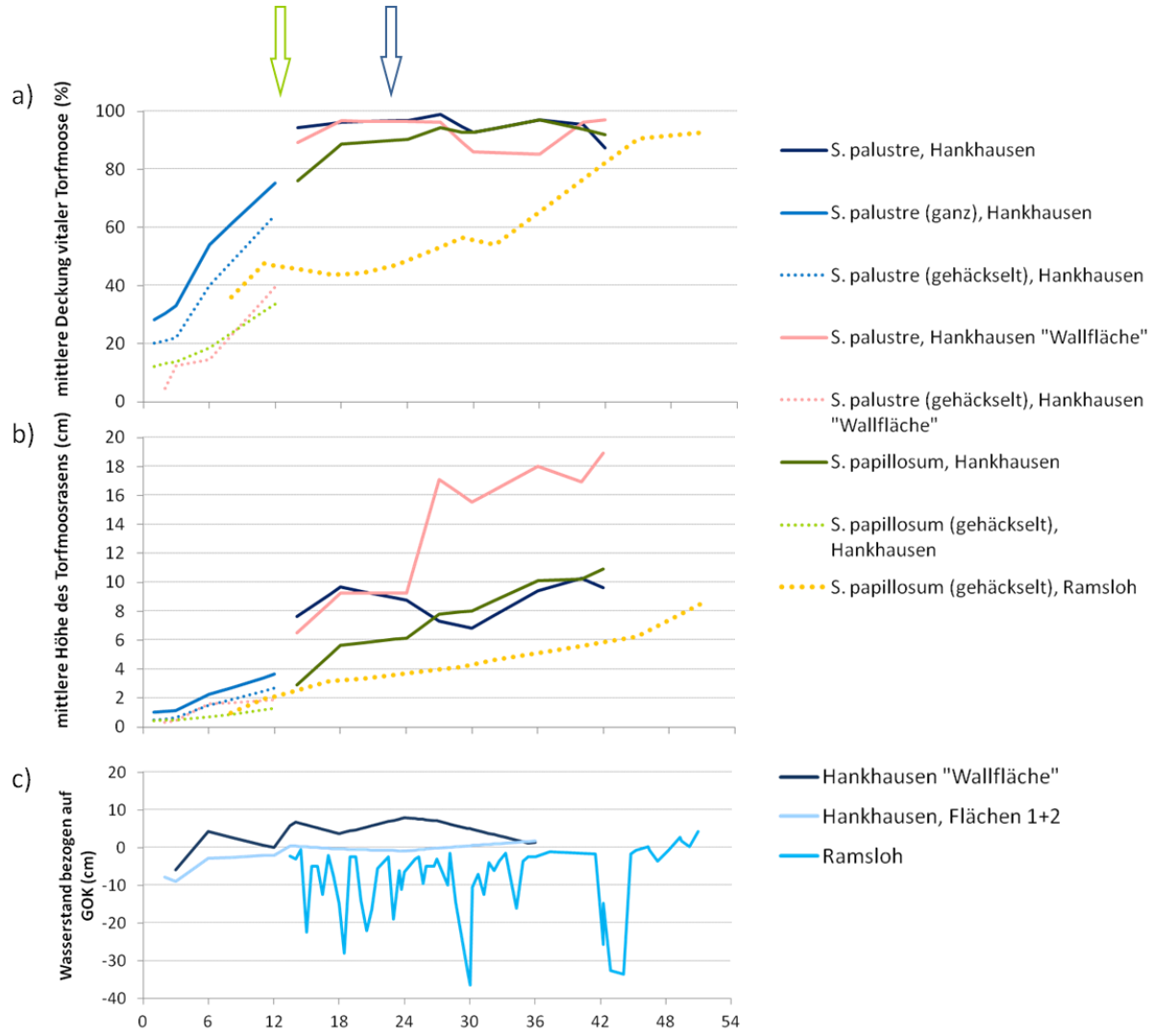

Abb. 8. Entwicklung von a) mittlerer Deckung (in %) und b) Rasenhöhe (in cm) von Torfmoosen sowie c) des Wasserstandes auf den Versuchsflächen zur Torfmooskultivierung in Ramsloh und in Hankhausen (Teilflächen 1+2, „Wallfläche“). In Hankhausen: Test von 2 *Sphagnum*-Arten (*S. palustre, S. papillosum*), bei *S. palustre* mit unterschiedlich großen Ausgangsfragmenten (ganze vs. gehäckselte Moose). Nach 12 Monaten erfolgte in Hankhausen die manuelle Nachsaat mit ganzen Moosen (grüner Pfeil), deshalb Zusammenfassung der Varianten ab Bonitur 14 Monate nach Einrichtung. Blauer Pfeil markiert Beginn der maschinellen Pflegemahd durch Befahrung auf den Flächen mit *S. palustre* der Teilflächen 1+2.

Um die schnellstmögliche Etablierung eines geschlossenen Torfmoosrasens zu erreichen, wurden verschiedene Variablen getestet:

<u>*Sphagnum*-Art</u>

Beim Feldversuch in Hankhausen wurde die Etablierung von zwei *Sphagnum*-Arten (*S. palustre, S. papillosum*) getestet. Trotz vergleichbarer Ausbringdichte war die Etablierung von *S. papillosum* gegenüber *S. palustre* verzögert (Abb. 8). Das Saatgut von *S. papillosum* wurde vor der Ausbringung länger gelagert und wies eine geringere Vitalität als das frischere *S. palustre* auf. Mit der Nachsaat konnte sich schnell ein geschlossener Torfmoosrasen von beiden Arten ausbilden. Im Gewächshausversuch (mit vitalen Moosen) konnte kein signifikanter Unterschied bei der Etablierung der beiden Arten festgestellt werden.

➔ Die Etablierung von *Sphagnum papillosum* erfolgte im Feldversuch deutlich langsamer als von *S. palustre*, was insbesondere durch die geringere Vitalität von *S. papillosum* verursacht war. Bei gleicher Vitalität ist die Etablierung der beiden *Sphagnum*-Arten ähnlich.

Ausbringdichte der Torfmoose

Bedingt durch die maschinelle Ausbringung beim Feldversuch in Hankhausen ergaben sich zu Versuchsbeginn verschiedene Ausgangsdeckungen der Torfmoose (gering (40-60%), mittel (61-80%), hoch (81-100%)). Drei Monate nach Ausbringung (August 2011; Flächen 1+2) bedeckten sichtbare Torfmoose im Mittel 20% (0-90%), Stroh mit 30% im Mittel bedeckte z.T. weitere Torfmoose, der Rest (im Mittel 50%) war unbedeckt (nackter Torf). Diese Abnahme in der Torfmoosdeckung ist durch Zersetzung, Wegtransport von Torfmoosfragmenten in tiefer gelegene Bereiche (z.B. Fahrspuren) infolge von Überflutung durch Graben- bzw. Regenwasser sowie durch Verwehung zu erklären.

Für die erfolgreiche Etablierung eines Rasens ist jedoch weniger die Gesamtdeckung der ausgebrachten Torfmoose, als vielmehr ihre Vitalität entscheidend. Je höher der Anteil vitaler Torfmoose im Saatgut ist, desto schneller ist die Etablierung des Torfmoosrasens. Deshalb sollte bei einer Kulturbegründung darauf geachtet werden, dass das Torfmoos-Saatgut möglichst erntefrisch, also ohne lange Zwischenlagerung ausgebracht wird, was durch Ergebnisse von Untersuchungen zur Lagerungsdauer von Torfmoos-Saatgut im Parallelprojekt PROSUGA[3] bestätigt wird (Prager et al. 2012)[4].

Im Gewächshausversuch wurden zwei verschiedene Ausbringdichten (40% und 80%) ganzer, vitaler Torfmoose mit einer mittleren Länge von 3,2 cm getestet. Während sich bei hoher Ausbringdichte schon nach 3 Monaten ein Torfmoosrasen etabliert hatte (mind. 90% Deckung vitaler Torfmoose), hatte die Deckung vitaler Torfmoose bei geringer Ausbringdichte nach 5 Monaten 75-80% erreicht. Die Verwendung von weniger Saatgut ist demnach zwar möglich, die Etablierung eines Torfmoosrasens ist aber stark verzögert, so dass vermehrt Gefäßpflanzen aufwachsen können.

➔ Um eine schnellstmögliche Etablierung eines geschlossenen Torfmoosrasens zu erreichen, sollten also möglichst frische, vitale Torfmoose mit einer Deckung von mind. 80% als Saatgut ausgebracht werden.

Fragmentgröße

Ganze Moose mit einer durchschnittlichen Länge von 6 cm sind durch schnelleres Weiterwachsen nach der Aussaat und einer damit kürzeren Etablierungsphase für eine Kulturbegründung besser geeignet als zerkleinertes Torfmoosmaterial mit einer mittleren Länge von 1 cm. Dieser Effekt wurde für *Sphagnum palustre* im Freiland nachgewiesen. Im Gewächshausversuch konnte gezeigt werden, dass sich bei Aussaat von vitalen, ganzen Moosen *S. papillosum* genauso schnell etabliert, wie *S. palustre*. Auch die manuelle Nachsaat ca. 1 Jahr nach Einrichtung des Feldversuches erfolgte mit ganzen Moosen und führte bei beiden Arten zur schnellen Etablierung eines geschlossenen Torfmoosrasens. Für die maschinelle Ausbringung erwies sich das zerkleinerte Torfmoosmaterial als besser geeignet.

➔ Um eine schnellstmögliche Etablierung eines geschlossenen Torfmoosrasens zu erreichen, sollten Torfmoose als Saatgut ungehäckselt verwendet werden. Für die Ausbringung ist jedoch eine Anpassung der Technik notwendig.

[3] Verbundvorhaben: Industrielle Produktion von Torfmoos zur Herstellung von innovativen Kultursubstraten für den Erwerbsgartenbau. 2010-2013. Förderung: BMWi, ZIM Programm

[4] Prager, A., Gaudig, G., Krebs, M., Schulz, J., Gahlert, F. & Joosten, H. 2012. Are Sphagnum propagules still vital when stored up to 12 months? Proceedings 14th Int. Peat Congress in Stockholm, Schweden: No. 365.

Strohabdeckung

Die Abdeckung der frisch ausgestreuten Torfmoose mit Stroh wird von Quinty & Rochefort (2003)[5] empfohlen, um das Mikroklima für die fragilen Torfmoos-Fragmente zu verbessern. Unsere Versuche in Ramsloh und Hankhausen bestätigen eine geringfügig verbesserte Torfmoosetablierung durch Strohabdeckung, zeigen aber auch, dass bei permanenter, ausreichender Wasserversorgung eine Etablierung der Torfmoose ohne Strohabdeckung problemlos erfolgt. Die Strohausbringung wirkt einer schnellen Torfmoosetablierung entgegen, wenn die Strohdicke mehr als 2-3 cm beträgt.

➔ Für eine schnellstmögliche Etablierung eines geschlossenen Torfmoosrasens ist keine Strohabdeckung des Torfmoos-Saatgutes notwendig, solange eine permanente Wasserversorgung gewährleistet ist.

Alternative Verfahren zur Flächeneinrichtung

Die Torfmoosetablierung beim Test alternativer Verfahren zur Flächeneinrichtung war nur bei der „Wallfläche“ (3c) erfolgreich. Nach einem Jahr waren nur ca. 40% der Fläche mit vitalen Torfmoosen bedeckt, was auf die teilweise Überstauung der „Wallfläche“ zurückgeführt wird (Abb. 8). Erst durch die Nachsaat und Absenkung und Stabilisierung der Wasserstände unter den Torfmoos-Capitula schloß sich der Torfmoosrasen innerhalb von zwei Monaten weitgehend (90%).

Die „Pflug-Fläche“ (3a) und die „Roundup-Fläche“ (3b) waren zu trocken (teilweises Absinken der Wasserstände bis auf 34 bzw. 52 cm unter Torfoberfläche). Der Abstand der Torfmoos-Streifen zum nördlichen Entwässerungsgraben war mit 6 m zu gering, so dass die Wasserverluste infolge von lateralem Wasserabstrom (vgl. Kap. Wasserversorgung) sowie von Untertunnelungen des Dammes durch Bisamratten (vgl. Kap weitere Störfaktoren: Tiere) weder durch Pumpen von Wasser noch durch Einbringen von Stauelementen ausgeglichen werden konnten. Zusätzlich führte der hohe Konkurrenzdruck durch aufwachsende Gefäßpflanzen dazu, dass die Etablierung der Torfmoose ohne Erfolg blieb.

➔ Langfristiger Überstau und tiefe Wasserstände hemmen die Torfmoosetablierung. Inwiefern alternative Verfahren zur Flächeneinrichtung (pflügen bzw. Herbizide anwenden) bei ausreichender Wasserversorgung zu einer erfolgreichen Kulturbegründung führen, konnte nicht geklärt werden.

[5] Quinty, F. & Rochefort, L. (2003). Peatland Restoration Guide. 2nd edition. Québec, Canadian Sphagnum Peat Moss Association and New Brunswick Department of Natural Resources and Energy.

3.2. Wachstum

Nach der Etablierung des geschlossenen Torfmoosrasens blieb der Deckungsgrad vitaler Torfmoose hoch und nahmen Rasenhöhe und Biomasse zu. 24 Monate nach der Einrichtung erreichte *S. papillosum* 6 cm und S. palustre auf Fläche 1+2 8,8 cm und auf der „Wallfläche“ 9,3 cm. Mit Beginn der maschinellen Pflegemahd in Hankhausen im Mai 2013 (24 Monate nach der Einrichtung), bei der die *S. palustre*-Flächen der Teilflächen 1+2 befahren wurden, nahm die Rasenhöhe von *S. palustre* aufgrund des Zusammendrückens durch die Maschine zunächst ab (Abb. 8b). Dahingegen stieg ohne Befahrung und infolge eines höheren Wasserstandes die durchschnittliche Rasenhöhe von *S. palustre* auf der „Wallfläche“ innerhalb von drei Monaten auf 17,1 cm (Aug 2013). Die Rasenhöhe von *S. papillosum* in Hankhausen nahm langsamer zu als *S. palustre*, und erreichte 28 Monate nach der Etablierung (46 Monate nach der Einrichtung) im Mittel 11 cm. In Ramsloh hatte der *S. papillosum*-Rasen zum vergleichbaren Zeitpunkt (also 28 Monate nach der Etablierung des geschlossenen Torfmoosrasens, hier: 71 Monate nach der Einrichtung, Okt 2010) eine durchschnittliche Höhe von 11,8 cm und wuchs auf 15,5 cm 9 Jahre (108 Monate, Nov 2013) nach der Einrichtung an (Abb. 9).

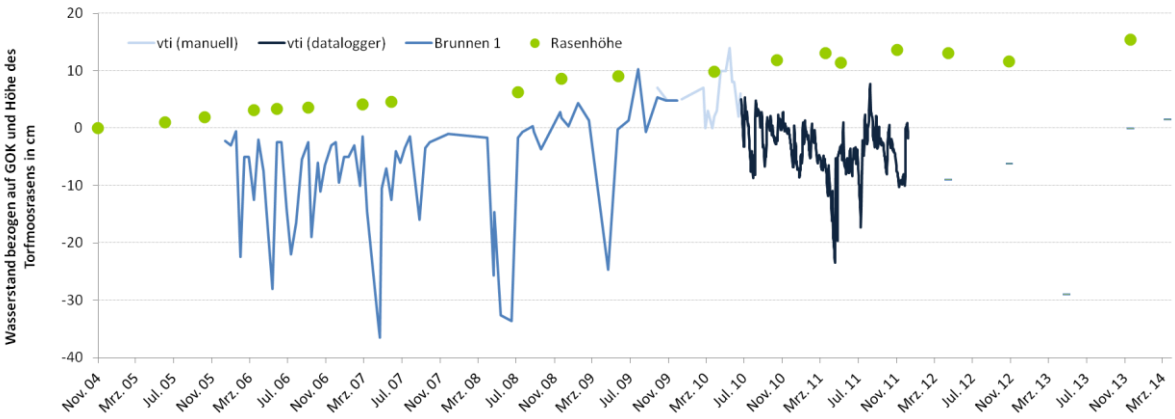

Abb. 9. Wasserstände bezogen auf Geländeoberkante und Höhe des Torfmoosrasens (gemessen in den Dauerflächen im Umkreis von 5 m um Brunnen 1, ab 2012 Mittelwert aller Flächen) in cm auf der Ramslohfläche. Von Dezember 2005 bis Dezember 2009 sowie von April 2012 bis März 2014 eigene manuelle Messungen in Brunnen 1, von Dezember 2009 bis Juni 2010 manuelle Messungen des vti (Johann Heinrich von Thünen-Institut Braunschweig), von Juni 2010 bis Dezember 2011 Messungen mittels Datalogger des vti. Entfernung von Brunnen 1 und vti Pegelrohr ca. 2 m. Der Höhenunterschied der Geländeoberkante bei Brunnen 1 und vti Pegelrohr von ca. 5 cm wurde für die Darstellung der Wasserstände korrigiert.

Aufgrund der schnelleren Torfmoosetablierung war der jährliche Biomassezuwachs in Hankhausen deutlich höher als in Ramsloh: während nach drei Jahren in Ramsloh im Mittel 400 g Trockenmasse (TM)/ m^2 aufgewachsen waren, war dies in Hankhausen durchschnittlich 1 kg TM/ m^2, wobei der Gesamt-Torfmooszuwachs auf den *S. papillosum*-Flächen etwas geringer war als auf den *S. palustre*-Flächen (Abb. 10a). Nach der Schließung des Torfmoosrasens nahm die Biomasseproduktivität in Ramsloh signifikant zu bis 7 Jahre (84 Monate, Nov 2011) nach Versuchseinrichtung. Anschließend stagnierte die Biomassemenge aufgrund unzureichender Wasserversorgung (Abb. 9): Zersetzung und Neuzuwachs hielten sich die Waage.

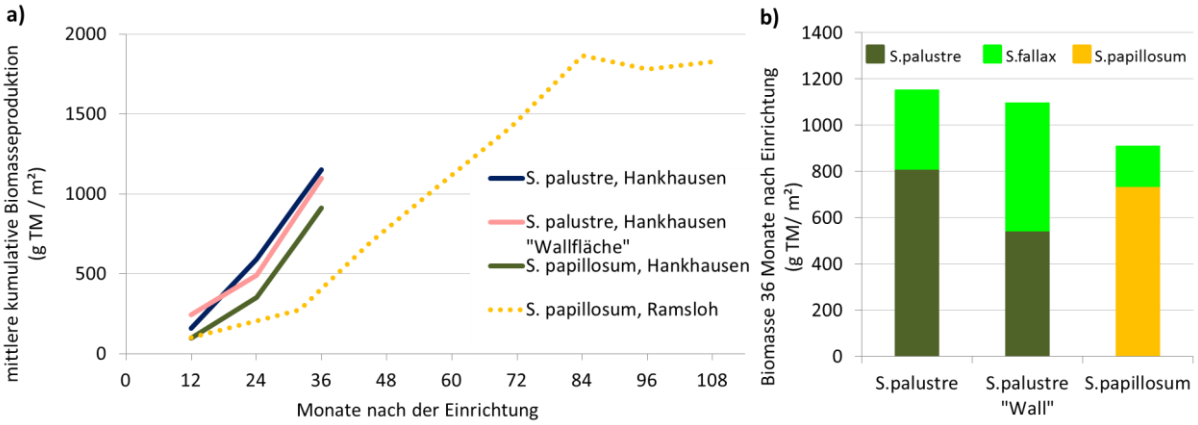

Abb. 10. Biomasseproduktion bei der Torfmooskultivierung. a) Kumulative Biomasseproduktion (in g Trockenmasse pro m²) auf den Versuchsflächen zur Torfmooskultivierung in Ramsloh (2004-2013) und Hankhauser Moor (2011-2014) und b) Zusammensetzung der Biomasse nach Torfmoosarten für *S. palustre* u. *S. papillosum* auf Fläche 1+2 sowie S. palustre auf der „Wallfläche" in Hankhausen 36 Monate nach der Einrichtung (2011-2014).

Um die Unterschiede im Biomassezuwachs zwischen den einzelnen Varianten des Feldversuchs in Hankhausen sowie für den Feldversuch Ramsloh zu erklären, werden folgende Einflussgrößen betrachtet:

- Wasserversorgung
- Nährstoffversorgung
- Konkurrenz durch andere Sphagnum-Arten
- Gefäßpflanzenaufwuchs
- Verpilzung
- Weitere Störfaktoren: Tiere
- Alternative Formen der Flächeneinrichtung.

<u>Wasserversorgung</u>

Für die Versuchsfläche Hankhausen wurde eine positive Gesamtjahreswasserbilanz für die Kulturflächen festgestellt (vgl. Abb. 11). Dennoch ist aufgrund der innerjährlichen Verteilung der Niederschläge und zum Ausgleich der höheren Verdunstung eine Bewässerung der Torfmoose im Sommer notwendig, um dauerhaft hohe Wasserstände in der Torfmooskultur sicherzustellen.

Die Wasserstände in der Produktionsfläche werden über wassergefüllte Grüppen eingestellt. In Ramsloh wurden 2004 zwischen den die Produktionsfläche umrahmenden Grüppen (Abstand 20 m) alle 5 m zusätzlich Dränrohre oberflächennah im Torf installiert.

Die durch Windkraft betriebene Pumpe konnte in Ramsloh nicht ausreichend Wasser für die Bewässerung der 1.200 m² großen Fläche bereitstellen, so dass die Wasserstände zeitweilig bis 36,5 cm unter die Torfoberfläche sanken (Abb. 8c, Abb. 9). Dahingegen wurde in Hankhausen über eine elektrische Pumpe mit einer automatischen Steuerung, die nach Absinken um 5 cm Wasserhöhe den Wasserverlust auffüllte, ein dauerhaft hoher Wasserstand gewährleistet (Abb. 8). Dafür wurden jährlich ca. 1.650 m³ Bewässerungswasser je Hektar Produktionsfläche benötigt (Abb. 11).

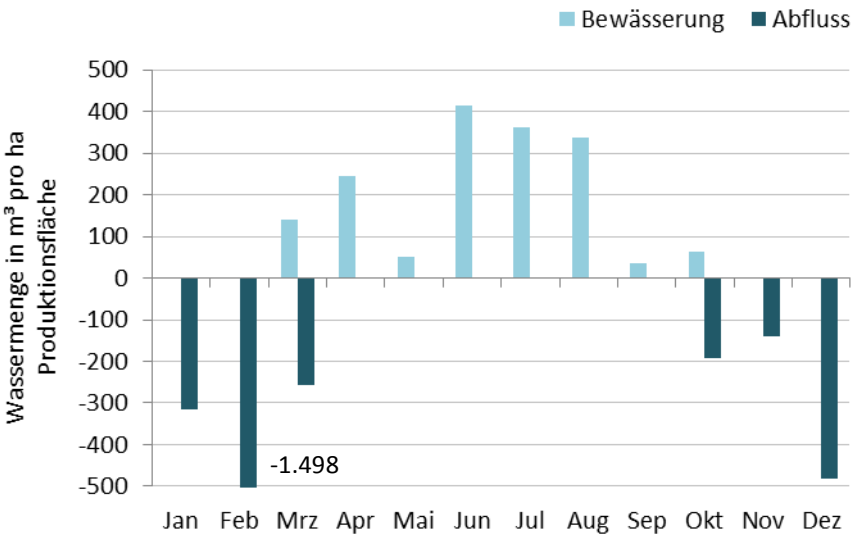

Abb. 11. Monatliche Wassermengen übers Jahr (in m³ pro ha Produktionsfläche), die zur Bewässerung der Torfmooskultur in Hankhausen zusätzlich zum Niederschlag notwendig waren (Werte für 2014) und überschüssiges Wasser, das durch die Überläufe aus der Fläche abfloss (Werte für Okt. 2012 – September 2013). Der Abfluss im Feb 2013 war sehr hoch und wird deshalb verkürzt aber mit Nennung der Gesamtmenge dargestellt. Grund der hohen Abflussmenge war das Absenken der Wasserstände durch Herunterstellen der Überläufe.

Die Leitfähigkeit der Torfe bestimmt in wichtigem Maße die Geschwindigkeit mit der Wasser aus den Grüppen nachgeliefert wird und wie Wasserverluste, insbesondere in den trockenen Sommermonaten, in der Produktionsfläche ausgeglichen werden. In Ramsloh wiesen die oberflächennahen stärker zersetzten Torfmoostorfe (H6-8) nur geringe bis mittlere Leitfähigkeiten mit bis zu 40 cm pro Tag auf (nach Eggelsmann 1981)[6]. War der Abstand zur Bewässerungsgrüppe größer als 3,75 m, nahm die Biomasseproduktivität von *S. papillosum* in Ramsloh vermutlich aufgrund der geringen Wasserleitfähigkeit der Torfe ab. Während die Dränrohre eine wichtige Rolle für die Wasserversorgung bei der Etablierung spielten, haben diese sechs Jahre nach der Einrichtung für die Biomasseproduktion von *S. papillosum* keine Bedeutung mehr. Vermutlich waren die Dränrohre zugesetzt und deshalb nicht mehr (voll) funktionsfähig.

Im Gegensatz dazu wiesen die schwach zersetzten Torfmoostorfe in Hankhausen hohe Leitfähigkeiten von 40 bis >250 cm pro Tag auf. Zwar konnte kein Einfluss der Entfernung zum Graben auf die Torfmoosetablierung, also auf den Deckungsgrad nach 1 Jahr, festgestellt werden, die Biomasseproduktivität der Torfmoose drei Jahre nach Versuchsbeginn war jedoch in Abhängigkeit der Entfernung zum Graben verschieden: *S. papillosum* produzierte ab einer Entfernung von 2,50 m weniger Biomasse, *S. palustre* wies bei 2,50 m Abstand zur Grüppe die höchsten Biomassewerte auf. Da die Wasserstände unabhängig vom Abstand zur Grüppe vergleichbar hoch waren, ist nicht die Wasserversorgung, sondern sind andere Ursachen für die unterschiedlichen Biomassewerte verantwortlich.

Aufgrund der hohen Wasserleitfähigkeit der Torfe ist die Wasserversorgung nur infolge unterschiedlicher Höhen der Torfoberfläche verschieden. Die Biomasseproduktion der Torfmoose auf beiden Versuchsflächen stieg mit besserer Wasserversorgung. Tiefer gelegene, nassere Flächen verzeichneten ein stärkeres Torfmooswachstum. Sobald die Torfoberfläche durchschnittlich 5 cm

[6] Eggelsmann, R. 1981. Dränanleitung für Landbau, Ingenieurbau und Landschaftsbau. 2. Aufl. Berlin. S. 268.

höher lag als die tiefsten Bereiche, nahm die Biomasseproduktion stark ab. Mittlere Wasserstände über 2 cm unter der Torfoberfläche führten in Hankhausen zu einer Produktivitätssteigerung.

Faktoren, die den Wasserverlust der Torfmooskultur in der entwässerten Umgebung in Hankhausen bestimmen, sind insbesondere Verdunstung sowie horizontaler Abstrom in gut leitende Torfschichten und Entwässerungsgräben. Die vertikale Versickerung ist mit 40 bis 130 m³ pro Hektar und Jahr gering.

Überflutungen hemmen Torfmoose in ihrem Wachstum. Deshalb muss überschüssiges Wasser mittels Überläufen abfließen können. Die ausschließlich im Winterhalbjahr anfallenden Abflussmengen umfassten in Hankhausen jährlich ca. 3.000 m³ je Hektar Produktionsfläche (Abb. 11). Rückschlagklappen verhinderten das Eindringen von Wasser über die angrenzenden Entwässerungsgräben.

- ➔ Nicht nur für die Etablierung, sondern auch für ein gutes Torfmooswachstum ist ein ausgeglichen hoher Wasserstand essentiell.
- ➔ Je nasser die Flächen, desto besser das Torfmooswachstum. Eine Überflutung wirkt dem jedoch entgegen und ist zu vermeiden.
- ➔ Die Gesamtwasserbilanz ist positiv, im Sommer ist aber zusätzliche Bewässerung notwendig und über Grüppen möglich. Dränrohre sind für eine langfristige Bewässerung (vermutlich) ungeeignet.
- ➔ Der sommerliche Wasserverlust erfolgt in der entwässerten Umgebung in Hankhausen insbesondere durch Verdunstung und horizontalem Abstrom.

Publikationen sind zu den Durchlässigkeiten der Torfe sowie der Wasserversorgung einer Torfmooskultur geplant.

<u>Nährstoffversorgung</u>

Torfmoose sind an nährstoffarme Standortsbedingungen angepasst. Ihr Wachstum ist in natürlichen Mooren oft Stickstoff- oder Phosphor-limitiert, kann aber auch insbesondere durch hohe Stickstoffeinträge gehemmt werden.

Neben den atmosphärischen Einträgen werden die Torfmoose auf den Kulturflächen zusätzlich durch das Bewässerungswasser mit Nährstoffen versorgt. Die Nährstoffkonzentrationen von Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) sind im Bewässerungswasser in Hankhausen um ein Vielfaches höher als in Ramsloh und natürlichen Torfmooshabitaten. Während das Wasser zur Bewässerung in Ramsloh aus dem Grundwasser entnommen wurde, kommt das Wasser in Hankhausen aus dem Vorfluter Schanze, der das Wasser der Entwässerung der gedüngten Hochmoorgrünlandflächen führt. Durch die Bewässerung im Sommerhalbjahr erfolgt eine hohe N, P und K-Fracht in die Torfmoosflächen in Hankhausen. Höhere Nährstoffgehalte in den Torfmoosköpfchen in Hankhausen bestätigen eine Aufnahme der zusätzlichen Nährstoffe in die Torfmoosbiomasse (Abb. 12), und führen im Vergleich mit natürlichen Standorten zu viel höheren Werten.

In Ramsloh werden die höchsten Produktivitäten bei NP-Verhältnissen zwischen 10-28 (Mittelwert 24,5) und N-Gehalten < 11,5 mg N/g TM festgestellt. Das Torfmooswachstum in Ramsloh ist weder

Stickstoff- (NP<10) noch Phosphor-limitiert (NP>30)[7,8]. Die NK-Verhältnisse mit im Mittel 3,7 und Werten überwiegend >3,3 deuten auf eine Kaliumlimitierung hin[7]. Geringere N-Gehalte mit höheren Produktivitäten werden auf den Verdünnungseffekt durch das Wachstum der Torfmoose zurückgeführt. Dies lässt sich auch für *S. papillosum* in Hankhausen feststellen, wo die Biomasse bei Stickstoffgehalten < 17 mg N/ g TM höher ist. Im Gegensatz dazu steigt die Produktivität von *S. palustre* bei Werten >18 mg N/ g TM.

Das Torfmooswachstum in Hankhausen ist nicht nährstofflimitiert (P und K) und N gesättigt. Eine Wachstumshemmung durch die hohe Stickstoffversorgung, die sich in sehr hohen Stickstoffgehalten in den Torfmooskö̈pfchen anzeigt, kann nicht festgestellt werden. Die Fortsetzung der Untersuchungen ist notwendig, um die langfristige Wirkung der hohen Nährstoffverfügbarkeit auf das Torfmooswachstum zu erfassen.

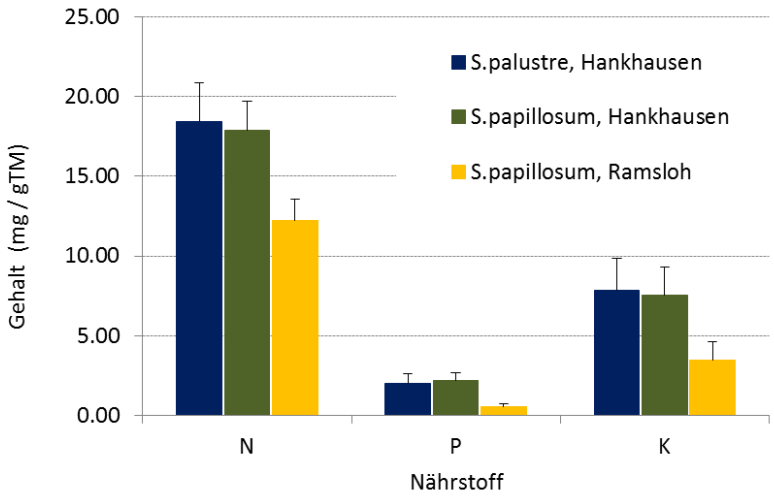

Abb. 12. Nährstoffgehalte der Torfmooskapitula (Stickstoff-N, Orthophosphat- P, Kalium- K in mg/gTM) von *S. palustre* (n=56) u. *S. papillosum* (n=23) in Hankhausen (Biomasseproben vom Mai 2014) und *S. papillosum* in Ramsloh (n=61, Biomasseproben vom Oktober 2010).

- ➔ Durch die Bewässerung werden zusätzlich Nährstoffe (N, P, K) in die Torfmooskulturfläche eingetragen, deren Menge je nach Herkunft des Wassers sehr hoch sein kann (siehe Hankhausen).
- ➔ Das Wachstum der Torfmoose in Ramsloh war mit der Bewässerung durch nährstoffarmes Grundwasser Kalium-limitiert.
- ➔ Das Wachstum der Torfmoose in Hankhausen ist aufgrund der hohen zusätzlichen Nährstofffrachten (N, P, K) aus dem Bewässerungswasser des Vorfluters ‚Schanze' nicht nährstofflimitiert. Eine Wachstumshemmung durch zu hohe N-Konzentrationen wurde nicht festgestellt.
- ➔ Hohe Nährstoffverfügbarkeit führt durch die effektive Nährstoffaufnahme der Torfmoose zu hohen Nährstoffgehalten in der Torfmoosbiomasse.

[7] Bragazza, L., Tahvanainen, T., Kutnar, L., Rydin, H., Limpens, J., Hájek, M., Grosvernier, P., Hájek, T., Hajkova, P., Hansen, I., Iacumin, P., and Gerdol, R. (2004). Nutritional Constraints in Ombrotrophic Sphagnum Plants under Increasing Atmospheric Nitrogen Deposition in Europe. *New Phytologist*, 163(3):pp. 609–616.

[8] Aerts, R., Wallen, B., and Malmer, N. (1992). Growth-Limiting Nutrients in Sphagnum-Dominated Bogs Subject to Low and High Atmospheric Nitrogen Supply. *Journal of Ecology*, 80(1):131–140.

Torfmooskulturen funktionieren durch die effektive Nährstoffaufnahme der Torfmoose auch als Nährstofffilter. Es wurde in einer Masterarbeit nachgewiesen, dass insbesondere Phosphor aus dem nährstoffreichen Bewässerungswasser in der Torfmoosbiomasse festgelegt wird, und die P-Konzentration im Wasser sowie der P-Austrag stark abnahm. Eine Publikation dazu wird derzeit ausgearbeitet.

Konkurrenz durch andere Sphagnum-Arten

Mit den Torfmoos-Zielarten (*S. palustre, S. papillosum*) wurde in geringer Menge *S. fallax* (*S. palustre*-Variante mit 20 Vol. %, *S. papillosum*-Variante mit <1 Vol.%) ausgebracht. Die Zusammensetzung des Torfmoosrasens änderte sich zugunsten von *S. fallax* (Abb. 13). Auf den Flächen mit *S. palustre* nahm der Anteil von *S. fallax* an der Gesamtdeckung der Torfmoose von 19% (August 2011) auf 58% (Mai 2014) so stark zu, dass es indessen 1,4 mal mehr vorkommt als die eigentliche Zielart. Auch auf den Flächen mit *S. papillosum* vervielfachte sich der Anteil von *S. fallax* und erreichte nach drei Versuchsjahren 28% (Abb. 13).

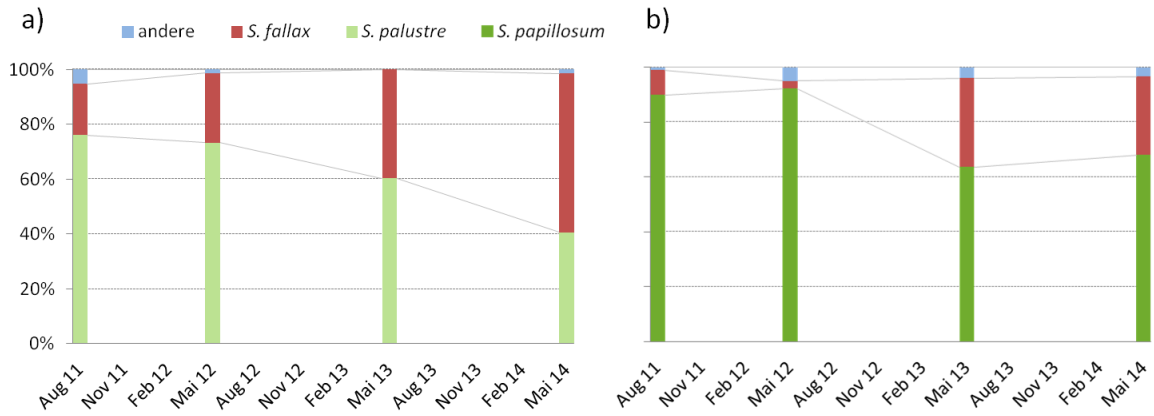

Abb. 13. Entwicklung der Artenzusammensetzung der Torfmoosschicht (mittlerer prozentualer Anteil an der Torfmoosgesamtdeckung) auf der a) *S. palustre*- und b) *S. papillosum*- Variante über den Zeitraum von August 2011 (3 Monate nach der Einrichtung) bis Mai 2014 auf der Fläche 1+2 in Hankhausen.

Die höhere Deckungen von *S. fallax* auf den *S. palustre*-Flächen führen auch zu höheren Anteilen in der Torfmoosbiomasse im Vergleich mit den *S. papillosum* Flächen (Abb. 10b).

Hauptursache für die Zunahmen sind hohe Wasserstände. *S. fallax* wächst unter nassen Bedingungen besser, bei Wasserständen > 2 cm unterhalb des Torfes und auf den tiefsten Bereichen der Kulturflächen. Das zeigt sich auch in der höheren Wuchsleistung von *S. fallax* auf der nasseren „Wallfläche“ (Abb. 10b). Zu hohe Wasserstände mit < 6 cm unterhalb der Capitula (mittlerer Wasserstand) führen jedoch zu einer Deckungs- und Produktivitätsabnahme.

Die hohe Nährstoffverfügbarkeit insbesondere an Phosphor unterstützt ebenfalls das Wachstum von *S. fallax*. Bei einer Nährstoffversorgung die zu Nährstoffgehalten von > 7 mg N/ g TM und > 0,7 mg P/ g TM im Capitulum führt, kann *S. fallax* andere Arten auskonkurrieren und Dominanzbestände

ausbilden[9]. *S. fallax* hat in Hankhausen mittlere Nährstoffgehalte von 14,2 mg N/ g TM und 1,5 mg P/ g TM. Inwieweit nährstoffärmeres Bewässerungswasser die Ausbreitung von *S. fallax* verringern kann, muss weiter untersucht werden.

- ➔ Reines Saatgut ohne Beimengung von anderen Torfmoosarten ist für den langfristigen Anbau der Zielarten sinnvoll, um einer Änderung in der Artenzusammensetzung vorzubeugen.
- ➔ Hohe Wasserstände und eine hohe Nährstoffverfügbarkeit führen zu einer starken Zunahme von *S. fallax*.

Eine Publikation zu den Ursachen der Ausbreitung von *S. fallax* in der Torfmooskultur in Hankhausen ist geplant.

<u>Gefäßpflanzenaufwuchs</u>

Gefäßpflanzen können als Stützelemente Torfmoose in ihrem Wachstum fördern, bei hoher Deckung (> 50%) das Torfmooswachstum jedoch auch hemmen (vgl. Clymo & Hayward 1982[10]). Zudem sind Gefäßpflanzen als Substratbestandteil unerwünscht. Der starken Ansiedlung von *Juncus effusus* (Flatterbinse), bedingt durch den Sameneintrag über das Saatgut und aus angrenzenden Flächen, wurde durch regelmäßige Mahd entgegengewirkt. Infolgedessen konnte die Deckung der Gefäßpflanzen auf den Teilflächen 1+2 in Hankhausen sowie auf der Versuchsfläche in Ramsloh auf unter 30% zurückgedrängt werden. Dahingegen nahm die Gefäßpflanzendeckung auf den Teilflächen 3a ‚gepflügt' und 3b ‚Roundup' trotz Mahd bis zu 100% sehr schnell zu, was auf die suboptimale Wasserversorgung zurückgeführt wird (s.o.).

Die Mahd erfolgte in Ramsloh und zunächst auch in Hankhausen mit einer Motorsense. Um die Flächen mit geringerem zeitlichem und personellem Aufwand mähen zu können, entwickelte der Projektpartner MOKURA eine geeignete Mahdmaschine, die ab Mai 2013 in Hankhausen zum Einsatz kam.

Auf beiden Versuchsflächen konnte eine geringe Abnahme des Biomassezuwachses der Torfmoose mit zunehmender Gefäßpflanzendeckung (zum jeweiligen Erntezeitpunkt der Torfmoos-Biomasse) festgestellt werden.

- ➔ Der Gefäßpflanzenaufwuchs konnte (mit Ausnahme der alternativ eingerichteten Flächen „gepflügt" und „Roundup") durch regelmäßige Mahd auf unter 30% Deckung gehalten werden. Es ist erstrebenswert, den Deckungsgrad weiter zu verringern, da festgestellt wurde, dass mit höherer Gefäßpflanzendeckung der Biomasseaufwuchs abnahm.

[9] Limpens, J., Tomassen, H., and Berendse, F. (2003). Expansion of Sphagnum fallax in bogs: striking the balance between N and P availability. *Journal of Bryology*, 25(2):83–90.

[10] Clymo, R.S. & Hayward, P.M. 1982. The ecology of Sphagnum. In: Smith, A.I.E. (ed.): Bryophyte ecology; Chapman & Hall, London - New York: 229-289.

Verpilzung

Auf der Versuchsfläche Ramsloh wurde Anfang November 2011 ein starker Befall der Torfmoose durch Pilze festgestellt. Circa 15 % der Kulturfläche war hell verfärbt und z.T. mit Fruchtkörpern bestanden. Zweieinhalb Jahre nach Versuchseinrichtung waren auch in Hankhausen ca. 10 % der Fläche sichtbar mit Pilzen befallen, ohne signifikante Unterschiede zwischen den ausgebrachten *Sphagnum*-Arten. Die im Herbst 2014 in Hankhausen bestimmten Pilzarten umfassen einen Parasiten sowie vier Saprophyten (Tab. 2) und stellen deshalb ein wesentliches Gefährdungspotential für die Torfmooskultur dar. Wie stark die Wuchsleistung der Torfmoose durch den Pilzbefall gemindert wird, muss noch untersucht werden. Bisher konnten keine wirkungsvollen Maßnahmen zur Eindämmung der Verpilzung entwickelt werden.

Tab. 2. Auf der Versuchsfläche in Hankhausen im Herbst 2014 bestimmte Pilzarten.

wissenschaftlicher Name	**deutscher Name**	**Vorkommen**
Galerina cf. Paludosa	Weißflockiger Sumpf- Häubling	kolonisiert die bei der Keimung von Moossporen produzierten Filamente, in Zellen von Protonemata und Rhizoiden von *Sph. capillifolium*, Saprophyt auf *Sphagnum*
Galerina sphagnorum	Sumpf-Häubling	auf Sphagnum, Saprophyt (Zersetzer)
Hypholoma cf. Udum	Rausporiger Torf-Schwefelkopf	auf Sphagnum, Saprophyt (Zersetzer)
Omphalina sphagnicola	Torfmoos-Nabeling	auf Sphagnum, Saprophyt (Zersetzer)
Rickenella fibula (Omphalina fibula)	Orangeroter Heftel-Nabeling	kolonisiert die bei der Keimung von Moossporen produzierten Filamente
Tephrocybe palustris (früher *Lyophyllum palustre*)	Sumpf-Graublatt	Parasit auf *Sphagnum*, löst Mittellamellen zw. *Sphagnum*-Zellen auf und dringt in Hyalo- und Chlorocyten ein, Wirtszellen sterben in Abwesenheit von Hyphen

➔ Pathogene Pilze hemmten das Torfmooswachstum auf bis zu 15% der Fläche. Wirkungsvolle Maßnahmen zur Eindämmung der Verpilzung müssen zukünftig weiter entwickelt werden.

Weitere Störfaktoren: Tiere

Die stärksten Schäden verursachten Bisamratten, die durch das Anlegen von Gangsystemen den 4 m breiten Damm von der Bewässerungsgrüppe zum angrenzenden Entwässerungsgraben auf der Versuchsfläche „gepflügt“ durchlöcherten und aufgrund der höheren Wasserstände in der Versuchsfläche das Auslaufen des Wassers bewirkten. Um dem entgegen zu wirken, wurden Stauelemente eingebracht. Wirkungsvoller gegen Beschädigung durch Bisamratten zeigten sich aber die 10 m breiten Fahrdämme, die nicht durchlöchert wurden.

Eine geringe Auswirkung hatte das Betreten der Produktionsstreifen durch Rehe, Hasen oder Gänse.

➔ Von den Tieren auf der Versuchsfläche verursachten nur die Bisamratten nennenswerte Schäden. Auf Schutzmaßnahmen ist zukünftig zu achten.

Alternative Formen der Flächeneinrichtung

Während die Rasenhöhe 3,5 Jahre nach Versuchseinrichtung auf der „Wallfläche“ (3c) ohne Befahrung zur Pflegemahd mit durchschnittlich 19 cm doppelt so hoch war wie die Rasen auf den regelmäßig befahrenen Teilflächen 1+2 (Abb. 8), war die Biomasseproduktion vergleichbar hoch (Abb. 10). Allerdings umfasste der Anteil von *Sphagnum fallax* in der Biomasse auf der „Wallfläche“ ca. 50%, während auf den Teilflächen 1+2 der Anteil 30 % betrug (Abb. 10b).
Da die Biomasseproduktion auf der „Wallfläche“ sich nicht von der auf den Teilflächen 1+2 unterschied, deren Einrichtung aber sehr viel aufwendiger und das Wassermanagement schwieriger war, wird von der großflächigen Umsetzung dieser Form der Flächeneinrichtung in gut wasserversorgten Gebieten abgeraten.

- ➔ Auf der „Wallfläche“ produzierten die Torfmoose genauso viel Biomasse wie auf den Teilflächen 1+2, der Anteil von *S. fallax* war aber höher.
- ➔ Aufgrund aufwendigerer Einrichtung und Wassermanagement ist diese Form der Flächeneinrichtung („Wall“) unattraktiv.

3.3. Ernte und Wiederbesiedlungspotential/ Regeneration (in Ramsloh)

Die Regeneration der Torfmoose wurde nach der manuellen Ernte im August 2008 sowie nach der maschinelle Ernte im April 2011 auf der Feldversuchsfläche in Ramsloh untersucht. Bei der manuellen Ernte wurden auf drei Flächen von je 1,5 x 1,5 m Torfmoose bis auf eine Höhe von 2 bis 5 cm mit einer Gartenschere so abgeschnitten, dass ein ebener Torfmoosrasen (mit Torfmoosstängeln ohne Köpfchen) mit 100 % Deckung stehen blieb. Nach Test verschiedener maschineller Erntemethoden wurde die Entnahme von Torfmoosmaterial mittels eines Baggers mit Mähkorb ohne Befahrung der Torfmoosfläche gewählt, um Saatgut für die Einrichtung der Versuchsfläche in Hankhausen zu gewinnen. Diese maschinelle Ernte erfolgte jedoch unregelmäßig, so dass im Ergebnis teilweise Torf anstand während an anderen Stellen lange, abgeschnittene Torfmoosstängel stehen blieben. Die stark variierende Erntetiefe ist auf fehlende Standfestigkeit des Erntebaggers auf dem weichen Torf zurückzuführen.

Die Deckung der Capitula als Anzeichen der Regeneration des Torfmoosrasens nahm stetig zu, bei manueller jedoch schneller als bei maschineller Ernte: während bei manueller Ernte bereits nach einem Jahr neue Capitula schon 80% Deckung erreichten (Abb. 14a), wurde diese Deckung bei maschineller Ernte im Mittel erst nach 2,5 Jahren erreicht. Ist die Ausgangsdeckung der Torfmoosstängel gering, ist die Regeneration stark verzögert bzw. nicht erfolgreich (Abb. 14b). Entscheidend für den Erfolg der Regeneration ist also das Verbleiben von ausreichend vitalen Torfmoosstängeln nach der Ernte, da anderenfalls eine „Neuansaat“ notwendig wird.

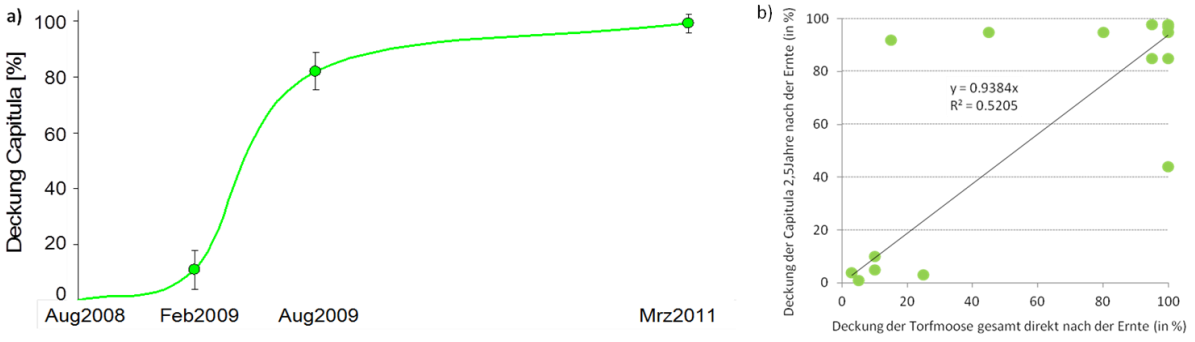

Abb. 14. Deckung neu gebildeter Torfmoos-Capitula in % auf der Versuchsfläche Ramsloh a) Entwicklung seit der manuellen Ernte (Darstellung des Mittelwertes mit Standardabweichung) sowie b) nach 2,5 Jahren im Vergleich zur Ausgangsdeckung der Torfmoosstängel nach der maschinellen Ernte.

Um die beste Erntemethode zu ermitteln, sind zukünftig die Etablierungsgeschwindigkeit und Kosten von Regeneration eines abgeernteten Torfmoosrasens und die Etablierung eines neu angesäten Torfmoosrasens gegenüberzustellen. Parallel dazu ist die Verbesserung des bestehenden bzw. die Entwicklung einer neuen Erntetechnik anzustreben.

➔ Die Regeneration eines abgeernteten Torfmoosrasens erfolgt schneller, je mehr Torfmoosstängel stehen geblieben sind. Die technische Machbarkeit sowie die Kosten im Vergleich zur Neuansaat sind zukünftig zu untersuchen.

4. Nebeneffekte

4.1. Treibhausgasemission (Zusammenfassung Abschlussbericht Universität Rostock, Teilvorhaben 2, FKZ: 22009910; verändert)

In Ramsloh wurde von 2009 bis 2011 der THG-Austausch einer etablierten, wüchsigen Torfmooskultur (*S. papillosum*) durch das Niedersächsische Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie untersucht. Die Ergebnisse zeigen einen klimakühlenden Effekt, also eine Kohlenstoffaufnahme (Beyer & Höper 2015)[11].

Im MOOSGRÜN-Projekt wurden durch den Verbundpartner Universität Rostock auf der Versuchsfläche in Hankhausen erstmals Feld-Messungen des THG-Austausches einer Torfmooskultur 1) in der Etablierungsphase von Einrichtungsbeginn an und 2) hinsichtlich der Übergangsdynamik zur etablierten Kultur sowie 3) für *Sphagnum palustre* durchgeführt. Weiterhin wurden Gewächshausversuche zum THG-Emissionspotential der Torfmoose in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung des Bewässerungswassers sowie vom Wasserstand durchgeführt, um die unter Torfmooskultivierung zu erwartenden THG-Emissionen besser abschätzen zu können.

Mit ca. 5 bis 7 t CO_2-Äquivalent ha^{-1} a^{-1} lag das Erwärmungspotential der Versuchsfläche in Hankhausen deutlich unter den ca. 15 t CO_2-Äquivalent ha^{-1} a^{-1}, die für moderat feuchte, also entwässerte und als Grünland bewirtschaftete Standorte angegeben werden (Couwenberg et al. 2011)[12]. Für die Minimierung der THG-Emissionen einer Torfmooskultur sollten möglichst wenig und flache Bewässerungsgrüppen und Fahrdämme angelegt werden.

➔ In der Etablierungsphase der Torfmooskultur in Hankhausen sind Emissionen zu verzeichnen, die aber deutlich unter denen eines Hochmoorgrünlandes liegen. Durch Minimierung der Menge und Größe von Grüppen und Fahrdämmen können die Emissionen weiter reduziert werden. Die etablierte Torfmooskultur in Ramsloh hat einen klimakühlenden Effekt.

[11] Beyer, C. & Höper, H. (2015) Greenhouse gas exchange of rewetted bog peat extraction sites and a Sphagnum cultivation site in northwest Germany. Biogeosciences, 12, 2101–2117. doi:10.5194/bg-12-2101-2015

[12] Couwenberg. J., Thiele, A. & Tanneberger, F. (2011) Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy. Hydrobiologia 674, 67–89.

4.2. Biodiversität

Die Entwicklung der Flora sowie der Fauna (anhand von Spinnen) wurde seit der Einrichtung der Versuchsfläche über den Kulturverlauf beobachtet. Dies ergab Daten zur Besiedlung durch wertgebende Arten, zum Einfluss der unterschiedlichen Etablierungsvarianten der Torfmooskultur und zur Entwicklung des Arteninventars mit zunehmendem Kulturalter, die mit denen anderer Hochmoorstandorte z.B. extensives Hochmoorgrünland, Grünlandbrache, naturnahe Torfmoos-Standorte verglichen wurden.

Flora

Es kamen hochmoortypische Moos- und Gefäßpflanzenarten auf den Kulturflächen in Ramsloh und Hankhausen vor, die z. T. mit dem Torfmoos-Saatgut ausgebracht wurden und sich z. T. autonom ansiedelten. Es wurden im Projektzeitraum 27 Gefäßpflanzenarten, 7 Braunmoos- und 7 Torfmoosarten festgestellt.

- ➔ Hochmoorarten: *Eriophorum angustifolium* (Schmalblättriges Wollgras), *Drosera rotundifolia* (Rundblättriger Sonnentau) sowie die *Sphagnum*-Arten *S. palustre* (Sumpf-Torfmoos), *S. papillosum* (Warziges Torfmoos), *S. fallax* (Trügerisches Torfmoos), *S. cuspidatum* (Spieß-Torfmoos), *S. squarrosum* (Sparriges Torfmoos), *S. teres* (Rundes Torfmoos) und *S. angustifolium* (Schmalblättriges Torfmoos)
- ➔ Rote Liste gefährdeter Arten Deutschlands (Gefährdungskategorie 3) auf den Produktionsstreifen: *Drosera intermedia* (Mittlerer Sonnentau), *Vaccinium oxycoccos* (Gewöhnliche Moosbeere), *Polytrichum strictum* (Steifblättriges Frauenhaar) und *Rhynchospora alba* (Weißes Schnabelried).
- ➔ Rote Liste gefährdeter Arten Deutschlands (Gefährdungskategorie 3) in den Grüppen: *Juncus subnodulosus* (Stumpfblütige Binse), *Utricularia vulgaris* (Gewöhnlicher Wasserschlauch) und *Ricciocarpos natans* (Schwimmlebermoos)

Fauna (Spinnenfauna)

Von 2011 bis 2013 wurde die Besiedlung der Torfmooskulturfläche in Hankhausen durch Spinnen und Weberknechte untersucht. Spinnen stellen eine hochdiverse Gruppe der Wirbellosen-Fauna dar, sie waren quantitativ die dominante Gruppe der Makro-Invertebraten auf der Fläche und sie sind durch ihre ökologischen Eigenschaften hervorragend geeignet, die Entwicklung der Kulturflächen im Vergleich zu natürlichen *Sphagnum*-Habitaten zu dokumentieren. Es zeigte sich, dass die Torfmooskulturfläche bereits nach 3 Jahren eine sehr wertvolle Artengemeinschaft beherbergte (Rote Liste-Arten, seltene und Hochmoor-typische Arten), die sich zunehmend an das Artenspektrum natürlicher Vergleichsstandorte annäherte (Muster et al. 2015[13]). Die Sukzession ist in diesem Zeitraum jedoch noch nicht abgeschlossen und sollte weiter untersucht werden.

- ➔ Im ersten Kulturjahr trat ein sehr hoher Anteil an aeronautischen Pionierbesiedlern auf.
- ➔ Nach einem Jahr wurde eine starke Umstrukturierung in der Artenzusammensetzung mit *Pirata piraticus* als dominante Art (42 % der Aktivitätsdominanz) und eine beschleunigte Zunahme der Arten- und Individuenzahlen sowie ein erstes Auftreten moorspezifischer Rote-Liste-Arten (*Pardosa sphagnicola, Hygrolycosa rubrofasciata, Erigonella ignobilis*) festgestellt.
- ➔ Die Artengemeinschaften der Versuchsfläche nähern sich denen naturnaher Vergleichsstandorte langsam an.
- ➔ In jedem Entwicklungsstadium bieten die Anbauflächen Lebensraum für seltene und bedrohte Spinnenarten. Der Anteil von Rote-Liste-Arten übertrifft regelmäßig den von naturnahen Vergleichsstandorten.
- ➔ Die höchsten Artenzahlen werden in Plots erreicht, in denen ganze Moose ausgebracht wurden.
- ➔ Die Sukzession ist noch nicht abgeschlossen und sollte weiter untersucht werden.

[13] Muster, C., Gaudig, G., Krebs, M. & Joosten, H. (2015) Sphagnum farming: the promised land for peat bog species? Biodiversity and Conservation – doi 10.1007/s10531-015-0922-8

5. Ökonomische Bewertung (Verfahrensgestaltung, Kostenkalkulation, Optimierungsmöglichkeiten)

5.1. Betriebswirtschaftliche Ebene

Zur Einschätzung der Torfmooskultivierung aus betriebswirtschaftlicher Sicht wurden die Aufwendungen der Projektpartner Torfwerk Moorkultur Ramsloh Werner Koch GmbH & Co KG (MOKURA) bzw. der Deutschen Torf-Gesellschaft (DTG) für Einrichtung und Betreuung der Versuchsfläche im Hankhauser Moor projektbegleitend erhoben. Es wurden Arbeitsschritte, Arbeitszeitbedarf, Maschineneinsatz und Investitionskosten erfasst, um die Verfahrensgestaltung zu dokumentieren (Kapitel B.5.1.1.) sowie – im Gegensatz zu bisherigen Modellkalkulationen – eine Kostenkalkulation mit realen Zahlen durchzuführen (Kapitel B.5.1.2.).

5.1.1. Verfahrensgestaltung

Flächeneinrichtung, Flächenmanagement, Ernte

Die Flächeneinrichtung mit Planungsphase, Flächenvorbereitung und Kulturetablierung sowie die im Hankhauser Moor erprobten Einrichtungsvarianten werden in Kapitel B.2 erläutert. Zur Betreuung der Torfmooskultur gehören die Mahd der Gefäßpflanzen, die Kontrolle der Wasserstände und des automatischen Wassermanagements sowie die Reinigung der Grüppen. Das Flächenmanagement ist inB.2 beschrieben. Eine maschinelle Ernte der Versuchsfläche ist erst im Folgeprojekt vorgesehen. Bisher durchgeführte kleinflächige Versuche mit unterschiedlicher Erntetechnik und zur Regeneration der Torfmoose (Abschnitt B3.3) ermöglichen noch keine Aussagen zur großmaßstäbigen Umsetzung.

- ➔ Die Kalkulation zur Flächenvorbereitung bezieht sich auf die Erfahrungen mit der Teilfläche 1 (System mit Befahren der Kulturfläche, Abb. 5) und der Teilfläche 2 (System mit Fahrdämmen, Abb. 6).
- ➔ Für die auf Teilfläche 3 erprobten alternativen Verfahren zur Flächeneinrichtung (siehe Kapitel B.2) lassen sich auf Grund ihrer kleinflächigen Umsetzung und des teilweise mangelnden Etablierungserfolgs der Torfmoose noch keine verlässlichen Daten für eine ökonomische Bewertung ableiten.

Vorgangsliste und Netzplan als Planungsinstrument

Die Etablierung einer Torfmooskultivierungsfläche von der Identifizierung einer verfügbaren und geeigneten Fläche über die Einholung von Genehmigungen bis hin zum Übergang der eingerichteten Fläche ins Flächenmanagement ist ein mehrmonatiger Prozess. Zum Teil bauen Arbeitsschritte aufeinander auf, zum Teil können sie parallel erfolgen. Der Projektpartner MOKURA schlug daher die Erstellung eines Netzplans als Planungshilfe vor. Mit Hilfe einer Vorgangsliste können die erforderlichen Arbeitsschritte, ihr Zeitbedarf (Dauer, Puffer), Zuständigkeiten, logische Abhängigkeiten und zeitliche Abfolgen (Vorgänger, Nachfolger) erfasst und in einem Netzplan übersichtlich grafisch dargestellt werden. Ein Netzplan identifiziert kritische Punkte im Projektverlauf und ermöglicht eine gezielte Planung, um Probleme zu vermeiden (z. B. fristgerechte Fertigstellung des automatischen Wassermanagements) und den Zeitbedarf zu verkürzen. Der Zeitbedarf je Vorgang kann von Projekt zu Projekt jedoch sehr unterschiedlich sein (z. B. flächenspezifische Genehmigungen, Bearbeitungszeit der zuständigen Behörde, saisonbedingte Wartezeiten für Flächenherrichtung und Moosausbringung).

- ➔ Ein Basis-Netzplan ist jeweils projektbezogen und fortlaufend anzupassen.

5.1.2. Kostenkalkulation

Die Verfahrenskosten der Torfmooskultivierung sind in drei Kostenkategorien zu untergliedern:

a) Anlagekosten: einmalig zu Beginn anfallend: Planung, Flächenvorbereitung, Kulturetablierung
b) Laufende Kosten: jährlicher Aufwand für Bestandsmanagement und flächengebundene Abgaben
c) Erntekosten: ca. alle 3-5 Jahre, entstehen nur bei Ernte und Abtransport der Moose

Die im Zuge der Anlage der Versuchsfläche im Hankhauser Moor entstandenen Kosten werden im Folgenden diskutiert. Die Erntekosten können erst mit der großmaßstäbigen Erprobung angepasster Erntemaschinen ermittelt werden.

Planungs- und Genehmigungskosten

Die Anlage der Versuchsfläche konnte in Abstimmung mit der zuständigen Behörde des Landkreises Ammerland (Amt für Umwelt und Wasserwirtschaft) ohne formelles Genehmigungsverfahren erfolgen. Hier sind für reale Praxisfälle regionale sowie flächenspezifische Unterschiede jedoch nicht auszuschließen wie z. B. eine Einstufung als Grünlandumbruch, als Eingriff im Sinne der Eingriffs-Ausgleichs-Regelung, als raumbedeutsame Planung mit erforderlicher Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP), eine Wirksamkeit von FFH-Richtlinie oder die Berücksichtigung besonders geschützter Biotope. Die Erfüllung entsprechender Auflagen bei der Erstellung der Planungsunterlagen (z. B. Beschreibung von Ausgangssituation, Kartierung von Flora und Fauna) wäre mit erheblichen Mehrkosten verbunden. Gleichzeitig sinken die anteiligen Planungskosten je Hektar mit zunehmender Größe der Fläche erheblich.

➔ Die kalkulierten Kosten sind sehr gering, da ein Teil des Aufwandes nicht beziffert werden konnte (z.B. Planungsleistung im Rahmen von Pilotprojekt) und als Genehmigung lediglich eine wasserrechtliche Erlaubnis für Gewässerbenutzung nach §§ 8-10 WHG erforderlich war.

Flächenvorbereitung

Anders als ursprünglich vorgesehen, konnte zur Flächenherrichtung kein Fräsen mit anschließendem Aufschieben der Fahrdämme durch eine Raupe erfolgen, da die Ausgangsfläche zu nass war. Das Abtragen der Grasnarbe und Aufschütten der Dämme erfolgte per Raupenbagger (Komatsu PC 160, Grabenlöffel mit einer Arbeitsbreite von 250 cm, Kettenbreite 130 cm) an ca. 50 Arbeitstage (vgl. Abb. 15).

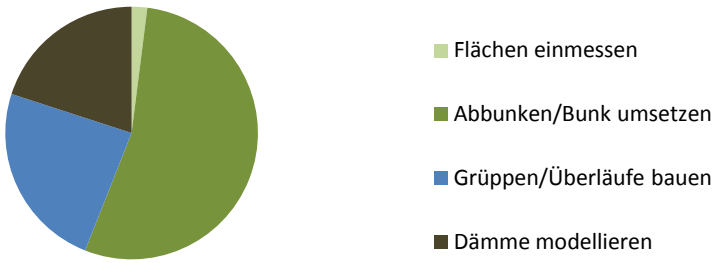

Abb. 15. Anteiliger Zeitbedarf der Arbeitsgänge bei der Flächenvorbereitung von Teilfläche 1+2

➔ Die Flächeneinrichtung war aufwändiger als geplant, da ein anderes Vorgehen gewählt wurde (Bagger statt Fräse) und durch tieferes Abbunken mehr Material bewegt wurde.

➔ Mehr als 50% der Zeit wurde für das Abtragen und Bewegen des Oberbodens benötigt.

➔ Die anteiligen Kosten je ha Produktionsfläche sind bei Teilfläche 2 auf Grund des höheren Infrastrukturanteils erwartungsgemäß höher (um ca. 25%).

Kulturetablierung

Die Kosten zur Kulturetablierung umfassen den Ankauf von Torfmoosen und Strohmulch, den Technik- sowie Personaleinsatz für Aufbereitung und Transport zur Fläche sowie die Ausbringung selber. Der Ankaufpreis der Torfmoose beträgt 750 €/m^3. Da die Moose per Hand gesammelt und weitestgehend artenrein und ohne Beikräuter geliefert wurden, ist anzunehmen, dass der Verkaufspreis nicht deutlich über den Bereitstellungskosten liegt.

➔ Den bei weitem größten Kostenpunkt in der Kulturetablierung sowie bei den Gesamtkosten (vgl. Abb. 16) umfasst das Torfmoos-Saatgut.

Automatisches Wassermanagement

Da wind- oder solarbetriebene Pumpen als zu unsicher angesehen wurden, fielen die Investitionskosten für die Bewässerungsanlage deutlich höher aus als geplant. Das Bewässerungssystem mit automatischen Wasserstandsmessungen und Steuerung über ein elektronisches Schaltsystem wurde im Projekt insbesondere auch für die Erfassung hydrologischer Daten eingerichtet. Allein die Kosten für die Herstellung eines Stromanschlusses an der Fläche mit Verlegung des Erdkabels per Horizontalbohrgerät sowie Unterdükerung der Schanze belaufen sich auf mehrere Zehntausend Euro. Die hohen Kosten sind zudem auf eine relativ geringe Fläche umgelegt. Der Anschluss weiterer Flächen, wie für ein Anschlussprojekt geplant, ist problemlos möglich und würde eine deutliche Degression der anteiligen Kosten zur Folge haben.

➔ Die hohen Investitionskosten für die Bewässerungsanlage sind somit z.T. forschungsbedingt bzw. flächenspezifisch. Die Verlegung des Stromkabels und die elektronische Steuerung haben einen Kostenanteil von knapp 70%.

➔ Die anteilige Belastung je Hektar Kulturfläche reduziert sich durch Erweiterung der Torfmoosfläche.

Zaunbau

Die Versuchsfläche wurde auf Hochmoorgrünland eingerichtet, wo die umliegenden Flächen von Frühjahr bis Herbst nach wie vor beweidet werden. Als Sicherheit wurde zur Verstärkung der vorhandenen Weidezäune ein einfacher Zaun rund um die gesamte Kulturfläche gebaut (ca. 1,3 km), um Trittschäden durch ausbrechende Rinder vorzubeugen.

Gesamtkosten der Flächenherrichtung

Die Aufteilung der Gesamtkosten ist aus Abb. 16 ersichtlich. Über die Hälfte der Anlagekosten entfallen auf den Torfmoosankauf. Bleiben die Saatgutkosten unberücksichtigt, spielen die sonstigen Kosten der Kulturetablierung eine untergeordnete Rolle und die Investitionskosten für das Bewässerungssystem dominieren. Werden die Kosten zur Anlage der Torfmooskultur als Annuität (gleichbleibende, jährliche Zahlung) auf die gesamte Kulturdauer umgelegt (angenommene Laufzeit: 10 bzw. 20 Jahren, Zinssatz: 3% bzw. 6%), so betragen die jährlichen Kosten zwischen ca. 9.000 € und 18.000 € je Hektar Kulturfläche bei den Teilflächen 1+2.

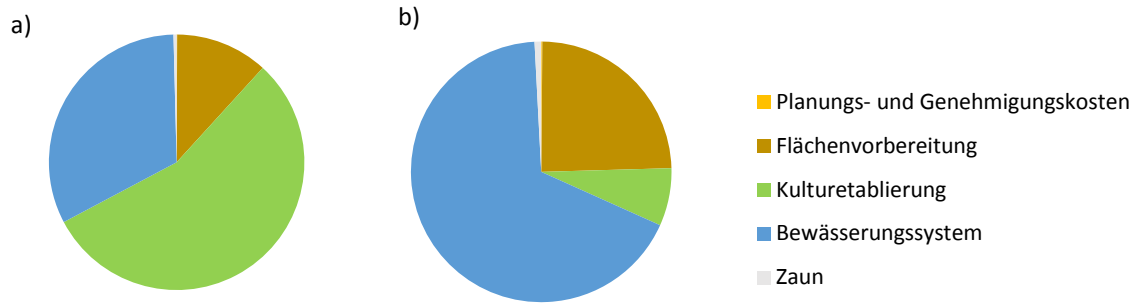

Abb. 16. Aufteilung der Gesamtkosten der Flächeneinrichtung: a) mit und b) ohne Berücksichtigung des Torfmoosankaufs als Anteil bei der Kulturetablierung

- ➔ Mit der erfolgreichen maschinellen Einrichtung der Torfmooskulturfläche ist ein Meilenstein in der Entwicklung und Erprobung eines großmaßstäbigen Produktionsverfahrens erreicht. Die Praxiszahlen für Flächenherrichtung und Kulturetablierung der Versuchsfläche ermöglichten eine Korrektur der bisher auf Annahmen basierenden Kostenkalkulation der Torfmooskultivierung.
- ➔ Gegenüber der Vorabkalkulation sind die Anlagekosten erhöht, allerdings sind auch die Biomassezuwächse höher als erwartet. Eine Kosten-Nutzen-Einschätzung kann erst nach der 1.Ernte erfolgen. Für alle Arbeitsschritte wurden Gründe für die Kostensteigerung und Potentiale zur Einsparung und Optimierung aufgezeigt.
- ➔ System ohne Fahrdämme: Der Effekt der stärkeren Verteilung der Gesamtkosten auf den höheren Anteil der Kulturfläche macht sich erst bei größeren Flächen bemerkbar. Bei der Vorabkalkulation betrug der Anteil der Kulturfläche an der Ausgangsfläche 82 %, in Hankhausen auf Grund der begrenzten Flächengröße nur 55%.
- ➔ Der größte, einzelne Kostenposten ist die Moosbeschaffung für Saatgut.

Die jährlich anfallenden, laufenden Kosten umfassen insbesondere Personalkosten (regelmäßige Kontrolle der Wasserstände, Pflegemahd, Grüppenreinigung) sowie Maschinenkosten (Mahdtechnik, Treibstoff), Wartungs- und Reperaturarbeiten (Ersatzteile, z.T. externe Aufträge), variable Kosten (Strom für automatisches Wassermanagement) und flächengebundene Kosten (Pacht, Abgaben). Aufgrund noch fehlender Unterlagen ist eine Gesamtkalkulation zum jetzigen Zeitpunkt nicht abschließend möglich.

5.2. Volkswirtschaftliche Ebene (Ökosystemleistungen, Beihilfefähigkeit)

5.2.1. Externe Effekte und Ökosystemdienstleistungen

Jede landwirtschaftliche Nutzung erzeugt nicht nur handelbare Marktprodukte, sondern ist auch mit externen Effekten verbunden. Diese externen Nutzen oder Kosten entstehen für die Gesellschaft. Der Landnutzer als Verursacher wird jedoch weder für die Schäden haftbar gemacht noch für zusätzliche, nicht marktfähige Leistungen honoriert. Vielmehr setzen agrar- und energiepolitische Rahmenbedingungen z. T. sogar falsche Anreize indem EU-Direktzahlungen und die Förderung für Erneuerbare Energien (EEG) auch bei entwässerungsbasierter Moornutzung zur Verfügung stehen. Auch hier bleiben die externen Kosten, insbesondere die Klimawirksamkeit hoher Treibhausgas-Emissionen aus dem mineralisierenden Torf, unberücksichtigt. In der Folge wird eine umweltschädliche Landnutzung mit Transferzahlungen der Gesellschaft unterstützt (vgl. auch B.5.2.2).

Paludikultur hingegen bietet eine nachhaltige Alternative für entwässerte Moore. Die Torfmooskultivierung auf degradierten Hochmoorstandorten birgt in zweifacher Hinsicht große Potentiale, wohlfahrtsrelevante Leistungen zu erbringen. Zum einen können durch den Ersatz von Weißtorf und die Reduzierung des Torfabbaus die umfangreichen Ökosystemdienstleistungen natürlicher Mooren erhalten werden. Zum anderen wird durch die Wiedervernässung für die Torfmooskultivierung die Funktionstüchtigkeit degradierten Hochmoorgrünlandes verbessert. Torfmooskultivierung kann somit die externen Kosten der degradierenden Moornutzung reduzieren und die Bereitstellung von standorttypischen, für den Menschen relevanten Ökosystemdienstleistungen verbessern. Diese Veränderungen wurden am Beispiel der auf früherem Hochmoorgrünland im Hankhauser Moor eingerichteten Versuchsfläche auf der Basis erster Projektergebnisse sowie Literaturdaten qualitativ bewertet und im Juni 2012 auf dem Internationalen Torfkongress in Stockholm mit einem Vortrag und einem Konferenz-Papier vorgestellt.[14] Für eine quantitative Bewertung der Reduktion der Treibhausgasemissionen sowie der Ansiedlung hochmoortypischer Pflanzen- und Spinnenarten wird auf die Abschnitte B.4.1 + B.4.2 verwiesen.

➔ Die Umwandlung von Hochmoorgrünland in eine Torfmooskultur verbessert die Ökosystemdienstleistungen in allen Bereichen: Regulierungsleistungen (z.B. Verringerung der Treibhausgasemissionen, Habitat für gefährdete Arten), Versorgungsleistungen (z.B. hochwertiges Produkt, Langzeitperspektive für Moornutzung) und kulturelle Leistungen (z.B. Erhalt des Landschaftsarchivs).

5.2.2. Agrarpolitische Rahmenbedingungen für die Torfmooskultivierung als neue Landnutzungsform: Beihilfefähigkeit und Grünlandschutz

Die agrarpolitischen Rahmenbedingungen können die Akzeptanz und die Umsetzung der Torfmooskultivierung als zukünftige Landnutzungsform sowohl fördern als auch behindern. Dies betrifft zum einen die Einordnung der Torfmooskultivierungsflächen selber und zum anderen die Förderung von Alternativnutzungen, die die Opportunitätskosten erhöht und die Flächenverfügbarkeit reduziert. Die externen Effekte aus der Beeinträchtigung bzw. Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen (vgl. B.5.2.1*)* sollten bei der Gestaltung der agrar- und energiepolitischen Förderung von Landnutzungsoptionen Eingang finden. Dabei ist der Abbau falscher Anreize für entwässerungsbasierte Moornutzung ebenso bedeutsam wie die Förderung von

[14] Wichmann, S., Gaudig, G., Krebs, M. & Joosten, H. 2012. Paludiculture - ecosystem services of Sphagnum farming on rewetted bogs in NW Germany. Proceedings 14th Int. Peat Congress in Stockholm, Schweden: No. 369.

Paludikultur z. B. durch Direktzahlungen sowie die Honorierung von Leistungen der nassen Nutzung durch Agrarumwelt- und Agrarklimaprogramme. Torfmooskultivierung ist keine traditionelle Landnutzung und findet bisher nur in kleinerem Maßstab auf Demonstrationsflächen statt. Um die aktuellen Rahmenbedingungen der Torfmooskultivierung einzuschätzen, wurden die einschlägigen Verordnungen geprüft sowie die Niedersächsischen Behörden (Landwirtschaftskammer Oldenburg, Niedersächsisches Landwirtschaftsministerium – ML), das Bundeslandwirtschaftsministerium (BMEL) und die Zollverwaltung befragt.

- ➔ Beihilfefähigkeit (Flächenprämie über die 1.Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU): Torfmoose werden als landwirtschaftliche Erzeugnisse nach Kapitel 06 des Brüsseler Zolltarifschemas angesehen und Torfmooskulturflächen würden als Dauerkultur eingestuft werden.
- ➔ Grünlanderhalt: Die Umwandlung von Dauergrünland in Dauerkultur unterliegt dem Genehmigungsvorbehalt und erfordert die Anlage einer Ersatzfläche.
- ➔ Prüfung der Einführung von Sonderregelungen zur Genehmigung von Grünlandumwidmung (soweit dem keine artenschutzrechtlichen Gründe entgegenstehen) sowie Ausnahme von der Pflicht zur Anlage einer Ersatzfläche, z. B. auf Grund von „öffentlichem Interesse“.

5.2.3. Politische Rahmenbedingungen in Niedersachsen

Neben förderpolitischen Anreizen und den an Prämienzahlungen gekoppelten Verpflichtungen (Grünlanderhalt über Cross Compliance bzw. zukünftig Greening) (vgl. B.5.2.2*)* werden Landnutzungsentscheidungen auch von politischen Zielvorgaben bestimmt. In Niedersachsen haben sich mit der Landtagswahl im Januar 2013 und der Bildung einer rot-grünen Landesregierung die Rahmenbedingungen für die Torfmooskultivierung entscheidend geändert. Die Koalitionsvereinbarung thematisiert auf 97 Seiten mehrfach die Herausforderung von Klimaschutz, nachhaltiger Landwirtschaftspolitik und regionaler Wertschöpfungsketten, - explizit auch in Zusammenhang mit Moorschutz und Torfwirtschaft. In der Zwischenzeit zeigen auch eine Reihe konkreter Initiativen der Landesregierung, dass die Weichen umgestellt werden sollen, um mittel- bzw. langfristig den Ausstieg aus dem Torfabbau und eine Umsteuerung der Landwirtschaft auf organischen Böden zu erreichen:

- Änderung des Landes-Raumordnungsprogramms (LROP): Streichung aller Vorranggebiete „Rohstoffgewinnung der Rohstoffart Torf“ sowie Einrichtung von Vorranggebieten „Torferhaltung und Moorentwicklung“ hat Klimaschutz
- Landesklimaschutzgesetz in Planung
- Programm „Niedersächsische Moorlandschaften“ (Akquirierung von EU-Mitteln): Fördergegenstand sind u.a. Projekte zur Herstellung von Torfersatzstoffen und Pilotprojekte zur Erprobung und Entwicklung von nassen Bewirtschaftungsverfahren, z. B. Paludikulturen
- Einrichtung eines Niedersächsischen Torfersatzforums

Der Politikberatung und dem Wissenstransfer von der Forschung in die Praxis sind zur jetzigen Zeit eine außerordentliche Bedeutung zuzuschreiben. In Bezug auf die landwirtschaftlich genutzten Hochmoorstandorte und die Substratwirtschaft Deutschlands trägt das Projekt MOOSGRÜN eine entscheidende Verantwortung.

- ➔ MOOSGRÜN lieferte wegweisende Forschungsergebnisse zur großmaßstäbigen Umsetzung der Torfmooskultivierung, der Eignung von Torfmoos-Biomasse als Substratrohstoff und zu den Potentialen einer nachhaltigen, klimaschonenden Nutzung auf degradierten Moorstandorten.

C. Torfmoos als Substratrohstoff (AP 7, 9)

1. Verwendung von alternativen Substratausgangsstoffen in Deutschland (AP 9)

Der Produktionsgartenbau, der uns mit Gemüse, Kräutern, Zierpflanzen etc. versorgt, basiert auf Torf als überwiegendem Substratausgangsstoff. Alternative Substratausgangsstoffe wie Holzfaser, Kompost und Kokosprodukte werden nur in geringem Umfang eingesetzt. Innerhalb des Projektes MOOSGRÜN wurde daher eine Diplomarbeit zum Thema "Die Bedeutung alternativer Substratausgangsstoffe im Produktionsgartenbau" (Bräunlich 2014)[15] angeregt, um die aktuelle Situation zu analysieren, die Hintergründe für die Predominanz von Torf zu erforschen und Vor- und Nachteile bzw. Steigerungspotenzial der wichtigsten Substratausgangsstoffe zu erheben. Diese Informationen bieten zudem wertvolle Hinweise für die Markteinführung und die Marktchancen von Torfmoos-Biomasse im Substratsektor. Die Bearbeitung erfolgte anhand von leitfadengestützten, halbstrukturierten Experteninterviews mit Vertretern der Substratbranche, wobei im Oktober/November 2013 15 Befragungen in sieben Bundesländern durchgeführt wurden. Als Grundlage für die Erarbeitung des Leitfaden-Fragebogens und zur Ergänzung bzw. Diskussion der Befragungsergebnisse wurde eine Literatur-Recherche vorgenommen. Die wesentlichen Ergebnisse sind:

- ➔ Der Einsatz von alternativen Substratausgangsstoffen wie Kompost, Holzfaser, Rindenhumus ist mit Anteilen von ca. 23 % im Hobbybereich und 7 % im Profibereich bisher gering. Als limitierend werden insbesondere die unzureichenden und/oder schwankenden Eigenschaften sowie ihre Verfügbarkeit, preisliche Konkurrenzfähigkeit und Akzeptanz bzw. Nachfrage seitens der Gärtner genannt.
- ➔ Mehr Wissen in allen Bereichen der Wertschöpfungskette (Forschung, Beratung, Bewusstseinsbildung), konkrete politische Zielvereinbarungen und ökonomisch wirksame Instrumente (Fördergelder, Steuern, Anreize) können die auf dem Substratmarkt gegenüber Torf benachteiligten alternativen Ausgangsstoffe unterstützen.
- ➔ Torfmoose werden auf Grund ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften perspektivisch sehr gute Marktchancen eingeräumt, um Torf im Substrat auch in größerem Umfang zu ersetzen. Vor einer Markteinführung in Substratsektor und Gartenbau wird weiterer Forschungs- und Erprobungsbedarf gesehen hinsichtlich der biologischen Eigenschaften (z.B. Verunkrautung) und insbesondere der zeitnahen Steigerung der quantitativen Verfügbarkeit und preislichen Wettbewerbsfähigkeit.

2. Marktpotentiale: Internationaler Torfmooshandel, Schwerpunkt: Torfmoossammlung in Chile (AP 9)

Torfmoose werden international gehandelt und v. a. in der Orchideenkultur, aber auch in anderen Gartenbau-Bereichen wie für lebende Wände, hängende Körbe und bei der vegetativen Reproduktion von Obst oder z. B. als Verpackungs-, Isolations- und Absorptionsmaterial eingesetzt. Die Moose stammen allerdings aus natürlichen Beständen. Unter den Exportländern hat in den letzten 10-15 Jahren insbesondere Chile große Bedeutung erlangt. Eine Literaturrecherche erbrachte detaillierte Informationen zu den Torfmoos-Sammlungen in Chile, zur Verwendung und Qualität bzw.

[15] Bräunlich, S. (2014): Die Bedeutung alternativer Substratausgangsstoffe im Produktionsgartenbau. Diplomarbeit, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 95 S. + Anhang.

Mengen und Preisen international gehandelter Torfmoos-Biomasse sowie Daten zu den Hauptex- bzw. -importländern. Mit ca. 20 Quellen (Zeitschriftenartikel sowie graue Literatur wie Berichte und Doktorarbeiten) bleibt die überwiegend spanisch sprachige Literatur überschaubar [Stand: 2012].

- ➔ Der Torfmoosexport aus Chile steigt sowohl im Umfang als auch im Wert kontinuierlich. 2013 war mit über 5.000 Tonnen exportierter Moose und einem durchschnittlichen Preis von 4,31 US$ / kg das Rekordjahr.
- ➔ Hauptexportmarkt für chilenische Moose ist der asiatische Raum, wobei Taiwan mit ca. 50 % das wichtigste Importland ist, während Deutschland die mit Abstand höchste Zahlungsbereitschaft für chilenische Moose aufweist.
- ➔ Auf Grund steigender Nachfrage auf dem internationalen Markt sowie der Abwesenheit gesetzlicher Einschränkungen besteht die Gefahr einer Übernutzung der „Pomponales“ (junge sekundäre Torfmoosvorkommen) sowie einer Ausweitung der Sammlung auf natürliche Moore (“turberas”). Konzepte zu einer nachhaltigen Nutzung sehen z. B. eine Ernte auf alternierenden Parzellen, eine begrenzte Erntetiefe (12 cm) und eine 4-5jährige Regenerierungsphase vor.

3. pflanzenbauliche Versuche

Bisherige pflanzenbauliche Versuche zeigen, dass Torfmoos-Biomasse grundsätzlich für die Weiterkultur von Zierpflanzen sowie für die Kultur von Gemüse und Gehölzpflanzen geeignet ist. Für die Ausweitung der Anwendungsbereiche wurde die Eignung von Torfmoos-Biomasse in unterschiedlichen Anteilen im Substrat für Moorbeetpflanzen (Azaleen, Ericen, Gaultherien) sowie für die Orchideenkultur (*Phalaenopsis*) untersucht.

3.1. Versuche mit Moorbeetpflanzen in Torfmoos-Biomasse

Die Ergebnisse der Untersuchungen an der Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau in Bad Zwischenahn belegen die Eignung von Torfmoos-Biomasse als Substratbestandteil bei verschiedenen Moorbeetpflanzengattungen und wurden bereits veröffentlicht (Ueber & Gaudig 2014)[16]:

- ➔ Torfmoosbiomasse ist als Substrat für Moorbeetpflanzen geeignet. Es wurden erfolgreiche Kulturversuche mit Erica (*Erica gracilis*), Azaleen (*Rhododendron simsii*) und Gaultherien (*Gaultheria procumbens*) in Substraten mit Torfmoos-Biomasse durchgeführt.
- ➔ Dabei wiesen Substrate mit *Sphagnum*-Anteilen bis mind. 50 % vergleichbar gute Ergebnisse wie die Kontrolle mit reinem Torfsubstrat auf und sind deshalb als unproblematisch für die geprüften Moorbeetpflanzen anzusehen.
- ➔ Torfmoossubstrat erfordert eine angepasste Bewässerung und Düngung.
- ➔ Bei hohen Sphagnum-Anteilen können Wachstumsprobleme und Sackungsverluste bei längerer Standdauer auftreten.
- ➔ Aus Torfmoossubstraten, die zur Substratvorbereitung bei <80°C getrocknet wurden, wuchsen unerwünschte andere Gefäßpflanzen und Moose. Um einer Verunkrautung des Substrates vorzubeugen, muss die Torfmoos-Biomasse – ähnlich wie bei Torf – bei ausreichend hohen Temperaturen beispielsweise dampfhygienisiert werden.

[16] Ueber, E. & Gaudig, G. (2014) Azerca-Kulturen: Torfmoos als Substratbestandteil geeignet. In: TASPO 19: 14.

3.2. Versuche mit Phalaenopsis in kultivierten Torfmoosen

Bei der Kultur von Phalaenopsis ‚Snowflake' in kultivierten Torfmoosen am Institut für Gartenbau der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf wurde folgendes deutlich[17]:

- ➔ Erntezeitpunkt sowie Aufbereitungs- und Lagerungsbedingungen bestimmen die Qualität des Substratausgangsstoffes
- ➔ Keimpflanzenversuche bestätigten die Ergebnisse aus dem Orchideenversuch
- ➔ Analysenergebnisse der Substratausgangsstoffe und der Versuchssubstrate lagen im üblichen Bereich und zeigten keine Unterschiede

[17] Amberger-Ochsenbauer, S. & Gaudig, G. (2014) Prüfung von Torfmoos-Biomasse als Substratbestandteil für Phalaenopsis. http://www.hswt.de/forschung/wissenstransfer/2014/oktober-2014/substratforschung.html

D. Erkundung weiterer Einsatzmöglichkeiten von Paludikultur (AP 10) – REED –

Das Projekt MOOSGRÜN unterstützte die Organisation und Durchführung der ersten internationalen Tagung zur Nutzung von Biomasse aus Feuchtgebieten mit dem Titel „Reed as a Renewable Resource (RRR), International Conference on the utilization of emergent wetland plants". Die Veranstaltung fand vom 14. -16. Februar 2013 im Alfried-Krupp Wissenschaftskolleg Greifswald statt und fand mit 153 Teilnehmern aus mehr als 20 Ländern eine breite und internationale Resonanz. Die Konferenz sollte dazu dienen, die unterschiedlichen Akteure aus Forschung, Politik und Praxis zusammenzubringen, Netzwerke aufzubauen, noch vorhandene Forschungslücken zu ermitteln und im Besonderen einen Wissenstransfer zu ermöglichen, um Innovationen und die Umsetzung von Produktideen zu beschleunigen. Durch Vorträge, Poster- und Produktausstellung sowie Workshops und Exkursionen fand ein intensiver Austausch zwischen den Tagungsteilnehmern statt.

Der Fokus der Veranstaltung lag dem Titel entsprechend auf nährstoffreichen Feuchtgebieten und der Nutzung diverser Röhrichtpflanzen. Der Anbau und die Nutzung von Schilf, Seggen, Rohrkolben etc. eröffnen viele Möglichkeiten, die wachsende und diverse Nachfrage nach alternativen Rohstoffen zu befriedigen. Hochmoorstandorte und die Torfmooskultivierung waren mit einem Poster zum Thema „Sphagnum farming in Germany, 10 years on the road to sustainable growing media" vertreten.

Die Ergebnisse der Konferenz wurden in einem Tagungsband zusammengeführt[18] und sind zum Teil in einem Spezialheft bei der Online-Zeitschrift „Mires and Peat" veröffentlicht[19].

[18] http://www.paludiculture.uni-greifswald.de/doc/projekte/rrr2013/RRR2013%20%282013%29%20Book%20of%20abstracts%20final%20150dpi%20CV003.pdf

[19] Volume 13 Special Volume: Reed as a Renewable Resource and Other Aspects of Paludiculture (2013/ 2014) http://mires-and-peat.net/pages/volumes.php#Vol13

2. Verwertung

- der voraussichtliche Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Erkenntnisse des Projektes sind grundlegend für das Verständnis der Funktionsweise von großflächiger Torfmooskultivierung, möglicher Probleme sowie der Einflussgrößen der Torfmoosproduktivität und damit der Erntemenge. Im Ergebnis ist eine Flächenerweiterung und Entwicklung des Hankhauser Moores als Modellregion für Torfmooskultivierung sowie die Etablierung von MOKURA als Pilotbetrieb geplant. Ziel ist die großflächige Umsetzung von Torfmooskultivierung auf ca. 40.000 ha, um den jährlichen Bedarf an Weißtorf in Deutschland durch Torfmoos-Biomasse zu ersetzen. Dafür ist die Identifizierung juristischer, politischer und gesellschaftlicher Hemmnisse erforderlich, um Strategien zur Beseitigung dieser Hemmnisse zu entwickeln.

- Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende bzw. Aussichten für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse

Besuche von international renommierten Wissenschaftlern und Einladungen ins Ausland zum fachlichen Austausch ebenso wie rege Diskussionen auf Tagungen wie dem 14th IPC in Stockholm (Juni 2012) bestätigen weiterhin die weltweite Bedeutung der Versuchsfläche Hankhausen.

Die breite Aufstellung des aktuellen Projektes –Torfmoosökologie, großmaßstäbige Erprobung, Klimarelevanz, Biodiversität, gartenbauliche Versuche, ökonomische Bewertung – ist nach wie vor international außergewöhnlich. Daher sollen die wissenschaftlichen und technischen Erkenntnisse des Projektes in einer Reihe einschlägiger Veröffentlichungen einer breiten Leserschaft zugänglich gemacht werden.

Aufgrund der unerwartet schnellen erfolgreichen Etablierung der Torfmoose wurde nachgewiesen, dass die großmaßstäbige und maschinelle Einrichtung einer Torfmooskultur auf ehemaligem Hochmoorgrünland möglich ist. Verglichen mit der Produktivität von Torfmoosen in natürlichen Mooren sind die Zuwächse auf der Versuchsfläche in Hankhausen beeindruckend hoch. Aber durch Zersetzung geht pro Jahr ca. 15% der gebildeten Biomasse verloren. Um diesen Verlust zu minimieren, ist eine baldige Ernte angestrebt. Ein maschinelles Ernteverfahren wurde im Projekt kleinflächig erprobt und steht einer großflächigen Ernte zur Verfügung. Um den Erfolg der Ernte sowie die Regeneration zu beurteilen, ist ein Folgeprojekt geplant.

Sobald das gesamte Produktionsverfahren erprobt ist und sich rentiert, wird eine Ausweitung der großflächigen Umsetzung durch kommerzielle Nutzung der gewonnenen Erkenntnisse angestrebt.

Angesichts der positiven externen Effekte der Torfmooskultivierung auf der einen Seite und der überwiegend von agrar- und energiepolitscher Förderung geprägten herkömmlichen Landnutzung auf der anderen Seite, besteht weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Bewertung von Ökosystemdienstleistungen von landwirtschaftliche genutzten Mooren, dem Abbau falscher Anreize, der Honorierung nachhaltiger Nutzungen über die Agrarförderung (Direktzahlungen, Agarumwelt-/Agrarklimaprogramme) und der Klärung juristischer Rahmenbedingungen für die Torfmooskultivierung.

- wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Die gute Kulturetablierung und –entwicklung in Hankhausen führte zu früherer Erntereife und höheren Erträgen als zu Projektbeginn erwartet. Gleichzeitig waren jedoch auch die Einrichtungskosten der Versuchsfläche deutlich höher als geplant. Daher könnten mit dem Verkauf dieser Torfmoos-Biomasse als Substratausgangsstoff und zu vergleichbaren Preisen wie Torf (25€/m^3) schon allein die hohen Einrichtungskosten nicht gedeckt werden. Ein Verkauf der Torfmoose als Saatgut (750€/m^3) würde jedoch nicht nur die Kosten von Flächeneinrichtung und Bestandspflege decken, sondern auch die – bisher auf Annahmen basierenden – Kostenansätze für Ernte und Aufbereitung. Letztere müssen durch großmaßstäbige Erprobung verifiziert werden. Anschließend wird es möglich sein, einen Mindestpreis für den kostendeckenden Verkauf der kultivierten Torfmoose festzulegen. Die im Projekt identifizierten Optimierungsmöglichkeiten zur Kostenreduktion sowie die langfristige Nutzbarkeit der Kulturen bei wiederholter Ernte (Regenerationsfähigkeit, Gesamtlaufzeit) bedürfen weiterer praktischer Untersuchungen.

In Laufe des Projektes haben sich die politischen Rahmenbedingungen in Niedersachsen, das den Großteil aktueller und potentieller Torfabbauflächen Deutschlands beherbergt sowie Standort einer weltweit führenden Substrat- und Erdenindustrie ist, gravierend zu Gunsten der Torfmooskultivierung verändert. Die Landesregierung hat den Ausstieg aus dem Torfabbau beschlossen und strebt für den Gartenbau den Einsatz nachwachsender Rohstoffe (z.B. Torfmoose) sowie für die Landwirtschaft eine klimaschonende Bewirtschaftung von Moorflächen (z.B. Torfmooskultivierung und andere Paludikulturen) an. Die auf betrieblicher Ebene wirkenden politischen und juristischen Regelungen, sind bisher jedoch nicht entsprechend angepasst, um die gesellschaftlich gewünschten Entwicklungen über die Projektebene hinaus anzustoßen und zu befördern (Sonderregelung Grünlanderhalt, Honorierung von Ökosystemleistungen, Investitionsbeihilfen usw.).

3. Erkenntnisse von Dritten

- während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im intensiven fachlichen Austausch mit renommierten Wissenschaftlern und Praktikern im In- und Ausland auf Tagungen, durch Besuche sowie mittels Einladungen zeigte sich die weltweite Bedeutung der Versuchsfläche Hankhausen.

Es wurde Kontakt mit Wissenschaftlern der Universität Freiburg (Prof. Ralf Reski, Dr. Eva Decker) aufgenommen, die mit Unterstützung der Universität Greifswald im EU-Forschungsprojekt MOOSCLONE Torfmoose zur sterilen Massenvermehrung im Bioreaktor züchteten. Die Forschungsergebnisse wurden in Beike et al. (2014)[20] veröffentlicht.

[20] Beike, A. K., Spagnuolo, V., Lüth, V., Steinhart, F., Ramos-Gómez, J., Krebs, M., Adamo, P., Rey-Asensio, A.I., Fernández, J.A., Giordano, S., Decker, E.L. & Reski, R. 2014. Clonal in vitro propagation of peat mosses (*Sphagnum* L.) as novel green resources for basic and applied research. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 11. DOI 10.1007/s11240-014-0658-2

Die durch Micropropagation Services entwickelten BeadaMoss®-Perlen wurden ohne Erfolg auf der Versuchsfläche in Hankhausen getestet. Bei mehreren Besuchen der Geschäftsführung in Hankhausen wurden die Möglichkeiten der Modifizierung der für die Torfmooskultivierung diskutiert. Im Ergebnis wurde SoluMoss™ entwickelt, jedoch noch nicht ausreichend getestet.

Das DBU-Projekt „Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur Etablierung von Bulttorfmoosen in wiedervernässten Hochmooren nach Abtorfung“ mit der Gramoflor GmbH & Co. KG und der Universität Münster liefert möglicherweise Erkenntnisse, die auch hinsichtlich der Torfmooskultivierung von Interesse sein könnten.

4. Veröffentlichungen

- die erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses (nach Nr. 6 BNBest-BMBF 98 für AZA bzw. nach Nr. 11 NKBF 98 für AZK).

Erfolgte Veröffentlichungen (Aufsätze)

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: Art. 8.

Gaudig, G., Oehmke, C., Abel, S., Schröder, C. 2014. Moornutzung neu gedacht: Paludikultur bringt zahlreiche Vorteile. ANLiegen Natur 36/2.

Joosten, H., Gaudig, G. & Krebs, M. 2013. Peat-free growing media: Sphagnum biomass. Peatlands international 1/2013, S. 28-31.

Joosten, H., Gaudig, G., Krawczynski, R., Tanneberger, F., Wichmann, S. & Wichtmann, W. 2015. Managing soil carbon in Europe: paludicultures as a new perspective for peatlands. In: Banwart, S. A., Noellemeyer, E., Milne, E., eds. Soil Carbon: Science, management and policy for multiple benefits. SCOPE Series Vol. 71. CABI, Wallingford, UK, pp. 297-306.

Joosten, H., Tapio-Bistrom, M.-L. & Tol, S. (eds.) 2012. Peatlands – guidance for climate change mitigation by conservation, rehabilitation and sustainable use. Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 5. FAO, Rome, L + 96 p.

Joosten H., Couwenberg, J., Schäfer, A., Wichmann, S. & Wichtmann, W. 2012. Perspektiven der Regeneration und Nutzbarmachung von Mooren. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 24: 13-16.

Krebs, M., Gaudig, G. & Joosten, H. 2012. Sphagnum farming on bog grassland in Germany - first results. Proceedings 14th Int. Peat Congress in Stockholm, Schweden: No. 294.

Krebs, M., Gaudig, G., Wichmann, S. & Joosten, H. (im Druck): Torfmooskultivierung: Moorschutz durch Moornutzung. Telma Beiheft.

Krebs, M., Wichmann, S., Gaudig, G. & Joosten, H. 2014. Sphagnum Farming - Paludiculture on degraded bogs in Germany. In: Cris, R., Buckmaster, S., Bain, C. & Reed, M. (eds.) IUCN UK - Global Peatland Restoration demonstrating Success: 20-21.

Muster, C., Gaudig, G., Krebs, M. & Joosten, H. 2015. Sphagnum farming: the promised land for peat bog species? Biodiversity and Conservation 24: 1989-2009.

Ueber, E. & Gaudig, G., 2014 Azerca-Kulturen: Torfmoos als Substratbestandteil geeignet. In: TASPO 19: 14.

Victoria, R., Banwart, S., Black, H., Ingram, J., Joosten, H., Milne, E. & Noellemeyer, E. 2012. The benefits of soil carbon. Managing soils for multiple economic, societal, and environmental benefits. UNEP Yearbook 2012, UNEP, Nairobi, pp. 18-33.

Wichmann, S., Gaudig, G., Krebs, M. & Joosten, H. 2012**.** Paludiculture - ecosystem services of Sphagnum farming on rewetted bogs in NW Germany. Proceedings 14th Int. Peat Congress in Stockholm, Schweden: No. 369.

Wichmann, S., Gaudig, G., Krebs, M. & Joosten, H. 2013. Torfmooskultivierung eröffnet neue Perspektiven für Torfersatz und nachhaltige Moornutzung. Ländlicher Raum, Zeitschrift der Agrarsozialen Gesellschaft e.V., Schwerpunktheft „Nachhaltigkeit und Regionalität“, 64 (03): 20-23

Wichmann, S., Gaudig, G., Krebs, M., Joosten, H., Albrecht, K. & Kumar, S. 2014. Sphagnum farming for replacing peat in horticultural substrates. In: Biancalani, R. and Avagyan, A. (eds.) Mitigation of climate change in agriculture Series 9 - Towards climate-responsible peatlands management: 80-83. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rom.

Wichtmann, W. & Wichmann, S.. 2011. Paludikultur: Standortgerechte Bewirtschaftung wiedervernässter Moore. Telma, Beiheft 4: 215-234.

Erfolgte Veröffentlichungen (Vorträge)

DGMT und BfN Fachtagung „Verwendung und Substitution von Torf – Verantwortliche Nutzung von Rohstoffen im Klimawandel“, 09./10. November 2010 in Fulda:
- Vortrag (Gaudig) „Torfmooskultivierung – eine Alternative mit Zukunft?“

IPS/ ISHS Conference „International Symposium on Responsible Peatland Management and Growing Media Production”, Quebec City, Canada, 13.-17. Juni 2011 mit anschließendem Workshop on “Sphagnum farming”in New Brunswick, 20.-21. Juni 2011
- Vortrag (Gaudig) “Sphagnum farming on cut-over bog in Germany: experiences of a six years trial”
- Vortrag (Krebs) “Regrowth of Sphagnum papillosum after harvest in the Kolkheti Lowlands (Georgia, Transcaucasia)”
- Vortrag (Wichmann) “Economics of Sphagnum farming: profitability and external benefits in the case of North-West Germany”

Workshop „Neue Wege im Moorschutz – Paludikultur“ (organisiert von BfN und Uni Greifswald) vom 12.bis 14.12.2011 auf Vilm:
- Vortrag (Gaudig) „Möglichkeiten der Torfmooskultivierung“
- Vortrag (Joosten) „Was ist Paludikultur?“

NABU-Workshop zu Hochmoorgrünland und Torfmooskultivierung am 07.01.2012 in Rastede:
- Vortrag (Krebs/ Gaudig) „Torfmooskultivierung Alternative zum Torfeinsatz in Kultursubstraten“
- Führung über die Versuchsfläche (Joosten, Krebs, Wichmann)

vTI Tagung „Moorschutz in Deutschland“, in Braunschweig vom 27.-28.2.2012:
- Vortrag (Kumar, MOKURA) „Torfmoosanbau- eine neue Idee für Moorstandorte“

14th International Peat Congress „Peatlands in Balance“, in Stockholm, Schweden vom 03.-08.06.2012:
- Vortrag (Krebs) „Sphagnum farming on bog grassland in Germany - first results”,
- Vortrag (Wichmann) “Paludiculture - ecosystem services of Sphagnum farming on rewetted bogs in NW Germany”,
- Poster (Gaudig) “Sphagnum farming in Germany - 10 years on the road to sustainable growing media”,
- Poster (Albrecht) “Reducing greenhouse gas emissions by Sphagnum farming?”.

Sektionstagung I und V der Deutschen Gesellschaft für Moor- und Torfkunde “ Moore in ihren Einzugsgebieten“, im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin, Altenhof, 06. - 08.09.2012

Tagung der Sektion II der Deutschen Gesellschaft für Moor- und Torfkunde e.V. bei der GeoHannover „Rohstoffe für das 21. Jahrhundert“, in Hannover am 03.10.2012

Deutscher Torf- und Humustag, in Bad Zwischenahn, am 18.10.2012:
- Vortrag (Kumar, MOKURA) „Torfmoosanbau- eine neue Idee für Moorstandorte“

Deutsch-Russischer Workshop: Erfassung und Bewertung von Ökosystemdienstleistungen, in Moskau, vom 04.-05.12.2012
- Vortrag (Wichmann): "Bewertung von Ökosystemdienstleistungen - Fallbeispiel Moore"

Tagung „Schweizer Baumschulprofil 2013“ an der Blumenbörse Rothrist (Schweiz), 19. Dezember 2012, mit drei Vorträgen von Hans Joosten, zur Unterstützung des Bestrebens der Schweizerischen Regierung perspektivisch auf Torfnutzung in der Schweiz zu verzichten.

Tagung des Fachausschuss Umwelt der Gemeinde Westoverledingen, in Westoverledingen, am 07.02.2013,
- Vortrag (Kumar, MOKURA) „Torfmoosanbau- eine neue Idee für Moorstandorte“

Tagung „Reed as a renewable resource“, in Greifswald, vom 14. -16.02.2013,
- Poster (Gaudig) “Sphagnum farming in Germany - 10 years on the road to sustainable growing media”
- Vortrag (Wichmann): “Harvesting wetland biomass: specifying costs and benefits on company level”

Internationaler Workshop zur Restaurierung von degradiertem Hochmoor durch Wiederbesiedlung mit Torfmoosen im Life + Nature Projekt “Restoration of raised bog in Lille Vildmose“ in Vildmosegard bei Aalborg, Dänemark am 18.03.2013:
- Vortrag (Krebs) “Sphagnum farming in Germany - 10 years on the road to sustainable growing media”,
- Vortrag (Wichmann) “Economics of Sphagnum farming on rewetted bog grassland I NW Germany: profitability and ecosystem services”

Workshop mit Delegation aus Russland und Belarus im Rahmen des Projektes Peat Russ, 10.Juni 2013
- Vorträge (Krebs, Wichmann)
- Besichtigung der Versuche im Hankhauser Moor und im Hollweger Moor

Tagung der Niedersächsischen Naturschutz Akademie in Schneverdingen,12./13. Juni 2013
- Vortrag (Krebs, Wichmann)

- Exkursion auf die Versuchsfläche nach Hankhausen

Nijmegen, NL: Vortrag (Joosten): Paludicultuur: Landbouw als hulpmiddel bij het behoud en herstel van veensystemen,17. Juni 2013.

Auftaktveranstaltung der Ministerien für Landwirtschaft und Umwelt: „Moorschutz in Niedersachsen“ , Hannover, 24. Juni 2013
- Vortrag (Joosten)
- Informationsstand Paludikultur

Besichtigung der Versuchsfläche durch die Arbeitsgruppe Paludikultur am NLWKN, 28.August 2013

Abschlusstreffen zum Projekt „Organische Böden“ (Vortrag Wichmann) + Jahrestagung der DGMT in Freising, 23.-27. September 2013

Workshop mit niederländischen Wissenschaftlern an der Radboud Universität Nijmegen: „Improving growth of Sphagnum mosses“, Nijmegen, 01.10.2013
- Vortrag (Krebs)

Waterlkand Nederland: Eröffnung des Projekts „Omhoog met het veen“ (Torfmoosanbau in den Niederlanden). Vortrag (Joosten): „Veenbehoud: noodzaak, alternatieven en verdienmodellen“, 11. Oktober 2013

Kleiner Moorgipfel, Moorfutures, (Vortrag Joosten), Berlin, 23. Oktober 2013

Workshop „Best experiences in conservation and restoration of habitats in raised bogs and mires – exchange of knowledge transfer to Aukstumala raised bog“, Šilute, Litauen, 11.-13. Juni 2014
Vortrag (Krebs): „Sphagnum farming- experiences from Germany”

Veranstaltung der Ministerien für Landwirtschaft und Umwelt: „Niedersächsische Moorlandschaften“, Hannover, 17. Juli 2014

Veranstaltung „Substrate 2030 – Anforderungen, Verfügbarkeit und Eigenschaften“, organisiert durch Deutsche Gesellschaft für Moor- u. Torfkunde e.V., Landwirtschaftskammer Niedersachsen u. dem Zentralverband Gartenbau, Hannover, 17. September 2014
Poster (Gaudig): „Torfmoos – Substrat 2050“
Poster (Krebs): „Torfmoos – Kultivierung auf Hochmoorgrünland: ein Feldversuch im Hankhauser Moor“

Teilnahme am Deutschen Torf- u. Humustag des Industrieverbandes Garten (IVG), Bad Zwischenahn, 23.10.2014

Geplante Veröffentlichungen

Torfmoose: a) Etablierung im Vergleich Ramsloh und Hankhausen, b) Wachstum Ramsloh, c) Wachstum Hankhausen, d) *S. fallax* Ausbreitung

Biodiversität: Biologie in unserer Zeit

Hydrologie: a) Durchlässigkeiten der Torfe, b) Wasserversorgung einer Torfmooskultur

Treibhausgase: THG-Bilanz in der Etablierungsphase

Nährstoffe: Nährstoffversorgung und -bilanz

Ökonomie: a) Vergleich von Varianten zur Flächeneinrichtung, b) Wirtschaftlichkeit der Torfmooskultivierung auf betrieblicher Ebene, c) Torfmooskultivierung als nachhaltige Moornutzung auf degradiertem Hochmoorgrünland/ Ökosystemleistungen