

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart Schlussbericht
3a. Titel des Berichts InnoNet-Verbundprojekt: Torfmooskultivierung auf schwimmfähigen Vegetationsträgern für ein nachhaltiges und umweltfreundliches Torfsubstitut im Erwerbsgartenbau – MOOSFARM. Teilvorh.: Torfmooskultivierung auf überstauten Hochmoorflächen u. Teilvorh.: Ökonomische Analyse der Torfmooskultivierung. Schlussbericht.	
3b. Titel der Publikation	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Gahlert, Franziska; Gaudig, Greta; Joosten, Hans; Prager, Anja, Quesada, Amarilis Suárez, Wichmann, Sabine	5. Abschlussdatum des Vorhabens April 2010
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))	6. Veröffentlichungsdatum geplant
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) EMA-Universität Greifswald Math.-Nat.-Fakultät Institut für Botanik und Landschaftsökologie Grimmer Straße 88 17487 Greifswald	7. Form der Publikation
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn	9. Ber.Nr. Durchführende Institution
16. Zusätzliche Angaben	10. Förderkennzeichen 16IN05353
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin, 10.08.2010.	11a. Seitenzahl Bericht 166
18. Kurzfassung: Torf als Rohstoff für die Substrat- und Humuswirtschaft ist eine endliche Ressource, deren Abbau in Mooren aus Gründen des Schutzes von Klima, Biodiversität und Ökosystemfunktion bedenklich. Alternativ wird nachwachsende, jedoch aus Handsammlungen (z.B. in Chile) stammende Torfmoos(Sphagnum)-Frischmasse bereits erfolgreich bei Spezialkulturen (Orchideen) angewandt. Erfahrungen zu Torfmooskultivierung sind bisher nur aus der Moor-Restauration bekannt. Das Projekt zielt auf die Entwicklung eines nachhaltigen Kultivierungsverfahrens für Torfmoos-Frischmasse auf überstauten Moorresten. Hierfür wurden Schwimmplatten entwickelt und unter kontrollierten und Freilandbedingungen in Niedersachsen erfolgreich getestet. Auf den Schwimmplatten etablierten sich Torfmoosrasen. Kulturstörungen ergaben sich durch wellenschlagbedingtes Abspülen der Moose und Wasservogelaktivitäten. Wahl des Kultivierungsgewässers, der Schwimmplatte und ihrer Abdeckung, der Torfmoos-art und Saatgutgröße haben Auswirkungen auf das Torfmooswachstum. Das Verfahren ist viel versprechend, eine Optimierung der Schwimmplatte und Torfmooskultur und weiterführende Technisierung ist für eine großmaßstäbige Umsetzung angebracht. Hierfür ist weitere Forschung notwendig. Nach erwiesener prinzipieller Machbarkeit wurde die Torfmooskultivierung einer ökonomischen Analyse unterzogen. Das Verfahren ist vor allem durch die hohen Kosten der Mattenproduktion und Einrichtung vorerst nicht kostendeckend (im Gegensatz zu Kultivierung auf Moorgrünland). Spezialanwendungen (wie Diasporenproduktion als Saatgut) und Honorierung gesellschaftlich gewünschter ökologischer und sozialer Leistungen kann die betriebswirtschaftliche Rentabilität verbessern.	
19. Schlagwörter Torfmooskultivierung, Schwimmplatte, Hochmoor, Optimierung, Sphagnum, Frischmasse, Biomasse, Erwerbsgartenbau, ökonomische Analyse, Betriebswirtschaft, Volkswirtschaft	11b. Seitenzahl Publikation
20. Verlag	12. Literaturangaben 82
21. Preis	14. Tabellen 35
	15. Abbildungen 79

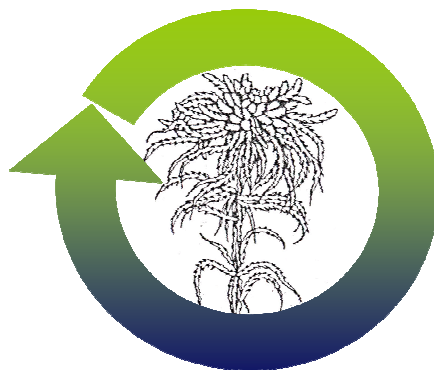
InnoNet-Verbundprojekt:

**Torfmooskultivierung auf schwimmfähigen
Vegetationsträgern für ein nachhaltiges und
umweltfreundliches Torfsubstitut im Erwerbsgartenbau
– MOOSFARM**

**Teilvorhaben: Torfmooskultivierung auf überstauten
Hochmoorflächen**

**Teilvorhaben: Ökonomische Analyse der
Torfmooskultivierung**

- Schlussbericht -



Greifswald, August 2010

Universität Greifswald, Mat.-Nat., Institut für Botanik und Landschaftsökologie,
Grimmer Straße 88
17487 Greifswald

Telefon: +49 3834 86-4177

Telefax: +49 3834 86-4114

e-mail: joosten@uni-greifswald.de

Projektleitung: Prof. Hans Joosten

Wissenschaftliche Bearbeitung: Dipl.-Landschaftsökologin Franziska Gahlert
Dipl.-Biologin Greta Gaudig
Dipl.-Biologin Anja Prager
Dr. Amarilis Suárez Quesada
Dipl.-Landschaftsökologin Sabine Wichmann
Prof. Hans Joosten

Projektlaufzeit: 1.7.2007 – 30.4.2010

Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) unter der Projektnummer 16IN05353 gefördert.

Projektträger war die VDI/VDE Innovation + Technik GmbH Berlin.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis	10
1 Einleitung	11
1.1 Aufgabenstellung	11
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben ausgeführt wurde.....	11
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	12
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	13
1.4.1 Stand des Wissens zu Schwimmmatten.....	13
1.4.2 Stand des Wissens zur Kultivierung	13
1.4.3 Stand des Wissens zu Substraten/Verwendung von Torfmoosen	14
1.4.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen:	15
2 Ergebnisse der Torfmooskultivierung auf überstauten Hochmoorflächen	17
2.1 Entwicklung eines textilen Vegetationsträgers (AP 1).....	18
2.2 Charakterisierung potentieller Kultivierungsstandorte (AP 3)	40
2.2.1 Lage, Nutzungsgeschichte und Zuständigkeit für die Flächen	40
2.2.2 Floristische Inventarisierung.....	41
2.2.3 Wasserqualität	44
2.2.4 Klimadaten und Witterung im Untersuchungszeitraum	46
2.2.5 Wasserstände	47
2.3 Feldversuche (AP 4)	48
2.3.1 Versuchsaufbau und Monitoring	48
2.3.2 Ergebnisse und Diskussion	52
2.3.3 Vergleich der Standorte LW-Moor und Sandgrube und Zusammenfassung	58
2.4 Torfmoosversuche outdoor und indoor (AP 2)	61
2.4.1 Torfmoosversuch outdoor	61
2.4.1.1 Versuchsaufbau und Monitoring	61
2.4.1.2 Ergebnisse und Diskussion zur Entwicklung des Torfmoosrasens	64
2.4.2 Torfmoosversuch indoor	73
2.4.2.1 Versuchsaufbau und Monitoring:	73
2.4.2.2 Ergebnisse und Diskussion Entwicklung der Torfmoose:.....	74
2.5 Optimierung der Kultivierung (AP2)	84
2.5.1 Gefäßpflanzen und Fremdmoose	84
2.5.1.1 Saatgutversuch	85

2.5.1.2	Diasporenfallen	86
2.5.2	Algen.....	87
2.5.3	Pilze	88
2.5.4	Andere Störfaktoren der Torfmooskultivierung	108
2.6	Vergleichende Diskussion der Versuche zur Torfmooskultivierung und Schlussfolgerungen...	108
2.6.1	Vergleichende Diskussion der Versuche zur Torfmooskultivierung.....	108
2.6.2	Zusammenfassung und Ausblick.....	114
3	Ökonomische Analyse der Torfmooskultivierung	117
3.1	Einordnung der ökonomischen Analyse.....	117
3.2	Ökonomische Grundlagen	117
3.3	Torfmoos-Kultivierung auf Schwimm-Matten	118
3.3.1	Gestaltung des Produktionsverfahrens	118
3.3.1.1	Datengrundlage	118
3.3.1.2	Mattenproduktion und Flächeneinrichtung.....	118
3.3.1.3	Bestandesführung	119
3.3.1.4	Ernte & Biomasse-Abtransport.....	119
3.3.1.5	Neu-Einrichtung bzw. Regeneration der Matten.....	122
3.3.1.6	Ertragspotential.....	122
3.3.2	Betriebswirtschaftliche Kostenkalkulation	123
3.3.2.1	Mattenproduktion	123
3.3.2.2	Verfahrenskosten	126
3.3.2.3	Gewinn-und Verlustrechnung des Gesamtverfahrens und Sensitivitätsanalyse	129
3.3.2.4	Ansatzpunkte zur Optimierung	131
3.3.3	Gewässerauswahl, Nutzungsalternativen, Flächenverfügbarkeit & Ertragspotential	132
3.3.4	Offene Fragen und Hindernisse	133
3.4	Torfmoos-Kultivierung auf abgetorften Hochmoorflächen.....	134
3.4.1	Gestaltung des Produktionsverfahrens	134
3.4.1.1	Datengrundlage	134
3.4.1.2	Flächeneinrichtung	134
3.4.1.3	Bestandesführung	137
3.4.1.4	Ernte & Biomasse-Abtransport.....	137
3.4.1.5	Neu-Einrichtung bzw. Regeneration.....	138
3.4.1.6	Ertragspotential.....	138
3.4.2	Betriebswirtschaftliche Kostenkalkulation	139
3.4.2.1	Verfahrenskosten	139

3.4.2.2	Gewinn-und Verlustrechnung des Gesamtverfahrens und Sensitivitätsanalyse	140
3.4.2.3	Ansatzpunkte zur Optimierung	142
3.4.3	Flächenauswahl, Nutzungsalternativen, Flächenverfügbarkeit & Ertragspotential	143
3.4.4	Offene Fragen und Hindernisse	145
3.5	Aufbereitung & Verwertungsoptionen	146
3.5.1	Aufbereitung der Torfmoos-Biomasse	146
3.5.2	Volumengewicht: Schüttdichte-Bestimmung	146
3.5.3	Verwendungsmöglichkeiten und Erlöse	147
3.5.3.1	Substratherstellung	147
3.5.3.2	Zierpflanzen	148
3.5.3.3	Terrarien	148
3.5.3.4	Weitere Optionen	149
3.6	Volkswirtschaftliche Bewertung	150
3.6.1	Externe Effekte: Umweltschutz	150
3.6.2	Beschäftigungseffekte	154
3.7	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	155
4	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	157
4.1	Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten	157
4.2	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten	157
5	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	159
6	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse	159
6.1	Veröffentlichungen	159
6.2	Teilnahme an Tagungen	159
6.3	Projekttreffen	160
6.4	„Public Relations“	160
7	Literatur und weitere Quellen	161

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schematischer Aufbau einer mooskulturfähigen Schwimmmatte: Komponenten und ihre Funktion.....	18
Abb. 2: Als „Saatgut“-Fragmente (li) und „Erntegut“-Rasen (mi) präpariertes <i>S. fallax</i> , Aufbau der Vorversuche 2-4 zur Wasserversorgung der Torfmoose (re)	20
Abb. 3: Schematische Darstellung einer Unterflurwaage	20
Abb. 4: Kettengewirkte Mattenmuster vom stfi aus Mattenversuch	22
Abb. 5: Kettengewirkte patentierte Matte (von stfi) mit ummanteltem PE-Schaumseil als integriertem Schwimmkörper (getestet im Projekt als Mattenvariante C4).	23
Abb. 6: PE-Schaumstoffe weich (v.li n. re): Baustoffrohr (BOSIG), Isolationsrohr (Climapor): längs und Querschnitt, Camping-Iso-Matte.	23
Abb. 7: Änderungen im Auftrieb (in kg dm^{-3}) bei PE-Schaummaterial innerhalb von 20 Monaten. Fehlende Werte Juli 2008.....	24
Abb. 8: Nachwachsende/recyclebare Materialien und Kunststoff-Hohlkörper (v. li n. re): Schilf mit Kokosauflage, PE-Schlauch mit Muffe, Float U70 für Berufsfischerei, Plastik-Flaschen.....	24
Abb. 9: Hartschäume (von li nach re): Formkörper aus Styropor® feinkörnig, Styropor® wickelbar, Styroporplatte® grobkörnig u. perforiert, Styrodur® zerschnitten, Floats aus Ekazell, Float aus Evazote.	25
Abb. 10: Änderungen im Auftrieb (in kg dm^{-3}) bei Styropor®-Schwimmkörpern während 20 Monaten.	26
Abb. 11: Änderungen im Auftrieb (in kg dm^{-3}) bei weiteren Schwimmkörpern während 20 Monaten.	26
Abb. 12: In Moosfarm neu und weiterentwickelte Matten-Varianten (zu Aufbau vgl. Tabelle 4).	29
Abb. 13: Auftriebsentwicklung von selektierten Mattenvarianten. Mindestanforderung für die Torfmooskultivierung ist 10 kg m^{-2}	35
Abb. 14: Zuwächse (jährlich) und Deckungen der Torfmoose bei Ausgangslängen Fragment („Saatgut“) und Rasen („Erntegut“). Mattenvarianten: E (3 Lagen Schilf +Kokos), F (Vlies, Geogitter, Kokos, Plastikflaschen als externer Schwimmkörper), G (Doppelvlies, Kokos, PE-Schwimmseil als interner Schwimmkörper), H (wie G, aber 2 Schwimmseile nebeneinander), I (wie F, ohne Kokos), J (Wie G, ohne Kokos).	35
Abb. 15: a) Deckung lebender Fragmente von <i>Sphagnum fallax</i> (%) nach 4 Monaten in Abhängigkeit von der Tauchtiefe der Matten und b) Mittlere Tauchtiefe der einzelnen Mattenvarianten (E (3 Lagen Schilf +Kokos), F (Vlies, Geogitter, Kokos, Plastikflaschen als externer Schwimmkörper), G (Doppelvlies, Kokos, PE-Schwimmseil als interner Schwimmkörper), H (wie G, aber 2 Schwimmseile nebeneinander), I (wie F, ohne Kokos), J (Wie G, ohne Kokos)). Positiver Wert = Mattenoberkante über Wasser, negativer Wert = Mattenoberkante unter Wasser.	36
Abb. 16: Torfmoosfragmente 2 Monate nach Beginn des Vorversuchs 3 auf a) Matte G (mit Kokosfaser), b) Matte J (ohne Kokosfaser).	36
Abb. 17: a) Jährliche Zuwächse und Deckungen der Torfmoose bei Ausgangslängen „Fragment“ (li) und jährliche Zuwächse bei „Rasen“ (re). b) Anzahl und max. Höhe von <i>Juncus effusus</i> bei Ausgangslängen „Fragment“.	38
Abb. 18: Lage der Versuchsflächen für die Feldversuche in Niedersachsen (Bildgrundlage: Google Earth).	40
Abb. 19: Charakterisierung der Umgebung der beiden Moorgewässer (E- und LW-Moor).....	41
Abb. 20: Oberflächenwasserqualität von E-Moor, LW-Moor und Sandgrube, beruhend auf den Messwerten von Oktober 2007 bis Mai 2009 für elektrische Leitfähigkeit (EC), pH-Wert, NH_4^+ , NO_3^- , Gesamtphosphat, Orthophosphat, Ca^{2+} , Cl^- , K^+ und Na^+ sowie Messwerten von Oktober 2007 bis August 2008 für Al^{3+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Si und Zink.	45
Abb. 21: Niederschlagsmenge Ramsloh (eigene Daten) und Tagesmitteltemperatur Dörpen im Versuchszeitraum (Juli 2008 bis November 2009). Quelle für Tagesmitteltemperaturen: Deutscher Wetterdienst.	46
Abb. 22: Summe der Sonnenstunden im Versuchszeitraum (08.07.2008 – 12.11.2009). Quelle: Deutscher Wetterdienst Station Oldenburg.	46
Abb. 23: Versuchsaufbau der Feldversuche in Ramsloh: ausgebrachte Varianten an 3 Standorten.	49

Abb. 24: Konstruktion für die Fixierung der Matten in der Gewässermittle im Feldversuch in Ramsloh. li. schematisch, re. Ansicht aus dem E-Moor.	50
Abb. 25: Versuchsaufbau bei Zweiteinrichtung des Feldversuches auf der Sandgrube.....	51
Abb. 26: Erntequadrat (10x10 cm) im LW-Moor (<i>S. fimbriatum</i> bei hoher Gefäßpflanzendeckung (<i>Juncus effusus</i>).....	51
Abb. 27: Detailansicht Feldversuch Sandgrube im September 2009 (li) und November 2009 zum Zeitpunkt von Bonitur und Ernte (re).....	52
Abb. 28: Mittlere Capitulazahl pro m ² (Standort LW-Moor), untergliedert nach Torfmoosart, Mattenvariante und Abdeckung.....	54
Abb. 29: Mittlere Rasenhöhen in cm (Standort LW-Moor), untergliedert nach Torfmoosart, Mattenvariante und Abdeckung.....	54
Abb. 30: Mittlere Torfmoos-Biomasse in t pro Hektar (Standort LW-Moor), untergliedert nach Torfmoosart, Mattenvariante und Abdeckung.....	55
Abb. 31: Mittlere Capitulazahl pro m ² (Standort Sandgrube), untergliedert nach Torfmoosart und Mattenvariante	56
Abb. 32: Mittlere Torfmoos-Biomasse (Standort Sandgrube), in Abhängigkeit von Torfmoosart, Mattenvariante und Versuchsdauer in Monaten.	57
Abb. 33: Von Vögeln herausgezogene Schaumseile der J-Matte auf der Sandgrube.....	59
Abb. 34: Detailansichten von eingerichteten Matten für den Torfmoosversuch im E-Moor: a) C4-Matte mit <i>S. papillosum</i> ganz und Nylonschlingelege (CKP), b) NB-Matte mit Bändchengewebe, <i>S. palustre</i> ganz und Nylonschlingelege (GBP) und c) N-Matte mit <i>S. papillosum</i> + <i>S. magellanicum</i> ganz und Vogelnetz (GNM).	61
Abb. 35: Aufbau des Torfmoosversuches outdoor im E-Moor in Ramsloh.....	63
Abb. 36: Mittlere Gefäßpflanzen-Deckung in Abhängigkeit von Torfmoosart (incl. Fragmentgröße) und Mattentyp	64
Abb. 37: Anteil einzelner Arten an Gesamtdeckung Gefäßpflanzen (links) und Fremdmoose (rechts) im Torfmoosversuch outdoor (Dez. 09).	66
Abb. 38: Mittlere Gesamtzahl der Torfmoos-Capitula (oben) und mittlerer Anteil (%) neuer Torfmoos-Capitula (unten) in Abhängigkeit von Mattenvariante, Abdeckung und Torfmoos-Art im April `09, Torfmoosversuch outdoor	67
Abb. 39: Mittlere Capitulazahl pro m ² in Abhängigkeit von Torfmoosart (und Fragmentierung bei <i>S. papillosum</i>) 11 Monate nach Versuchsbeginn (Okt. 09), Torfmoosversuch outdoor.....	68
Abb. 40: Entwicklung der Torfmoosrasen im Torfmoosversuch outdoor. Eindruck vom April 09 (links) und August 09 (Mitte). <i>S. palustre</i> -Rasen im August 09 (rechts).....	68
Abb. 41: Mittlere Rasenhöhe im Torfmoosversuch outdoor in Abhängigkeit von Torfmoosart (incl. Fragmentgröße) und Mattenvariante; Oktober 2009.....	69
Abb. 42: Störung der Torfmoosetablierung durch Verspülen von Saatgut-Fragmenten (links) und Fläche des Spülsaumes in Abhängigkeit vom Matten-Typ und von der Ausbringung als Fragment oder ganzes Moos (rechts) im Torfmoosversuch outdoor (April 09).	70
Abb. 43: Störung des Torfmooswachstums durch Wasservögel: Nestbau (links) sowie Niederdrücken der Moose und Hinterlassen von Exkrementen (rechts) im Torfmoosversuch outdoor (li: April 09, re: August 09)....	70
Abb. 44: Mittelere Torfmoos-Biomasse in Abhängigkeit von Torfmoosart und Matte (Torfmoosversuch outdoor).	71
Abb. 45: Torfmoos-Biomasse in Abhängigkeit der Algenbedeckung (0 – „keine“ bis 3 – „sehr stark veralgt“) in Torfmoosversuch outdoor (li) und Anzahl Matten je Veralgungskategorie (re) im Oktober 2009.	71
Abb. 46: Aufbau Torfmoosversuch indoor (Dez. 09).	73
Abb. 47: Entwicklung der mittleren Deckungen von Gefäßpflanzen (oben) und Fremdmoosen (unten) über 1 Jahr in Abhängigkeit von der Torfmoosart (für Jan.-Mrz. keine Werte erhoben).....	75

Abb. 48: Anteil einzelner Arten an Gesamtdeckung Gefäßpflanzen (links) und Fremdmoose (rechts) im Torfmoosversuch indoor (Dez.09).	77
Abb. 49: Vergleich der mittleren Capitula-Zahlen in Abhängigkeit von der Torfmoos-Art und der Größe der Saatgutmoose nach 7 Versuchsmonaten und nach 1 Jahr.....	78
Abb. 50: Entwicklung der Deckung unterschiedlicher Torfmoos-Arten im Verlauf eines Jahres.....	79
Abb. 51: Verschiedene Torfmoosarten im Dez. 09.....	80
Abb. 52: Mittlere Deckung der vitalen Torfmoose nach 1 Jahr Kultur in Abhängigkeit von der Torfmoos-Art im Torfmoosversuch indoor.....	80
Abb. 53: Entwicklung der mittleren Torfmoosrasen-Höhen im Verlauf eines Jahres in Abhängigkeit von der Torfmoosart.....	81
Abb. 54: Aufwuchs auf N-Matten im Torfmoosversuch indoor (Gewächshaus in Greifswald). a) <i>Sphagnum palustre</i> durchwächst das Nylonschlingengelege, b) Capitula-Neubildung bei zerknülltem <i>S. papillosum</i> , c) Aufwuchs von Gefäßpflanzen.....	81
Abb. 55: Mittlere Torfmoos-Biomasse nach 1 Jahr in Abhängigkeit der Torfmoosarten und Ausbringgröße im Torfmoosversuch indoor.....	82
Abb. 56: Torfmoos-Rasenhöhen in Abhängigkeit von der Anwesenheit von <i>Juncus effusus</i> im Torfmoosversuch outdoor (Erhebung Oktober 2009 nach fast einjähriger Versuchsdauer).....	85
Abb. 57: <i>Juncus effusus</i> -Keimlinge dominieren im Saatgutversuch. a) Detailansicht einer Saatschale mit <i>Sphagnum fimbriatum</i> von der „Spielwiese“ 15 Wochen nach Versuchseinrichtung sowie b) mittlere Individuenzahl von <i>Juncus effusus</i> -Keimlingen pro Saatschale in Abhängigkeit von der Herkunft des Saatgutes und der Jahreszeit der Saatgutentnahme im Feld.	86
Abb. 58: Diasporenfalle im LW-Moor.....	86
Abb. 59: Torfmoos-Biomasse in Abhängigkeit von Veralgung in den Freilandversuchen Feldversuch LW-Moor, Feldversuch Sandgrube und Torfmoosversuch outdoor.....	87
Abb. 60: links: Schleimpilz <i>Badhamia lilacina</i> auf Torfmoos (September 2008). rechts: <i>Galerina paludosa</i> (Oktober 2009), beide: Kultivierungsfläche auf Hochmoortorf bei Ramsloh.	89
Abb. 61: Nekrose nach Infektion mit <i>Tephrocye palustris</i> in Gewächshausversuch 4, <i>T. palustris</i> fruchtend, entlaubte Torfmoosstämmchen nach Pilzinfektion, Chlorose bei Torfmoos.	91
Abb. 62: Mittlere Torfmoos-Biomasse Netto, umgerechnet auf 1 Jahr Versuchslaufzeit. Alle Versuche untergliedert nach Abdeckung, Torfmoosart und Matte.....	110
Abb. 63: Beziehung zwischen Torfmoos-Rasenhöhe und Torfmoos-Biomasse	112
Abb. 64: a) C/N-Verhältnis und b) Phosphor- und Kalium-Gehalt der Torfmoos-Biomasse an den Freiland-Versuchsstandorten E-Moor, LW-Moor und Sandgrube.	113
Abb. 65: Mosaik degradierter Hochmoorflächen a) mit heutigen Nutzungsformen und b) mit Torfmooskultivierung auf abgetorfem Hochmoor (FNR-Projekt), auf überfluteten Hochmoorflächen (InnoNet-Projekt) und auf landwirtschaftlich vorgenutzten Flächen (geplantes Projekt) (Gaudig 2008).	117
Abb. 66: Mäh-sammelboot mit seitlichem Mähgutaustrag (www.tyroller-hz.de ; 07.07.2010)	121
Abb. 67: Mäh-Sammelschiff MANATI (Ruhrverband 2009).	121
Abb. 68: Katamaran zur Pflege von schwimmenden Röhrichtmatten.	121
Abb. 69: Amphibien-Fahrzeug Truxor (www.doroteamekaniska.se , 07.07.2010).	121
Abb. 70: Truxor mit Schneidgerät DOROCUTTER ESM 2200 (ebd.)	121
Abb. 71: Varianten des Produktionsverfahrens als Grundlage für die Kostenkalkulation.	122
Abb. 72: Kosten der Flächeneinrichtung mit Schwimm- und Trägermatten (Jahr 0 und 8), Neuetablierung nach der Ernte und laufenden Kosten bei einer 15jährigen Laufzeit.....	128
Abb. 73: Gescheiterter Versuch zur Torfmoosetablierung im Dalumer Moor.....	135
Abb. 74: Torfmoose konnten sich nur vereinzelt etablieren.	135
Abb. 75: Pfeifengras dominiert die Fläche; in den Gruppen wachsen Rohrkolben, Binsen, Gehölze	135
Abb. 76: Bewässerung per Solarpumpe und Windrad.	135

Abb. 77: Probeernte mit Mähkorb (Ramsloh, Oktober 2009).	138
Abb. 78: Nutzung niedersächsischer Hochmoore (eigene Darstellung nach NLWKN 2006).....	143
Abb. 79: CO ₂ -äq-Vermeidungskosten und Vermeidungsleistung bei der Erzeugung von Biomasse für die energetische Nutzung (WBA 2007).....	153

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Überblick über Versuche und Recherchen zur Torfmooskultivierung an der EMAU.....	17
Tab. 2: Charakterisierung der kettengewirkten Mattenvarianten (noch ohne Extra-Schwimmkörper) aus dem ersten Mattenversuch. PP = Polypropylen, PES = Polyester; Auftriebsbestimmung einmalig	21
Tab. 3: Auftriebskörper und ihre Eignung für Schwimmmattenbau.	27
Tab. 4: Charakterisierung der im Moosfarm-Projekt entwickelten/getesteten Mattenvarianten	30
Tab. 5: Artenliste für die Umgebung der Moorgewässer (E- und LW-Moor), nach Kategorien: 1 – vereinzelt; 2 – selten bis stetig vertreten; 3 – flächendeckend.....	42
Tab. 6 a + b: Artenliste für die Umgebung der Sandgrube, A- Erlengebüsch, B- Abraumhügel,	43
Tab. 7: Bulkdeposition in Niedersachsen. Ramsloh (eigene Analysen, hochgerechnet aus den Daten von Dezember 2007 bis März 2008) im Vergleich zu Friedeburg, Markhausen und Edeweicht (Quelle: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz).	47
Tab. 8: Charakterisierung der Torfmoose zur Ausbringung im Feldversuch (Juli 2008).....	48
Tab. 9: Charakterisierung der Torfmoose zur Ausbringung im Feldversuch auf der Sandgrube (Dezember 2008 und März 2009).....	50
Tab. 10: Versuchsbeginn und Versuchsdauer (in Wochen) bei Bonitur in der 42. bzw. 46. KW 2009.	53
Tab. 11: Charakterisierung der Torfmoose zur Ausbringung in den Torfmoosversuchen indoor und outdoor (November und Dezember 2008).	62
Tab. 12: Vorkommende Fremdmoosarten und maximal erreichte Deckungen im Torfmoosversuch indoor.....	75
Tab. 13: Auftretende Gefäßpflanzen im Torfmoosversuch indoor.....	76
Tab. 14: Zeiträume für Torfmoosetablierung im Torfmoosversuch indoor.	83
Tab. 15: Diasporenfänge der Fallen, Summe über jeweiliges Kultivierungsgewässer aus den Feldversuchen ..	87
Tab. 16: Im Projekt an Torfmoos beobachtete Pilze.	90
Tab. 17: Pilze, die mit <i>Sphagnum</i> assoziiert werden und eigene Einschätzung des Potentials der Pilze als Torfmooskultur-gefährdend.	94
Tab. 18: Vergleich der durchschnittlichen Capitulazahlen in den Torfmoosversuchen indoor und outdoor (Matten N und NB).....	109
Tab. 19: Bestimmtheitsmaß (R^2) und Steigung der Funktionen von verschiedenen Torfmoos-Parametern und Biomasse (Brutto) ($\text{g dm}^{-2} \text{ a}^{-1} = \text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) für Torfmoose gesamt im Versuch Torfmoosversuch indoor... ..	112
Tab. 20: Bestimmtheitsmaß (R^2), Steigung und daraus resultierender Faktor für Umrechnung von Torfmoosrasenhöhe (cm) in Biomasse (Brutto)($\text{g dm}^{-2} = \text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)	112
Tab. 21: Kosten für den Ankauf von Schwimm-Matten.	123
Tab. 22: Kosten für den Ankauf von Trägermatten ohne Vorkultur.	124
Tab. 23: Kosten für den Ankauf von Trägermatten mit Vorkultur.	125
Tab. 24: Kosten der Flächeneinrichtung.	126
Tab. 25: Kosten der Neuetablierung über Trägermatten nach der Ernte.	126
Tab. 26: Laufende Kosten pro Jahr.....	126
Tab. 27: Kosten für Ernte und Abtransport komprimierter Torfmoose.	127
Tab. 28: Gesamtkosten der Verfahrensvarianten im Vergleich.	129
Tab. 29: Wirtschaftlichkeit der Torfmooskultivierung in Abhängigkeit vom Ertrag.	130
Tab. 30: Wirtschaftlichkeit bei Steigerung der Erlöse.	131
Tab. 31: Kosten der Torfmooskultivierung je ha Ausgangsfläche abgetorfte Hochmoor.	140
Tab. 32: Kosten für Ernte und Abtransport der Torfmoosbiomasse sowie Summe aller Verfahrenskosten.	140
Tab. 33: Erlöse in Abhängigkeit von Ertrag und Preis je Hektar Kultivierungsfläche.	141
Tab. 34: Bestimmung des Volumengewichts von Torfmoosen.	147
Tab. 35: Potenzielle Effekte der Produktion von Torfmoosen zur Substitution von Weißtorf.....	151

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Ziel des geplanten Forschungsverbundes war die Entwicklung eines Rohstoffes zur Herstellung von Kultursubstraten für den Erwerbsgartenbau als Basis für eine langfristige und dauerhafte Versorgung der Torf- und Humuswirtschaft. Hierfür sollte eine nachhaltige Kultivierung von Torfmoosen (*Sphagnum* als Frischmasse) auf schwimmfähigen Vegetationsträgern entwickelt und damit ein innovativer Wirtschaftszweig mit Torfmoos als neuer Kulturpflanze etabliert werden. Torfmoose (*Sphagnum*) werden heute bereits als Spezialsubstrat für die Bromelien- und Orchideenzucht eingesetzt und sollen als Rohstoff für zu entwickelnde torffreie Substrate mit weitgehend gleichen Eigenschaften wie konventionelle torfhaltige Substrate genutzt werden. Durch die Kultivierungsmethode auf schwimmfähigen Vegetationsträgern wird eine gegenüber den bisher untersuchten Verfahren praktikablere, kontinuierlich kapillare Wasserversorgung gewährleistet. Dieses Verfahren sollte durch die Netzwerkpartner in den angestrebten Eigenschaften definiert, die Komponenten hergestellt und in Feldversuchen erprobt werden.

Am Institut für Botanik und Landschaftsökologie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald (EMAU) sollte in Teilvorhaben 2 des Verbundprojektes Moosfarm mit Hilfe von Gewächshaus-, Bassin- und Freilandversuchen ein Verfahren zur Torfmooskultivierung auf abgetorften, überfluteten Hochmoorflächen und auf Kiesgrubengewässern entwickelt werden. Zudem sollte zusammen mit anderen Projektpartnern die zu verwendende Schwimmmatte entwickelt und erprobt werden. Darüber hinaus sollte in Teilvorhaben 3 als weiteren Schwerpunkt die Wirtschaftlichkeit der Torfmooskultivierung auf schwimmfähigen Vegetationsträgern im Vergleich zu anderen Formen der Torfmooskultur analysiert werden.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben ausgeführt wurde

Das Verbundprojekt wurde in Zusammenarbeit von zwei Forschungsanstalten und fünf Praxispartnern durchgeführt. Der Projektkoordinator **IASP** arbeitet u. a. auf dem Gebiet der Entwicklung dünn-schichtiger technischer Vegetationssysteme für Bauwerksoberflächen. Ein Arbeitsschwerpunkt dabei ist die notwendige Produktion von Pflanzenmaterial. Für Vegetationssysteme wurden auch unterschiedliche Moosarten, beispielsweise bei der Entwicklung eines Moosgleises für schattige Standorte oder als Zierelemente auf einem Festsubstrat (Polymerschnitzelbeton), gezielt eingesetzt. Dabei wurden im Gewächshaus wie im Freiland Erfahrungen mit der Kultivierung bzw. mit mikroklimatischen Regenerationsbedingungen von Moosen aus Pflanzenfragmenten sowie Erfahrungen zur mittel- und langfristigen Entwicklung von Moosbeständen gesammelt.

Die Forschungsfelder des Institutes für Botanik und Landschaftsökologie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald (**EMAU**) liegen neben der Pflanzenökologie auf dem Gebiet der Moorökologie, der vegetationsorientierten Landschaftsökologie sowie dem Naturschutz und der Entwicklung nachhaltiger Landwirtschaft besonders auf Moorstandorten (Paludikultur-Konzept) inklusive deren ökonomischer Betrachtung. Durch Interdisziplinärität sowie Internationalität konnte sich das Institut auf den genannten Gebieten zu einer der führenden Institutionen in Deutschland entwickeln. Im

Rahmen des FNR-geförderten Projektes „Torfmoos als nachwachsender Rohstoff“ konnte bereits ein internationales Netzwerk von Torfindustrie und Wissenschaftlern, die für die Torfmoos-Kultivierung in unterschiedlicher Hinsicht relevante Forschungen durchführen, geschaffen werden.

Die Torfwerk Moorkultur Ramsloh Werner Koch GmbH & Co. KG (**MoKuRa**), arbeitet innovativ auf dem Gebiet der Substratherstellung für den Erwerbsgartenbau. Bereits aus einem vorhergehenden Projekt besteht enge Zusammenarbeit mit der EMAU auf dem Gebiet der Kultivierung des möglichen neuen Substratausgangsstoffes *Sphagnum*-Frischmasse.

Das Unternehmen **mst-Dränbedarf** ist einer der beiden deutschen Marktführer der Branche. Im Ausland werden 60-70 % der branchenspezifischen Marktanteile gehalten. Das Unternehmen hat bereits verschiedentlich mit Vegetationsmatten gearbeitet und vertreibt u. a. Matten für den Erosionsschutz. mst-Dränbedarf verarbeitet überwiegend nachwachsende Rohstoffe wie Stroh, Kokos und Jute sowie unterschiedliche Geotextilen (Vliese) sowie Polypropylenfasern und entwickelt seine Produkte selbst.

Die Niedersächsische Rasenkulturen **NIRA GmbH & Co. KG**, Groß Ippener besitzt Expertise in Entwicklung und Produktion von Dachbegrünungsmatten und Rollrasen.

Das Unternehmen **Klasmann-Deilmann** ist der weltweit führende Hersteller von Kultursubstraten. Es entwickelt Erden für verschiedene Anwendungsbereiche. Der Haupterwerbszweig liegt in der Bereitstellung von Erden und Substraten für den Erwerbsgartenbau und nachrangig für den Endverbraucher.

Hartmann Ingenieure GmbH, Berlin, entwickeln Substrate für den Garten- und Landschaftsbau.

Für alle Bereiche des Verbundvorhabens konnte somit auf fundierte Kenntnisse und wertvolle praktische Erfahrungen der Partner zurückgegriffen werden, die das Gesamtvorhaben Erfolg versprechend machten.

Regelmäßig in halbjährlichem Abstand trafen sich alle Projektpartner in Netzwerktreffen, um Kultivierungsversuche und beteiligte Unternehmen zu besichtigen sowie erreichte Ergebnisse zu präsentieren und diskutieren. Verfasste Zwischenberichte und Informationen wurden allen teilnehmenden Partnern vorgelegt. Um die vorgegebenen Ziele erreichen zu können, wurden ggf. auch Anpassungen im Projektzeitplan diskutiert.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde vom 1.7.2007 bis 30.4.2010 durchgeführt.

Gemeinsamer Schwerpunkt in der Arbeit der Projektpartner war die Entwicklung und Herstellung für die Torfmooskultur geeigneter Schwimmmatten. Dieser Projektteil nahm mehr Zeit und Arbeit in Anspruch als ursprünglich geplant. Über die gesamte Projektlaufzeit hinweg wurden Optimierungen an

den Mattensystemen vorgenommen. Im Sommer 2008 konnten jedoch alle geplanten großflächigen Freilandversuche gestartet werden.

Schwerpunkt der EMAU war zudem die Optimierung der Torfmooskultur auf überstauten Hochmoorflächen und auf Sandgrubengewässern. Dazu wurde an drei verschiedenen Standorten ein Feldversuch aufgebaut. Diese stellten großflächigere Freilandumsetzung der Ergebnisse aus den Vorversuchen im Gewächshaus dar. In einem weiteren Freilandversuch (Torfmoosversuch outdoor) wurden weitere Parameter zur Optimierung getestet (*Sphagnum*-Art, Mattenvariante, Abdeckung und „Saatgut“-Größe). Parallel dazu wurde ein Teil des Versuches im Gewächshaus als Torfmoosversuch indoor wiederholt, um unter kontrollierten Bedingungen (beheizt, Beleuchtung, Nährstoff-Zugabe) und intensiver beobachten zu können.

Weitere Arbeitsschwerpunkte der EMAU waren die Beeinflussung der Produktivität durch Parasiten sowie die Klärung des Diasporeneintrags auf die Kultivierungsflächen.

Parallel dazu liefen die Freilandversuche zur Torfmooskultur und Optimierung der HU Berlin in der Lausitz auf Tagebaurestseen sowie im Gewächshaus in Berlin-Dahlem. Hier sollten auch verschiedene Herkünfte der Torfmoosarten auf ihre Wüchsigkeit untersucht werden.

In pflanzenbaulichen Versuchen wurden an der HU Berlin Aussaat-, Stecklings- und Topfversuche durchgeführt, deren Substraten unterschiedliche Anteile an *Sphagnum* zugefügt wurden.

Weiterhin war vom IASP ein Konzept für mögliche Ernteverfahren zu entwickeln.

Am Ende des gesamten Vorhabens wurde die Torfmooskultivierung von der EMAU in einer ökonomischen Analyse beschrieben und beurteilt.

Der Arbeitsfortschritt sowie auftretende Schwierigkeiten und Lösungsansätze wurden den Projektpartnern und dem Projektträger in Zwischenberichten mitgeteilt.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

1.4.1 Stand des Wissens zu Schwimmatten

Die Ergebnisse einer Patentrecherche in den Fonds des Deutschen Patent- und Markenamtes sowie des Europäischen Patentamtes durch das IASP wurden allen Partnern im Rahmen eines Projekttreffens zur Verfügung gestellt. Für weitere Informationen vergleiche Moosfarm-Abschlussbericht des IASP.

1.4.2 Stand des Wissens zur Kultivierung

Torfmoose werden in Kanada zu Moor-Restaurationszwecken großflächig auf degradierten Standorten ausgebracht. Die Methode nach Quinty & Rochefort (2003) wurde übernommen als Ausgangspunkt für die Entwicklung einer Kultivierungsmethode auf abgetorften Moorflächen zur kommerziellen Nutzung von Torfmoosen als Substratausgangsstoff. In einem von der Fachagentur für nachwachsende

Rohstoffe geförderten Projekt (FNR 2004-2007) konnten an der EMAU zahlreiche Erfahrungen diesbezüglich gesammelt werden.

Für ein kontinuierliches Torfmooswachstum ist eine gleichmäßige Wasserversorgung erforderlich. Der natürliche Wasserhaushalt degradierter Moore ist jedoch gestört. Freilanduntersuchungen in abgetorften Moorflächen weisen auf ein erhebliches Wasserdefizit in Bezug auf eine optimierte Produktivität. Mit dem Senken der Wasserspiegel und dem Abreißen der kapillaren Wasserversorgung verändern sich die Konkurrenzbedingungen am Standort. Als Folge werden die Torfmoose von einer Vegetation wechselfeuchter Standorte verdrängt (zumeist Pfeifengras (*Molinia*), Birke (*Betula*) und Heidekrautgewächse (Ericaceen)). Durchgeführte Zusatzbewässerung führt in Abhängigkeit von der Wasserqualität zu einer trophischen Verschiebung von nährstoffarmen zu nährstoffreicheren Verhältnissen, welche zu einer Beeinträchtigung der Substratqualität für die Torfmoose führt und konkurrenzstarke stickstoffliebende Pflanzen (Nitrophyten) fördert. Daher erscheint als Lösung sinnvoll, auf überstauten Flächen mit schwimmender Vegetation zu arbeiten, um das hydrologische Regime für die Torfmoose bedarfsgerecht einstellen zu können. Die im Jahresgang schwankenden Wasserstände werden durch schwimmende Vegetationsträger ausgeglichen. Der Idee liegt das bionische Prinzip einer natürlichen Bildung von Schwingrasen aus lebenden Pflanzen und ihren abgestorbenen Pflanzenteilen zugrunde. Die Prinziplösung soll durch eine schwimmfähige Matte als Vegetationsträger realisiert werden.

Potenzielle Flächen für die Torfmooskultivierung sind neben den großflächig abgetorften Hochmoorresten mit dem geographischen Schwerpunkt in Niedersachsen Tagebaugewässer sowie Kies- und Sandgrubengewässer. Von den sauren Tagebaugewässern ist ein spontanes Auftreten von Torfmoosen bekannt. In kleinen Abgrabungsgewässern kommen auch flutende Torfmoosbestände vor. In größeren Gewässern wird eine Ausbildung flutender Bestände durch Wellenbildung verhindert. Dieser Effekt wird durch schwimmende Vegetationsträger kompensiert, daher können auch großflächige Gewässer genutzt werden.

1.4.3 Stand des Wissens zu Substraten/Verwendung von Torfmoosen

Sphagnum-Frischmasse wird bisher als Substrat für Spezialkulturen (v .a. Orchideenkultur) verwendet. Die Moose hierfür stammen aus Handsammlungen in natürlichen Beständen in Chile und Neuseeland. Dieses Verfahren ist teuer und nicht erweiterbar. Die Anwendung ist jedoch langfristig erprobt und legt nahe, dass *Sphagnum*-Frischmasse ein nicht nur ebenbürtiger „Ersatz“ für Weißtorf sein könnte, sondern darüber hinaus noch weitere, für den Gartenbau interessante Eigenschaften aufweist.

Erste Erfahrungen zu einer erweiterten Anwendung von Sphagnen in Kultursubstraten für den Erwerbsgartenbau (Zierpflanzenbau, in der Keim- und Jungpflanzenzucht und zur Stecklingsvermehrung) wurden von der Universität Greifswald in einem 2007 abgeschlossenen Projekt gesammelt. Ausführender Projektpartner war die Lehr- und Versuchsanstalt Hannover-Ahlem. Gefördert wurde das Projekt durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR).

In den physikalisch-chemischen Untersuchungen konnten bei der *Sphagnum*-Frischmasse und den aus Sphagnen gebildeten Hochmoortorfen weitestgehend übereinstimmende Eigenschaften nachgewiesen werden. Bezeichnend sind dabei ein geringer pH-Wert, geringer Nährstoffgehalt, sehr gute Wiederbenetzbarkeit, hohe Wasserspeicher- und Luftkapazität, sehr geringes Volumengewicht (Laborschüttdichte nach DIN EN 13040) und eine geringe Stickstoffimmobilisierung (Grantzau 2004, Emmel 2008).

Zusätzlich weist *Sphagnum*-Frischmasse bakterizide und fungistatische Wirkungen auf (Schacht 2007, Grantzau und Gaudig 2005), in Vegetationsversuchen und beim Bebrüten von *Sphagnum*-Frischmasse

sind keine Probleme mit Verpilzung aufgetreten. Diese sind bisher jedoch kaum erforscht, werden aber als Vorteil gegenüber Hochmoortorf gewertet.

1.4.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen:

Neben den beteiligten Projektpartnern waren das Institut für Gartenbauwissenschaften (Fachgebiet Gärtnerische Pflanzensysteme, Arbeitsgruppe Zierpflanzenbau) der Humboldt-Universität zu Berlin in das Teilvorhaben 1: *Sphagnum*-farming in der Tagebaulandschaft und das Sächsische Textilforschungsinstitut Chemnitz e. V. (stfi) in das Teilvorhaben 2: Torfmooskultivierung auf überstauten Hochmoorflächen einbezogen. Ersteres unterstützte die Versuche zur Optimierung der Kultivierungsbedingungen, die Selektion von besonders geeigneten Klonen und letzteres beriet die Entwicklung des Vegetationsträgers.

2 Ergebnisse der Torfmooskultivierung auf überstauten Hochmoorflächen

Zur Untersuchung der Möglichkeiten zur Torfmooskultivierung auf überstauten Hochmoorflächen wurden zahlreiche Gewächshaus- und Feldversuche durchgeführt. Diese sind in Tab. 1 überblicksmäßig dargestellt.

Tab. 1: Überblick über Versuche und Recherchen zur Torfmooskultivierung an der EMAU.

Versuch	Standort	Arbeitspaket	Versuchs- zeitraum	Versuchsdauer (Monate)	Seite im Bericht
Auftriebsversuch	Gewächshaus in Greifswald	1	Feb. 08 – Dez. 09	22	20
Mattenversuch 1		1	Sep. 07	1	21
Mattenversuch 2	Gewächshaus in	1, 2	Okt. 07– Jan. 08	3	34
Mattenversuch 3	Greifswald	1, 2	Feb. – Juni 08	4	34
Mattenversuch 4		1, 2	Juli – Okt. 08	3	37
Feldversuch	E-Moor, Ramsloh		Juli 08 – Okt. 09	16	48
	LW-Moor, Ramsloh	3, 4	Juli 08 – Okt. 09	16	48
	Sandgrube, bei Ramsloh		Dez. 08 – Nov. 09	8 bzw. 11	48
Torfmoosversuch outdoor	E-Moor, Ramsloh	2	Nov. 08 – Okt. 09	10 bzw. 11	63
Torfmoosversuch indoor	Gewächshaus in Greifswald	1, 2	Dez. 08 – Dez. 09	12	75
Saatgutversuch	Gewächshaus in Greifswald	2	Juli 08 – Juli 09	4 Reihen je 4 Monate	89
Diasporenfallen	alle Standorte des Feld-versuchs, Ramsloh	2	Apr. 09 – Nov. 09	7	91
<i>Recherche</i>					
Pilz-Parasiten an Torfmoosen		2	Juni 08 – Feb 09	9	93

2.1 Entwicklung eines textilen Vegetationsträgers (AP 1)

Einleitung

Eine zentrale Herausforderung im Projekt Moosfarm war die Entwicklung einer mooskulturfähigen textilen Schwimmmatte.

Er besteht aus miteinander verbundenen Schwimmkörpern, die den nötigen Auftrieb gewährleisten (Abb. 1: Schematischer Aufbau einer mooskulturfähigen Schwimmmatte: Komponenten und ihre Funktion.). Auf einer ebenen Auflagefläche liegt dann der eigentliche Moosträger, der die Wasserversorgung der Moose gewährleistet.

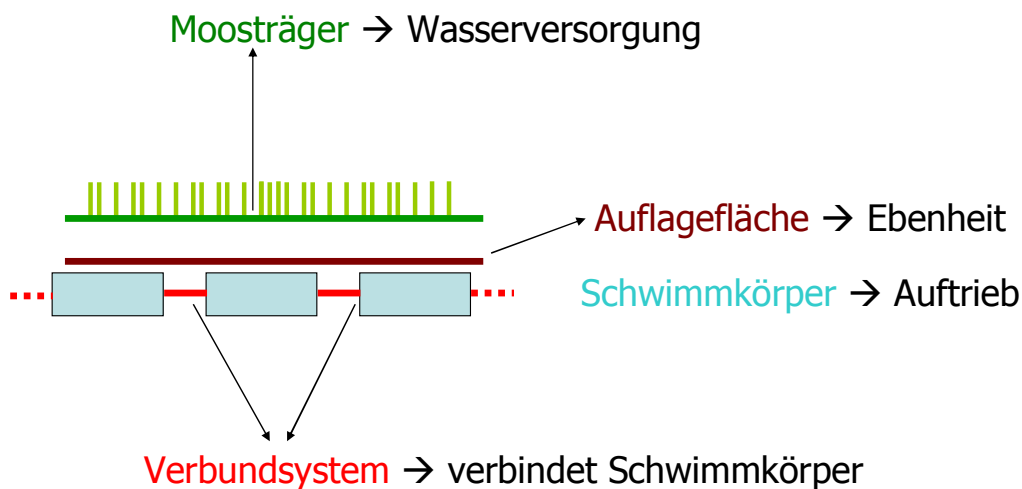


Abb. 1: Schematischer Aufbau einer mooskulturfähigen Schwimmmatte: Komponenten und ihre Funktion.

Die Definition der Anforderungen an der textilen Schwimmmatte und die Präzisierung der Eigenschaften erfolgten in enger Zusammenarbeit mit den beteiligten Projektpartnern (IASP und mst). Bei der Entwicklung von geeigneten Schwimmmatte wirkte das Sächsische Textilforschungsinstitut (stfi) projektberatend. Die maschinelle Umsetzbarkeit von Matten-Ideen im Projekt wurde durch den Industriepartner mst geprüft. An das System mooskulturfähige Schwimmmatte werden folgende **Anforderungen** gestellt:

- Optimale Wasserversorgung der Torfmoose
ist z. B. durch Wasser leitende/speichernde Vliese realisierbar.

- Auftrieb von ca. 10 kg m⁻²:

Torfmoose weisen eine höhere Dichte auf als Wasser. Zu schwimmen oder schweben vermögen sie nur mit eingeschlossenen Gasen. Obwohl sich hohe Wasserstände günstig auf das Wachstum von Torfmoosen auswirken, sind die wenigsten Torfmoosarten an submerses Leben angepasst. Das bedeutet, dass die zu entwickelnde Schwimmmatte den wachsenden Torfmoosrasen an der Gewässeroberfläche schwimmend tragen können muss. Ein Torfmoosrasen von 10 cm Höhe wird hier als „erntereif“ angesehen. Dieser wiegt in etwa 10 kg m⁻².

- Stabilität, Homogenität → Schwimmverhalten:

Neben dem Auftrieb sind auch die Verteilung der Schwimmelemente und die Querstabilität der Matte entscheidend für das Schwimmverhalten. Als ideal werden eine homogene Verteilung der Schwimmelemente und eine hohe Querstabilität angesehen. So kann ein punktuell oder flächig Durchhängen der Matten und eine Wasserübersorgung von Teilen der Torfmoosdecke verhindert werden.

- Mechanisch-chemische Belastbarkeit, Haltbarkeit:

Die Kultivierung auf Schwimmdecken ist für den Freilandbereich konzipiert. D.h. die Schwimmdecken müssen tolerant gegenüber Witterung und deren Folgen sein (UV-Strahlung, Frost, Starkregen, Sturm) sowie gegenüber physischer und chemischer Belastung durch Wellengang, scharfkantige Eisschollen, niedriger pH des Wassers und weitere Wasserchemie und Belastungen, die durch das Kultivierungsverfahren selbst entstehen wie Zug, Reißen und Knicken durch Deckenbefestigung, Bestückung, Ernte, etc.

- Einbeziehung nachwachsender/recyclebarer Rohstoffe:

Die Entwicklung neuer Produkte und Verfahren birgt die Chance in sich, einen Beitrag zu nachhaltiger Ressourcennutzung und Vermeiden von Abfallstoffen zu leisten. Deshalb wurde die Verwendung nachwachsender und oder recyclebarer Rohstoffe geprüft.

- Transportierbarkeit der Decken:

Die Decken müssen vom Fertigungsbetrieb zum Kultivierungsgewässer transportierbar sein. Des Weiteren ist ein Transport auf dem Gewässer notwendig sowie ein Bergen der Decken bei Ernte. Dies bedeutet, die Decken müssen auf LKW-Größe roll- oder klappbar sein, von begrenztem Gewicht und hoher mechanischer Belastbarkeit.

Ferner wurden folgende bedingte Anforderungen bei der Entwicklung der Schwimmdecken mit berücksichtigt:

- Produktionskosten
- Herstellbarkeit durch den Projektpartner mst.

Methoden

A) Wasserversorgung der Moose

In einem ersten Tastversuch (Deckenversuch 1) wurden im Gewächshaus der EMAU einzelne Torfmoose auf Deckenmustern ausgebreitet. Die auf diese Weise bestückten Decken wurden in mit Wasser gefüllte Kisten (40 x 60 cm) gelegt. Der Zustand der Moose wurde beobachtet und Rückschlüsse auf die Wasserversorgung gezogen.

In den nachfolgenden Deckenversuchen 2-4 wurden die Kisten mit „Rudolphscher Nährlösung“ (nach Rudolph et al. 1988) gefüllt, mit jeweils 2 Decken a 25 x 30 cm bestückt und im Gewächshaus aufgestellt. Die Torfmoose (*Sphagnum fallax*) wurden als „Saatgut“ und „Erntegut“ präpariert (Abb. 2). Für das „Saatgut“-Moos wurden Torfmoose in 1-2 cm große Fragmente geschnitten und auf den

Matten ausgebracht. Dafür wurden 10 cm lange Moose von 1 m² geerntet, zerkleinert und auf 10 m² verteilt. Dies ergab eine Ausgangsdeckung von ca. 90 %. Ein ausgebildeter Torfmoosrasen kurz vor dem Erntezeitpunkt wurde simuliert, indem 10 cm lange Moose in perforierten, durchsichtigen Stützröhren auf die Schwimmplatten gestellt wurden. Im Rahmen eines monatlichen Monitorings wurden Moose und Matten fotografiert, das Schwimmverhalten der Matten und die Entwicklung der auf ihnen wachsenden Torfmoose (Deckung und Rasenhöhe bei Fragmenten = „Saatgut“), Torfmoos-Längen (Kennzeichnung Ausgangslänge mit Kabelbinder unter Capitulum) gemessen. Spontan auftretende Fremdmoose und Gefäßpflanzen wurden hinsichtlich ihrer Deckung geschätzt (Gefäßpflanzen auch gezählt und ihrer Höhe gemessen). Veralgungsgrad wurde in einer Skala von 0-3 geschätzt und Pilzaufkommen dokumentiert (Vorhandensein von Hyphen, Anzahl Pilzkörper).



Abb. 2: Als „Saatgut“-Fragmente (li) und „Erntegut“-Rasen (mi) präpariertes *S. fallax*, Aufbau der Vorversuche 2-4 zur Wasserversorgung der Torfmoose (re).

B) Auftrieb der Schwimmkörper und -matten

Die Schwimmkörper bzw. Matten wurden in zwei Kisten mit Gewichten permanent unter Wasser gedrückt, damit evtl. vorhandene Porenluft entwich. Einmal monatlich wurde der Auftrieb mittels einer Unterflurwaage bestimmt (Abb. 3). Auftriebswerte für Schwimmkörper wurden je dm³ und für Schwimmplatten je m² angegeben, um die verschiedenen Materialien und Matten untereinander vergleichen zu können. Bei den angegebenen Werten für Auftrieb und dessen Abnahme über die Zeit wurde der 1. Monat nicht berücksichtigt.

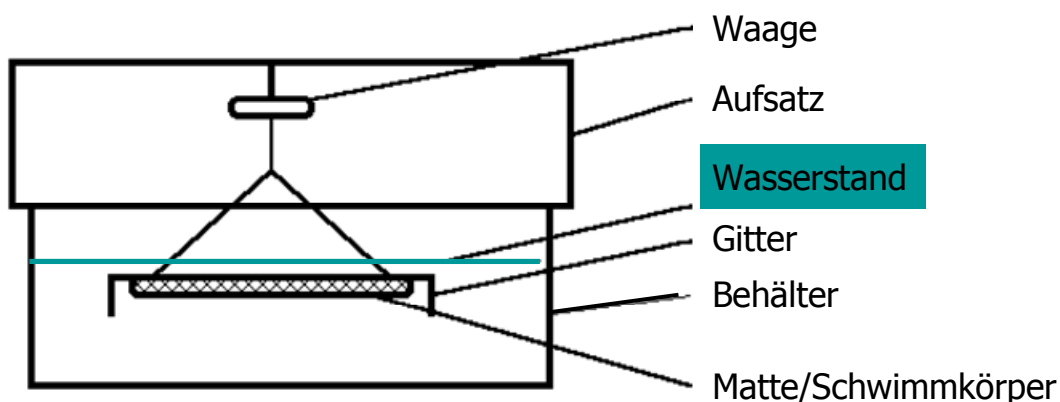


Abb. 3: Schematische Darstellung einer Unterflurwaage.

C) Mechanisch-chemische Belastbarkeit und weitere Eigenschaften der Schwimmmatten

Zur Feststellung der Toleranz von Schwimmkörpern, Vliesen und weiteren Mattenbaumaterialien wurden

- diese aus Materialeigenschaften abgeleitet
- Beobachtungen im Freiland und Gewächshaus vorgenommen sowie
- Experimente mit scharfkantigem Eis, Druckbelastung und manuellem Biegen durchgeführt.

Nicht nur ausreichender Auftrieb bestimmt, ob ein Schwimmverhalten von Matten für Torfmooskultivierung günstig ist. Die Matte muss auch möglichst eben sein (=kein zu starkes Mikrorelief, Aufwölben, Durchhängen → Stabilität) und die Schwimmkörper gleichmäßig verteilt (→ Homogenität). Diese Parameter wurden beschrieben (Matte schief / krumm / ...) oder gemessen (Abstand Matte zur Wasseroberfläche). Die Transportierbarkeit wurde eingeschätzt, ebenso die Produktionskosten und die Produzierbarkeit durch den Industriepartner mst.

Ergebnisse und Diskussion

A) Wasserversorgung der Torfmoose

Im ersten Mattenversuch wurde getestet, ob Vliese aus in der Textilindustrie gängigen Materialien Torfmoose ausreichend mit Wasser versorgen und ob sie Auftrieb in Wasser haben. Das stfi hat hierfür 9 verschiedene Mattenmuster (30 x 30 cm) zur Verfügung gestellt (Tab. 2). Diese bestanden aus Polyester- und Polypropylen-Vliesen, die kettengewirkt zu Matten verarbeitet wurden. Auftrieb sollte durch das Vliesmaterial selbst realisiert werden (keine Extra-Schwimmkörper).

Tab. 2: Charakterisierung der kettengewirkten Mattenvarianten (noch ohne Extra-Schwimmkörper) aus dem ersten Mattenversuch. PP = Polypropylen, PES = Polyester; Auftriebsbestimmung einmalig (1 Woche nach Einweichen).

Matten-Variante	Vlies-Material	Vlies-stärke	Farbe	Vlies-Herstellu ngsart	Auftrieb (kg m⁻²)	Abb.
M1	PES		weiß	Malimo'	0.8	
M2	PES		grau	Malimo'	0.0	4a)
M3	PP	11.6.	ocker	Malimo'	0.4	
M4	PP	11.2.	ocker	Malimo'	0.0	4b)
M5	PP	11.4.	ocker	Malimo'	3.7	
M6	PES	12.6.	weiß	Malimo'	7.0	4c)
M7	PES	12.2.	weiß	Malimo'	0.1	
M8	PES	einfach	weiß	Spinnvlies	0.0	
M9	PES	doppelt	weiß	Spinnvlies	2.6	4d)

Alle getesteten Materialien konnten eine ausreichende Wasserversorgung der Torfmoose gewährleisten. Nach 2 Wochen Versuchsdauer wurde die Bildung neuer Capitula (Wachstumspunkte der Torfmoose) beobachtet. Diese Beobachtung wurde für die in den nachfolgenden Vorversuchen 2-4 getesteten Vliese (Polypropylen(PP)-Nadelvlies, PP-recycling-Vlies) bestätigt.

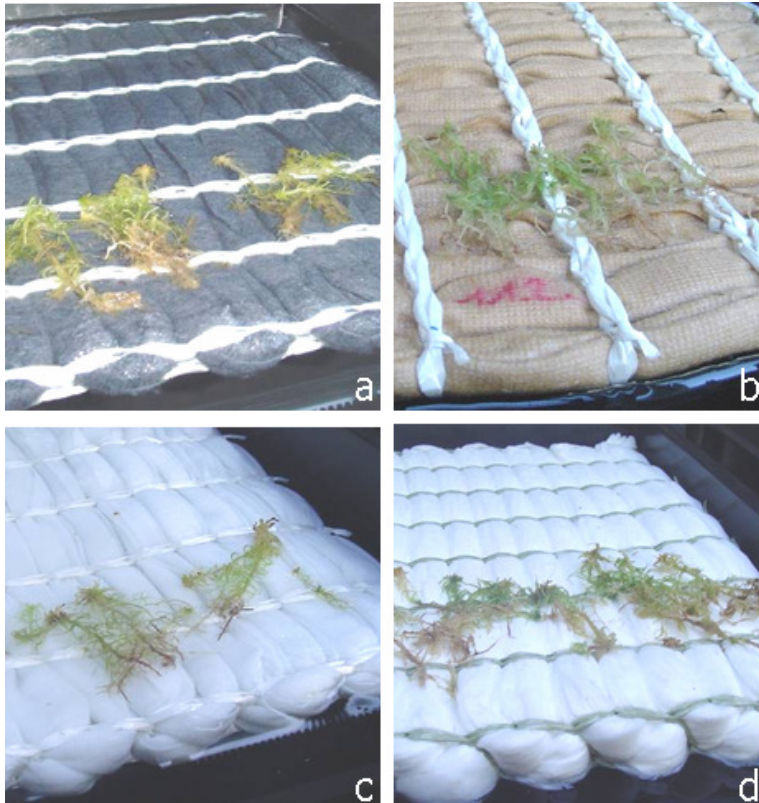


Abb. 4: Kettengewirkte Mattenmuster vom stfi aus Mattenversuch 1.

B) Auswahl geeigneter Schwimmkörper

Die Auftriebsmessung erfolgte im Mattenversuch 1 nach einer Woche Einweichen. Obwohl vermutlich noch nicht alle eingeschlossene Luft aus den getesteten Mattenmustern M1-M9 (Abb. 4) entwichen war (vergrößert vorübergehend den Auftrieb), konnte die Anforderung von 10 kg/m^2 Auftrieb nicht realisiert werden (Tab. 2). Vlies allein (selbst Polypropylen) schaffte nicht genügend Auftrieb; Extra-Schwimmkörper oder auftriebsstärkere Vliesmaterialien stellen sich als unabdingbar heraus.

Zur Inspiration bei der Auswahl von zu testenden Schwimmkörpern diene u. a. eine kettengewirkte Mattenvariante aus ummanteltem Polyethylen (PE)-Schaum-seil und Polyethylen (PE)-Spinnvlies des Projektberaters stfi (Abb. 5).



Abb. 5: Kettengewirkte patentierte Matte (von stfi) mit ummanteltem PE-Schaumseil als integriertem Schwimmkörper (getestet im Projekt als Mattenvariante C4).

Dieser patentierte Mattenvariante (Patentschrift DE 19654031C2) wurde für Sumpf-Gefäßpflanzen entwickelt und somit nicht für die Torfmooskultivierung optimiert. Die Matte wurde zunächst als Variante C3 im Projekt getestet, aber hatte zu wenig Auftrieb. Sie wurde verbessert, indem UV-stabilisiertes und eingefärbtes PE-Spinnvlies verwendet wurde sowie die Menge an Schwimmkörpern je m² erhöht und als Matte C4 weiterverwendet. Diese hatte noch immer einen zu geringen Auftrieb, ist zu teuer und kann nicht vom Industriepartner mst hergestellt werden.

Als Alternativen wurden Schwimmkörper verschiedenster Materialklassen und Formen getestet.

Der Auftrieb von **weichem, geschlossenporigem PE-Schaummaterial** (Seile, Röhren, Platten, Beispiele vgl. Abb. 6) kann im Verhältnis zum eingesetzten Volumen sehr hoch sein (Spanne 0,6-1,2 kg dm⁻³). Die Auftriebsverluste innerhalb eines Jahres schwanken stark zwischen 0 und >50 % (Tab. 3, Abb. 7). Das Material ist zug- und knicktolerant, jedoch mit scharfkantigem Eis zerschneidbar. Es ist somit bedingt verwendbar im Schwimmmattenbau.



Abb. 6: PE-Schaumstoffe weich (v.li n. re): Baustoffrohr (BOSIG), Isolationsrohr (Climapor): längs und Querschnitt, Camping-Iso-Matte.

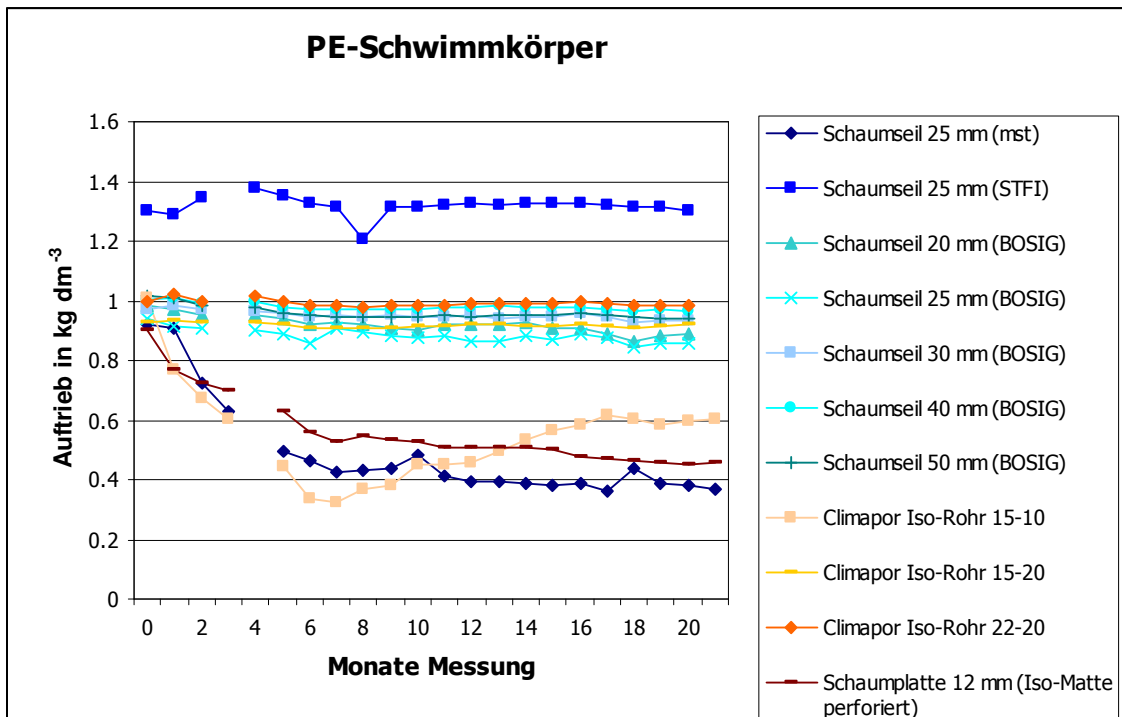


Abb. 7: Änderungen im Auftrieb (in kg dm^{-3}) bei PE-Schaummaterial innerhalb von 20 Monaten. Fehlende Werte Juli 2008.

Auffällig war, dass die PE-Schaummaterialien (Schaumplatte, Climapor 15-10, Schaumseil 25mm von mst), die zusammen mit der Matte G (mit Kokos) eingeweicht waren, im Auftrieb viel stärker nachließen als andere Materialien. Makroskopisch zu beobachten war ein gewisses Deformieren (Zusammengedrücktsein) des PE-Materials. Möglicherweise sondert Kokos Stoffe ab, die das sonst recht inerte PE-Material angreifen. pH-Wert und Leitfähigkeit des Wassers wiesen aber keine Unterschiede zwischen beiden Varianten auf. Weitere Tests wurden nicht durchgeführt. Climapor-Rohr hatte in beiden Varianten sehr unterschiedliche Auftriebsverluste. Welche Rolle die Qualität der Materialien spielt, konnte nicht abschließend geklärt werden.

Als Beispiel für die Verwendung von **nachwachsenden/ recyclebaren Stoffen** wurde Schilf als Schwimmkörper getestet (Abb. 8, li). Selbst mehrlagige Konstruktionen verlieren rasch jeglichen Auftrieb (Tab. 3, Abb. 13).



Abb. 8: Nachwachsende/recyclebare Materialien und Kunststoff-Hohlkörper (v. li n. re): Schilf mit Kokosauflage, PE-Schlauch mit Muffe, Float U70 für Berufsfischerei, Plastik-Flaschen.

Große, **luftgefüllte Kunststoffkörper** werden überwiegend in der Fischerei und beim Segelsport verwendet (Bojen, Fender, Schwimmkörper für Netze). Diese sind zwar zuverlässig im Auftrieb, aber oftmals nicht für Dauernutzung ausgelegt und auch recht kostspielig. Improvisierte und kostengünstigere Schwimmkörper, wie z.B. Plastik-Probeflaschen, Ringe aus Gartenschlauch usw. (Abb. 8), sind jedoch leicht zu beschädigen. Durch Kammerung größerer Körper oder Verwendung vieler kleiner kann man diesem Risiko entgegenwirken. Problematisch bleibt aber die Verteilung solcher Schwimmkörper in bzw. an einer Matte. Ein Anbauen an der Außenkante ermöglicht zwar ein Auswechseln im Schadensfall, eine Querstabilität ist jedoch so nicht zu erreichen. Die Matte hängt durch und die Torfmoose können unter Wasser geraten. Dies ist in der Etablierungsphase der Torfmoose unbedingt zu vermeiden. Die Verwendung für den Schwimmplattenbau wird eher kritisch gesehen.

Styropor® (Schaum-Polysterol) ist ein kostengünstiger Werkstoff, der als Platten-Material (auch dünn und rollbar) oder als Formkörper im Handel erhältlich ist (Abb. 9).

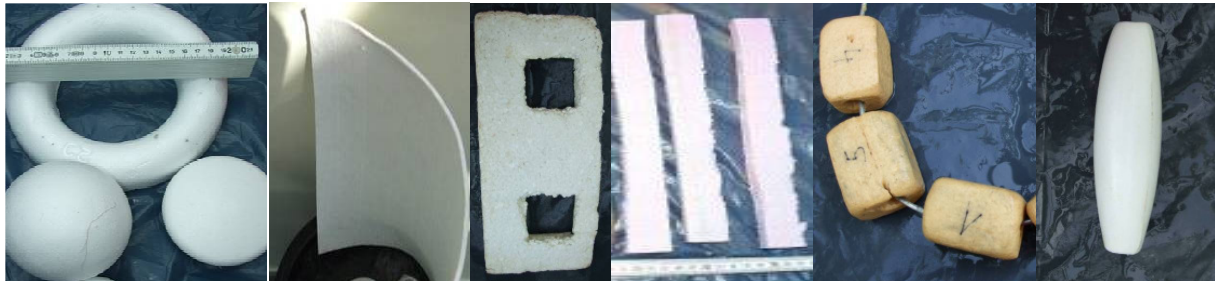


Abb. 9: Hartschäume (von li nach re): Formkörper aus Styropor® feinkörnig, Styropor® wickelbar, Styroporplatte® grobkörnig u. perforiert, Styrodur® zerschnitten, Floats aus Ekazell, Float aus Evazote.

Styropor® ist auftriebstarke ($0,6-1 \text{ kg dm}^{-3}$) und überwiegend zuverlässig (feinkörniges Styropor® ohne Auftriebsverlust über 1 Jahr, grobkörniges mit Auftriebsverlusten zwischen 1 und 10 %). Das Material entspricht somit den Auftriebsanforderungen (Abb. 10 und Tab. 3). Durch mechanische Beanspruchung (z.B. Eisschollen, Fraß durch Vögel) und UV-Strahlung wird Polysterol jedoch leicht zerstört, so dass sich der Auftrieb verringert und mit einer Umwelt-Belastung durch treibende Styropor®-Teilchen zu rechnen ist. Auch Zugbelastung und Knicken führen leicht zur Zerstörung der Platten, besonders, wenn diese länger im Wasser liegen. Die Verwendung von Polysterol ist nur mit Ummantelung und Fixieren durch Kammerung (mittels Steppen) denkbar. Mit begrenzter Haltbarkeit muss gerechnet werden.

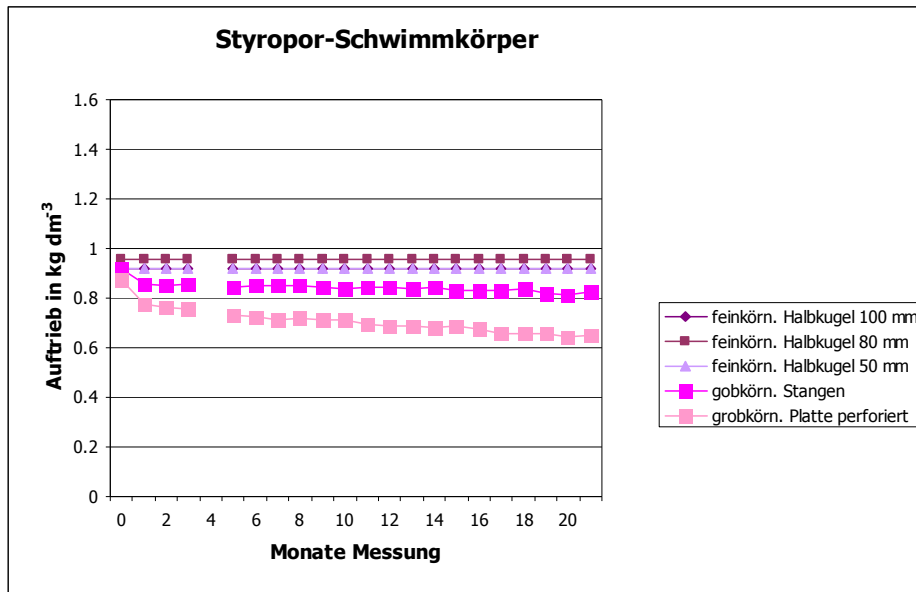


Abb. 10: Änderungen im Auftrieb (in kg dm^{-3}) bei Styropor[®]-Schwimmkörpern während 20 Monaten.

Styrodur[®] besteht aus dem gleichen Ausgangsmaterial wie Styropor[®]. Anders verarbeitet entsteht jedoch ein mechanisch wesentlich stärker belastbares Material. Styrodur[®] wurde nur in Matten eingebaut getestet (Tab. 4). Bei gleichem Volumen hat Styrodur[®] einen höheren Auftrieb (Abb. 13), ist aber auch teurer als Styropor[®]. Styrodur[®] ist zum Schwimmmattenbau geeignet.

Ekazell (aus PVC) oder **Evazote** (Eva = Ethylene-Venyl-Acetat) sind erprobte Materialien in der Fischerei (Abb. 9) und scheinen mechanisch ebenfalls weit stabiler als Styropor[®] (Abb. 11). Die Auftriebskraft beider Materialien ist mit $0,6\text{-}0,8 \text{ kg dm}^{-3}$ jedoch geringer (Tab. 4). Die Zuverlässigkeit im Auftrieb von Ekazell ist der von Styropor[®] vergleichbar. Evazote verliert kaum an Auftrieb (Abb. 11), ist jedoch besonders kostenaufwendig.

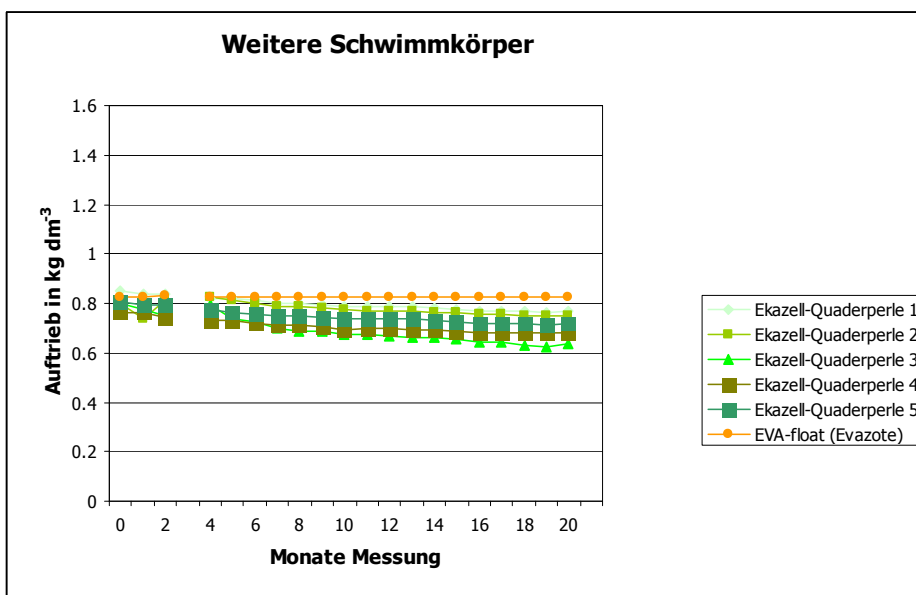


Abb. 11: Änderungen im Auftrieb (in kg dm^{-3}) bei weiteren Schwimmkörpern während 20 Monaten.

Tab. 3a: Auftriebskörper und ihre Eignung für Schwimmmattenbau.

Schwimmkörper	Auftrieb nach 1 Monat Einweichen [kg dm ⁻³]	Auftriebs- verlust [%] nach 1 Jahr (ohne 1. Monat)	Resistenz bei Eisschnitt	Druck- und Zug- Toleranz	Bemerkungen	Eignung
Weiches PE-Schaummaterial						
Schaumseil 25 mm (mst)	0.9	56.4	nein	ja		
Schaumseil 25 mm (stfi)	1.3	-3.0	nein	ja		
Schaumseil 20 mm (BOSIG)	1.0	5.6	nein	ja		
Schaumseil 25 mm (BOSIG)	0.9	5.5	nein	ja	Auftrieb und Auftriebsverluste sehr verschieden (→ verschiedene Qualitäten am Markt), Ummantelung nötig, Kosten mittel	bedingt
Schaumseil 30 mm (BOSIG)	1.0	3.3	nein	ja		
Schaumseil 40 mm (BOSIG)	1.0	3.2	nein	ja		
Schaumseil 50 mm (BOSIG)	1.0	6.1	nein	ja		
Climapor Iso-Rohr 15-10	0.8	40.4	nein	ja		
Climapor Iso-Rohr 15-20	0.9	1.7	nein	ja		
Climapor Iso-Rohr 22-20	1.0	3.2	nein	ja		
Schaumplatte 12 mm (Iso-Matte perforiert)	0.8	33.5	nein	ja		

Tab.3 b: Auftriebskörper und ihre Eignung für Schwimmmattenbau.

Schwimmkörper	Auftrieb nach 1 Monat Einweichen [kg dm ⁻³]	Auftriebs- verlust [%] nach 1 Jahr (ohne 1. Monat)	Resistenz bei Eisschnitt	Druck- und Zug- Toleranz	Bemerkungen	Eignung
Luftgefüllter Hohlkörper						
PE-Probeflasche 250ml	1.1	1	n.a.	n.a.	Auftrieb gut, bei Beschädigung kompletter Auftriebverlust	eher nicht
Styropor®						
feinkörn. Styropor Halbkugel 100 mm	0.9	0.0	bedingt	nein		
feinkörn. Styropor Halbkugel 80 mm	1.0	0.0	bedingt	nein	Auftrieb gut, mechanisch instabil	
feinkörn. Styropor Halbkugel 50 mm	0.9	0.0	bedingt	nein	(→Ummantelung nötig),	bedingt
gobkörn. Styropor Stangen	0.9	1.2	nein	nein	Haltbarkeit fraglich, Kosten von	
grobkörn. Styropor Platte perforiert	0.8	10.8	nein	nein	günstig bis hoch	
Styropor grobkörn.& wickelbar 4mm	0.7	2.3	nein	nein		
Weitere Materialien						
Ekazell-Quaderperle 1	0.8	5.5	ja	bedingt		
Ekazell-Quaderperle 2	0.7	-4.7	ja	bedingt		
Ekazell-Quaderperle 3	0.8	13.5	ja	bedingt	Auftrieb gut, mechanisch stabil, Kosten mittel	ja
Ekazell-Quaderperle 4	0.8	8.0	ja	bedingt		
Ekazell-Quaderperle 5	0.8	6.9	ja	bedingt		
EVA-float (Evazote)	0.8	0.5	ja	ja	Auftrieb gut, mechanisch stabil, Kosten hoch	bedingt

C) Entwicklung von Schwimmmatten

Im Projekt wurden neben den 9 bereits diskutierten Muster-Matten (Projektberater stfi) aus dem Mattenversuch 1 eine weitere kettengewirkte Mattenvariante vom stfi (Matte C3) getestet und weiterentwickelt (zu Matte C4). Zusätzlich wurden aus dem Projekt gewonnene Erkenntnisse zu Wasser leitenden Vliesen, Schwimmkörpern und Verbundmöglichkeiten sukzessive in 18 neu entwickelte Matten-Varianten umgesetzt (Abb. 12). Diese wurden im Gewächshaus, die Matten mit den besten Eigenschaften dann auch unter Freilandbedingungen getestet und monatlich ihr Auftrieb gemessen.



Abb. 12: In Moosfarm neu und weiterentwickelte Matten-Varianten (zu Aufbau vergl. Tabelle 4).

Tab. 4a: Charakterisierung der im Moosfarm-Projekt entwickelten/getesteten Mattenvarianten (Ausnahme Mattenversuch 1). PP = Polypropylen, PE = Polyester, PES = Polyester. Auftriebsbestimmung 1 Monat nach Einweichen, Auftriebsverlust nach 1 Jahr (ohne 1. Monat), ca. - Werte bei Auftrieb sind Schätzwerte, da Auftriebsmessung kürzer als 1 Jahr erfolgte da diese Mattenvarianten bereits wieder verworfen wurden; * - Werte nicht gemessen, sondern geschätzt nach Mattenvarianten aus gleichem Material). Mattenvariante C3 (von stfi) im Projekt weiterentwickelt zu C4. Von IASP/HUB verwendete Styropor®- und Styrodur®-Matten ähnlich zu O und P (vgl. Schlussbericht IASP), aber anderer Hersteller und Material; deshalb hier aufgelistete Matteneigenschaften nicht ohne weiteres übertragbar.

Variante	Schwimmelement	Trägermaterial	Konstruktion	Auftrieb [kg m ⁻²]	Auftriebs- verlust nach 1 Jahr (%)	getestet	Einschätzung	Eignung
ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen								
A	Schilfhalme, einlagig	Kokosfaser	Verstept alle 5cm	0.8	100*	Gewächshaus	rollbar, Auftrieb zu gering	nein
D		Kokosfaser doppelt, mit Bambusstäbchen stabilisiert	Verstept alle 5cm	0.07	100*	Gewächshaus	rollbar, Auftrieb zu gering	nein
E	Schilfhalme, 3-lagig	Kokosfaser	Verstept alle 5cm	1.0	100*	Gewächshaus	rollbar, Auftrieb zu gering	nein
Mischvariante aus synthetischem und nachwachsendem Material								
B2	PP-Vlies (recycelt, 450)	Kokosfaser	Verstept alle 5cm	ca. 0.03	100*	Gewächshaus	rollbar, Auftrieb zu gering	nein
F	luftgefüllter Schwimmkörper extern	Geogitter + PP-Vlies (recycelt, 450) + Kokosfaser	Verstept alle 5cm, Schwimmkörper verdrahtet	13.3*	1*	Gewächshaus	rollbar, inhomogenes Schwimmverhalten (hängt in der Mitte durch), luftgefüllte Schwimmkörper leicht verletzbar, hochwertige Pfänder aber wiederum zu teuer	nein

Tab. 4 b: Charakterisierung der im Moosfarm-Projekt entwickelten/getesteten Mattenvarianten.

Variante	Schwimmelement	Trägermaterial	Konstruktion	Auftrieb [kg m ⁻²]	Auftriebs- verlust nach 1 Jahr (%)	getestet	Einschätzung	Eignung
Mischvariante aus synthetischem und nachwachsendem Material								
G	PE-Schaumseil (Ø 25mm)	2 Lagen PP-Vlies (recycelt, 450) + Kokosfaser	versteppt, alle 5 cm; je 1 Schaumseil	8.5	39	Gewächshaus	rollbar, eingeweichtes Kokosmaterial scheint Torfmoos zu „vergiften“, ohne Kokos weiter → J	bedingt, als J
H	PE-Schaumseil (Ø 25mm)	2 Lagen PP-Vlies (recycelt, 450) + Kokosfaser	versteppt, alle 10 cm; je 2 Schaumseile	8.5*	39*	Gewächshaus	rollbar, eingeweichtes Kokosmaterial scheint Torfmoos zu „vergiften“, ohne Kokos weiter → J	bedingt, als J
ausschließlich aus synthetischen Materialien								
C1a	PP-Vlies (Nadelvlies, 100)		ohne	0.4	100*	Gewächshaus	rollbar, zu geringer Auftrieb	nein
C1b	PP-Vlies (recycelt, 450)		ohne	0	100	Gewächshaus	rollbar, zu geringer Auftrieb	nein
C2	PE-Schaumseil (Ø 25mm)	PES-Doppelvlies (Malimo)	versteppt	3.7	n.a.	Gewächshaus	rollbar, zu geringer Auftrieb, inhomogenes Schwimmverhalten	nein
C3	PE-Schaumseil (Ø 25mm)	PES-Spinnvlies weiß (25)	kettengewirkt	7	n.a.	Gewächshaus	rollbar, weißes Vlies sehr veralgelt, Auftrieb etwas zu gering	bedingt, weiterent- wickelt → C4
C4	PE-Schaumseil (Ø 25mm)	PE-Spinnvlies, UV- stabilisiert, eingefärbt	kettengewirkt	10,8	33	Gewächshaus , Freiland	rollbar, nicht vom Projektpartner MST produzierbar, eher teuer, etwas zu geringer Auftrieb, Weiterentwicklung	ja

Tab. 4 c: Charakterisierung der im Moosfarm-Projekt entwickelten/getesteten Mattenvarianten.

Variante	Schwimmelement	Trägermaterial	Konstruktion	Auftrieb [kg m ⁻²]	Auftriebs- verlust nach 1 Jahr (%)	getestet	Einschätzung	Eignung
ausschließlich aus synthetischen Materialien								
I	luftgefüllter Schwimmkörper extern	Geogitter + PP-Vlies (recycelt, 450)	versteppt, alle 5 cm; Schwimmkörper verdrahtet	7,99*	1*	Gewächshaus	rollbar, inhomogenes Schwimmverhalten (hängt in der Mitte durch), luftgefüllte Schwimmkörper leicht verletzbar, hochwertige Pfänder aber wiederum zu teuer	nein
J	PE-Schaumseil (Ø 25mm)	2 Lagen PP-Vlies (recycelt, 450)	versteppt, alle 5 cm; je 1 Schaumseil	8,5*	39*	Gewächshaus , Freiland	rollbar, etwas zu geringer Auftrieb, eher teuer, Weiterentwicklung mit besserem PE-Material nötig	bedingt
K	Styropor-Linsen (Ø 10cm)	PP-Vlies (recycelt, 450)	Linsen netzförmig verbunden, 1 Lage Vlies aufgelegt	16,7	1	Gewächshaus	rollbar, Verbindung der Linsen noch nicht maschinell getestet, Linsen eher teuer, Weiterentwicklung nötig	bedingt
L	Styrodur-Streifen (Querschnitt 5x3x2cm)	2 Lagen PP-Vlies (recycelt, 450)	versteppt, alle 5 cm; je 1 Streifen	10,9	2	Gewächshaus	rollbar, aber komplizierter in Herstellung als Styrodur-Platten-Variante P	bedingt
M	PE-Schaummatte („Isomatte“, Stärke 1,2 cm)	PP-Vlies (recycelt, 450)	Isomatte perforiert, 1 Lage Vlies aufgelegt	8,7	34	Gewächshaus	rollbar, etwas zu geringer Auftrieb, Weiterentwicklung nötig	bedingt

Tab. 4 d: Charakterisierung der im Moosfarm-Projekt entwickelten/getesteten Mattenvarianten.

Variante	Schwimmelement	Trägermaterial	Konstruktion	Auftrieb [kg m ⁻²]	Auftriebs- verlust nach 1 Jahr (%)	getestet	Einschätzung	Eignung
ausschließlich aus synthetischen Materialien								
N	PE-Schaumseil (∅ 40mm)	Geogitter + PP-Vlies (recycelt, 450)	versteppt, alle 5 cm; Schaumseil alle 7,5 cm manuell mit Kabelbindern am Geogitter unter d. Matte befestigt; ähnlich Mattentyp Ib	11	11	Gewächshaus , Freiland	rollbar, noch kein maschinelles Verfahren zum Befestigen der Schwimmkörper, Weiterentwicklung nötig, eher teuer	bedingt
O	Styropur-Platte 2cm stark	2 Lagen PP-Vlies (recycelt, 450)	jeweils eine Vlieslage über u. unter der Platte; versteppt, alle 5 cm	16,5	2	Gewächshaus , Freiland	faltbar, eingeweichtes Platten-Styropor leicht zerbrechlich, wenn auch durch Vliesummantelung +/- fixiert, Langzeiteignung und mechan. Belastbarkeit bei Säen und Ernten muss noch erwiesen werden, kostengünstig	ja
P	Styrodur-Platte 2cm stark	2 Lagen PP-Vlies (recycelt, 450)	jeweils eine Vlieslage über u. unter der Platte; versteppt, alle 5 cm	18	1	Gewächshaus , Freiland	faltbar, absolut stabiles Auftriebsverhalten und mechan. Belastbarkeit, eher teuer	ja

Im **Mattenversuch 2** wurden folgende Matten-Typen (vgl. Tab. 4 und Abb. 12) getestet:

- A (Schilf +Kokos)
- B2 (Vlies und Kokos)
- C1a (Nadelvlies)
- C1b (Recycl. Vlies)
- C2 (Vlies und Schaumseil, gesteppt)
- C3 (Vlies und Schaumseil, kettengewirkt)
- D (Kokosfaser)

Ausschließlich die Matten mit Schaumseil (C2 und C3) konnten die ausgebrachten Moose tragen. Alle anderen wurden mit PE-Climapor-Rohr „nachgerüstet“. Die Matte C2 hing zwischen den Schwimmseilen durch. Dies war negativ für die Etablierung der als Saatgut fragmentierten Moose. Daraus folgt:

- Genügend Auftrieb kann nur mit starken Schwimmkörpern realisiert werden.
- Schwimmende Matten versorgen Moose ausreichend mit Wasser.
- Querstabilität ist wichtig, um Moosen Etablierung zu ermöglichen.

Im **Mattenversuch 3** wurden deshalb Mattenvarianten mit Geogitter für mehr Querstabilität und externen bzw. internen Schwimmkörpern entworfen und in Handarbeit hergestellt (Ausnahme: E von mst):

- E (3 Lagen Schilf +Kokos)
- F (Vlies, Geogitter, Kokos, Plastikflaschen als externer Schwimmkörper)
- G (Doppelvlies, Kokos, PE-Schwimmseil als interner Schwimmkörper)
- H (wie G, aber 2 Schwimmseile nebeneinander)
- I (wie F, ohne Kokos)
- J (Wie G, ohne Kokos).

Alle Mattentypen konnten die Fracht eines 10 cm-Torfmoosrasens tragen (Ausnahme: die Schilfmatte mit Auftrieb = 0 nach 6 Monaten, vgl. Abb. 13, Tab. 4).

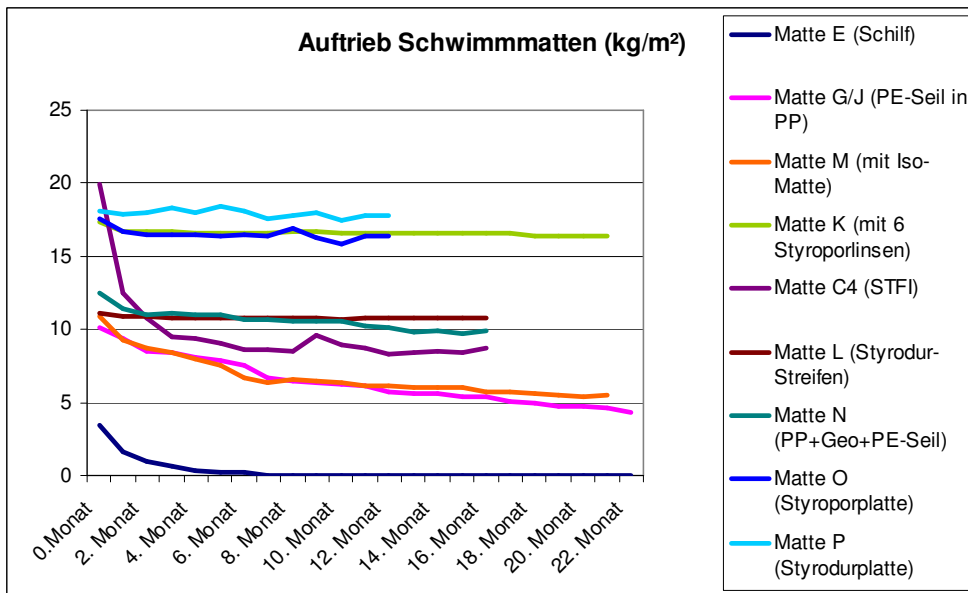


Abb. 13: Auftriebsentwicklung von selektierten Mattenvarianten. Mindestanforderung für die Torfmooskultivierung ist 10 kg m^{-2} .

Bei allen Mattenvarianten sind Auftriebsverluste zu beobachten. Diese sind besonders stark innerhalb des 1. Monats, weil noch Luft erst aus den Poren einzelner Mattenkomponenten entweicht. Matten mit randlichen Schwimmkörpern benötigen eine zusätzliche Stabilisierung. Auf den Matten mit internen Schwimmkörpern (H, J, G) wachsen die Moose im Schnitt am besten, auf der auftriebsschwachen Schilfmatte am schlechtesten (Abb. 14).

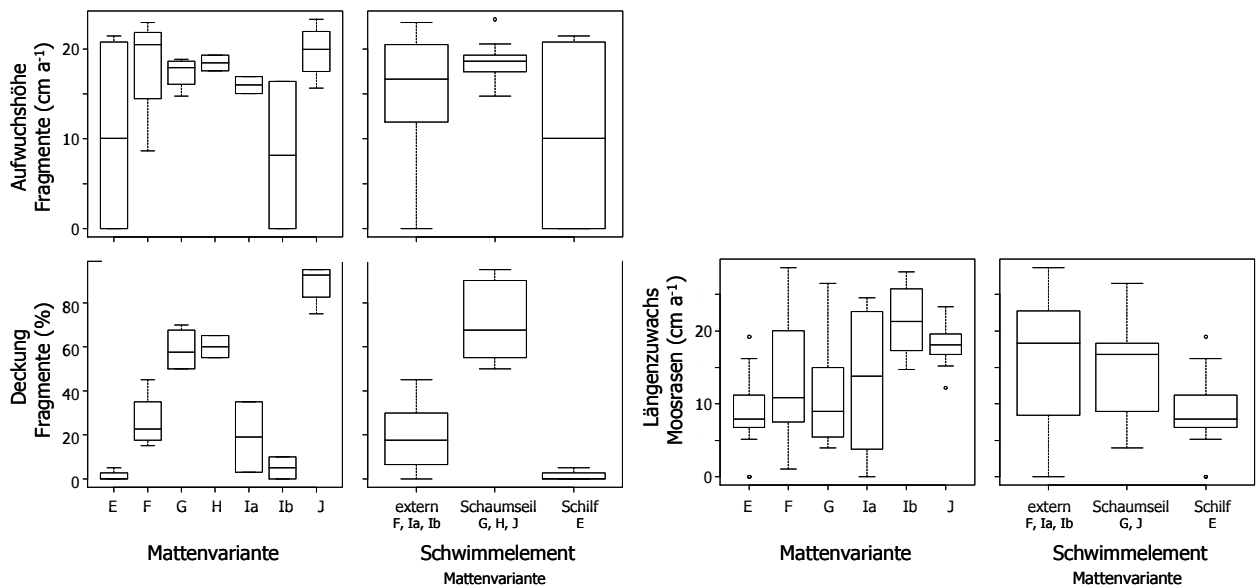


Abb. 14: Zuwächse (jährlich) und Deckungen der Torfmoose bei Ausgangslängen Fragment („Saatgut“) und Rasen („Erntegut“). Mattenvarianten: E (3 Lagen Schilf +Kokos), F (Vlies, Geogitter, Kokos, Plastikflaschen als externer Schwimmkörper), G (Doppelvlies, Kokos, PE-Schwimmseil als interner Schwimmkörper), H (wie G, aber 2 Schwimmseile nebeneinander), I (wie F, ohne Kokos), J (Wie G, ohne Kokos).

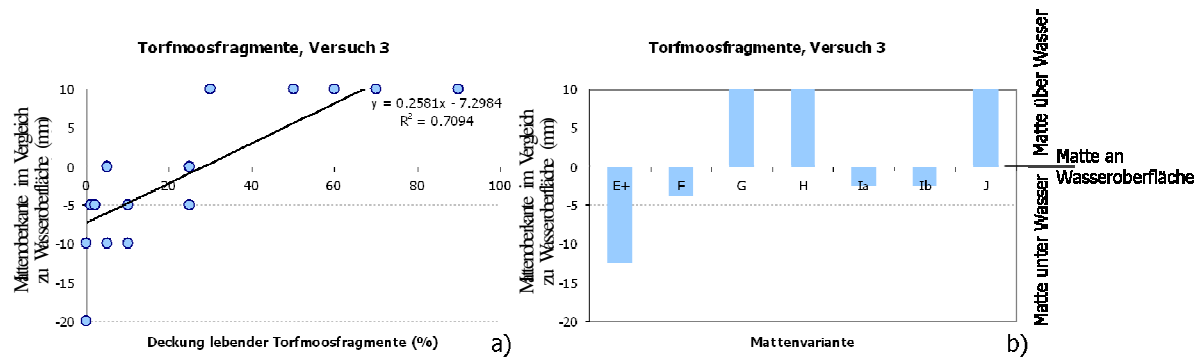


Abb. 15: a) Deckung lebender Fragmente von *Sphagnum fallax* (%) nach 4 Monaten in Abhängigkeit von der Tauchtiefe der Matten und b) Mittlere Tauchtiefe der einzelnen Mattenvarianten (E (3 Lagen Schilf +Kokos), F (Vlies, Geogitter, Kokos, Plastikflaschen als externer Schwimmkörper), G (Doppelvlies, Kokos, PE-Schwimmseil als interner Schwimmkörper), H (wie G, aber 2 Schwimmseile nebeneinander), I (wie F, ohne Kokos), J (Wie G, ohne Kokos)). Positiver Wert = Mattenoberkante über Wasser, negativer Wert = Mattenoberkante unter Wasser.

Besonders kritisch sind tief im Wasser hängende Schwimmmatten in der Etablierungsphase (Abb. 15). Hier benachteiligte Moose können nicht mehr aufholen.

Versteppte Kokosfasern sollten die Oberflächenrauigkeit der Matten erhöhen und somit dem Herunterspülen der Torfmoose entgegenwirken. Auf Matten mit Kokosfasern wurde nach 2 Monaten ein zunehmendes Absterben der Moose beobachtet (Abb. 16). Vergleicht man das Wasser von Mattenvarianten mit und ohne Kokos, finden sich keine nennenswerten Unterschiede in pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit. Nährstoffuntersuchungen ergaben signifikant höhere Natrium- und Kalium-Werte bei Matten mit Kokosaufgabe, diese sind für Torfmoose aber nicht bedenklich. Möglicherweise führt eine höhere Nährstoffverfügbarkeit zur Förderung von Pilzwachstum und damit indirekt zur Schädigung der Moose. Denkbar wäre auch, dass die Kokosfasern im leicht sauren Milieu der Nährlösung Moos-schädigende Substanzen absondern.

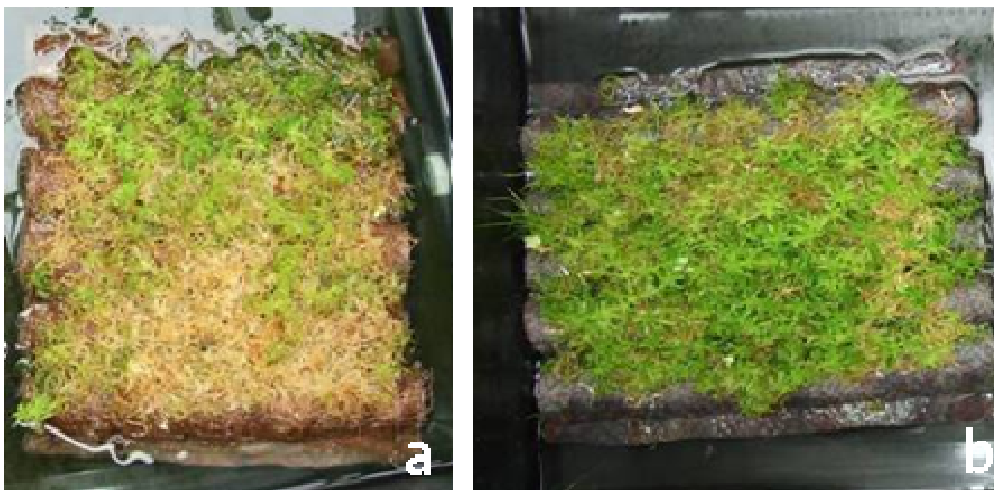


Abb. 16: Torfmoosfragmente 2 Monate nach Beginn des Vorversuchs 3 auf a) Matte G (mit Kokosfaser), b) Matte J (ohne Kokosfaser).

Daraus folgt:

- Externe Schwimmkörper erfordern Einbau von z. B. Geogitter für Querstabilität.
- Kein Kokos verwenden.
- Schilf im Auftrieb auch 3lagig nicht zuverlässig genug, synthetische Auftriebskörper bisher unersetzbar.
- Etablierungsphase der Torfmoose besonders kritisch (dürfen nicht unter Wasser geraten).
- Torfmooswachstum am besten auf Matten mit internem Schwimmkörper (PE-Schwimmseil).
- Mattentyp J ausgewählt für Test im Feldversuch (vgl. Kap. 2.3).

Für den **Vorversuch 4** wurden die auftriebsstarken Polysterol-Materialien (Styropor[®] als Linsen und Styrodur[®] in Streifen für Rollbarkeit), weicher PE-Schaumstoff als Platten und als 40er Schaumseile sowie eine verbesserte kettengewirkte Mattenvariante (stfi) getestet:

- K (vernetzte Styroporlinsen[®], Vlies)
- L ([®]streifen zwischen Doppellage Vlies)
- M (PE-Schaumplatte perforiert, Vlies)
- N (PE-Schaumseil dick unter Geogitter, Vlies)
- C4 (PE-Schaumseil, PE-Spinnvlies, kettengewirkt)

Die Wasserversorgung der Torfmoose war auf allen Matten-Varianten gegeben. Selbst das plattige PE-Schaummaterial ist in dieser Hinsicht völlig unproblematisch, allerdings lässt der Auftrieb stark nach (Tab. 3). Die Transportierbarkeit der plattigen Mattenvarianten ist über Klappen (nicht nur wie bisher Rollen) zu realisieren. Starke Mikroreliefierung, wie sie bei den Varianten K (Styroporlinsen[®]) und L ([®]streifen) entsteht, hemmte zumindest vorübergehend die Etablierung der Moosfragmente in den nassen Mikroschlenken. Zudem waren die Styroporlinsen[®] bisher gegen mechanische Einflüsse ungeschützt, was aber durch deren Ummantelung oder die Verwendung von Vlies auf der Ober- und Unterseite der Linsen (ähnlich Matte J) verbessert werden könnte. Die Herstellung dieser Mattenvarianten erfolgte manuell. Ein maschinelles Produktionsverfahren für die Styroporlinsen- und Styrodurstreifen-Matten (K und L) gibt es (noch) nicht und ist mit längssteppenden Maschinen des Industriepartners mst nicht realisierbar. Allein schon deswegen ist eine Praxistauglichkeit im größeren Maßstab derzeit nicht. In der Weiterentwicklung entstanden daraus aber die Varianten O und P mit plattigem Styropor[®] (O) bzw. Styrodur[®] (P). Diese Matten können beim Projektpartner mst produziert werden.

4 Mattenvarianten gehen in Freilandversuche ein: die kettengewirkte Variante C4, die Geogitter-Schaumseil-Variante N, die als Platten abgewandelte Styropor[®]- und Styrodur[®]-Matte (neu als Varianten O und P)

Die jährlichen Längenzuwächse der Fragmente und der „Rasen“ liegen mit ca. 25 cm a⁻¹ etwas höher als in Versuch 3. Unterschiede zwischen den Mattenvarianten gibt es nur geringe (auf L und M etwas höhere Werte bei Torfmoosrasen). Die Deckung vitaler Torfmoosfragmente variiert etwas: 100 % Deckung werden auf C4 erreicht, um die 90 % auf K, L, M und etwas über 70 % auf N. Die häufigste Gefäßpflanze war zum wiederholten Mal *Juncus effusus* mit finalen Längen von ca. 16 cm (z. T. abgefressen von Insekten). Die Anzahl von *Juncus*-Keimlingen reicht von < 10 pro m² (Matte C4) bis über 1000 pro m² (Matten N). Vergleiche dazu auch Abb. 17 a und b.

An den Mattenrändern neigen Torfmoose zum Herunterfluten, was zu einer Verringerung des Rasenniveaus führt, obwohl dort die längsten Torfmoose wachsen (flutende Moose nicht in Untersuchungen einbezogen). Derlei Randeffekte relativieren sich möglicherweise bei größeren Mattenflächen. Am Ende des Versuches war ein massiver Befall der Torfmoose mit dem parasitischen Pilz *Tephrocye palustris* zu verzeichnen. Etwa die Hälfte der Torfmoose starb ab (vgl. Kap. 2.5.3).

Schlussfolgerungen:

- Torfmooswachstum sehr gut, bis am Versuchsende Pilzbefall zu massivem Torfmoosabsterben führte
- starke Mikroreliefierung ungünstig für Torfmoos-Etablierung
- *Juncus effusus* häufigste Gefäßpflanze
- Perforieren bei plattigem Material nicht notwendig, solange Vlies großflächig Wasserkontakt hat
- Transportierbarkeit auch über Klappen von plattigen Materialien möglich

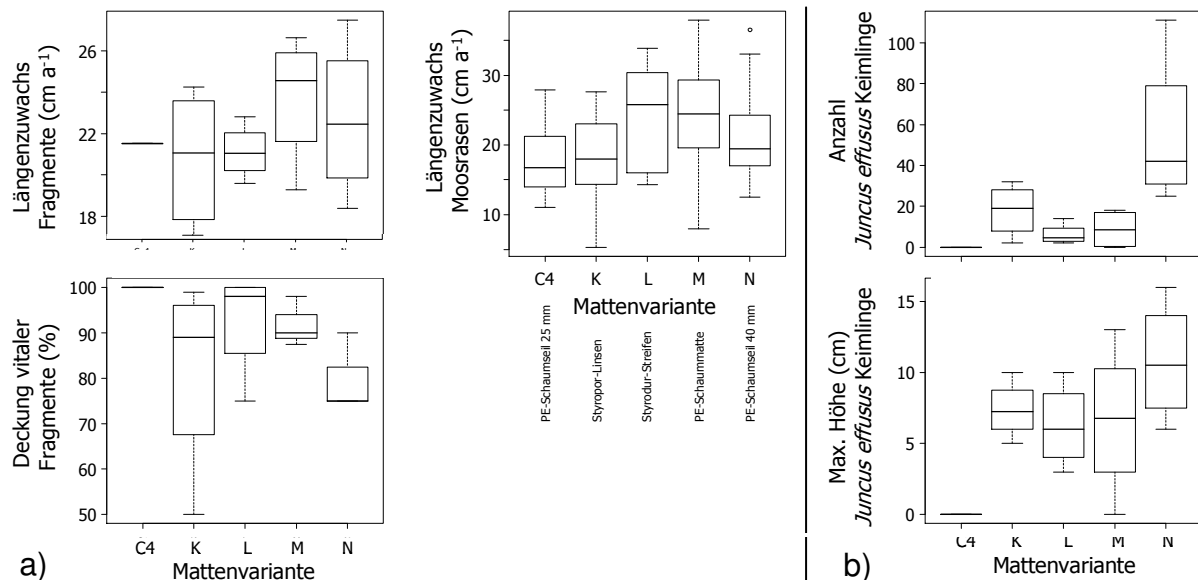


Abb. 17: a) Jährliche Zuwächse und Deckungen der Torfmoose bei Ausgangslängen „Fragment“ (li) und jährliche Zuwächse bei „Rasen“ (re). b) Anzahl und max. Höhe von *Juncus effusus* bei Ausgangslängen „Fragment“.

Zusammenfassung

- Alle getesteten Vlies-Materialien konnten eine ausreichende Wasserversorgung der Torfmoose gewährleisten.
- Die Verwendung von Kokosfasern hat zu großflächigem Absterben der Torfmoose geführt.
- Materialien für Schwimmkörper, mit denen ein Auftrieb von 10 kg m⁻² realisiert werden kann, sind Evazote, Styrodur®, Styropor® und Ekazell (Reihung folgt zunehmenden Auftriebsverlusten nach 1 Jahr sowie dem Kostenaufwand). Auftriebsverluste für diese Materialien liegen nach einem Jahr bei 0-10 %. Weicher und geschlossener PE-Schaum ist grundsätzlich ebenfalls geeignet, hat aber aus noch nicht geklärter Ursache Auftriebsverluste in einer Spanne von 2 bis >50 %.

- Styropor[®] und PE-Schaummaterial sind leicht zerstörbar und sollten deshalb nur ummantelt benutzt werden.
- Nach bisherigem Erkenntnisstand verfügen Schwimmkörper aus Schilf nicht für dauerhaft genügend Auftrieb.
- Von 20 entwickelten und in Gewächshausversuchen getesteten Mattenvarianten konnten 5 maschinentechnisch umgesetzt und erfolgreich im Freiland verwendet werden (Varianten C4, J, N, O und P).
- Matten mit besserer mechanischer Belastbarkeit und damit Haltbarkeit sind teurer.
- Homogenität im Schwimmverhalten der Matten ist besonders in der Etablierungsphase von Torfmoos-Fragmenten entscheidend. Deshalb:
 - Matteninterne und gleichmäßig verteilbare Schwimmkörper sind aus Gründen der höheren Mattenstabilität und homogeneren Schwimmverhaltens externen vorzuziehen und
 - Starke Mikroreliefierung der Mattenoberfläche ist ungünstig.
- Nach 2 Wochen Versuchsdauer konnte die Bildung neuer Capitula (Wachstumspunkte der Torfmoose) beobachtet werden. Für *Sphagnum fallax* wurden maximale jährliche Längenzuwächse von bis zu 21 cm erreicht.
- *Juncus effusus* ist die präsenteste Gefäßpflanze.
- Infektion mit parasitischen Pilzen kann problematisch sein.

2.2 Charakterisierung potentieller Kultivierungsstandorte (AP 3)

Von der EMAU und dem Industriepartner MoKuRa wurden in Niedersachsen in der Umgebung von Ramsloh drei Gewässer für Freilandversuche ausgewählt (Abb. 18):

- (1) das Gewässer einer **Sandentnahmestelle**, z. Zt. nicht in Nutzung,
- (2) eine nach Abtorfung überstaute Hochmoorfläche ohne Vornutzung (Heidemoor, im Folgenden **E-Moor**) und
- (3) eine nach Abtorfung überstaute Hochmoorfläche mit der Vornutzung als Grünland (im Folgenden **LW-Moor**).

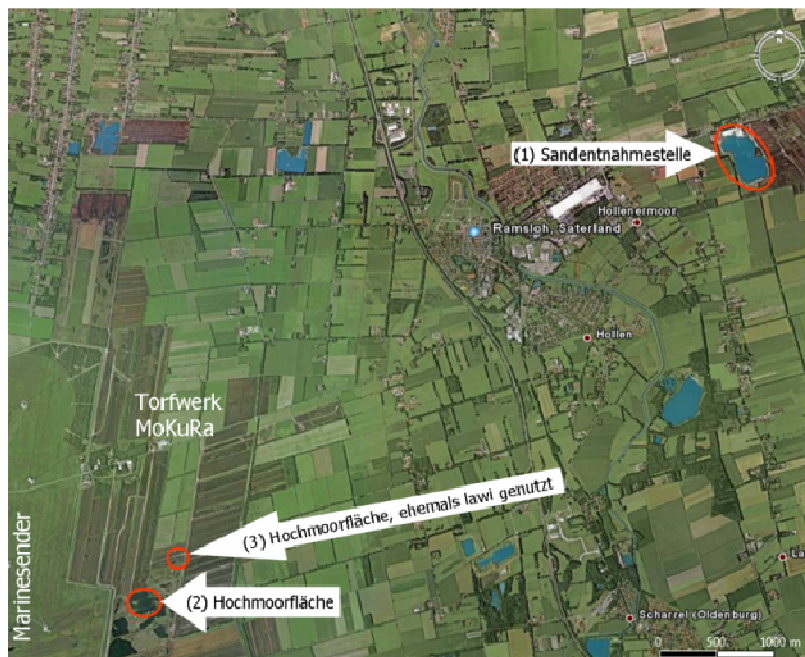


Abb. 18: Lage der Versuchsflächen für die Feldversuche in Niedersachsen (Bildgrundlage: Google Earth).

2.2.1 Lage, Nutzungsgeschichte und Zuständigkeit für die Flächen

Alle Untersuchungsflächen befinden sich im Norden des Landkreises Cloppenburg, Gemeinde Saterland (Niedersachsen) im nordwestdeutschen Tiefland. Sie gehören zur Region Esterweger Dose, eines der ehemals größten zusammenhängenden Hochmoorgebiete Westeuropas. Durch großflächige Nutzung (d.h. Entwässerung, Brenntorfgewinnung, landwirtschaftliche Nutzung bis hin zu industrialisiertem Torfabbau) über mehrere Jahrhunderte hinweg sind heute nur kleine Reste lebenden Hochmoores erhalten.

Im Bereich des E-Moors wurde 1927 bis 1970 Weißtorf und in den Folgejahren bis 1997 Schwarztorf abgebaut. Das LW-Moor wurde Anfang des 20. Jahrhunderts kultiviert und als Grünland landwirtschaftlich genutzt, bevor 1996 bis 2002 der Torf für Champignon-Deckerde abgebaut wurde. Als Folgenutzung ist für beide Flächen „Regeneration“ vorgesehen, die durch Polderung nach Vorgaben der Unteren Naturschutzbehörden eingeleitet wurde. Eine Resttorfschicht von mindestens 50 cm Dicke verhindert das Absickern des Regenwassers, so dass sich in den Poldern Flachwasserseen mit Wasserständen von durchschnittlich ca. 50 cm über Geländeoberfläche (GOF) bilden. Beide Regenerationsflächen sind Teil des NSG Esterweger Dose und für Forschungszwecke freigegeben. Der

Industriepartner MoKuRa ist für die Pflege der Flächen zuständig, indem die Dämme von Gehölzen freigehalten werden.

Das Sandgrubengewässer ist eine wassergefüllte, momentan inaktive Sandgrube, die sich zwischen Ramsloh und Elisabethfehn befindet. Eigentümer ist das Fuhrunternehmen Niemeyer aus Saterland-Ramsloh.

Zur Charakterisierung der Standorte wurde im Herbst 2007 die Vegetation am Rand und in der Umgebung der Gewässer kartiert. Von Oktober 2007 bis Dezember 2008 lief ein monatliches Monitoring der Gewässergüte, 2009 wurde dies vierteljährlich fortgeführt. Außerdem wurde von Dezember 2007 bis Dezember 2009 der Niederschlag gemessen und analysiert.

2.2.2 Floristische Inventarisierung

Die floristische Inventarisierung beschreibt die nähere Umgebung, der Untersuchungsflächen um den Samen- und Diasporeneintrag (auch von Torfmoosen) auf die Schwimmmatten einschätzen zu können.

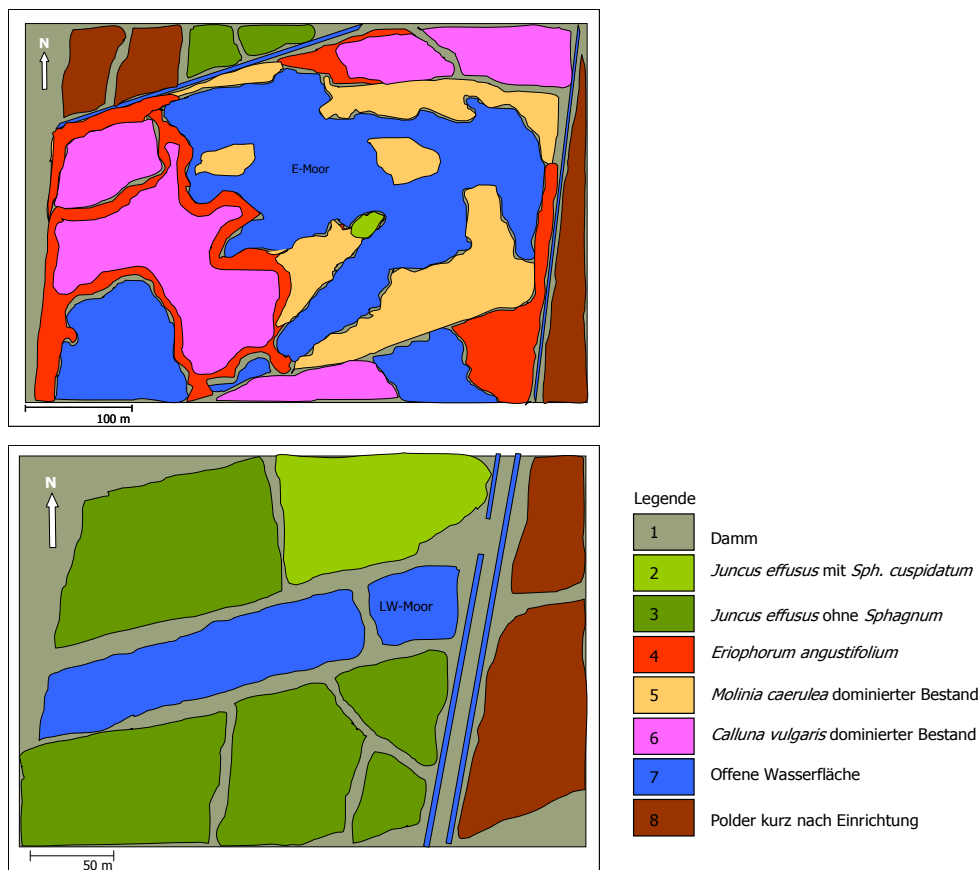


Abb. 19: Charakterisierung der Umgebung der beiden Moorgewässer (E- und LW-Moor).

In Anlehnung an das Prinzip der Biotopkartierung wurden die Häufigkeiten der Arten geschätzt und in drei Kategorien (1 – vereinzelt; 2 – selten bis stetig vertreten; 3 – flächendeckend) eingeteilt. Diese Daten bildeten Grundlage für die Ausgliederung verschiedener Bereiche der dominierenden bzw. bestandsbildenden Arten für die beiden Moorgewässer (Tab. 5, Abb. 19).

Um das E-Moor haben sich nach der Polderung für „Regeneration“ Heideflächen mit *Calluna vulgaris* entwickelt. Des Weiteren sind *Eriophorum angustifolium* und *Molinia caerulea* dominierende Arten. Das LW-Moor ist vollständig von Binsen (*Juncus effusus*) umstanden.

Tab. 5: Artenliste für die Umgebung der Moorgewässer (E- und LW-Moor), nach Kategorien: 1 – vereinzelt; 2 – selten bis stetig vertreten; 3 – flächendeckend.

Aufnahmedatum	22.9.07	21.9.07	21.9.07	22.9.07	22.9.07	22.9.07	22.9.07	22.9.07
Name	Damm	Juncus mit Sphagnum	Juncus ohne Sphagnum	Eriophorum	Molinia	Calluna	Wasserfläche	neuer Polder
Arten								
Moose								
<i>Sphagnum cuspidatum</i>		2		3	3		2	
<i>Dicranella heteromalla</i>	2							
<i>Campylopus introflexus</i>	1					1		
<i>Drepanocladus exannulatus</i>		2						
<i>Polytrichum commune</i>	1		2			2		
Gefäßpflanzen								
<i>Poaceae indet. 1</i>	3							
<i>Juncus bulbosus</i>		3		2			2	2
<i>Juncus effusus</i>	2	3	3	2				2
<i>Eriophorum angustifolium</i>	1		2	3	2			
<i>Molinia caerulea</i>	2			2	3	2		
<i>Calluna vulgaris</i>	1			1	1	3		
<i>Polygonum hydropiper</i>	2	2						
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	2	1		1				
<i>Rubus spec.</i>	2					1		
<i>Rumex acetosella</i>	2					1		2
<i>Poaceae indet. 2</i>	2							
<i>Epilobium spec.</i>	2							
<i>Salix cf. aurita</i>	1	1	2					
<i>Holcus lanatus</i>	1					1		
<i>Bidens tripartita</i>	1		1					
<i>Agrostis capillaris</i>	1		1			1		
<i>Betula pubescens</i>	1		1	1		1		
<i>Drosera rotundifolia</i>	1		1		1			
<i>Dryopteris filix-mas</i>	1			1				
<i>Osmunda regalis</i>	1			1		1		
<i>Erica tetralix</i>	1			1	1	1		
<i>Carex spec.</i>					1			
<i>Glyceria spec.</i>								
<i>Hieracium laevigatum</i>	1							
<i>Calamagrostis epigejos</i>	1							
<i>Hypochoeris radicata</i>	1							
<i>Prunus serotina</i>	1							
<i>Lotus cf. corniculatus</i>	1							
<i>Potentilla erecta</i>	1							
<i>Rubus idaeus</i>	1							
<i>Sorbus aucuparia</i>	1							

Für die Sandgrube wurden nur Artenlisten angefertigt (Tab. 6). Das Gelände ist durch Abbau- und Transportarbeiten stark überprägt. Bodenmaterial ist zu größeren Haufen aufgeschoben, die nun von Ruderalpflanzen besiedelt werden. Das weniger stark bearbeitete Südufer ist v. a. von Erlen (*Alnus glutinosa*) gesäumt. Rings um das Gewässer befinden sich Äcker, die den Sommern 2008 und 2009 mit Mais bestanden waren.

Torfmoosvorkommen

In den abgetorfte, überstauten Hochmoorflächen ist *Sphagnum cuspidatum* stark verbreitet. Es ist in den Randbereichen der Gewässer, in zeitweise überfluteten Bereichen und in Bereichen dauerhaft hohen Grundwassers anzutreffen.

In der Umgebung der Sandentnahmestelle konnten keine Torfmoose nachgewiesen werden.

Tab. 6 a + b: Artenliste für die Umgebung der Sandgrube, A- Erlengebüsch, B- Abraumhügel, C- Wasservegetation.

Aufnahmedatum	23.9.07	28.9.07	Aufnahmedatum	23.9.07	28.9.07	23.9.07
Name	A	B	Name	A	B	C
Moose			Gefäßpflanzen			
<i>Polytrichum commune</i>	3		<i>Cirsium arvense</i>	1		
<i>Pellia endivifolia</i> cf.	1		<i>Bellis perennis</i>	1		
Gefäßpflanzen			<i>Epilobium</i> cf. <i>palustre</i>	1		
<i>Alnus glutinosa</i>	3		<i>Eupatoria</i> cf. <i>cannabina</i>	1		
<i>Agrostis capillaris</i>	2		<i>Rumex acetosella</i>	1		
Asteraceae	2		<i>Salix</i> cf. <i>aurita</i>	1		
<i>Bidens tripartita</i>	2		<i>Salix viminalis</i>	1		
<i>Holcus lanatus</i>	2		<i>Lolium perenne</i>	1		
<i>Juncus effusus</i>	2		<i>Lotus</i> cf. <i>corniculatus</i>	1		
<i>Holcus lanatus</i>	2		<i>Lycopodiella inundata</i>	1		
<i>Sarothamnus scoparius</i>	2	1	<i>Lycopus europaeus</i>	1		
<i>Prunus serotina</i>	1	2	<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	1		
<i>Senecio inaequidens</i>		2	<i>Hypochoeris radicata</i>	1		
<i>Senecio sylvaticus</i>		2	<i>Plantago major</i>	1	1	
<i>Stellaria media</i>		2	<i>Hypericum perforatum</i>	1	1	
<i>Trifolium repens</i>		2	<i>Juncus bufonius</i>		1	
<i>Polygonum persicaria</i>		2	Chenopodiaceae		1	
<i>Oenothera biennis</i>		2	<i>Melilotus alba</i>		1	
Brassicaceae		2	<i>Rubus</i> spec.		1	
<i>Gnaphalium uliginosum</i>		2	<i>Papaver</i> cf. <i>rhoeas</i>		1	
<i>Euphorbia helioscopia</i>		2	<i>Phleum pratense</i>		1	
<i>Galinsoga parviflora</i>		2	<i>Juncus articulatus</i>	1		1
			<i>Glyceria fluitans</i>			1
			<i>Typha</i> spec.			1
			<i>Tripleurospermum maritimum</i>		1	
			<i>Vicia</i> cf. <i>angustifolia</i>		1	
			<i>Solanum</i> cf. <i>alatum</i>		1	
			<i>Sonchus</i> cf. <i>oleracea</i>		1	
			<i>Spergula arvensis</i>		1	
			<i>Stachys palustris</i>		1	
			<i>Juncus bulbosus</i>			2

2.2.3 Wasserqualität

Monatlich bzw. 2009 vierteljährlich wurden an jeweils vier Stellen pro Gewässer Oberflächenwasserproben entnommen. Im Oktober 2008 wurde dazu das Tiefenwasser der Sandgrube beprobt.

Analyse

Im Gelände wurden der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit mit einem Handgerät (Hanna 98129) gemessen. Die entnommenen Proben wurden umgehend gefiltert (Druckfilter, Porenweite 45 µm) und bis zur Analyse im Labor eingefroren. Ein Teil der Proben wurde zudem zur Konservierung mit Schwefelsäure angesäuert.

Bestimmt wurden Ammonium (NH_4^+), Nitrat (NO_3^-), Gesamtphosphat, Orthophosphat, (mit UV/VIS Photometer Cecil CE 1021); Natrium (Na^+), Calcium (Ca^{2+}), Kalium (K^+) (mit Flammenphotometer Jenway PFP 7) und Chlorid (Cl^-) (mit Ionenselektiver Elektrode ELIT 8261). Sowie Aluminium (Al^{3+}), Eisen (Fe^{2+}), Magnesium (Mg^{2+}), Silizium (Si), Zink (Zn) und Mangan (Mn^{2+}) (mit Photospektrometer IRIS Intrepid II).

Das Wasser des E-Moors weist die geringsten Nährstoffgehalte und deshalb auch die geringste Leitfähigkeit auf (Abb. 20). Die Ionengehalte des Sandgrubengewässers (in der Tiefe ähnlich wie an der Oberfläche) liegen mit Ausnahme des Phosphates deutlich über denen der Moorgewässer, vermutlich infolge eines erhöhten Nährstoffeintrages aus den umliegenden Äckern bzw. wegen eines möglichen Grundwasseranschlusses.

Auffällig sind die hohen Phosphatkonzentrationen im Wasser des LW-Moores. Ursache hierfür ist möglicherweise die nach dem Torfabbau wieder aufgetragene Grünlandnarbe („Bunkerde“, oberste Torfschicht), in der durch Düngung die Nährstoffe angereichert sind, welche durch die Überstauung jetzt im Wasser gelöst vorliegen. Aufgrund weniger Bindungspartner (Kationen, Fe(III)-Hydroxide, Aluminiumverbindungen) werden die Phosphate nicht durch Redox- und Fällungsreaktionen festgelegt, sondern sind frei verfügbar (Ortho-Phosphat).

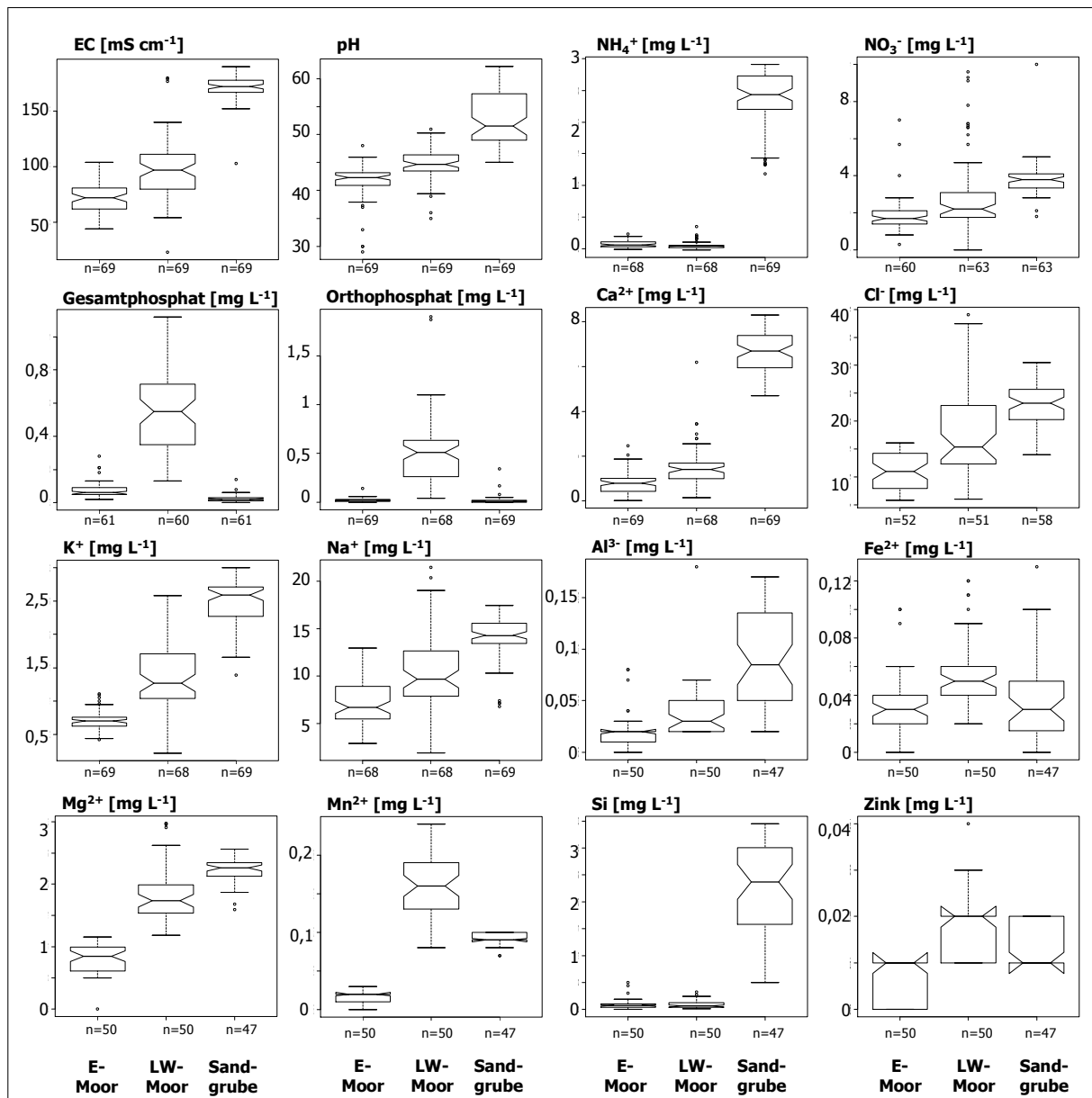


Abb. 20: Oberflächenwasserqualität von E-Moor, LW-Moor und Sandgrube, beruhend auf den Messwerten von Oktober 2007 bis Mai 2009 für elektrische Leitfähigkeit (EC), pH-Wert, NH₄⁺, NO₃⁻, Gesamtphosphat, Orthophosphat, Ca²⁺, Cl⁻, K⁺ und Na⁺ sowie Messwerten von Oktober 2007 bis August 2008 für Al³⁺, Fe²⁺, Mg²⁺, Mn²⁺, Si und Zink. In den Boxplots sind jeweils der Median (Querbalken), oberes und unteres Quartil sowie Extremwerte dargestellt.

2.2.4 Klimadaten und Witterung im Untersuchungszeitraum

Im Untersuchungsgebiet werden Menge und Qualität des Niederschlages erfasst. Dazu wurde ein Niederschlagssammler wenige hundert Meter von den überstauten Hochmoorflächen entfernt aufgestellt. Die Wasseranalyse erfolgt wie bei den Kultivierungsstandorten.

Tagesmitteltemperatur und Sonnenstunden wurden für den Zeitraum der Freilandversuche (08.07.2008 - 12.11.2009) von den nächstgelegenen Wetterstationen (Dörpen 29,2 km, Oldenburg 34,5 km entfernt) des Deutschen Wetterdienstes abgefragt. Beide Stationen liegen im nordwestdeutschen Tiefland in vergleichbarer Höhe über NN wie die Versuchsstandorte.

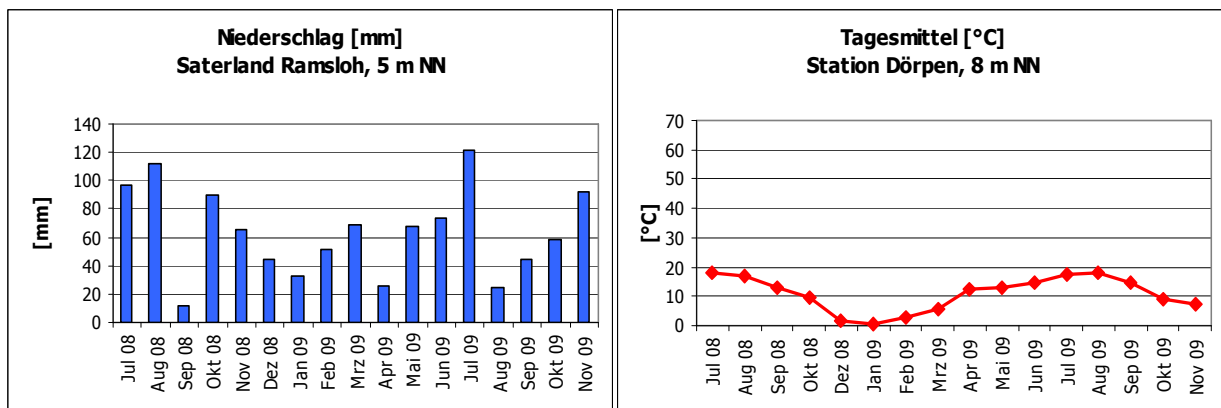


Abb. 21: Niederschlagsmenge Ramsloh (eigene Daten) und Tagesmitteltemperatur Dörpen im Versuchszeitraum (Juli 2008 bis November 2009). Quelle für Tagesmitteltemperaturen: Deutscher Wetterdienst.

Das Klima ist atlantisch/ subatlantisch geprägt. Es kann in den Sommermonaten kurzzeitig zu einem Wasserdefizit kommen wie im September 2008 und August 2009 (Abb. 21). Bei ausreichend hohen Wasserständen ist dies für eine Torfmooskultivierung auf Schwimmmatten nicht relevant.

Im Sommer 2009 gab es mehr Sonnenstunden als 2008. Sonnergster Monat war Mai 2009 mit 265 h (durchschnittlich 8,6 h täglich), sonnenärmster der November 2008 mit 26,1 h (Abb. 22). (November 2009 hatte ähnlich niedrige Werte, wurde jedoch nur bis Versuchsende am 12.11.09 ausgewertet).

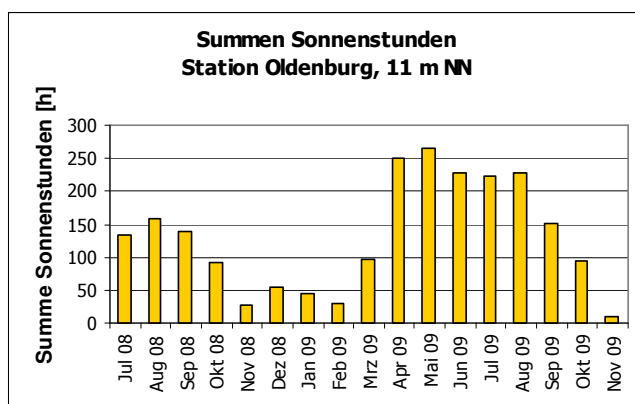


Abb. 22: Summe der Sonnenstunden im Versuchszeitraum (08.07.2008 – 12.11.2009). Quelle: Deutscher Wetterdienst Station Oldenburg.

Tab. 7: Bulkdeposition in Niedersachsen. Ramsloh (eigene Analysen, hochgerechnet aus den Daten von Dezember 2007 bis März 2008) im Vergleich zu Friedeburg, Markhausen und Edewecht (Quelle: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz). Bulkdeposition umfasst die Stoffe, die vorwiegend gelöst oder an Partikel gebundenen deponiert werden.

[kg ha ⁻¹ a ⁻¹]	Ramsloh	Friedeburg	Markhausen	Edewecht
gesamt-PO ₄	0,20**	-	-	-
oPO ₄	0,11**	0,14	0,3	0,3
NH ₄ N	8,34	7,19	8,0	9,1
K	1,30	2,33	1,8	3,9
Na	13,14	20,58	14,4	9,4
Ca	8,48	3,31	3,2	2,6
Entfernung zum Meer (km)	60	30	75	55
Entfernung nach Ramsloh (km)	0	40	20	20

** Werte der Analysen lagen meist unter der Nachweisgrenze

Die Bulkdeposition in Ramsloh ist vergleichbar mit anderen, langfristigen Werten aus Niedersachsen (Tab. 7).

2.2.5 Wasserstände

Im mineralischen Untergrund der Moorgewässer wurden Markierungen für die Entnahmestellen der Oberflächenwasserproben fixiert, die gleichzeitig auch als Messlatte für Wasserpegelmessungen dienten. Es wurden Wasserspiegelschwankungen bis zu 38 cm beobachtet. Entgegen der Erwartungen sank der Wasserstand am Standort LW-Moor im Sommer 2009 teilweise bis zum Torfuntergrund. Dieser war noch feucht genug, um die Torfmoose auf den Matten mit Feuchtigkeit zu versorgen, ein freies Aufschwimmen der Matten war jedoch durch Festverwurzelung nicht mehr gewährleistet. Im E-Moor sank der Wasserspiegel auf z. T. 10 cm ab. Bei Bewuchs der Schwimmatten mit (unerwünschten) Gefäßpflanzen ist dies kritisch, da diese dann durch die Matten im Untergrund wurzeln können und die Matten nicht mehr aufschwimmen können. Im Herbst 2009 mussten deshalb alle Matten im LW-Moor und teilweise Matten im E-Moor vom Untergrund frei geschnitten werden.

Die Moorgewässer sind durch Polderung entstanden. Für die kommerzielle Torfmooskultur auf Schwimmatten sollten die vorhandenen Überläufe umgestellt werden. Ein höherer Wasserstand kann den natürlichen niederschlags- und verdunstungsbedingten Wasserspiegelschwankungen entgegenwirken.

Die Wassertiefe des Sandgrubengewässers beträgt maximal 12 m. Wasserspiegelschwankungen wurden hier nicht erfasst, sind aber bei solchen Tiefen für die Torfmooskultivierung auf Schwimmatten irrelevant.

2.3 Feldversuche (AP 4)

2.3.1 Versuchsaufbau und Monitoring

Der Feldversuch lief von Juli 2008 bis zur abschließenden Bonitur im November 2009.

Ausgehend von den Ergebnissen der Gewächshausversuche wurden drei Mattenvarianten zum Test im Feld ausgewählt (Tab. 8). Alle Mattenvarianten besitzen PE-Schaumseil als Schwimmelement, welches bei der Variante N manuell angebracht werden musste, da dies im maschinellen Produktionsprozess noch nicht möglich war.

In jedem der drei Gewässer (1) **Sandentnahmestelle** (2) **E-Moor** und (3) **LW-Moor** (siehe Kap. 2.2) wurden alle 3 Mattenvarianten mit 2 Wiederholungen in einer Größe von je 8 x 1 m ausgebracht.

Als Variablen wurden zwei *Sphagnum*-Arten (*S. fimbriatum*, *S. papillosum*) und die Abdeckung mit Stroh/ ohne Stroh getestet. Die Auswahl der *Sphagnum*-Arten erfolgte nach deren Verfügbarkeit und pflanzenbaulichen Eignung als Substratausgangsstoff.

Zur Versuchseinrichtung wurden zunächst Torfmoose gesammelt, ausgelesen, mit einem Mulcher zerhäckselt und für jeweils 1 m² dieselbe Menge abgewogen (portioniert). Die Ausbringungsdichte entspricht 10 dm³ Torfmoos in Fragmenten verteilt auf 1 m² Matte (vgl. Quinty & Rochefort 2003). Um die Torfmoose frisch zu „verarbeiten“, mussten diese jeweils in den verschiedenen Ausbringungszeiträumen und damit bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen gesammelt werden, was zu verschiedenen Feuchtigkeitsgehalten und Frischmassenmengen führte (Tab. 8). Die nachträgliche Bestimmung der Trockenmasse (48 Stunden Trocknung bei 60°C) ergab aber eine vergleichbare Ausgangsbiomasse. Um das Verhältnis zwischen Capitula (Wachstumspunkten) und Stängeln zu ermitteln, wurde vor dem Zerhäckseln die Länge von jeweils 100 Pflanzen einer *Sphagnum*-Art bestimmt.

Tab. 8: Charakterisierung der Torfmoose zur Ausbringung im Feldversuch (Juli 2008). Zur Beschreibung der Mattenvarianten vgl. Tab. 5 in Kap. 2.1.

		Matten- variante	<i>Sphagnum fimbriatum</i>	<i>Sphagnum papillosum</i>
Ausbringung 28. KW 2008	C4	Herkunft	„Spielwiese“	„Ramsloh Versuchsfläche“
		∅ Länge vor Zerhäckseln (cm)	7,0	9,1
		Frischmasse (t ha ⁻¹)	6,88	8,80
		Trockenmasse (t ha ⁻¹)	0,94	0,94
Ausbringung 31. KW 2008	J, N	Herkunft	„Spielwiese“	„Ramsloh Versuchsfläche“
		∅ Länge vor Zerhäckseln (cm)	8,9	6,1
		Frischmasse (t ha ⁻¹)	5,53	9,25
		Trockenmasse (t ha ⁻¹)	0,86	0,93

Die Torfmoose wurden gleichmäßig auf den Matten verteilt, z. T. mit Stroh (300 g m⁻²) abgedeckt, um ein günstigeres Mikroklima für die Torfmoose zu erzeugen und diese vor äußeren Einflüssen (z. B. Starkregen) besser zu schützen. Torfmoose und Stroh wurden abschließend mit einem Vogelschutznetz fixiert. Die Verteilung der Matten- sowie der Torfmoos- und Strohverarianten auf den Matten erfolgte zufällig und ergab folgenden Versuchsaufbau (Abb. 23):

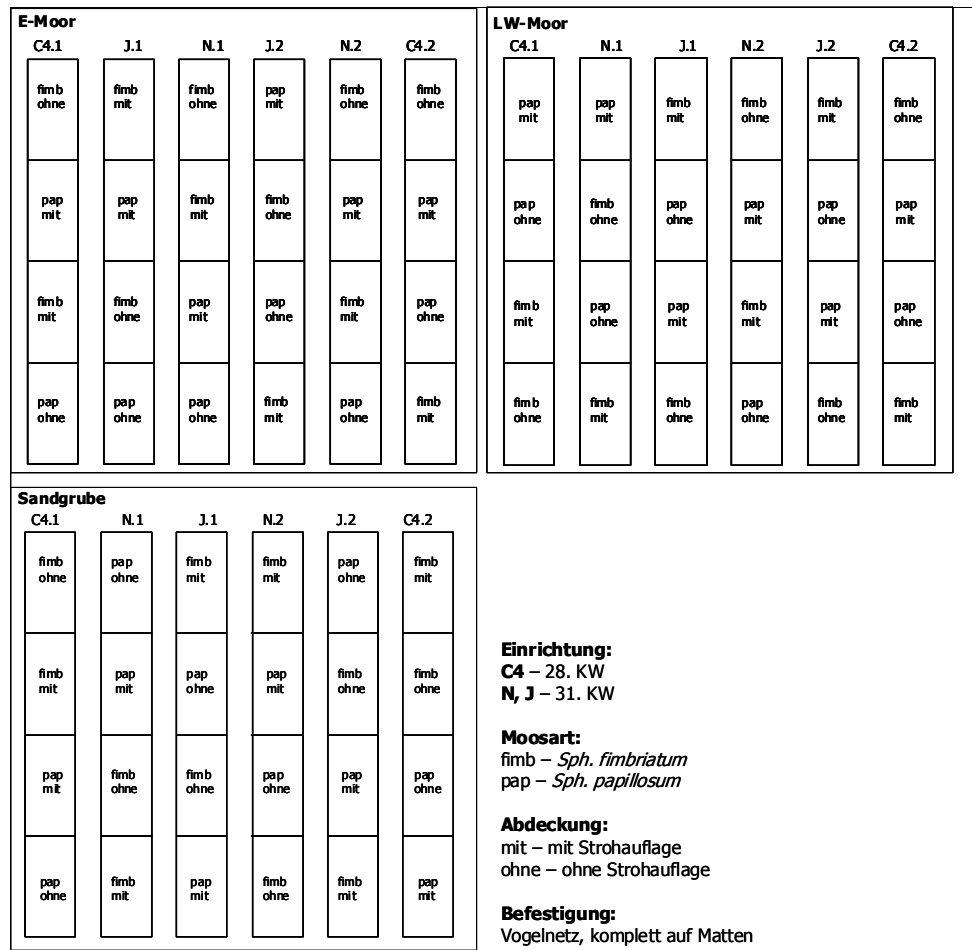


Abb. 23: Versuchsaufbau der Feldversuche in Ramsloh: ausgebrachte Varianten an 3 Standorten.

Um die Matten auf der Gewässermittte zu halten, ihnen aber gleichzeitig ein Ausrichten nach dem Wind zu ermöglichen und einen Wellenbrecher zu bieten, wurde mit Hilfe vom Projektpartner MoKuRa ein Rahmen aus KG-Rohren (Ø 15 cm) konstruiert, der selbst schwimmt und beweglich im Gewässer verankert ist (Abb. 24).

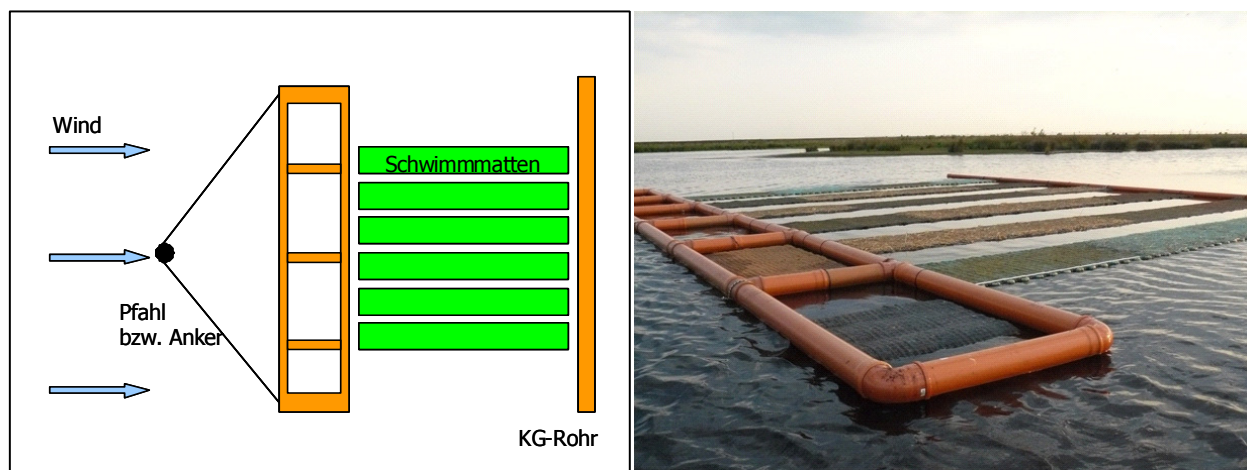


Abb. 24: Konstruktion für die Fixierung der Matten in der Gewässermitte im Feldversuch in Ramsloh. li. schematisch, re. Ansicht aus dem E-Moor.

Am Standort Sandgrube waren die Versuche schon knapp zwei Monate nach ihrer Einrichtung infolge von Starkregen weitgehend zerstört. Auch die zahlreichen Vögel (besonders Gänse) im Herbst trugen zur Zerstörung des Versuchsaufbaus bei, so dass im November 2008 trotz Vogelschutznetz weder Stroh noch Torfmoosfragmente auf den Matten vorhanden waren. Um den Versuch auf der Sandgrube fortsetzen zu können, wurden die vorhandenen Matten neu eingerichtet. Es wurden die selben *Sphagnum*-Arten (*S. fimbriatum*, *S. papillosum*), aber anstelle der Fragmente unzerhackelte Moospflanzen verwendet sowie die Strohabdeckung und die Fixierung mit einem Vogelnetz durch Schlingengelege aus Nylon (Dicke 1,5 cm) ersetzt. Um eine jahreszeitliche Varianz für die Ausbringung in den Versuch mit aufzunehmen, wurde ein Teil des Versuches im Winter 2008 (51. KW), der andere Teil im Frühjahr 2009 (13. KW) eingerichtet (Tab. 9, Abb. 25: Versuchsaufbau bei Zweiteinrichtung des Feldversuches auf der Sandgrube.).

Tab. 9: Charakterisierung der Torfmoose zur Ausbringung im Feldversuch auf der Sandgrube (Dezember 2008 und März 2009).

	Matten- variante		<i>Sphagnum fimbriatum</i>	<i>Sphagnum papillosum</i>
Ausbringung 51. KW 2008		Herkunft	„Spielwiese“	Marinesenderfläche
	C4, J, N	∅ Länge vor Zerhackeln (cm)	9,1	9,1
		Frischmasse (t ha ⁻¹)	10,18	12,50
		Trockenmasse (t ha ⁻¹)	1,04	0,98
Ausbringung 13. KW 2009		Herkunft	„Spielwiese“	Marinesenderfläche
	C4, J, N	∅ Länge vor Zerhackeln (cm)	9,2	10,1
		Frischmasse (t ha ⁻¹)	10,50	12,00
		Trockenmasse (t ha ⁻¹)	1,01	0,95

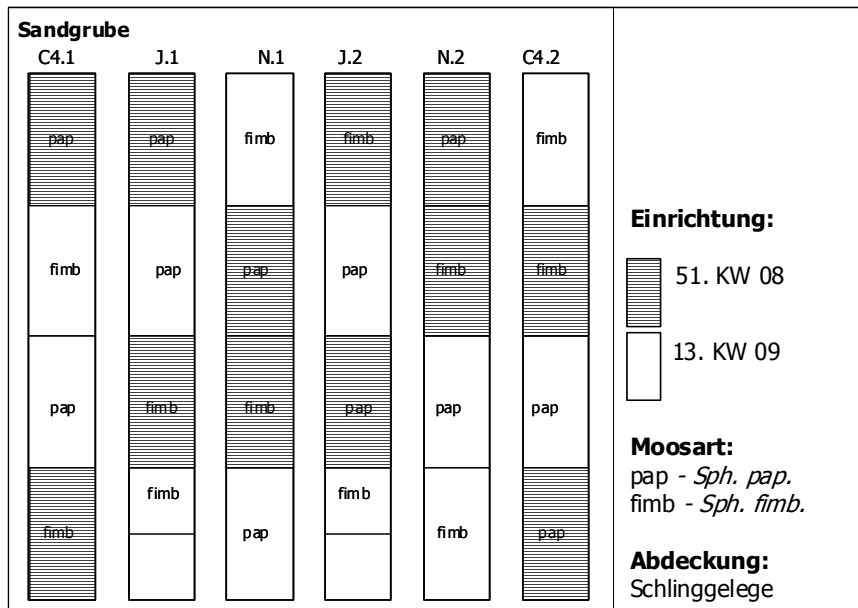


Abb. 25: Versuchsaufbau bei Zweiteinrichtung des Feldversuches auf der Sandgrube.

In der 17. KW 2009 erfolgte eine erste Bonitur zur Dokumentation des Wachstums. Die abschließende Bonitur wurde in der 42. KW (LW-Moor) bzw. 46. KW (Sandgrube) 2009 durchgeführt. Pro Quadratmeter wurden die Deckung vitaler (grün bzw. braungrün, Tendenz zur Aufrichtung) und lebloser Torfmoose (*S. fimbriatum*: gelblich-verblichen, *S. papillosum*: braun, oft konsistenzlos), von Stroh, der Gefäßpflanzen und der „Fremdmoose“ (nicht im Versuch ausgebrachte Moosarten) nach Londo (1976) geschätzt sowie die maximale Höhe der einzelnen Gefäßpflanzenarten gemessen. Aufgewachsene Fremdmoose und Gefäßpflanzen wurden nicht entfernt, um deren Entwicklung und den Einfluss auf das Torfmooswachstum beobachten zu können. In einem Raster von 20x10 cm wurde die Aufwuchshöhe der Torfmoose gemessen, sofern ein Torfmoos mit Capitulum genau an diesem Punkt vorhanden war. Konnten insgesamt keine drei Mooshöhen erfasst werden, wurden willkürlich



Abb. 26: Erntequadrat (10x10 cm) im LW-Moor (*S. fimbriatum* bei hoher Gefäßpflanzendeckung (*Juncus effusus*)).

drei Moose auf den 2 m² der jeweiligen Variante gesucht und vermessen. Pro Variante (je 2x1 m²) wurden in drei zufällig ausgewählten Quadraten (10x10 cm) die Capitula gezählt und danach die Biomasse geerntet (Abb. 26). Zusätzlich wurde die Veralgung in 4 Kategorien eingeschätzt (0 – algenfrei, 1 – sehr gering veralgt, 2 – deutlich veralgt, 3 – stark bis komplett veralgt) und sowohl Anzahl als auch Deckung von Exkrementen (zumeist von Wasservögeln) aufgenommen.

Die in den Quadraten (10x10 cm) geerntete Biomasse wurde nach Torfmoosen, Braunmoosen und Gefäßpflanzen getrennt und

anschließend von allen Teilen das Trockengewicht bestimmt (Trocknung bei 80 C für 24 h bis zur Gewichtskonstanz). Für die Torfmoos-Biomasse wurde anschließend das C/N-Verhältnis bestimmt sowie P und K nach Mikrowellenaufschluss.

In den Analysen und Darstellungen werden die real gemessenen Werte zur Torfmoos-Biomasse verwendet, um Zusammenhänge besser zu erkennen. Für einen Vergleich aller Versuche untereinander wurden die Biomassewerte auf ein Jahr Wachstumszeit umgerechnet und die zur Versuchseinrichtung benötigte Menge „Saatgut“ abgezogen (Netto-Werte). Die Umrechnung auf ein Jahr Kulturdauer erfolgte unter der vereinfachenden Annahme, dass die Torfmoose gleichmäßig über alle 12 Monate des Jahres verteilt wachsen.

2.3.2 Ergebnisse und Diskussion

Bis zur ersten Bonitur im Frühjahr 2009 konnten sich die als Fragmente ausgebrachten Torfmoose nur langsam auf den Schwimmmatten etablieren. Es hatten sich zahlreiche neue Capitula gebildet, jedoch noch kein nennenswerter Rasen entwickelt. Trotz kürzerer Versuchslaufzeit auf den Matten der Sandgrube (4 bzw. 1 Monat(e) statt 8 Monaten in E- und LW-Moor) hatten sich die hier im Ganzen ausgebrachten Torfmoose bis zu 1,5 cm aufgerichtet.

Zum Abschluss des Monitorings im Herbst 2009 waren keine Torfmoose mehr auf den Schwimmmatten des Feldversuchs im E-Moor. Zurückzuführen ist dies wahrscheinlich teils auf Wettereinflüsse (völlig offenes Gelände, somit Einfluss von Wind und Wellen), teils auf hohe Wasservogel-Aktivität (v. a. Möwen).

Auch in der Sandgrube war der Einfluss von Wasservögeln wieder deutlich zu sehen. Exkremete deckten hier auf einzelnen Versuchsabschnitten bis zu 20 % der Fläche. Im September 2009 waren die Versuche noch relativ unbeeinträchtigt (Abb. 27). Im Spätherbst nimmt die Zahl der dort rastenden Vögel stark zu.



Abb. 27: Detailansicht Feldversuch Sandgrube im September 2009 (li) und November 2009 zum Zeitpunkt von Bonitur und Ernte (re).

Durch die Neueinrichtung der Versuche auf der Sandgrube ergeben sich unterschiedliche Versuchslaufzeiten für die verschiedenen Standorte des Feldversuches (Tab. 10).

Tab. 10: Versuchsbeginn und Versuchsdauer (in Wochen) bei Bonitur in der 42. bzw. 46. KW 2009.

Mattenvariante	C4	J	N
Gewässer			
Sandgrube	Dez 08 (47 Wo.) bzw. Mrz 09 (33 Wo.)	Dez 08 (47 Wo.) bzw. Mrz 09 (33 Wo.)	Dez 08 (47 Wo.) bzw. Mrz 09 (33 Wo.)
E-Moor	Juli 08 (Ausfall nach 38 Wo.)	Juli 08 (Ausfall nach 38 Wo.)	Juli 08 (Ausfall nach 38 Wo.)
LW-Moor	Juli 08 (66 Wo.)	Juli 08 (64 Wo.)	Juli 08 (64 Wo.)

Ergebnisse LW-Moor

Gefäßpflanzen und Fremdmoose

Gefäßpflanzen erreichten auf den Schwimmmatten im LW-Moor Deckungen bis zu 85 % Deckung. Die Unterschiede in Deckung (durchschnittlich um 40 %) und Biomasse (durchschnittlich um 4 t ha⁻¹) waren zwischen den Mattenvarianten nicht signifikant. Die höchsten Deckungen wurden auf der C4-Matte (kettengewirkte) erreicht. Die Gefäßpflanzen-Biomasse unterschied sich signifikant zwischen den Versuchsvarianten Torfmoos-Art *S. fimbriatum* (mehr Biomasse) und Torfmoos-Art *S. papillosum* (weniger Biomasse) sowie den Abdeckungsvarianten mit Stroh (mehr Biomasse) und ohne Stroh (weniger Biomasse).

Juncus effusus machte auf allen Matten nahezu die gesamte Gefäßpflanzendeckung aus. Daneben fanden sich in weit geringerem Maße *Juncus bulbosus*, verschiedene Poaceae, vereinzelt *Rumex acetosella* und *Carex canescens* sowie seltene Arten wie *Drosera rotundifolia*, *Erica tetralix* und *Rhynchospora alba*.

Das Diasporenpotential für ein hohes Gefäßpflanzenaufkommen bzw. dessen Artenspektrum lag im Torfmoos-„Saatgut“ selbst (siehe Kap. 2.5.1).

Die Braunmoos-Biomasse (Mittelwerte unter 0,2 t ha⁻¹) und die Braunmoos-Deckung unterschieden sich nicht signifikant hinsichtlich der Mattenvarianten, der Abdeckung und der Torfmoos-Arten. Die Extremwerte traten aber sämtlich bei *S. papillosum* und auf der N-Matte (Geogitter) auf. Die häufigste Art war *Pohlia* cf. *nutans/sphagnicola*.

Capitulazahlen

Die meisten Capitula wurden von *S. fimbriatum* unter Strohabdeckung auf Matte N (Geogitter) gebildet (Abb. 28). Die Unterschiede zwischen den Mattenvarianten waren dabei nicht signifikant (gleichwohl Maximalwerte und größter Mittelwert auf N lagen). Hinsichtlich Abdeckung und Torfmoosart unterschieden sich die Capitulazahlen signifikant. Die feingliedrigere Art *S. fimbriatum* (Sektion Acutifolia) bildete deutlich mehr Capitula als *S. papillosum* (Sektion Sphagnum).

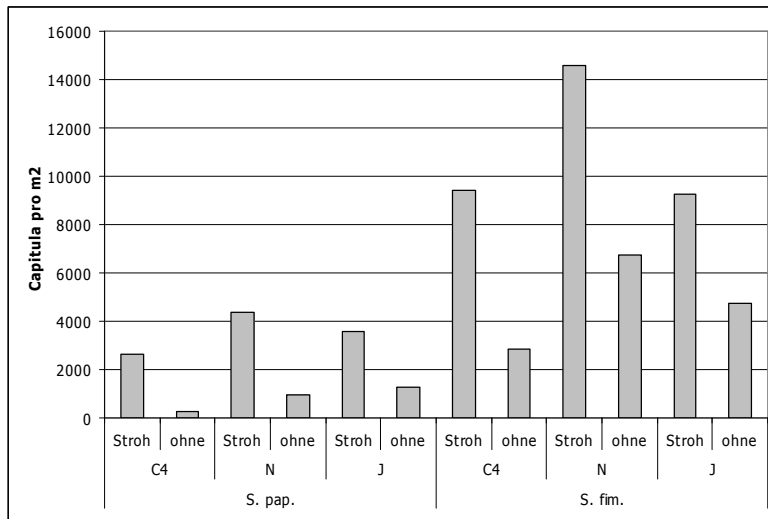


Abb. 28: Mittlere Capitulazahl pro m² (Standort LW-Moor), untergliedert nach Torfmoosart, Mattenvariante und Abdeckung.

Rasenhöhen

Der durchschnittlich höchste Torfmoosrasen wurde von *S. fimbriatum* unter Strohabdeckung auf Matte N (Geogitter) und C4 (kettengewirkt) gebildet (im Mittel 13 cm, Abb. 29). *S. papillosum* bildete deutlich niedrigere Rasen.

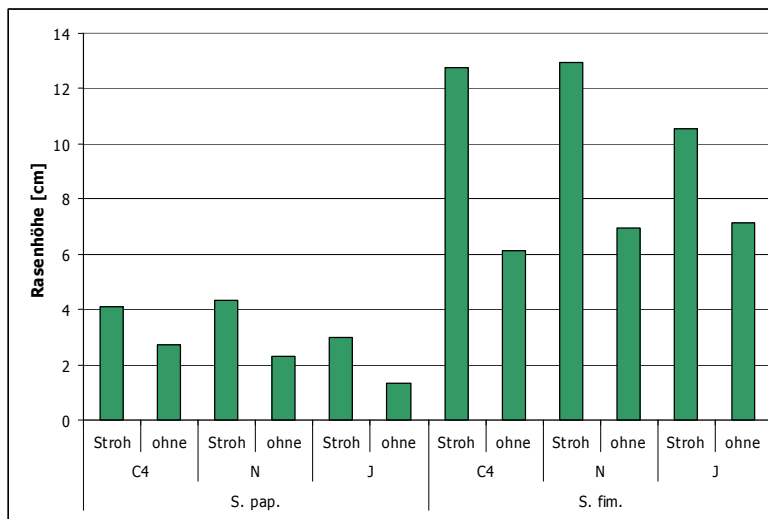


Abb. 29: Mittlere Rasenhöhen in cm (Standort LW-Moor), untergliedert nach Torfmoosart, Mattenvariante und Abdeckung.

Auf Mattenvariante J (Schaumseil) waren die Rasen beider Torfmoosarten generell am niedrigsten, die Unterschiede zwischen den Matten waren jedoch nicht signifikant.

Die Abdeckung mit Stroh hatte einen positiven Einfluss auf das Torfmooswachstum.

Darüber hinaus korrelierte die Torfmoos-Rasenhöhe stark mit der Gefäßpflanzen-Höhe.

Deckung und Biomasse Torfmoose

Die Gesamtdeckung der Torfmoose variierte sehr stark im LW-Moor. Sie reichte von 0,5 % für *S. papillosum* (ohne Abdeckung) bis 99 % für *S. fimbriatum* (mit Strohabdeckung). Hinsichtlich der Torfmoosart und der Abdeckung waren die Unterschiede signifikant. Im Mittel deckte *S. fimbriatum* 75 %, *S. papillosum* dagegen nur 25 %. Die Mattenvariante hatte keinen signifikanten Einfluss, tendenziell waren die Deckungen auf der C4-Matte jedoch am geringsten.

Nach 64 Wochen (Matte J und N) bzw. 66 Wochen (Matte C4) Versuchslaufzeit wurden die höchsten Biomasse-Werte von *S. fimbriatum* auf N mit Strohabdeckung erreicht ($4,91 \text{ t ha}^{-1}$) (Abb. 30). *S. papillosum* erreichte mit Strohabdeckung durchschnittlich 1 bis $1,6 \text{ t ha}^{-1}$ je nach Mattenvariante, ohne Strohabdeckung nur unter $0,4 \text{ t ha}^{-1}$.

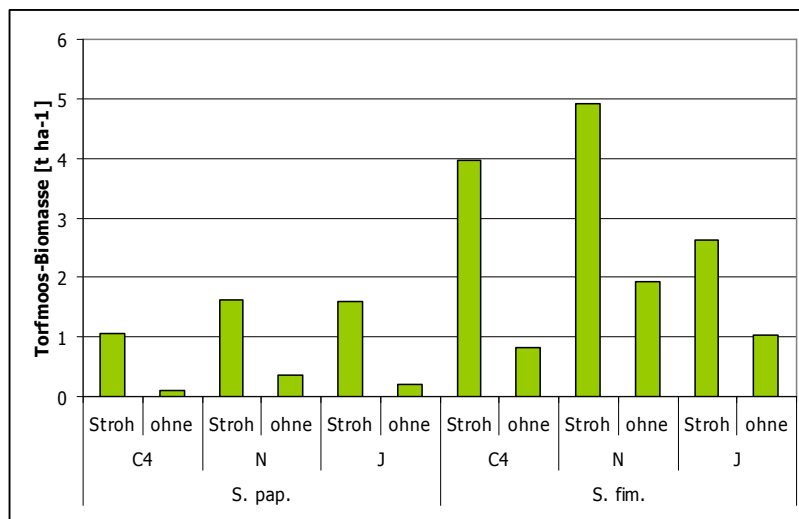


Abb. 30: Mittlere Torfmoos-Biomasse in t pro Hektar (Standort LW-Moor), untergliedert nach Torfmoosart, Mattenvariante und Abdeckung.

Hochsignifikante Korrelationen zeigten sich zwischen Torfmoos-Produktivität und Capitulazahl, Abdeckung, Gefäßpflanzen-Biomasse und Torfmoos-Art.

Zur Deckung der Gefäßpflanzen bestand eine negative Korrelation.

Nährstoffgehalt der Torfmoos Biomasse

Die im Versuch verwendeten Torfmoosarten wiesen am gleichen Standort (LW-Moor) signifikant verschiedene Nährstoffgehalte auf. *S. fimbriatum* hatte mit durchschnittlich 38,7 ein signifikant höheres C/N-Verhältnis auf als *S. papillosum* (C/N = 26,6). Der Phosphorgehalt von *S. fimbriatum* war signifikant geringer als von *S. papillosum* (37,8 statt $46,2 \text{ mmol kg}^{-1}$ Torfmoos-Biomasse). Der Kalium-Gehalt von *S. fimbriatum* lag dagegen höher als von *S. papillosum* (7,6 statt $4,8 \text{ g kg}^{-1}$ Torfmoos-Biomasse) (Abb. 64).

Ergebnisse Sandgrube

Gefäßpflanzen und Fremdmoose

Die Gefäßpflanzendeckung auf den Schwimmmatten der Sandgrube reichte von 0,5 bis zu 15 %. Signifikanten Einfluss hatte die Torfmoosart. Auf Flächen mit *S. fimbriatum* war die Gefäßpflanzen-Biomasse am höchsten. Auch hier war *Juncus effusus* die dominante Art, allerdings mit wesentlich geringerer Deckung als im LW-Moor.

Die Unterschiede in der Gefäßpflanzen-Biomasse zwischen den Mattenvarianten C4 (kettengewirkt), N (Geogitter) und J (PE-Schaumseile zwischen Vlies) waren nicht signifikant, auf N aber deutlich am höchsten.

Die Braunmoos-Deckung und -Biomasse war auf den Schwimmmatten der Sandgrube keine relevante Größe. Die Deckungen waren sehr gering (< 1 %) und die Biomasse blieb bis auf wenige Ausnahmen bei 0 t ha⁻¹. Unterschiede zwischen den Matten bzw. den ausgebrachten Torfmoosarten konnten nicht festgestellt werden.

Capitulazahlen

Durchschnittlich die meisten Capitula waren bei *S. papillosum* auf der N-Matte (Geogitter) zu finden, die wenigsten auf C4 (kettengewirkte). Zwischen den Matten und zwischen den Arten waren die Unterschiede jeweils signifikant (Abb. 31).

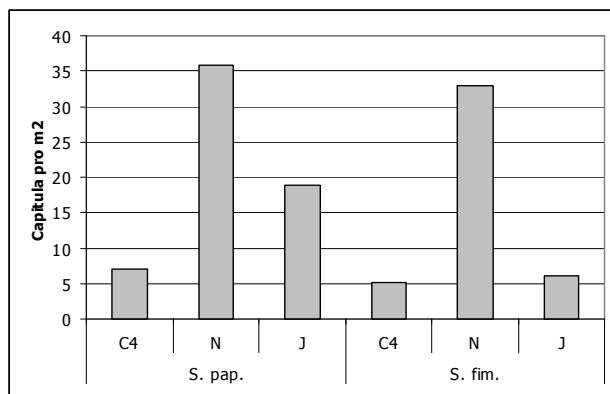


Abb. 31: Mittlere Capitulazahl pro m² (Standort Sandgrube), untergliedert nach Torfmoosart und Mattenvariante.

Rasenhöhen

Im September 2009 standen die Torfmoose noch gut auf den Matten am Standort Sandgrube, zum Zeitpunkt der Bonitur waren sie höchstwahrscheinlich durch zahlreiche auf den Matten rastende Vögel niedergedrückt (Abb. 27) und erreichten nur sehr niedrige Rasenhöhen (durchschnittlich max. 2,1 cm).

Zwischen den Torfmoosarten gab es so keine Unterschiede. Signifikant verschieden waren trotz insgesamt geringer Höhen die Werte für die Mattenvarianten (Abb. 37). Auf C4 (kettengewirkt) hatte sich kein richtiger Rasen entwickelt (durchschnittlich 1,2 cm) auf N (Geogitter) und J (Schaumseil zwischen 2 Lagen Vlies) war er mit 1,8 bzw. 1,9 cm signifikant höher.

Deckung und Biomasse Torfmoose

Die Torfmoosdeckung Gesamt lag im Feldversuch Sandgrube auf allen drei Mattenvarianten bei durchschnittlich bei 75-85 %. Bei der Neueinrichtung des Versuches im Herbst 2008 bzw. Frühjahr 2009 wurden ganze Moose als Saatgut sowie eine neue Abdeckung (Schlingengelege statt Stroh oder Vogelschutznetz) eingesetzt.

Die Deckung der vitalen Torfmoose von *S. papillosum* war signifikant höher als von *S. fimbriatum*. Bei beiden streuten die Werte jedoch stark. Deutlich waren die Unterschiede zwischen den Mattenvarianten. N (Geogitter) hatte die höchste durchschnittliche Deckung vitaler Torfmoose (29 %), C4 (kettengewirkt) die geringste (3 %).

Die Torfmoos-Biomasse im Feldversuch war signifikant am höchsten auf der N-Matte (Geogitter) nach J-Matte (Schaumseil) und C4-Matte (Kettengewirkte). Die Torfmoosarten unterschieden sich kaum, auch in der Versuchsdauer gab es keine eindeutigen Unterschiede (Abb. 32).

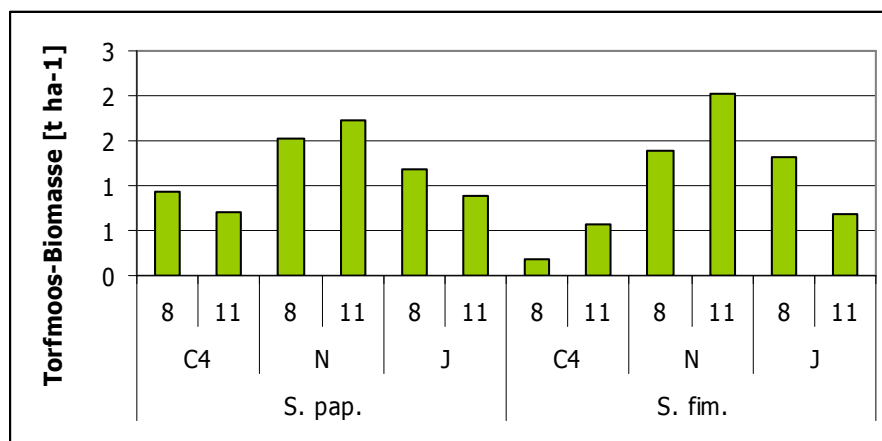


Abb. 32: Mittlere Torfmoos-Biomasse (Standort Sandgrube), in Abhängigkeit von Torfmoosart, Mattenvariante und Versuchsdauer in Monaten.

Starke Korrelationen konnten zwischen Torfmoos-Biomasse und Mattenvariante, Gefäßpflanzen-Biomasse, Rasenhöhe und Veralgung nachgewiesen werden.

Die Korrelation zwischen Torfmoos-Biomasse und Gefäßpflanzen-Biomasse war in der Sandgrube aber wesentlich schwächer als im LW-Moor. Zum Zeitpunkt der Ernte waren die meisten Pflanzen von Vögeln abgefressen, selbst kleine Erlenstämmchen (Durchmesser bis etwa 5 mm).

Nährstoffgehalt der Torfmoos-Biomasse

Die im Versuch verwendeten Torfmoosarten wiesen am Standort Sandgrube ähnliche Nährstoffgehalte auf. Das C/N-verhältnis von *S. fimbriatum* (21) lag etwas über dem von *S. papillosum* (20). Der Kalium-Gehalt von *S. fim.* lag bei durchschnittlich 4,2 der von *S. pap.* bei 3,8 mmol kg⁻¹ Torfmoos-Biomasse. Signifikant verschieden war der Phosphorgehalt (*S. fimbriatum* 62 und *S. papillosum* 83 mmol kg⁻¹ Torfmoos-Biomasse) (Abb. 64).

2.3.3 Vergleich der Standorte LW-Moor und Sandgrube und Zusammenfassung

Mattentyp

Die höchste Produktivität erreichte *S. fimbriatum* am Standort LW-Moor auf Matte N ($3,95 \text{ t ha}^{-1}\text{a}^{-1}$) (unter Strohabdeckung, Netto). Auch Capitula-Zahl und Rasenhöhe waren auf der N-Matte am größten. Die Torfmoos-Biomasse von *S. papillosum* war generell geringer, auf N und J dabei ähnlich und deutlich höher als auf C4 (mit Strohabdeckung, umgerechnet auf 1 Jahr Wachstum und Netto – abzüglich Saatgut – um $0,7 \text{ t ha}^{-1}\text{a}^{-1}$) (Abb. 62).

Die Torfmoos-Produktivität am Standort Sandgrube war auch auf Matte N am höchsten, auf J deutlich geringer und auf C4-Matten nahezu Null. Dies spiegelt sich in den Biomasse-Werten (Netto bis $1,15 \text{ t ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ für *S. fim.*) (Abb. 62) als auch in den Capitula-Zahlen. Weniger deutlich sind die Unterschiede in der Rasenhöhe (durchschnittlich am höchsten auf J). Bei geringen Werten um 2 cm hat aber das Oberflächenrelief der Mattenvariante stärkeren Einfluss als alle anderen Eigenschaften der Matte.

Insgesamt zeigte sich in den Feldversuchen die Mattenvariante N (Geogitter) als am besten geeignet.

Abdeckung

Die Gesamt-Deckung der Torfmoose blieb unter Nylonschlingengele in etwa bei der Ausgangsdeckung bei Einrichtung der Versuche (um 80 %). Sie war gleichmäßiger und höher als unter Stroh bzw. ohne Stroh. Generell scheint das Schlingengele gut geeignet, Moose gegen äußere Einflüsse wie Wellen, Wind und Vogeleinfluss auf den Schwimmmatten zu halten. Die Unterschiede in der Deckung kann allerdings nicht allein auf die Abdeckung zurückgeführt werden. Es unterschied sich auch die Torfmoos-Länge des Saatgutes. Unter Schlingengele wurden ganze Moose ausgebracht, unter Stroh/kein Stroh gehäckselte Fragmente. Letztere sind leichter zuerspülen etc. und haften nicht so gut auf den Matten. Unter Stroh wurden trotz der kleinen Fragmente auch hohe Gesamt-Deckungen erhalten, sehr geringe Deckungen traten ohne Abdeckung auf (Minimum 0,5 % für *S. papillosum* ohne Stroh).

Die Deckung vitaler Torfmoose dagegen war unter dem Nylonschlingengele durchschnittlich geringer als unter Stroh. Dies wird aber nicht auf die Art der Abdeckung zurückgeführt, sondern vor allem auf äußere Einflüsse und Belastungen, hauptsächlich durch Wasservögel. Im LW-Moor (Stroh- bzw. keine Abdeckung) waren kaum Einflüsse von Vögeln zu erkennen, der Versuch in der Sandgrube (Schlingengele) war stark beeinflusst (siehe unten).

Insgesamt zeigte sich in den Feldversuchen die Notwendigkeit der Abdeckung bei Versuchseinrichtung um erstens ein Abspülen der Moose zu verhindern und zweitens ein geeignetes Mikroklima in der Etablierungsphase zu schaffen.

Sphagnum-Art

Im Versuch LW-Moor war *S. fimbriatum* deutlich produktiver als *S. papillosum*. Unabhängig von Mattenvariante und Abdeckung erzielte sie höhere Capitula-Zahlen, Rasenhöhe und Biomasse als *S. papillosum*.

Die als Saatgut ausgebrachten, fein gehäckselten Fragmente von *S. papillosum* konnten sich auf den Schwimmmatten nur sehr schwer etablieren. Offensichtlich waren die sehr feuchten Bedingungen für die kleinen Fragmente ungeeignet. Nach dem teilweisen Trockenfallen der Matten im zweiten Sommer des Versuches (2009) konnten die noch auf den Matten verbliebenen Moose noch gut zu Rasen von bis zu 4 cm entwickeln.

Weniger eindeutig waren die Unterschiede zwischen den beiden Arten im Versuch Sandgrube. Die Capitula-Zahlen, Rasenhöhen und Biomasse waren hier ähnlich und unterschieden sich eher zwischen den Matten als zwischen den Torfmoosarten.

Nach Abbruch der ersten Versuchseinrichtung (Kap. 2.3.1) wurde in der Sandgrube gröberes Saatgut (ganze Moose) verwendet. Damit konnten sich beide Torfmoosarten gut etablieren. Das weitere Torfmooswachstum wurde im Spätherbst durch Wasservögel stark beeinträchtigt (im Gegensatz zu den Versuchen im LW-Moor), so dass nicht eindeutig ersichtlich war, ob sich beide Arten gleich gut entwickelt hatten oder beide gleich schwer gestört wurden.

Die Produktivität von *S. papillosum* ohne Abdeckung (LW-Moor) ist nahezu 0 (Biomasse < 0,1 t ha⁻¹a⁻¹ Netto). Beide Arten erreichen in der Sandgrube durchschnittlich um die 0,35 t ha⁻¹a⁻¹ (Netto) bis 1,15 t ha⁻¹a⁻¹ für *S. fim.* auf der N-Matte. Die höchste Produktivität wird von *S. fimbriatum* erreicht (durchschnittlich für alle Matten 2,9 t ha⁻¹a⁻¹ Netto unter Stroh). Die geringen Biomasse-Werte für *S. papillosum* sind hauptsächlich auf die zu feuchten Startbedingungen für Fragmente dieser Art zurückzuführen. Es konnte sich nur schwer ein Torfmoosrasen entwickeln. Die ausgebrachten Fragmente sind aber wesentlich leichter zu Verspülen als ein etablierter Rasen. Somit kam es zu hohen Verlusten in der Deckung von *S. papillosum*.

Aufwuchs von Gefäßpflanzen (und Fremdmossen)

Die Deckung und Biomasse der Gefäßpflanzen waren im Versuch LW-Moor deutlich größer als im Versuch der Sandgrube. Die dominierende Art war an beiden Standorten *Juncus effusus*. Besonders in den Varianten mit *Sphagnum fimbriatum* erreichte die Art hohe Deckungen. Die Unterschiede zwischen den Standorten werden bei gleicher Saatgutherkunft v. a. in der unterschiedlichen Sammel- und Ausbringzeit gesehen (LW-Moor im Sommer, Sandgrube im Winter bzw. zetigen Frühjahr).

Die Deckung bzw. Biomasse der Gefäßpflanzen (und damit v.a. *J. effusus*) korrelierte besonders im LW-Moor stark mit der Torfmoos-Biomasse. Scheinbar verbessert die Art das Mikroklima (verringerte Strahlungsintensität für die Torfmoose) und gibt den Torfmoosen Halt. Erst bei Deckungen über 60 % nahm die Torfmoos-Biomasse ab.

Vögel

Im Versuch LW-Moor konnten keine gavierenden Kulturstörungen festgestellt werden. Durch die geringe Größe scheint das LW-Moor-Gewässer für die Wasservögel unattraktiv, sie haben hier kaum „Spuren“ hinterlassen. Anders in E-Moor und Sandgrube. An beiden Standorten wurde der Versuchsaufbau durch Wasservögel zerstört. In der Sandgrube rasten v. a. im Spätherbst Vögel auf den Matten und hinterließen Exkremete (mit Deckungen bis zu 20 %). Nach 4-Monatiger Versuchslaufzeit mussten der Versuch hier neu eingerichtet werden. Am Standort E-Moor wurde der Versuch im Frühjahr (nach



Abb. 33: Von Vögeln herausgezogene Schaumseile der J-Matte auf der Sandgrube.

11 Monaten Versuchslaufzeit) durch Nestbau (Möwen) zunichte gemacht. Eine Neueinrichtung schien im letzten Projektjahr nicht sinnvoll.

Dazu kamen mechanische Beeinträchtigungen, v. a. auch auf dem größten Gewässer (Sandgrube). Dort wurden z. B. die Polyester-Schaumseile aus den J-Matten herausgezogen (Abb. 33).

Zusammenfassung

- Die Geogitter-Matte (N) weist im Feldversuch die besten Kultivierungsergebnisse auf.
- Die Etablierung und Wuchsleistungen der Torfmoose unterscheiden sich zwischen den beiden Standorten Sandgrube und LW-Moor.
- Gleiche Torfmoosarten zeigten unterschiedliche Wuchsleistungen auf den beiden Standorten.
- Die höchsten Wuchsleistungen hatte *Sphagnum fimbriatum* im LW-Moor.
- Die Abdeckung mit Schlinggelege oder Stroh unterstützt die Etablierung der Torfmoose durch Verminderung des Abspülens durch Wellenschlag und dem Schaffen von günstigeren mikroklimatischen Bedingungen. Es bietet keinen Schutz vor dem schädigenden Einfluss von Wasservögeln.
- Zur Kultivierung von Torfmoosen auf Schwimmmatten auf Gewässern in Niedersachsen sind (wahrscheinlich besonders bei offener Landschaft) Einrichtungen zum Schutz vor Wasservögeln unabdingbar.

2.4 Torfmoosversuche outdoor und indoor (AP 2)

2.4.1 Torfmoosversuch outdoor

2.4.1.1 Versuchsaufbau und Monitoring

Nach Erfahrungen des Projektpartners IASP lassen sich in kleinen Bassins die Bedingungen für eine Torfmooskultivierung nur schwer stabilisieren. Daher wurde der im nachfolgenden beschriebene Versuch zur Torfmooskultur, anders als geplant, nicht in Bassins in Greifswald, sondern im E-Moor bei Ramsloh in Niedersachsen (eine nach Abtorfung überstaute Hochmoorfläche ohne Vornutzung) durchgeführt. Im Gegensatz zum geplanten Bassinversuch outdoor sollte der Torfmoosversuch outdoor nun mit dem ebenfalls im E-Moor angelegten Feldversuch vergleichbar sein (vgl. Kap. 2.3) Durch komplette Versuchsstörung durch Wellen und Wasservögel war dies am Ende nicht möglich. Zudem entfällt der aufwändige Wassertransport.

Der Torfmoosversuch outdoor wurde mit denselben Mattenvarianten gestartet wie der Feldversuch: kettengewirkte Variante (C4), Geogittervariante mit PE-Schaumseil extern (N)(vgl. auch Tab. 4). Letztere wurde zum Teil mit einem Bändchengewebe versehen (NB) um den Gefäßpflanzenaufwuchs zu verringern (Abb. 34, b).

Im Torfmoosversuch wurden nur *Sphagnum*-Arten der grobblättrigen Sektion *Sphagnum* (Cymbifolia) getestet (*S. palustre*, Mix aus *S. papillosum* und *S. magellanicum*, *S. papillosum*). Aufgrund der Erfahrungen im Feldversuch (Kap. 2.3) wurden von allen Arten ganze Moospflanzen ausgebracht und mit Nylonschlingelege abgedeckt (Abb. 34, a+b). Für ausgebrachte Mengen und Längen der Saatgut-Torfmoose vgl. Tab. 11.



Abb. 34: Detailansichten von eingerichteten Matten für den Torfmoosversuch im E-Moor: a) C4-Matte mit *S. papillosum* ganz und Nylonschlingelege (CKP), b) NB-Matte mit Bändchengewebe, *S. palustre* ganz und Nylonschlingelege (GBP) und c) N-Matte mit *S. papillosum* + *S. magellanicum* ganz und Vogelnetz (GNM).

Tab. 11: Charakterisierung der Torfmoose zur Ausbringung in den Torfmoosversuchen indoor und outdoor (November und Dezember 2008).

		Matten- variante	<i>S. palustre</i>	<i>S. papillosum + S. magellanicum</i>	<i>S. papillosum</i>
Ausbringung 45. KW 2008	N, NB, C4	Herkunft	„Spielwiese“	Bremer Lysimeter	FNR-Versuchsfläche
		Ø Länge vor z.T. Zerhäckseln (cm)	9,0	11,3	9,9
		Frischmasse (t ha ⁻¹)	12,60	13,30	10,15
		Trockenmasse (t ha ⁻¹)	1,09	1,23	0,95
Ausbringung 51. KW 2009	Styropor	Herkunft	„Spielwiese“	-	Marinesender-fläche
		Ø Länge vor z.T. Zerhäckseln (cm)	6,8	-	9,1
		Frischmasse (t ha ⁻¹)	12,30	-	12,50
		Trockenmasse (t ha ⁻¹)	0,97	-	0,98

Die Mattenvariante J (PE-Schaumseil zwischen 2 Lagen Vlies) und das für diese Variante verwendete 25er PE-Schaumseil wurde aufgrund des abnehmenden Auftriebes als nicht optimal für den langfristigen Einsatz eingeschätzt (Abb. 7 und 13 in Kap. 2.1) und deshalb nicht im Versuch verwendet. Stattdessen wurde eine Mattenvariante mit Styroporplatte[®] als Schwimmkörper zwischen 2 Lagen Vlies eingesetzt (O). Anders als die bereits bei IASP/ HUB im Test befindlichen (selbst angefertigten) Styropormatten wurden diese für den Torfmoosversuch outdoor beim Projektpartner mst im Steppverfahren hergestellt. Die Einrichtung dieser Matten erfolgte 6 Wochen nach den anderen, aber noch vor einer zu erwartenden, längeren Frostperiode (51. KW 2008), um die Auswirkungen einer Eisentwicklung auf dem Gewässer auf Styropor[®]-Matten und Torfmoose zu erfassen. In dieser Versuchserweiterung wurde auf den Einsatz von Bändchengewebe verzichtet und es standen nur die *Sphagnum*-Arten *S. palustre* und *S. papillosum* zur Verfügung (Abb. 3535). Aufgrund der höheren Festigkeit und Beständigkeit sowie des leicht höheren Auftriebes (ca. 8 %) von Styrodur[®] im Vergleich zu Styropor[®] wurden zusätzlich Matten mit Styrodur[®] ausgebracht, jedoch nicht mit Moosen bestückt sondern nur mit winterlicher Witterung konfrontiert und ihre Beständigkeit beobachtet.

Um den Einfluss von Torfmoos-Fragmentgröße und Abdeckung zu untersuchen, wurde *S. papillosum* auch zerhäckselt und als weitere Abdeckungsvariante Vogelnetz eingesetzt. Alle 16 Varianten wurden in drei Wiederholungen auf einer Mattengröße von 1x1 m untersucht. Die zufällige Verteilung der Varianten ergab folgenden Versuchsaufbau (Abb. 35):

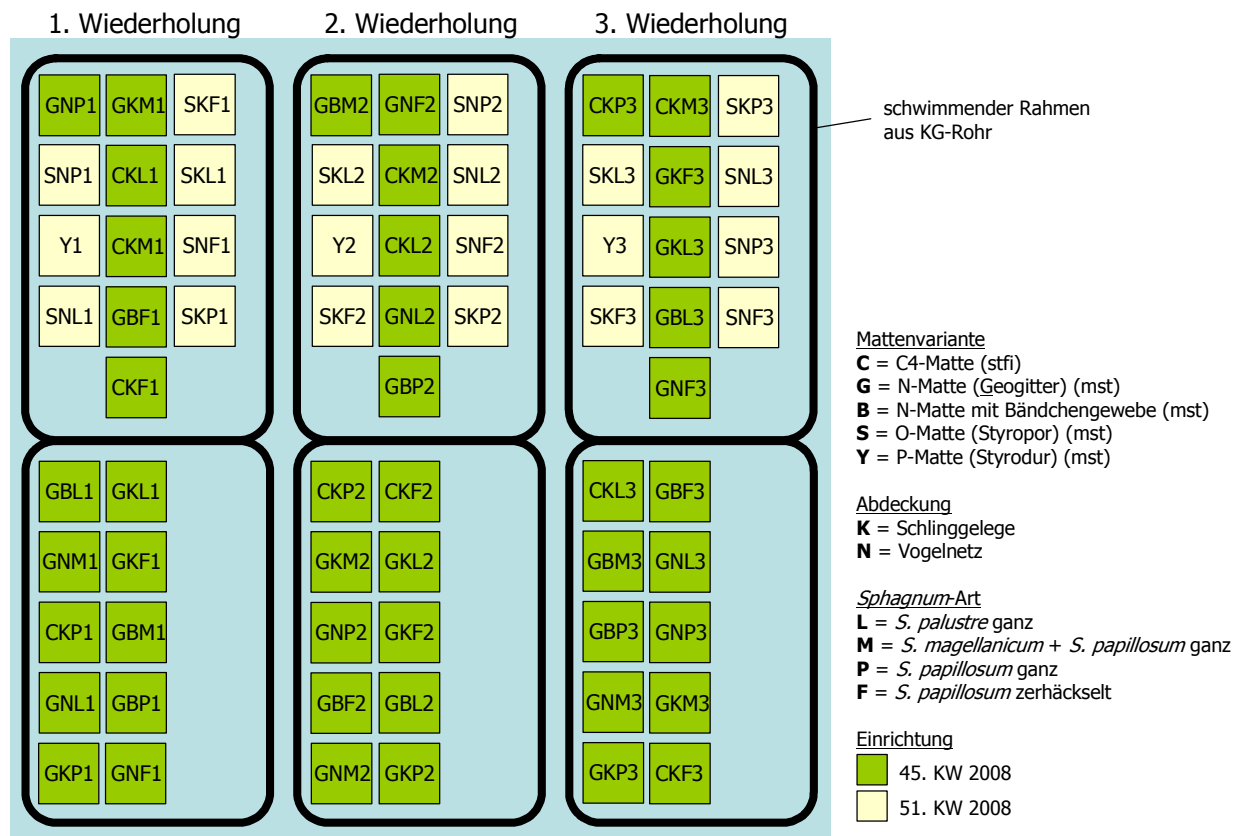


Abb. 35: Aufbau des Torfmoosversuches outdoor im E-Moor in Ramsloh.

Die Einrichtung der Matten erfolgte wie für den Feldversuch (vgl. Kap. 2.3). Ein schwimmender Rahmen aus KG-Rohr (\varnothing 15 cm) diente als Wellenbrecher. Spontan auftretende Fremdmoose und Gefäßpflanzen wurden nicht entfernt, um deren Entwicklung und Einfluss auf das Torfmooswachstum beobachten zu können.

Der Torfmoosversuch outdoor wurde in der 17. KW und 42. KW 2009 fotodokumentiert und bonitiert. Um die Vergleichbarkeit zum indoor-Torfmoosversuch (s. Kap. 2.4.2) sowie zum Schwimmplattenfeldversuch (s. Kap. 2.3) zu gewährleisten, wurden weitestgehend dieselben Parameter bestimmt:

- die Matte betreffend (auf 1 m²: angelandete Streu, Exkrememente von Wasservögeln, Nester, Spülrand)
- die Torfmoose betreffend (auf 1 m²: Gesamtdeckung und Deckung vitaler Moose, Höhe des Torfmoosrasens alle 10 cm entlang von drei 1m Reihen bei 25, 50 und 75 cm; in der 42. KW zusätzlich im Raster von 10 x 10 cm; auf 3 zufällig ermittelten Dauerquadraten (DQ) a 10 x 10 cm: Gesamtzahl und Zahl der alten Capitula).
- den Aufwuchs von Gefäßpflanzen und Fremdmoosen insgesamt und artenweise betreffend (auf 1 m²: Deckung nach Londo-Skala, Anzahl und Höhe des größten Exemplars der Gefäßpflanzen-Arten).
- Besonderheiten

Die Dauerquadrate DQ (10 x 10 cm) wurden in der 42. KW geerntet, die Frischmasse in 3 Kategorien sortiert (Torfmoose, Braunmoose, Gefäßpflanzen) und diese getrennt bis zur Gewichtskonstanz

getrocknet (80°, 24 h). C/N-Verhältnis sowie Phosphat- (P) und Kaliumgehalt (K) der Torfmoos-Trockenmasse wurden bestimmt (Analyseverfahren vgl. Kap. 2.3).

Die 5-wöchige Verzögerung bei der Einrichtung der Styropor-Matten liegt im Zeitraum November/Dezember und damit in einer Periode geringen Wachstum. Daher wurde auf eine Korrektur der Daten (Torfmoos-Rasenhöhe und Biomasse) verzichtet, die Verspätung bei der Diskussion der Daten aber berücksichtigt.

2.4.1.2 Ergebnisse und Diskussion zur Entwicklung des Torfmoosrasens

Zur Bonitur in der 17. KW (April) hatten sich die Torfmoose noch kaum etabliert. Dagegen gab es 11 Monate nach Versuchsbeginn große Entwicklungen (2. Bonitur 42. KW 2009).

Aufwuchs von Gefäßpflanzen und Fremdmossen

Bereits bei der April-Bonitur wurde das Aufkommen von Gefäßpflanzen beobachtet. Augenfällig war, dass *Molinia caerulea* vor allem auf Matten mit *S. palustre*, *Betula* und *Drosera rotundifolia* dagegen auf Matten mit *S. papillosum* und *S. magellanicum.papillosum*-Mix auftraten.

Diese Zuordnung bestand auch bei der Oktober-Bonitur. Die Deckung der Gefäßpflanzen war bei *S. papillosum* (fragmentiert) mit 12,3 % durchschnittlich am höchsten und bei *S. magellanicum.papillosum*-Mix mit 4,9 % am geringsten. Bei *S. papillosum* und *S. palustre* variierte die Deckung der Gefäßpflanzen stark, sie lag im Mittel bei 9,4 bzw. 11,9 % (Abb. 36). Auf der kettengewirkten Matte (C4) und Geogitter-Matte mit Bändchengewebe (NB) spielten Gefäßpflanzen eine geringere Rolle (Deckung und Biomasse) als auf der Styropor®-Matte (O) und der Geogitter-Matte ohne Bändchengewebe (N). Signifikant waren die Unterschiede in der Deckung jedoch nur zwischen Geogitter-Matte ohne Bändchengewebe (N) und der mit Bändchengewebe (NB) bzw. der kettengewirkten (C4).

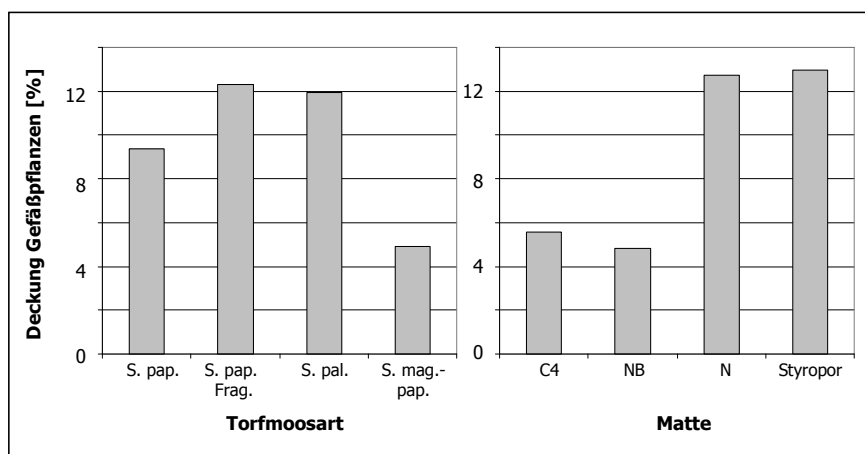


Abb. 36: Mittlere Gefäßpflanzen-Deckung in Abhängigkeit von Torfmoosart (incl. Fragmentgröße) und Mattentyp.

Die Gefäßpflanzen-Biomasse blieb im Schnitt durch alle Torfmoosarten und Matten-Varianten unter $0,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, kann aber in Einzelfällen auch über $2 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ betragen.

Unter den Gefäßpflanzen war *Juncus effusus* die mit Abstand präsenteste Art (Abb. 37). Mit abnehmender durchschnittlicher

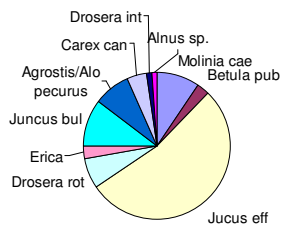
Deckung wurden außerdem beobachtet: *Juncus bulbosus*, *Molinia caerulea*, *Agrostis stolonifera/Alopecurus geniculatis* (meist nicht unterscheidbar, weil abgefressen), *Drosera rotundifolia*, *Carex canescens*, *Betula pubescens*, *Erica tetralix* und *Alnus* sp. *Juncus bulbosus* sowie *Agrostis stolonifera/Alopecurus geniculatis* waren nicht als Diasporen im Torfmoos-Saatgut enthalten (Kap. 2.5.1.1), sondern wurden vom Rand des E-Moores her angeschwemmt. Das restliche Spektrum war

Herkunfts- und Torfmoosart-spezifisch (für Torfmoos-Herkunft vgl. Tab. 11). In *S. palustre* und *S. papillosum* (ganz) dominierte *Juncus effusus*. Im *S. magellanicum-papillosum*-Mix war das Spektrum reich und die Anteile der einzelnen Arten an der Gefäßpflanzen-Gesamtdeckung ähnlich; besonders stark vertreten war hier *Juncus bulbosus*.

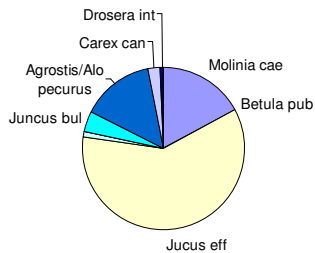
Die Deckung durch Fremdmoose war im Torfmoosversuch outdoor sehr gering. Selten wurden Deckungen von mehr als 1 % (in Einzelfällen bis maximal 4,4 %) erreicht. Die durchschnittliche Biomasse der Fremdmoose lag bei $0,03 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Zwischen den einzelnen Torfmoos-Arten und Fragmentgrößen sowie zwischen den Mattenvarianten gab es keine signifikanten Unterschiede.

Präsenteste Fremdmoose waren *Drepanocladus* sp. und *Sphagnum cuspidatum*. Beide Moos-Arten waren massiv am Rand des E-Moores vorhanden und wurden auf die Matten gespült oder verfrachten sich an deren Rand. Weniger präsent und eher für das Torfmoos-Saatgut spezifische Moose waren *Polytrichum commune*, *Sphagnum fallax*, *Aulacomnium palustre* und *Pohlia nutans/sphagnicola*.

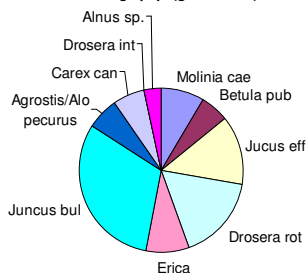
Gefäßpflanzendeckung über alle Sphagnum-Arten gemittelt (gesamt 10 %)



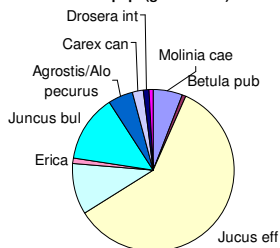
in S. pal. (gesamt 12 %)



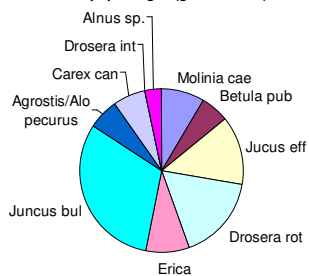
in S. mag.+pap. (gesamt 5 %)



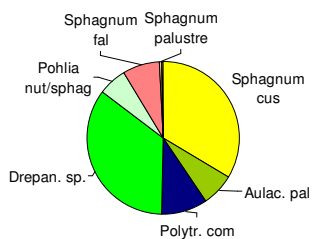
in S. pap. (gesamt 9 %)



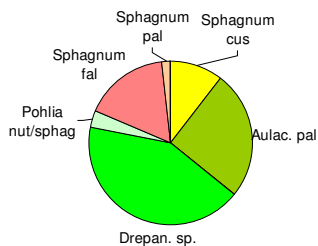
in S. pap.-Fragm. (gesamt 12 %)



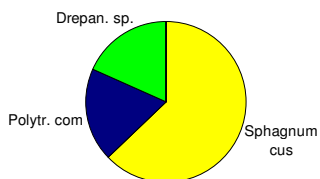
Fremdmoosdeckung über alle Sphagnum-Arten gemittelt (1,1 %)



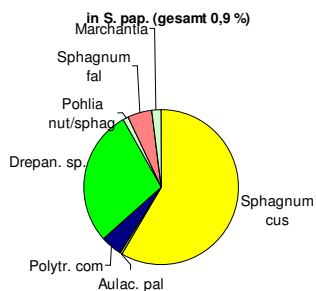
in S. pal. (gesamt 1,0 %)



in S. mag. + pap. (gesamt 1,3%)



in S. pap. (gesamt 0,9 %)



in S. pap.-Fragm. (gesamt 1,3 %)

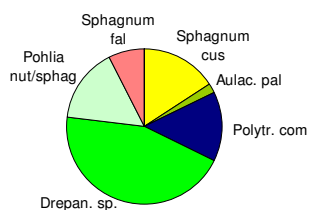
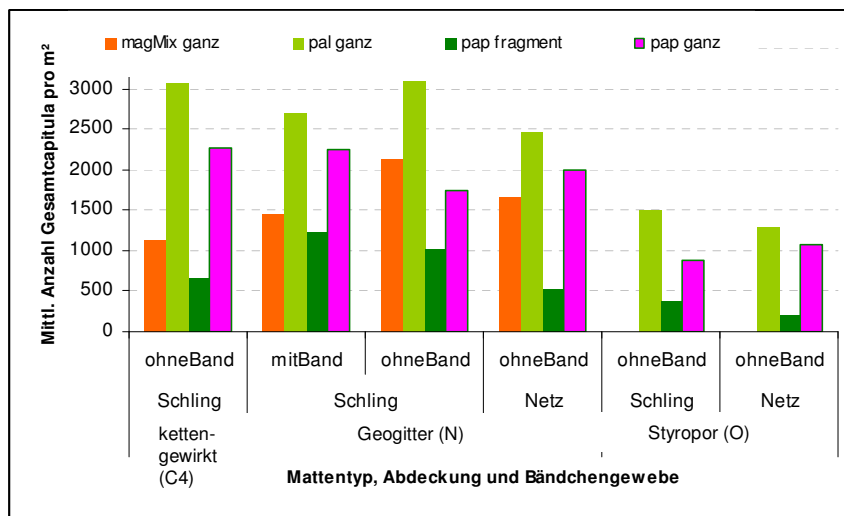


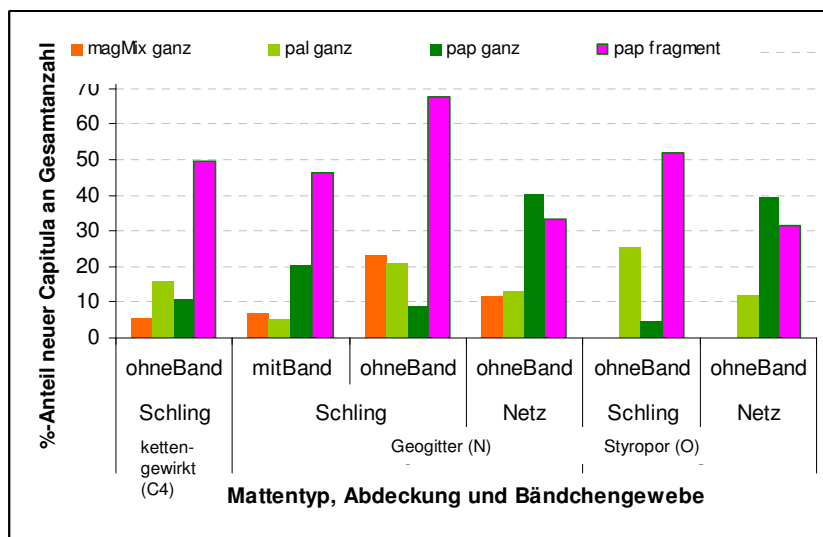
Abb. 37: Anteil einzelner Arten an Gesamtdeckung Gefäßpflanzen (links) und Fremdmoose (rechts) im Torfmoosversuch outdoor (Dez. 09).

Capitulazahlen



Im April 2009:

Die Anzahl der Torfmoos-Capitula je m² (Abb. 38, oben) war bei *S. palustre* deutlich am höchsten, bei *S. papillosum* (fragmentiert) am geringsten. Bei *S. papillosum* (fragmentiert) war allerdings der Anteil an neuen Capitula wesentlich höher (Abb. 38, unten).



Oktober 2009:

Die Anzahl der Capitula hat sich im Schnitt von April bis Oktober verdoppelt. Die Gruppe der als ganze ausgebrachten Torfmoose erreichte eine signifikant höhere mittlere Capitula-Anzahl pro m² (*S. mag.-pap.-Mix* mit 5.086 bis *S. palustre* 5.785 pro m²) als *S. papillosum* (fragmentiert) mit 2.335 pro m² (Abb. 39).

Abb. 38: Mittlere Gesamtzahl der Torfmoos-Capitula (oben) und mittlerer Anteil (%) neuer Torfmoos-Capitula (unten) in Abhängigkeit von der Mattenvariante, Abdeckung und Torfmoos-Art im April 2009, Torfmoosversuch outdoor.

Maximal wurden 16.700 Capitula pro m² erreicht (*S. palustre*). Da neue Capitula kaum von alten zu unterscheiden waren, wurde auf eine getrennte Erfassung verzichtet.

Zwischen den Mattentypen C4 (Kettengewirke), N (Geogitter), NB (Geogitter mit Bändchengewebe) und O (Styropor[®]) waren die Unterschiede nicht signifikant.

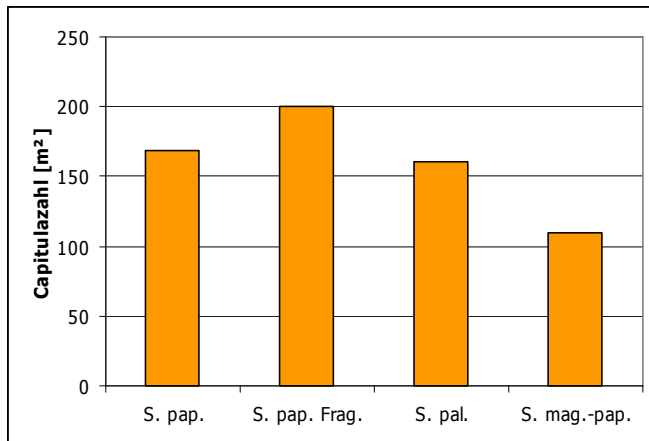


Abb. 39: Mittlere Capitulazahl pro m² in Abhängigkeit von Torfmoosart (und Fragmentierung bei *S. papillosum*) 11 Monate nach Versuchsbeginn (Okt. 09), Torfmoosversuch outdoor.

Rasenhöhen

Während die durchschnittlichen Rasenhöhen im April 2009 nur zwischen 0,5 und 1 cm betragen (für Eindruck vgl. Abb. 40), konnten nach der Vegetationsperiode im Oktober 2009 deutlich größere Rasenhöhen gemessen werden.



Abb. 40: Entwicklung der Torfmoosrasen im Torfmoosversuch outdoor. Eindruck vom April 09 (links) und August 09 (Mitte). *S. palustre*-Rasen im August 09 (rechts).

Von *S. palustre* wurden im Durchschnitt 3 cm Rasenhöhe, maximal 9,7 cm erreicht. Die Rasenhöhen von *S. papillosum* und *S. magellanicum-papillosum*-Mix waren etwas geringer. *S. papillosum* (fragmentiert) erreichte Rasenhöhen von nur durchschnittlich 1,2 cm (Abb. 41).

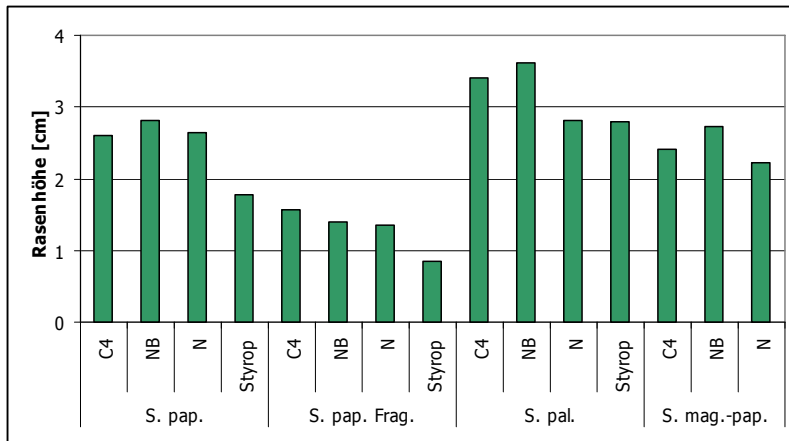


Abb. 41: Mittlere Rasenhöhe im Torfmoosversuch outdoor in Abhängigkeit von Torfmoosart (incl. Fragmentgröße) und Mattenvariante; Oktober 2009.

Die Rasenhöhe war im Versuch auf Styropor[®]-Matten (O) signifikant niedriger als auf der kettengewirkten C4-Matte und der Geogittermatte mit Bändchengewebe (NB).

Deckung

Im April 2009 war die durchschnittliche Gesamtdeckung der Torfmoose um 15 % geringer als unmittelbar nach der Ausbringung des Saatguts (damals ca. 90 %); vitale Moose deckten im Schnitt sogar nur 15 %. Im Oktober 2009 (nach 1 Jahr Kultur) erreichte die Gesamtdeckung der Torfmoose wieder über 80 % und die Deckung der vitalen Moose wieder 60-80 %. Die Gesamtdeckung von *S. papillosum* (fragmentiert) variierte sehr stark, verblieb aber durchschnittlich bei nur 50 %. Die Deckung der vitalen Moose betrug sogar nur ca. 10 %.

Die Deckung vitaler Torfmoose ist auf der kettengewirkten Matte (C4) und Geogitter-Matte mit Bändchengewebe (NB) jeweils ca. 70 % hoch, auf der Geogitter-Matte ohne Bändchengewebe (N) und auf der Styropor[®]-Matte (O) mit durchschnittlich 45 bzw 20 % deutlich geringer.

Hauptursachen für die auf einzelnen Matten sehr geringe Deckung sind Wellenschlag und Wasservögel. Die Rahmenkonstruktion war am Gewässergrund fixiert und konnte sich daher nicht in den Wind legen. Die Wirkung der Wellen war auf den Matten mit Fragmenten und bei Abdeckung mit Vogelnetz am stärksten (Abb. 42, links), Matten mit ganzen Moosen und Nylon-Schlingelegele waren weniger betroffen.

Wasservögel rasteten auf den Matten und hinterließen niedergedrückte Torfmoosrasen und nährstoffreiche Exkrememente (Abb. 43, rechts), die ihrerseits das Algenwachstum auf den Matten förderten (beobachtete Ringe mit verstärktem Algenwachstum rings um Exkrememente). Möwen nisteten erfolgreich auf den Matten (Abb. 43, links).

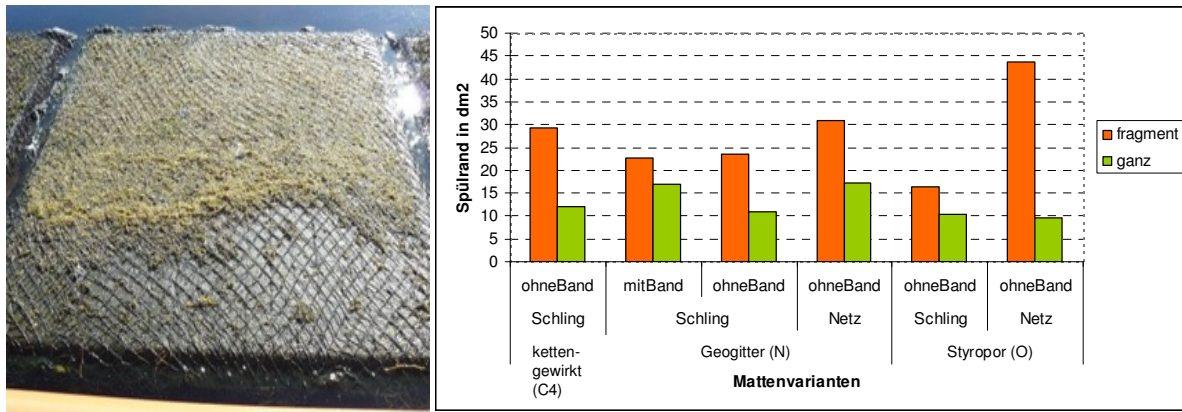


Abb. 42: Störung der Torfmoosetablierung durch Verspülen von Saatgut-Fragmenten (links) und Fläche des Spülsaumes in Abhängigkeit vom Matten-Typ und von der Ausbringung als Fragment oder ganzes Moos (rechts) im Torfmoosversuch outdoor (April 09).



Abb. 43: Störung des Torfmooswachstums durch Wasservögel: Nestbau (links) sowie Niederdrücken der Moose und Hinterlassen von Exkrementen (rechts) im Torfmoosversuch outdoor (li: April 09, re: August 09).

Biomasse

Für Analyse und Abbildungen wurden die Mittelwerte der Brutto-Torfmoos-Biomasse ($t\ ha^{-1}$) verwendet, um mit real gemessenen Werten Zusammenhänge besser zu erkennen. Für einen Vergleich der verschiedenen Versuche und die Diskussion der Ergebnisse wurden die Brutto-Werte der Biomasse umgerechnet auf ein Jahr Versuchsdauer und Netto-Werte (abzüglich „Saatgut“).

Die Produktivität der Torfmoose reichte von 0 (Totalausfall) bis max. $5,76\ t\ ha^{-1}$ (*S. palustre*, auf Styropor®-Matte O) (Abb. 44). *S. palustre* erreicht auch im Durchschnitt die höchste Produktivität ($2,0\ t\ ha^{-1}$), lag damit aber nur wenig und nicht signifikant über den Werten für *S. papillosum* und *S. magellanicum-papillosum*-Mix ($1,78$ und $1,87\ t\ ha^{-1}$). Dagegen lag die Produktivität von *S. papillosum* (fragmentiert) signifikant niedriger ($<1\ t\ ha^{-1}$).

Im Schnitt wurde auf der Styropor®-Matte (O) ähnlich viel Torfmoos-Biomasse gebildet wie auf der Geogitter-Matte ohne Bändchengewebe (N). Höhere Werte werden auf der kettengewirkten Matte (C4) und (signifikant) auf der Geogitter-Matte mit Bändchengewebe (NB) erreicht.

Die Höhe der Torfmoos-Biomasse korreliert mit Mattenvariante, Rasenhöhe, Deckung der Gefäßpflanzen und Capitula-Zahl. Entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung der Torfmoose hatte

die Art der Abdeckung. Unter Netz waren die Torfmoose z. T. völlig verschwunden, wohingegen unter Schlingengelege bis auf Ausnahmen die Ausgangsdeckung von 80-90 % erhalten blieb. Gleiches spiegelt sich in der Torfmoos-Biomasse wider: Unter Schlingengelege war sie signifikant höher als unter dem Netz.

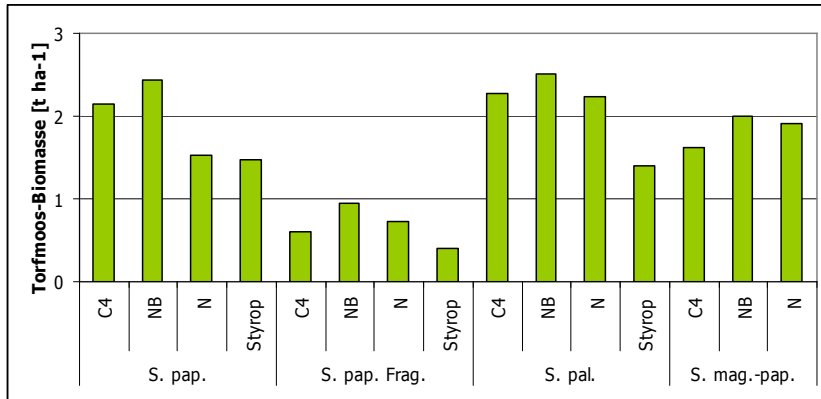


Abb. 44: Mittlere Torfmoos-Biomasse in Abhängigkeit von Torfmoosart und Matte (Torfmoosversuch outdoor).

Nährstoffgehalt der Torfmoos-Biomasse

C/N-Verhältnis sowie Phosphor- und Kaliumgehalt unterschieden sich zwischen den einzelnen Torfmoosarten am Standort E-Moor nicht signifikant: Das C/N-Verhältnis lag zwischen 20 und 24. Tendenziell hatte *S. palustre* das höchste, *S. papillosum* (fragmentiert) das niedrigste C/N-Verhältnis (Abb. 64).

Mittlere Phosphor-Gehalte lagen zwischen 50 und 70 mmol, mittlere Kalium-Gehalte zwischen 4 und 5,8 g je kg Torfmoos-Biomasse. *S. magellanicum-papillosum*-Mix wies die geringsten Werte für Phosphor- und Kalium-Gehalt auf. Die Unterschiede waren nicht signifikant.

Veralgung

Während die Matten im April noch als schwach bis mittel veralgt eingeschätzt wurden, wurden im Oktober 2009 am häufigsten die Veralgungsstufen mittel und stark festgestellt (Abb. 45). Mit zunehmender Veralgung verringerte sich die Torfmoos-Biomasse (Abb. 45, links).

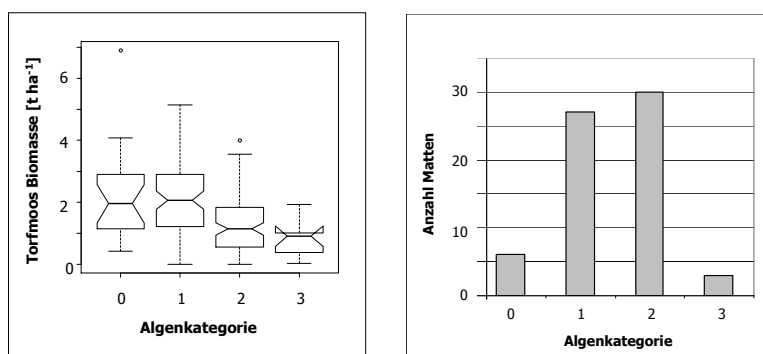


Abb. 45: Torfmoos-Biomasse in Abhängigkeit der Algenbedeckung (0 – „keine“ bis 3 – „sehr stark veralgt“) in Torfmoosversuch outdoor (li) und Anzahl Matten je Veralgungskategorie (re) im Oktober 2009.

Die stärkste Veralgung trat auf zwei Geogittermatten mit Bändchengewebe (NB) und einer Styropor[®]-Matte (O) auf. In Kategorie 2 („mittel“) waren die Geogittermatte (N) und die Styropor[®]-Matte (O) die häufigsten (zusammen 21 von 30 in dieser Kategorie). Insgesamt gab es aber keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen Mattentyp und Veralgung.

Schlussfolgerungen:

- Alle getesteten Mattentypen sind grundsätzlich geeignet. Moose konnten sich (mehr oder weniger gut) etablieren.
- Feine Torfmoosfragmente (1-5 mm) sind für eine Kultivierung auf Schwimmmatten im Freiland nicht geeignet.
- *S. palustre* ist die produktivste Art.
- Die Biomasse ist hauptsächlich mit Mattenvariante, Abdeckung, Deckung der Gefäßpflanzen sowie Rasenhöhe und Capitula-Zahl der Torfmoose korreliert.
- Die Verwendung von Schlinggelege führt zu signifikant höheren Torfmoos-Deckungen und – Biomassen als die Abdeckung mit Netz.
- Das Aufbringen von Bändchengewebe führt auf die Geogitter-Matte (NB) zu geringerem Gefäßpflanzenaufkommen und höherer Torfmoos-Biomasse im Vergleich zur gleichen Matten-Variante ohne Bändchengewebe (N). Allerdings haben die kettengewirkten Matten (C4) vergleichbare Werte wie Geogittermatte mit Bändchen.
- Präsenteste Gefäßpflanzen sind *Juncus bulbosus* und *Agrostis/Alopecurus*, präsenteste Moose sind *S. cuspidatum* und *Drepanocladus* sp. Allesamt werden vom Moor-Rand auf die Matten geschwemmt. Das restliche Artenspektrum erklärt sich durch die verschiedenen Herkünften des Torfmoos-Saatgutes.
- Das Wachstum der Moose wird am stärksten durch Wellenschlag und Wasservogel gestört.
- Veralgung wirkt sich negativ auf Torfmoos-Biomasseproduktivität aus.

2.4.2 Torfmoosversuch indoor

2.4.2.1 Versuchsaufbau und Monitoring:

Der Torfmoosversuch outdoor wurde als Torfmoosversuch indoor im Kleinen und mit nur einer Schwimmplatten-Variante (N) (in Abwandlung mit und ohne Bändchengewebe) im Gewächshaus der EMAU wiederholt. Die Bedingungen für den indoor-Versuch waren kontrolliert und der Versuch geschützter als der im Freiland. Wasservögel und Wellenschlag konnten als Störfaktoren ausgeschlossen werden. Die Entwicklung der Torfmoose konnte ungestörter verlaufen als im Freilandversuch. Es bestand zudem die Möglichkeit, die Torfmoosetablierung intensiver zu beobachten, aber auch schneller auf Störungen aufmerksam zu werden und ggf. Gegenmaßnahmen (auch im outdoor-Versuch) zu ergreifen.

In der 49. KW 2008 wurden Kisten (60 x 40 x 24 cm) mit Rudolphscher Nährlösung gefüllt (Füllstand 15 cm = 35 l) und zur Hälfte mit Matten vom Typ N, zur anderen Hälfte mit den Matten vom Typ NB (Matte N mit aufgestepptem Bändchengewebe) belegt (vgl. Tab. 4) (50 x 30 cm), um die Wirksamkeit gegenüber Auflaufen von Gefäßpflanzen zu untersuchen. Die Matten wurden mit Torfmoosen (*S. palustre* ganz, Mix aus *S. magellanicum* ganz und *papillosum* ganz, *S. papillosum* ganz, *S. papillosum* zerhäckselt=fragmentiert) bestückt und mit Nylonschlingengelege abgedeckt (Eindruck Versuchsaufbau s. Abb. 46). Zur Charakterisierung des Saatgutes vgl. Tab. 13. Alle Varianten wurden mit drei Wiederholungen aufgestellt (= 24 Kisten insgesamt). Um den Algenwuchs im Wasser einzudämmen, wurden offene Wasserflächen in den Kisten mit Styropor abgedunkelt. Tägliches 2maliges Besprühen mit VE-Wasser simulierte Morgen- und Abendtau. Zur Nährstoffversorgung wurde wöchentlich Rudolphsche Nährlösung mit Hilfe einer Dispensette aufgebracht. 15 cm Wassertiefe

unter der Matte wurde monatlich wieder hergestellt. Spontan auftretende Fremdmoose und Gefäßpflanzen wurden nicht entfernt, um deren Entwicklung und Einfluss auf das Torfmooswachstum beobachten zu können.

Die Matten wurden monatlich fotografiert, Aufwuchshöhe und Deckung der Torfmoose (grün=vital, weiß=subvital, braun=tot), die Anzahl bzw. Deckung und Höhe anderer Pflanzen (Fremdmoose und Gefäßpflanzen) sowie Stand und Leitfähigkeit des Wassers in den Kisten gemessen. Nach 7 und 12 Monaten Versuchsdauer wurden in je zwei Dauerquadraten (10 x 10 cm) pro Kiste Capitula gezählt und die Torfmoosdeckung geschätzt. Nach 12 Monaten wurden in den Dauerquadraten zusätzlich die Höhe des Torfmoosrasens und die Länge der Torfmoose gemessen und dann die Biomasse (getrennt nach Anteilen an Torfmoosen, Braunmoosen und Gefäßpflanzen) geerntet. Die Biomassebestimmung erfolgte nach Trocknung bis zur Gewichtskonstanz (ca. 24 h bei 80°)



Abb. 46: Aufbau Torfmoosversuch indoor (Dez. 09).

2.4.2.2 Ergebnisse und Diskussion Entwicklung der Torfmoose:

Aufkommen von Fremdmoosen und Gefäßpflanzen

Als Fremdmoose werden alle spontan aufkommenden Moose zusammengefasst. Die Gesamtdeckung an Fremdmoosen wurde nach kultivierter Torfmoosart aufgeschlüsselt. Sie entwickelte sich von fast 0 % zu Kultivierungsbeginn bis zu maximal 1-3 % bei den als ganze ausgebrachten Moosen und max. 7 % bei den fragmentierten Moosen (Abb. 47). Maxima traten im Oktober/November auf. Danach fielen die Kurven wieder leicht ab. Sehr deutlich waren die Unterschiede in der Deckung durch Fremdmoose. Bei *S. papillosum* (ganz und fragmentiert) war diese signifikant höher als bei *S. palustre* und *S. magellanicum-papillosum*-Mix. Bei den als Fragmente ausgebrachten *S. papillosum* sogar um ein vielfaches höher als bei allen anderen (Abb. 47). Die auftretenden Fremdmoosarten und ihre jeweils maximal erreichten Deckungen sind in Tab. 12 aufgeschlüsselt. *Pohlia nutans/sphagnicola* und *Aulacomnium palustre* waren die häufigsten Arten. Nach 1 Jahr Kulturdauer (Dez.09) war der Anteil an *Pohlia* war im fragmentierten *S. papillosum* am größten. Hier gab es eine Beziehung zwischen Rückgang der Deckung vitaler/grüner Torfmoose und Zunahme der Deckung von *Pohlia* (vgl. Tab. 12, Abb. 48). Das kleinwüchsige *Pohlia* verdrängte jedoch die Torfmoose nicht, sondern konnte sich erst an offenen Stellen stark ausbreiten, wenn dort der Torfmoosrasen ausgefallen war. Die verschiedenen Arten-Spektren nach Herkunft des Saatmooses deuten an, dass die auflaufenden Fremdmoos-Diasporen (Sporen und Sprosteile) über das Torfmoos-Saatgut eingebracht worden waren. Im *S. pap.-magellanicum*-Mix traten kein *Drepanocladus*, *Polytrichum* und kein *S. cuspidatum* auf. In den *S. palustre*-Rasen gab es kein *Atrichum* und kein *S. fimbriatum*.

Gefäßpflanzen traten bereits 1 Monat nach Ausbringung der Torfmoose auf (Tab. 13). Im Verlauf des Versuches wurden bis zu 9 % Gesamt-Gefäßpflanzendeckung, gemittelt über die einzelnen kultivierten Torfmoosarten, erreicht (Abb. 47). Deckungs-Maxima wurden in den Zeiträumen April - Mai und September - Oktober beobachtet. Höchste Gefäßpflanzendeckungen gab es im *S. pap.-magellanicum*-Rasen, gefolgt vom Rasen aus *S. papillosum* (fragmentiert). Das Artenspektrum war ebenfalls Torfmoosart-spezifisch (Abb. 48), z.B. traten besonders viel *Betula*, *Erica* und *Drosera* im *S. pap.-magellanicum*-Mixrasen auf, wohingegen *Juncus* und *Molinia* dort weitgehend fehlten. Ein besonders hoher Anteil von *Juncus* war im *S. palustre*-Rasen zu beobachten. Das hing vermutlich mit der Herkunft des Ausgangsmaterials zusammen: während der *Sphagnum*-Mix aus Bremer Versuchen des abgeschlossenen FNR-Projekt entnommen war, stammte das Material der anderen Arten aus Freilandbeständen in Ramsloh (ähnliche Ergebnisse im Torfmoosversuch outdoor). *Juncus* keimte am meisten auf den Matten mit zerkleinertem *Sphagnum papillosum*, fast drei Mal so häufig wie auf den Matten mit ganzen Moosen derselben Art. Unabhängig von der Torfmoosart kam es nach 4 Monaten zum Teil zu einem Rückgang der Keimlings-Anzahlen, vor allem bei *Betula*, *Juncus* und *Drosera*. Mögliche Ursachen sind 1) zu nasse oder zu nährstoffarme Verhältnisse lassen Keimlinge wieder absterben, 2) Torfmoose überwuchern Keimlinge (z.B. vom niedrigwüchsigen *Drosera*).

Übersicht über alle beobachteten Gefäßpflanzenarten, ihre maximalen Deckungen, Anzahlen, Höhen und Angaben zum Zustand im Vergleich zu natürlichen Standorten gibt Tab. 13. Meistvorkommende Arten waren *Juncus effusus*, *Betula pubescens*, die geschützte *Drosera rotundifolia*, *Molinia caerulea* sowie die geschützte *Erica tetralix* (Abb. 48). Keine Gefäßpflanzenart wies auf den Schwimmatten den gleichen kräftigen Habitus wie an ihrem natürlichen Standort auf.

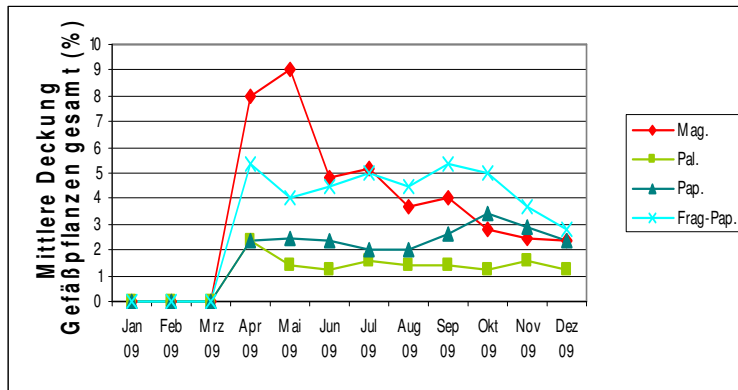
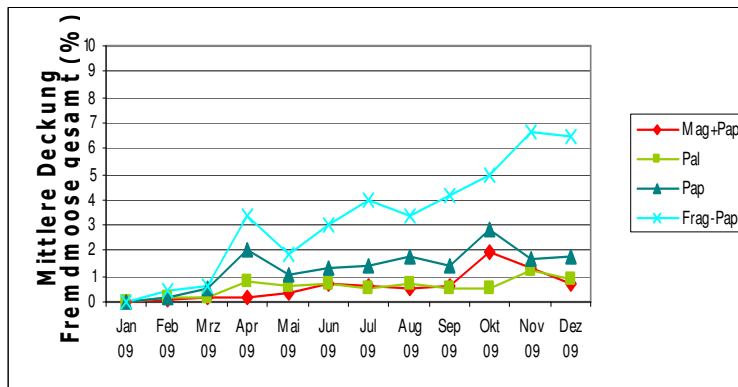


Abb. 47: Entwicklung der mittleren Deckungen von Gefäßpflanzen (oben) und Fremdmoosen (unten) über 1 Jahr in Abhängigkeit von der Torfmoosart (für Jan.-Mrz. keine Werte erhoben).



Tab. 12: Vorkommende Fremdmoosarten und maximal erreichte Deckungen im Torfmoosversuch indoor.

Fremdmoose (alphabetisch)	max. erreichte Deckung über 1 Jahr (%)	Sporulation
<i>Atrichum cf. tenellum</i>	<1	
<i>Aulacomnium palustre</i>	7	x
<i>Drepanocladus spec.</i>	1	x
Lebermoose gesamt	<1	
<i>Pohlia nutans/sphagnicola</i>	10	x
<i>Polytrichum commune</i>	<1	
<i>Polytrichum longisetum</i>	<1	
<i>Sphagnum cuspidatum</i>	<1	
<i>Sphagnum fallax</i>	1	
<i>Sphagnum fimbriatum</i>	<1	
<i>Sphagnum palustre</i>	<1	

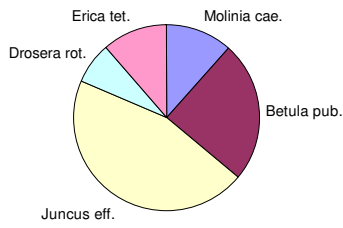
Die Deckung der Gefäßpflanzen war bei *S. papillosum* (fragmentiert) signifikant höher als bei *S. papillosum* (ganze) und *S. palustre* (Abb. 47).

Das Bändchen-Gewebe hatte keinen Einfluss auf den Anteil an Gefäßpflanzen bzw. Fremdmoosen.

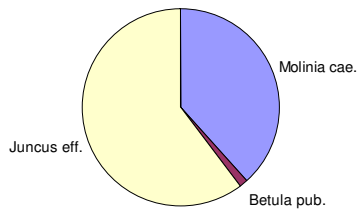
Tab. 13: Auftretende Gefäßpflanzen im Torfmoosversuch indoor. Zustandsvergleich mit natürlichem Standort: 1= sehr gut - 3= schlecht.

Gefäßpflanzen (alphabetisch)	1. Beobachtung nach	mgl. Herkunft (Diasporen-Art)	max. erreichte Deckung über 1 Jahr (%)	max. erreichte Anzahl (n pro m ²)	max. erreichte Höhe (cm)	Blüte	Zustand verglichen mit nat. Standort	Bemerkungen
<i>Betula pubescens</i>	1 Monat	Samen	10	6200	24	-	3	nur wenige über Keimlingsstadium hinaus, frühes Blätterwerfen, kümmerwuchs, bis 22cm lange Wurzeln unter Matte
<i>Carex canescens</i>	8 Monaten	Samen	<1	67	15	-	3	
<i>Drosera rotundifolia</i>	1 Monat	Samen	2	6933	2,7	-	3	z. T. absterbend (bes. unter Wasser), teilweise später von Torfmoos überwachsen
<i>Erica tetralix</i>	3 Monaten	Samen/ Rhizom	<1	1200	11,7	x	2	nur 1 Blüte beobachtet
<i>Eriophorum spec.</i>	1 Monat	Samen/ Rhizom	<1	67	na	-	3	nicht ausgewachsen, rasch verschwunden
<i>Juncus effusus</i>	2 Monaten	Samen	3	8067	38,5	-	2	kümmerwuchs, bis 50cm lange Wurzeln unter Matte
<i>Lactuca spec.</i>	1 Monat	Samen	<1	67	3,2	-	3	nicht ausgewachsen, rasch verschwunden
<i>Molinia caerulea</i>	1 Monat	Samen/ Rhizom	1	2333	85	x	2	nur wenige über Keimlingsstadium hinaus, z. T. Blätter mit gelben Enden, nur 1 Blüte beobachtet
<i>Senecio vernalis</i>	4 Monaten	Samen	<1	67	8,8	x	3	kümmerwuchs
cf. <i>Rumex spec.</i> - Keimling	8 Monaten	Samen	<1	67	0,8	-	3	nur Keimling

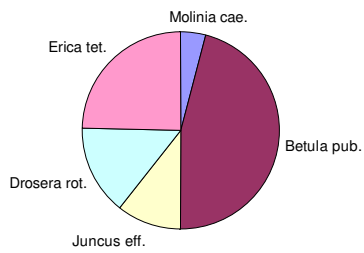
Gefäßpflanzendeckung über alle Sphagnum-Arten gemittelt (gesamt 2,3 %)



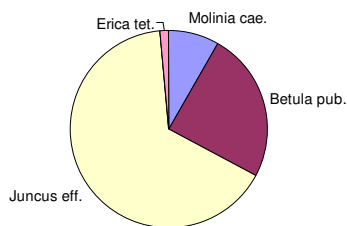
in S. pal. (gesamt 1,1 %)



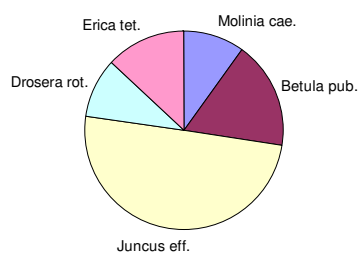
in S. mag.+pap. (gesamt 2,4 %)



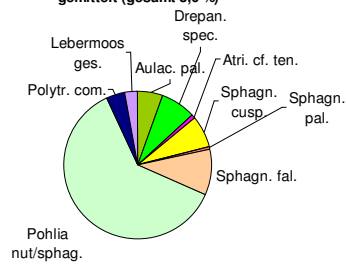
in S. pap. (gesamt 2,4 %)



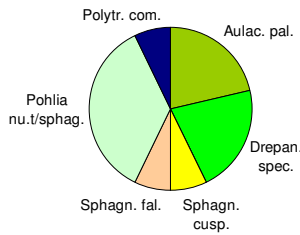
in S. pap.-Fragm. (gesamt 3,4 %)



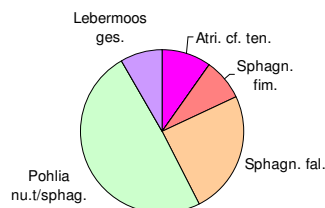
Fremdmoosdeckung über alle Sphagnum-Arten gemittelt (gesamt 3,0 %)



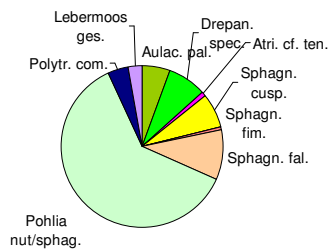
in S. pal. (gesamt 1,2 %)



in S. mag.+pap. (gesamt 1,0 %)



in S. pap. (gesamt 2,8 %)



in S. pap.-Fragm. (gesamt 6,9 %)

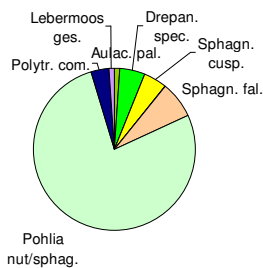


Abb. 48: Anteil einzelner Arten an Gesamtdeckung Gefäßpflanzen (links) und Fremdmoose (rechts) im Torfmoosversuch indoor (Dez.09).

Capitulazahlen

Die für die einzelnen Torfmoosarten gemittelten Capitula-Zahlen streuten stark. Der größte Unterschied bestand zwischen dem fragmentierten Saatgut und im Ganzen ausgebrachten Moosen (Abb. 49). Nach 7 Versuchsmonaten (Juli 2009) überstieg die Capitulazahl pro m² der fragmentierten Moose mit ca. 18.000 die der nicht-fragmentierten Moose um etwa das 3fache. Von diesen 18.000 waren 84 % neu gebildete (=kleine) Capitula (Abb. 49, li). Nach 12 Versuchsmonaten (Dezember 2009) waren neue und alte Köpfchen nicht mehr zu unterscheiden. Ihre Gesamt-Anzahl verringerte sich bei den fragmentierten Moosen auf knapp 13.000 pro m² (Abb. 49, re), d.h. auf etwa doppelt so viel wie bei den ganzen Moosen. Innerhalb der im Ganzen ausgebrachten Moose hatte der *S. mag.-pap.*-Mix etwas höhere Capitula-Zahlen als die anderen Arten.

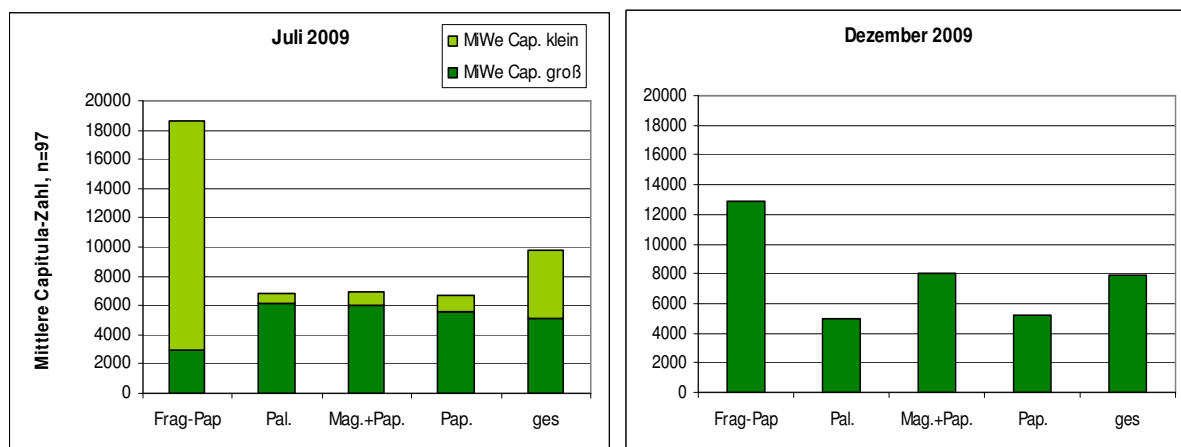


Abb. 49: Vergleich der mittleren Capitula-Zahlen in Abhängigkeit von der Torfmoos-Art und der Größe der Saatgutmoose nach 7 Versuchsmonaten (links: Unterscheidung in neue und alte Capitula) und nach 1 Jahr (rechts: Unterscheidung in neue und alte nicht mehr möglich).

Am Versuchsende (nach 1 Jahr) unterschieden sich die Capitula-Zahlen der im Ganzen ausgebrachten Moose nicht signifikant voneinander. Die Capitula-Zahl von *S. papillosum* (fragmentiert) war signifikant größer als bei *S. papillosum* (ganze) und *S. palustre*.

Auf der Geogitter-Matte mit Bändchengewebe wurden weniger Capitula gebildet als auf der Matte ohne Bändchengewebe. Der Unterschied war jedoch nicht signifikant.

Deckung

Ausgehend von einer mittleren Deckung von ca. 80 % wurden im Verlauf des Jahres Deckungen von ca. 90 % erreicht (in Ausnahmen bis 100 %, vgl. Abb. 50). Ab dem dritten Versuchsmonat verbleichten einzelne Moose, ab dem 4. starben einzelne Moose ab.

S. magellanicum und *palustre* verhielten sich ähnlich, wobei bei *S. palustre* ab dem 2. Versuchsmonat bereits eine Steigerung in der Deckung zu beobachten war, bei *S. magellanicum* erst im 4. Monat. *S. papillosum* (ganz) nahm in der Gesamtdeckung die ersten 4 Monate zu. Ab dem 3. Monat sank der Anteil vitaler Torfmoosen bis unter 60 %. Bei *S. papillosum* (fragmentiert) stieg die Gesamtdeckung erst im 4. Monat. Dabei war jedoch der Anteil subvitaler Moose hoch (Abb. 51). Das Ausbleichen der Moose kann z.B. von parasitischen Pilzen verursacht werden (vgl. Kap. 2.5.3).

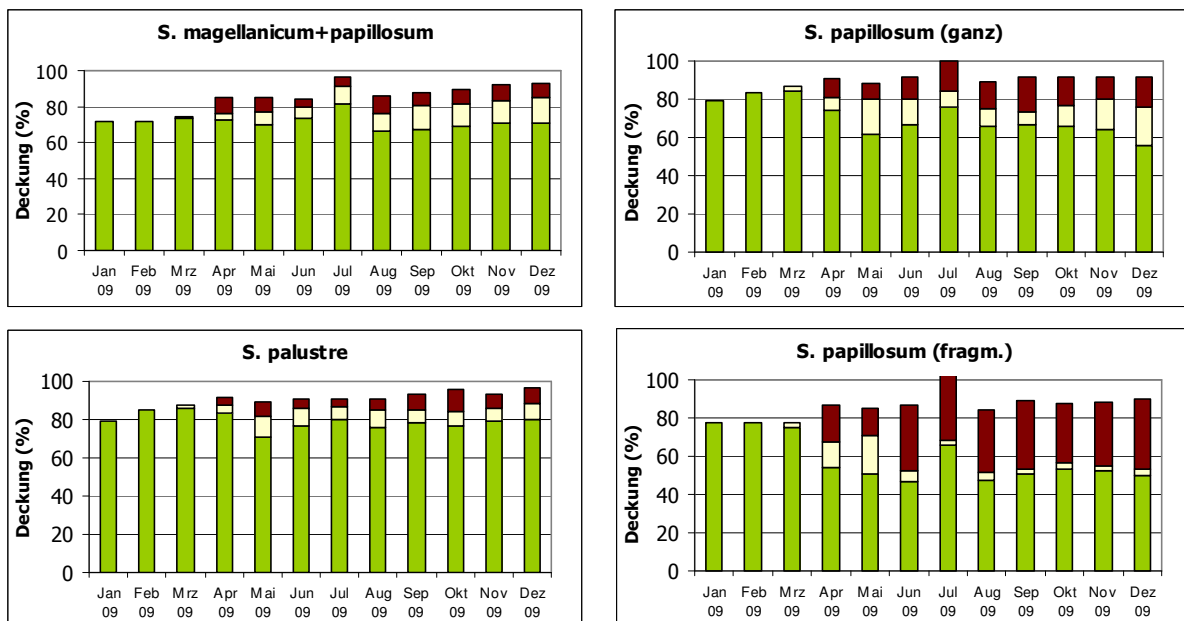


Abb. 50: Entwicklung der Deckung unterschiedlicher Torfmoos-Arten im Verlauf eines Jahres: grün = grün/vital, beige = weiß/subvital, braun = braun/tot.

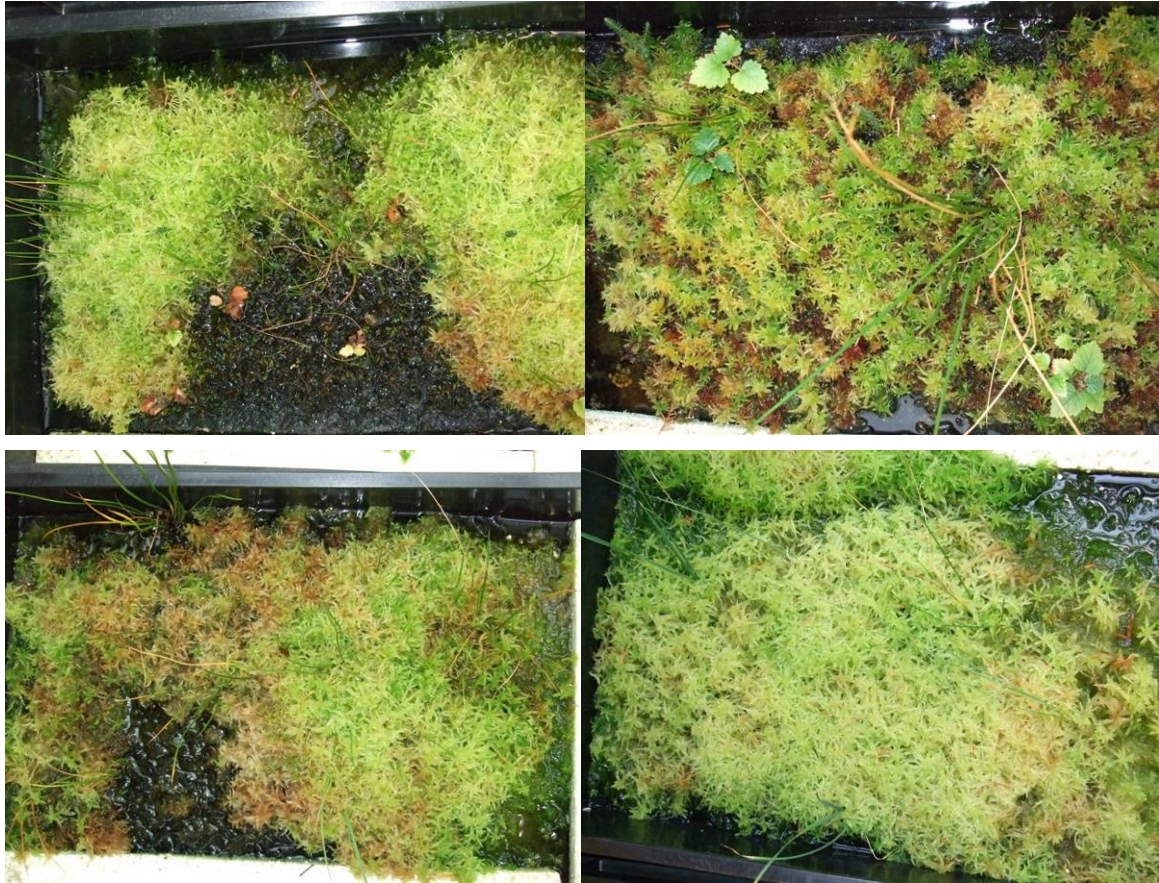


Abb. 51: Verschiedene Torfmoosarten im Dez. 09. li-ob: *S. papillosum* (fragmentiert) mit braunem = abgestorbenen Moos; re-ob: *S. Mag+Pap-Mix*, mit für *S. magellanicum* typisch rotbraun gefärbtem, aber lebendigen Moos; li-un: *S. papillosum* ganz; re-un: *S. palustre* mit weißem (subvitalen) Moos.

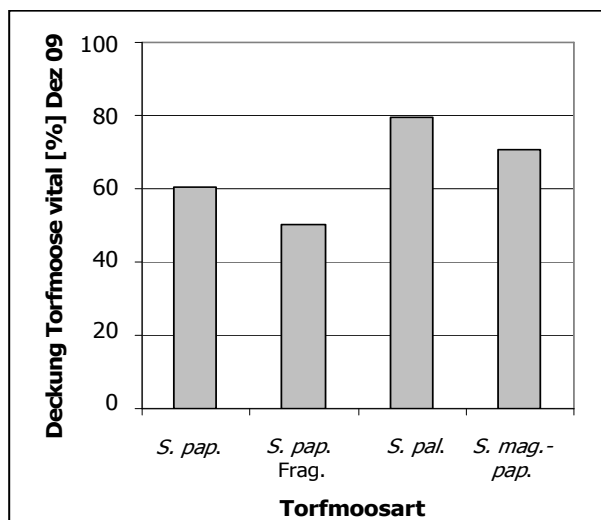


Abb. 52: Mittlere Deckung der vitalen Torfmoose nach 1 Jahr Kultur in Abhängigkeit von der Torfmoos-Art im Torfmoosversuch indoor.

Nach 1-jähriger Kultur war die Gesamtdeckung von *S. palustre* und dem *S. magellanicum-papillosum*-Mix signifikant höher als die von *S. papillosum* (ganze und fragmentierte). Insgesamt waren aber immer zwischen 80 und 100 % der Matten bedeckt. Auch die Deckung der vitalen Moose war bei *S. palustre* und *S. mag.-pap.*-Mix signifikant höher als bei *S. papillosum* (ganze und fragmentierte) (Abb. 52).

Auf der Geogitter-Matte mit Bändchengewebe war die Deckung vitaler Torfmoose deutlich, jedoch nicht signifikant, geringer als auf der Matte ohne Bändchengewebe.

Rasenhöhen

Verstärktes Längenwachstum begann bei im Ganzen ausgebrachten Saatmoosen nach 1-2 Monaten (bes. schnell: *S. palustre*, am langsamsten: *S. Mag-Pap-Mix*), bei *S. papillosum* (fragmentiert) dagegen erst ab dem 5. Monat (Beginn Wachstumsphase).

Die mittlere Rasenhöhe stieg im Zeitraum des 2.-11. Versuchsmonat stetig von ca. 0,5-1,5 cm bis auf 5-7 cm (Abb. 53). In den letzten 2 Monaten blieb die Rasenhöhe in etwa konstant.

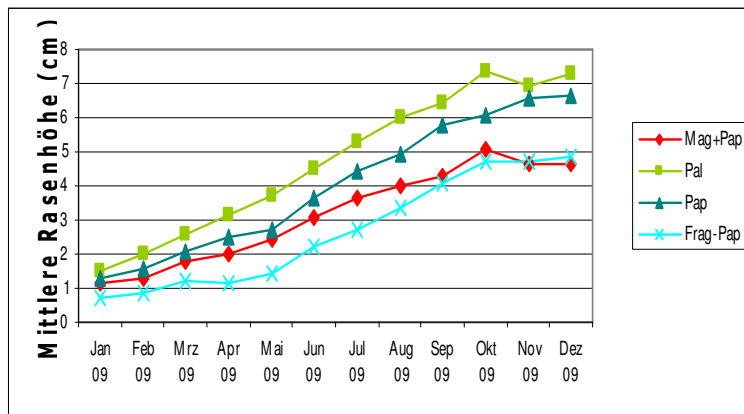


Abb. 53: Entwicklung der mittleren Torfmoosrasen-Höhen im Verlauf eines Jahres in Abhängigkeit von der Torfmoosart.

Nach vier Monaten waren die Torfmoosrasen durchschnittlich 2,2 cm aufgewachsen und zum Teil durch das Schlinggelege hindurch gewachsen. Bei *S. papillosum* (fragmentiert) bildeten sich zahlreiche neue Capitula (Abb. 54).



Abb. 54: Aufwuchs auf N-Matten im Torfmoosversuch indoor (Gewächshaus in Greifswald). a) *Sphagnum palustre* durchwächst das Nylonschlinggelege, b) Capitula-Neubildung bei zerhackteltem *S. papillosum*, c) Aufwuchs von Gefäßpflanzen.

S. papillosum und *palustre* wuchsen von Januar bis Mai gleichmäßig dann bis Oktober noch etwas schneller (Abb. 53). Im November und Dezember wuchs *S. papillosum* wiederum deutlich langsamer, während *S. palustre* sogar stagnierte. *S. magellanicum-papillosum*-Mix wuchs insgesamt etwas langsamer und stagnierte ebenfalls in den letzten zwei Monaten. *S. papillosum* (fragmentiert) wuchs zunächst deutlich langsamer als alle anderen Varianten, ab dem 5. Monat aber etwa so schnell wie *S. papillosum* und *palustre*. Ursachen für die Stagnation in den letzten zwei Monaten konnten nicht abschließend geklärt werden: Sie könnten trotz kontrollierter Bedingungen im Gewächshaus saisonale Ursachen haben. Denkbar ist auch, dass ein Untertauchen der Matte (Matte verliert an Auftrieb oder

aber etablierter Torfmoosrasen drückt durch eigenes Gewicht Matte tiefer) zu flutenden Moosen führt, die dann zwar an Länge weiterhin zulegen, aber nicht mehr an Rasenhöhe.

Nach einem Jahr Kultivierung hatte *S. palustre* (Ø 7,3 cm), gefolgt von *S. papillosum* (Ø 6,6 cm), den signifikant höchsten Rasen. Die Rasen von *S. papillosum* (fragmentiert) und *S. magellanicum-papillosum*-Mix erreichten jeweils nur ca. Ø 5 cm Höhe.

Auf der Geogitter-Matte mit Bändchengewebe wurden geringere Rasenhöhen gemessen als auf der Matte ohne Bändchengewebe. Der Unterschied war jedoch nicht signifikant.

Biomasse

S. palustre erreichte mit durchschnittlich $3,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ die höchste, *S. papillosum* (fragmentiert) mit $2,4 \text{ t ha}^{-1}$ den geringsten Zuwachs an Biomasse (Abb. 55). Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant.

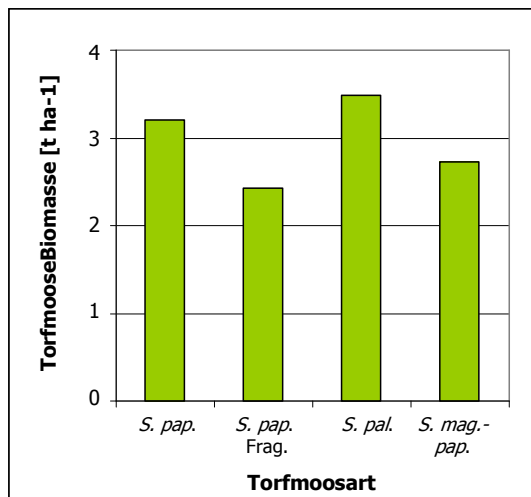


Abb. 55: Mittlere Torfmoos-Biomasse nach 1 Jahr in Abhängigkeit der Torfmoosarten und Ausbringgröße im Torfmoosversuch indoor.

Die Torfmoos-Biomasse korreliert positiv mit der Anzahl der Capitula (schwacher Zusammenhang) und dem maximalen Wasserstand (stärkerer Zusammenhang) auf der Matte sowie negativ mit der Fremdmoos-Biomasse. Die Schwimmatten waren größtenteils im Laufe des Versuches zw. 1 und 6 cm unter die Wasseroberfläche geraten. Die verwendete Matte N (Geogitter, PE-Schaumseil) verlor nach 12 Monaten lediglich 11 % ihres Auftriebs (Tab. 4). Die Matten sanken folglich nicht (nur) von allein ab, sondern wurden vermutlich durch den aufwachsenden Torfmoosrasen nach unten gedrückt. Daraus resultierende hohe Wasserstände im Torfmoosrasen auf der Matte fördern wiederum das Wachstum der Torfmoose. Dieses Wechselspiel bedingt möglicherweise die hohen Biomassen bei hohen Wasserständen in der Zuwachphase. Dagegen wirken sich Wasserstände über der Mattenoberkante negativ auf die Etablierung aus.

Wie bereits unter „Aufkommen von Fremdmoosen und Gefäßpflanzen“ diskutiert, verdrängen präsentere Moose wie *Pohlia* nicht etwa die Torfmoose, sondern breiten sich sekundär auf Stellen aus, wo sich kein Torfmoosrasen etablieren konnte.

Zwischen den beiden Mattentypen Geogitter (N) und Geogitter + Bändchengewebe (NB) gab es keine Unterschiede in der Biomasse von Torfmoosen, Fremdmoosen und Gefäßpflanzen.

Schlussfolgerungen aus Torfmoosversuch indoor:

- Torfmoosrasen konnten sich in allen Versuchsvarianten etablieren.
- Erst nach erfolgtem Rasenschluss (Etablierung) erfolgt verstärktes Höhenwachstum (Zuwachphase).
- Die Etablierungsphase dauert zwischen 1 Monat bei *S. palustre* (ganz) bis 4 Monaten bei *S. papillosum* (fragmentiert) (Tab. 14, weiterführend auch Kap. 2.6.1).
-

Tab. 14: Zeiträume für Torfmoosetablierung im Torfmoosversuch indoor.

Torfmoosart	Etablierung hinsichtlich Deckung	Etablierung hinsichtlich Rasenhöhe
<i>S. palustre</i> ganz	nach 2 Monaten	nach 1 Monat
<i>S. magellanicum</i> ganz	nach 4 Monaten	nach 2 Monaten
<i>S. papillosum</i> ganz	nach 2 Monaten	nach 2 Monaten
<i>S. papillosum</i> fragmen-tiert	nach 4 Monaten	nach 4 Monaten

- *S. palustre* ist in der Etablierungs- und Zuwachphase am robustesten und bildet den höchsten Rasen mit der meisten Biomasse → am besten zu kultivieren.
- *S. papillosum* ist am sensibelsten: fragmentiert hat es die meisten Ausfälle in der Etablierungsphase und braucht am längsten zum Etablieren; ausgebracht als ganze Moose hat es die stärksten Ausfälle in der Zuwachphase → am schwersten zu kultivieren.
- 1-3 mm große Fragmente sind als Saatgut zu fein für Ausbringung auf Schwimmmatten.
- Wenn Etablierung abgeschlossen, scheinen sich Wasserstände über der Mattenoberkante günstig auf das Torfmooswachstum auszuwirken.
- Erste Störungen (Chlorosen der Torfmoose und Braunfärbung bei Absterben) werden ab dem 3. Monat beobachtet.
- Neue Capitula entstehen vor allem nach Fragmentierung (sind spätestens nach 12 Monaten ausgewachsen).
- Artenspektrum und Deckung von Fremdmoosen und Gefäßpflanzen sind hauptsächlich abhängig von der Herkunft des Torfmoos-„Saatgutes“.
- Häufigstes Fremdmoos ist *Pohlia nutans/sphagnicola*; es etabliert sich dort, wo Torfmoose absterben. Häufigste Gefäßpflanzen sind *Juncus effusus*, *Betula pubescens*, *Drosera rotundifolia*, *Molinia caerulea* und *Erica tetralix*. Sie beeinträchtigen das Torfmooswachstum nicht.
- Zusätzlicher Einbau von Bändchengewebe führt nicht zur Verringerung des Gefäßpflanzen-Aufwuchses und bringt auch in Hinsicht auf das Torfmooswachstum keine Vorteile.

2.5 Optimierung der Kultivierung (AP2)

2.5.1 Gefäßpflanzen und Fremdmoose

Fremdmoose

Das Fremdmoos-Aufkommen war in allen Versuchen gering (Gesamtdeckung blieb im Schnitt unter 1 % und die Biomasse unter $0,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). In Einzelfällen erreichte *Pohlia* cf. *nutans/sphagnicola* höhere Deckungen, eine Ausbreitung der Art fand jedoch erst statt, nachdem der Torfmoosrasen flächig ausgefallen war. Somit konnte keine Beeinträchtigung des Torfmooswachstums durch Fremdmoose nachgewiesen werden.

Des Weiteren gab es bisher keine Hinweise, dass Fremdmoose (ausgenommen vielleicht großwüchsige und mechanisch stabile *Polytrichum*-Arten) den Ablauf der maschinellen Umarbeitung des Substratausgangsstoffes Torfmoos-Frischmasse stören oder die physikalisch-chemischen Kennwerte des Gartenbausubstrates beeinträchtigen (mikrobielle Nährstoffmobilisierung).

Deshalb wird das geringe Auftreten von Fremdmoosen als unkritisch eingestuft.

Gefäßpflanzen

Die Wirkung von Gefäßpflanzen auf das Torfmooswachstum ist ambivalent. Die Anwesenheit von *Juncus effusus* scheint sogar das Wachstum von Torfmoosen leicht zu begünstigen (Faktor 1,2; Torfmoosversuch outdoor, Abb. 56). Hierfür wurde im Rahmen der 2. Bonitur des Mattenversuchs indoor (nach 11 Monaten Versuchsdauer) beim Messen der Torfmoos-Rasenhöhen im 10 x 10 cm-Raster vermerkt, ob das gemessene Torfmoos in *Juncus* stand oder nicht. Rasterpunkte, an denen *Juncus*, aber kein Torfmoos stand = „Null-Höhen“ wurden nicht in die Analyse einbezogen. Auch im Feldversuch LW-Moor (Kap. 2.3) wirkte sich moderater *Juncus*-Aufwuchs positiv auf das Wachstum der Torfmoose aus. Der Vorteil von *Juncus*-Aufwuchs besteht möglicherweise im mechanischen Schutz gegen Verspülen und durch Schaffen eines günstigen Mikroklimas (Malmer et al. 1994, Malmer et al. 2003).

Bei Ernteverfahren mit einem Schneidwerk (anders als z. B. durch „Auskämmen“) muss mit Gefäßpflanzen im Erntegut gerechnet werden. Dies könnte sich bei der Umwandlung von Torfmoosfrischmasse in ein Gartenbausubstrat problematisch erweisen (z.B. Hängenbleiben in Maschinen). Unbedingt kritisch ist das Verbleiben von Gefäßpflanzenresten im späteren Gartenbausubstrat zu bewerten. Für den mikrobiellen Abbau von Gefäßpflanzen im Substrat werden Nährstoffe benötigt, die dem Substrat genau dosiert zugesetzt, der Kulturpflanze zum Wachstum verloren gehen (v. a. Stickstoffmobilisierung). Je enger das C/N-Verhältnis im Gefäßpflanzenrest, desto rasanter geht der mikrobielle Abbau vonstatten.

Das Gegeneinanderabwägen von Vor- und Nachteilen des Gefäßpflanzen-aufwuchses ist noch nicht abgeschlossen. Nutzt man den Vorteil von Gefäßpflanzenaufwuchs bei der Kultivierung, müssen Verfahren zur Reinigung des Erntegutes im Nachhinein entwickelt werden, z.B. Sieben. Soll Gefäßpflanzenaufwuchs bereits bei der Kultivierung vermieden werden, muss „reines“ (d.h. frei von Gefäßpflanzen-Diasporen: Samen, Rhizome, ganze Pflanzen) Torfmoos-Saatgut erzeugt und/oder Gefäßpflanzen-Aufwuchs bei der Kultivierung bekämpft werden. Der Einsatz von Herbiziden widerspricht jedoch Leitlinien zum Gewässerschutz und den Qualitätsanforderungen von Substraten (Gütesiegel RHP). Eine Vorkultivierung der Torfmoosmatten an Land könnte geeignet sein, Gefäßpflanzen-Aufwuchs zu minimieren.

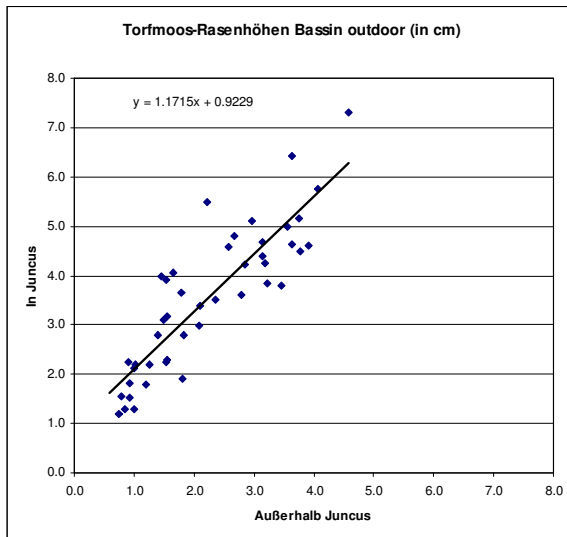


Abb. 56: Torfmoos-Rasenhöhen in Abhängigkeit von der Anwesenheit von *Juncus effusus* im Torfmoosversuch outdoor (Erhebung Oktober 2009 nach fast einjähriger Versuchsdauer).

In den bisherigen Versuchen präsenteste Arten waren *Juncus effusus* und *J. bulbosus*, *Betula pubescens*, *Molinia caerulea*, *Agrostis stolonifera/Alopecurus geniculatus* sowie die geschützten Arten *Drosera rotundifolia* und *Erica tetralix*.

Gefäßpflanzen-Diasporen kommen auf verschiedenen Wegen in die Torfmooskultur: Über verunreinigtes Torfmoos-Saatgut selbst, über die Luft und über das Wasser auf den Kultivierungsstandorten sowie mit Wasservögeln. Um dies genauer zu untersuchen, wurde ein Torfmoos-Saatgut-Versuch unter kontrollierten Gewächshausbedingungen gestartet (Kap. 2.5.1.1), im Freilandversuch Diasporenfallen (Kap. 2.5.1.1) aufgestellt sowie die die Kultivierungsgewässer umgebende Vegetation kartiert (Kap. 2.2).

2.5.1.1 Saatgutversuch

Um das Potential von im Ausgangsmaterial enthaltenen anderen Pflanzen als Torfmoose zu bestimmen, wurde jeweils bei Einrichtung der Feld- bzw. Torfmoosversuche ein Teil des Saatgutes entnommen, zerkleinert und als ca. 50 g Frischmasse in Saatschalen (29 x 22 x 8,3 cm) auf gedämpftem Torf (von MoKuRa) ausgebracht. Die Schalen wurden im beheizten Greifswalder Gewächshaus aufgestellt und durch Abdeckung mit einer Haube vor dem Anflug von Fremddiasporen sowie vor Austrocknung geschützt. Wöchentlich wurde Rudolphsche Nährlösung bzw. verdünnter Universaldünger mit Hilfe einer Dispensette aufgebracht. Nach 5 und 15 bzw. 19 Wochen wurde das aufgewachsene Pflanzenmaterial bestimmt, gezählt und die Gefäßpflanzenkeimlinge entfernt.

Insgesamt wuchsen 5 Gefäßpflanzenarten auf. In abnehmender Häufigkeit: *Juncus effusus*, *Erica tetralix*, *Betula spec.*, Poaceae (ev. *Molinia caerulea*), *Drosera rotundifolia*. Sowie 6 Fremdmoo-Arten: *Pohlia nutans/ sphagnicola*, *Aulacomnium palustre*, *Drepanocladus fluitans*, *Calypogeia muelleriana*, *Atrichum cf. tenellum*, *Polytrichum spec.*

Am häufigsten lief *Juncus effusus* auf, insbesondere aus dem Saatgut welches im Winter entnommen wurde von der so genannten „Spielwiese“, einer seit 20 Jahren aufgelassenen, teilweise abgetorfte und wiedervernässten Fläche (von MoKuRa) (Abb. 57). Auf der „Spielwiese“ dominiert *Juncus effusus* in der Krautschicht, ermöglicht durch schwankende Wasserstände, einen relativ hohen Nährstoffgehalt im Boden und Mulchen im Abstand von zwei bis drei Jahren. Während aus vielen *Juncus*-Samen im Sommer bereits Keimlinge gebildet wurden, ist die Diasporenbank im Dezember für die Keimung im nächsten Jahr wieder „aufgefüllt“. Infolge der im Jahr mehrmaligen Mahd auf der Ramsloh-Versuchsfläche (FNR-Projekt 2003-2007) wird der Aufwuchs von Gefäßpflanzen deutlich verringert. Auch auf der Marinesenderfläche in Ramsloh wird die Krautschicht kurz (und somit die Diaporen-Produktion gering) gehalten.

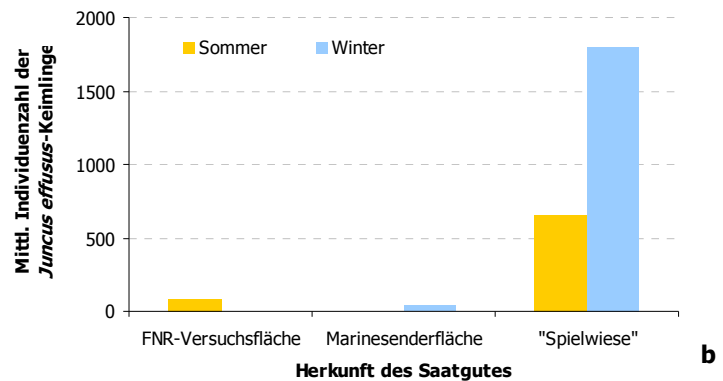


Abb. 57: *Juncus effusus*-Keimlinge dominieren im Saatgutversuch. a) Detailansicht einer Saatschale mit *Sphagnum fimbriatum* von der „Spielwiese“ 15 Wochen nach Versuchseinrichtung sowie b) mittlere Individuenzahl von *Juncus effusus*-Keimlingen pro Saatschale in Abhängigkeit von der Herkunft des Saatgutes und der Jahreszeit der Saatgutentnahme im Feld.

Die Qualität der Düngung spielt für Artenkombination und Anzahl gekeimter Individuen keine Rolle. Die Deckung der Fremdmoose erreichte maximal 10 %. Die Torfmoose wuchsen z. T. weiter und bildeten neue Capitula (Abb. 57a).

Entscheidend für den Aufwuchs von Fremdarten und damit auch für die Qualität des Substratrohstoffes ist die Herkunft des Ausgangsmaterials. Ist die Fläche dicht mit anderen Arten bewachsen, kann auch die sorgsame Aussortierung der Torfmoose das zahlreiche Aufkeimen der Fremdarten (insbesondere *Juncus effusus*) nicht verhindern. Das Sammeln des Saatgutes im Sommer verringerte den Samen Gehalt geringfügig. Effektiver könnte das Dämpfen des Saatgutes die Samenbank von Fremdarten dezimieren. Nur ein kleiner Teil der aufgewachsenen Fremdarten wurde angeschwemmt.

2.5.1.2 Diasporenfallen



Abb. 58: Diasporenfalle im LW-Moor.

Um den atmosphärischen Diasporeneintrag einschätzen zu können, wurden Diasporenfallen aufgestellt. Diese bestanden aus einem Plaste-Trichter mit Auffangsäckchen. Der Trichter wurde auf Rohrmaterial fixiert und an den KG-Rohr-Rahmenkonstruktionen der Feldversuche befestigt (Abb. 58). Je Versuch wurden drei Fallen aufgestellt und monatlich geleert. Der Versuch umfasste den Zeitraum Mai bis September 2009. Die in den Fangsäckchen enthaltenen Diasporen wurden bestimmt sowie gezählt und nach Kältestratifizierung (-6°) zum Testen der Fertilität auf feuchtem Vlies unter Plastehaube im Gewächshaus ausgebracht. Benutzt wurde dasselbe PPreycl.-Vlies wie zum Schwimmmattenbau, befeuchtet wurde mit Rudolphscher Nährlösung.

Insgesamt wurden nur sehr wenige Gefäßpflanzen-Diasporen in den Fallen nachgewiesen (25 über den gesamten Versuchszeitraum, vgl. Tab. 15). Es handelt sich dabei hauptsächlich um Samen und Fruchtsände von *Juncus*. Einige davon waren leer, d.h. definitiv steril.

Vereinzelte wurden auch Samen von *Carex*, *Urtica* und *Betula* gefunden. Im Auskeimversuch mit den potentiell fertilen (vollen) Samen erwiesen sich nur vereinzelt *Juncus*-Nüsse als fertil.

Es kann geschlussfolgert werden, dass trotz Präsenz der Gefäßpflanzenarten am Rand der Kultivierungsgewässer (vgl. Kap. 2.2) Diasporeneintrag in die Kultur über die Luft keine wesentliche Rolle spielt.

Tab. 15: Diasporenfänge der Fallen, Summe über jeweiliges Kultivierungsgewässer aus den Feldversuchen (LW = LW-Moor E = E-Moor, Sand = Sandgrube).

Gewässer/ Diasorenanzahl	Mai 09		Jun 09	Jul 09		Sep 09
	LW-Moor	E-Moor	E-Moor	LW-Moor	Sandgrube	LW-Moor
	ges.	ges.	ges.	ges.	ges.	ges.
<i>Carex spec.</i> (leere, kaputte Nuss)		2				
<i>Juncus effusus</i> type Same (<i>J. effusus</i> , <i>J. conglomeratus</i> , <i>J. articulatus</i>)	15	1		1		
<i>Juncus effusus</i> type Same (leer)				1		
<i>Juncus cf. effusus</i> Fruchtstand (viele Samen)	1					
<i>Juncus cf. effusus</i> Fruchtstand (leer)						1
<i>Molinia caerulea</i> Achäne (leer)	1					
<i>Urtica dioica</i> Nuss			1			
<i>Betula</i> Nuss					1	

2.5.2 Algen

Bei Bonituren wurde das Algenwachstum auf den Schwimmmatten mit den Kategorien 0 (keine Algen) bis 3 (sehr starke Veralgung) eingeschätzt.

Zur finalen Bonitur (Herbst 2009) wurde in den Freilandversuchen Feldversuch LW-Moor, Feldversuch Sandgrube und Torfmoosversuch outdoor stellenweise vermehrtes Algenwachstum festgestellt. Vorrangig dort, wo die Deckung vitaler Torfmoose sowie die Torfmoos-Biomasse gering waren (Abb. 59).

Ein Zusammenhang zwischen Algenwachstum und Mattenvariante, Torfmoosarte sowie Abdeckung konnte statistisch nicht nachgewiesen werden.

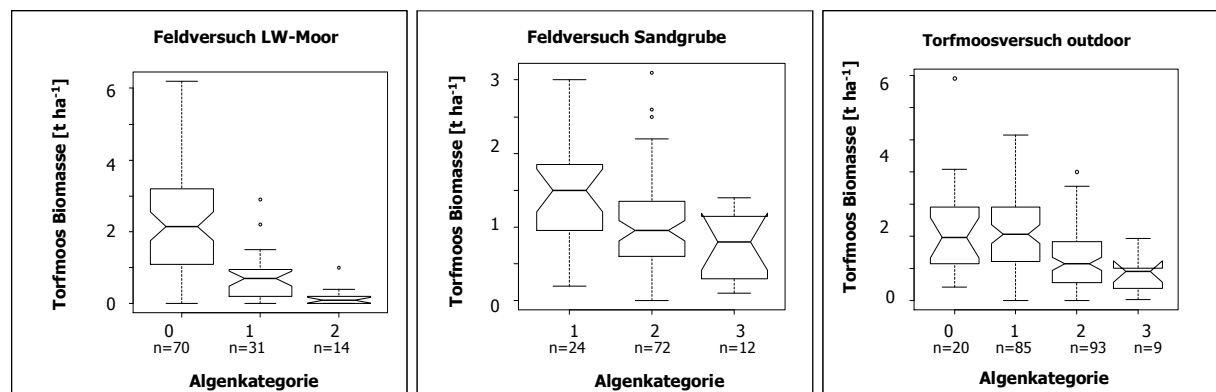


Abb. 59: Torfmoos-Biomasse in Abhängigkeit von Veralgung in den Freilandversuchen Feldversuch LW-Moor, Feldversuch Sandgrube und Torfmoosversuch outdoor.

Im Torfmoosversuch indoor im Greifswalder Gewächshaus kamen weniger Algen vor als im Freiland (nur Kategorien 0 und 1). Ein Einfluss auf die Torfmoos-Biomasse konnte hier nicht festgestellt werden.

Verbreitet sind die Algen an den Mattenrändern, um Exkremente von Wasservögeln herum (vgl. Kap. 2.3 und 2.4.1), auf sehr nassen und vegetationsfreien Mattenbereichen (auf Vlies), z. T. auf den nicht gewachsenen Torfmoosfragmenten (besonders im E-Moor) und auch auf verklebtem nassen Stroh. Wo sich die Torfmoos-Fragmente zu einem Rasen etntwickelt haben und „aus dem Wasser herausgewachsen“ sind, breiteten sich die Algen nicht weiter aus. Es ist daher anzunehmen, dass Algen gering bzw. nicht kulturgefährdend sind, da sie nur dort vermehrt auftreten, wo das Torfmooswachstum anderweitig behindert wird.

Aus der Literatur ist bekannt, dass mehr Algen an nasseren Stellen im Torfmoosrasen vorkommen. Hooper (1981) beobachtete verschiedenste Gesellschaften aus Grün- und Blaualgen (auch N-fixierende), die sich jeweils in physikalische, biologischen und Nährstoff-Parametern unterscheiden.

2.5.3 Pilze

Literaturauswertung

Das Fachgebiet der mit Moosen assoziierten Pilze ist längst noch nicht erschöpfend untersucht worden (Döbbeler 1997, Davey & Currah 2006). In einer Literaturlauswertung wurden mit *Sphagnum* assoziierte Pilze zusammengetragen und ihr Gefährdungspotential für Torfmooskulturen nach momentanem Kenntnisstand eingeschätzt (Tab. 17).

Bekannte Beziehungen zwischen Pilzen und Moosen sind parasitäre, saprobielle, Mykorrhizasymbiontische (kaum bei *Sphagnum*) und andere. Es zeichnet sich jedoch ab, dass beinahe alle bereits bekannten bryophilen Pilz-Arten einen gewissen Grad an Wirtsspezifität aufweisen und auch andersherum betrachtet hat die Gattung *Sphagnum* eine eigene Pilzflora mit mehreren gattungs- und artspezifischen Parasiten (Döbbeler 1997). Parasitische Pilze sind auch in Hinsicht auf Nahrungsnischen innerhalb des Moooses spezialisiert: sie beuten z.B. leicht zu assimilierende Reservestoffe (Photosynthese-Derivate) aus oder bauen Strukturelemente wie Zellwände der Moose ab (Davey & Currah 2006). Torfmoose sind besonders schwer abzubauen durch ihr Lebensumfeld (niedrige Temperaturen, geringer pH, Sauerstoffarmut) sowie intrinsische Faktoren wie ihr hohes C/N-Verhältnis, ihren hohen Wassergehalt und Kationen-Austauschkapazität und Produktion schwer abbaubarer organochemischer Stoffe wie Phenole, organische Säuren, Lipide und Pectin-ähnliches Sphagnan (Rice et al. 2006). Dennoch findet Zersetzung statt. Die Zersetzung von *Sphagnum* durch z.B. Myxotrichaceen (Ascomyceten) ähnelt der Weißfäule, wie sie von der Holzzeretzung bekannt ist. An *Sphagnum* werden auch einige wenigen Ektomykorrhiza-Pilze beschrieben. Ob diese lediglich als Saprophyten überleben oder doch sehr beschränkte saprobielle Fähigkeiten besitzen und ihren Wirt als C-Quelle nutzen und diesen im Gegenzug zusätzlich mit Wasser versorgen bzw. pathogene Keime fernhalten, wird in der Literatur kontrovers diskutiert (Thormann 2006).

Zur Einschätzung des Gefährdungspotentials von Pilzarten für eine *Sphagnum*-Kultur (Tab. 17) wurde eine Verschneidung folgender Faktoren vorgenommen: Lebensweise x Verbreitung x Häufigkeit x Vorkommen auf welchen und wie vielen Torfmoos-Arten. Es wurden vier Gefährdungspotential-Klassen aufgestellt: kein – gering – mittel - hoch. Die Abschätzung erfolgte konservativ. Da z.B. von einigen, hauptsächlich als Saprophyten fungierenden Pilzen bekannt ist, dass sie auch geschwächte Moose befallen können (Döbbeler 1997, Thormann & Rice 2007), wurde ihr Gefährdungs-Potential nicht als "kein", sondern als „gering“ eingeschätzt. Bei sich unterscheidenden Literatur-Angaben wurde die größere Gefährdung angenommen.

Insgesamt wurden Hinweise auf 282 mit Torfmoosen assoziierte Pilzarten gefunden. Davon sind 172 Arten Basidiomyceten. Unter den Basidiomyceten werden zwei Arten als hochgradig gefährdend eingeschätzt, eine als mittel-, 114 als gering- und 42 als nicht-gefährdend. Bei 12 Arten war keine Einschätzung möglich. Aus der Gruppe der Ascomyceten (manche besitzen eine imperfekte Form, die hier nicht extra gelistet wurde) werden 84 Arten mit Torfmoos in Verbindung gebracht, davon zwei mit hohem, 11 mit mittlerem, 63 mit geringem und acht mit ungeklärtem Gefährdungspotential. 21 Vertreter der Zygomyceten werden in der Literatur auf *Sphagnum* gelistet. Sie sind alle Saprophyten und ihr Gefährdungspotential ist daher gering. Zumindest fünf Myxomyceten wurden in von Sphagnen dominierten Hochmooren nachgewiesen, keine davon mit nachgewiesenem Gefährdungspotential für eine Torfmoos-Kultur. Z.B. lebt der seltene und als gefährdet eingestufte Schleimpilz *Badhamia lilacina* auf Torfmoosen (Schnittler et al. 1996) (Abb. 60). Er stellt jedoch keine Gefährdung für die Torfmooskultivierung dar, da er von Cyanobakterien lebt, die wiederum in den Hyalocyten der Torfmoose ihr Habitat haben.



Abb. 60: links: Schleimpilz *Badhamia lilacina* auf Torfmoos (September 2008). rechts: *Galerina paludosa* (Oktober 2009), beide: Kultivierungsfläche auf Hochmoortorf bei Ramsloh.

Eine Art mit ungeklärter taxonomischer Zugehörigkeit, aber hohem Kultur-Gefährdungspotential bei Torfmoos-Diasporenproduktion auf generativem Weg, ist *Bryophytomyces sphagni* (= *Tilletia sphagni*). Der Pilz entwickelt sich in den Sporen-Kapseln des befallenen Torfmooses, löst die Torfmoos-Sporen auf und bildet Pilz-Sporen in der Mooskapsel aus. Bei Sporenreife wird der Verbreitungsmechanismus der Moos-Sporenkapsel zur Verbreitung des parasitischen Pilzes genutzt (Redhead & Spicer 1981).

Im Projekt beobachtete Pilze

Drei Makropilze (zwei Basidiomyceten und ein Ascomycet) und 7 Mikropilze (alles Ascomyceten = Fungi imperfekti) wurden im Laufe des Projektes an *Sphagnum* beobachtet (vgl. Tab. 16). Die Makropilze wurden in den einzelnen Versuchen beobachtet oder auf den Saatgut-Quartieren. Die Mikropilz-Taxa wurden in der Phyllosphäre von *Sphagnum fallax* nachgewiesen. Hierfür wurden Moos-Fragmente auf Synthetic Nutrient-Poor Agar (SNA) und Potato Dextrose Agar (PDA) ausgelegt (Projektpartner IASP mit HUB). Die meisten der gelisteten Taxa sind als Saprophyten auf *Sphagnum* bekannt (Tab. 17). Die Makropilze traten in den Ramsloher „Saatgut“-Quartieren „Spielwiese“ und „Versuchsfläche Ramsloh“ auf, im „Saatgut“-Zwischenquartier an der HUB sowie in den Gewächshausversuchen in Greifswald.

Tab. 16: Im Projekt an Torfmoos beobachtete Pilze.

Pilzart	Taxonomische Zuordnung	Wo beobachtet	Identifizierung durch	Torfmooschädigung
<i>Aureobasidium bolleyi</i>	Ascomycet (Mikropilz)	in der Phyllosphäre von <i>Sphagnum fallax</i> -Saatgut	Dr. M. Goßmann (Berlin)	nicht beschrieben
<i>Cladospodium cladosporioides</i>	Ascomycet (Mikropilz)	in der Phyllosphäre von <i>Sphagnum fallax</i> -Saatgut	Dr. M. Goßmann (Berlin)	nicht beschrieben
<i>Epicoccum</i> spec.	Ascomycet (Mikropilz)	in der Phyllosphäre von <i>Sphagnum fallax</i> -Saatgut	Dr. M. Goßmann (Berlin))	nicht beschrieben
<i>Galerina paludosa</i>	Basidiomycet (Makropilz)	Saatgutquartiere „Spielwiese“ und Versuchsfläche Ramsloh (Niedersachsen), Gewächshaus: Torfmoosversuch indoor (Greifswald)	Dr. N. Amelang (Greifswald)	Nicht eindeutig einschätzbar
<i>Gliocladium</i> spec.	Ascomycet (Mikropilz)	in der Phyllosphäre von <i>Sphagnum fallax</i> -Saatgut	Dr. M. Goßmann (Berlin)	nicht beschrieben
indet. „schwarzer Fächer“	Ascomycet (Makropilz)	Gewächshausversuch Torfmoosversuch indoor (Greifswald)	indet	Ja: Chlorosen und Nekrosen in Umgebung des Pilzes
<i>Paecilomyces</i> spec.	Ascomycet (Mikropilz)	in der Phyllosphäre von <i>Sphagnum fallax</i> -Saatgut	Dr. M. Goßmann (Berlin))	nicht beschrieben
<i>Tephrocybe palustris</i> (alt: <i>Lyophyllum palustre</i>)	Basidiomycet (Makropilz)	Saatgutquartiere „Spielwiese“ und Versuchsfläche Ramsloh (Niedersachsen), Gewächshausversuche 2-4 und Torfmoosversuch indoor (Greifswald), Zwischenquartier Gewächshaus HU Berlin)	Dr. N. Amelang (Greifswald)	Ja: Chlorosen und Nekrosen (bes. stark und großflächig in Kombination von <i>Sph. fallax</i> und Gewächshaus)
<i>Trichoderma</i> spec.	Ascomycet (Mikropilz)	in der Phyllosphäre von <i>Sphagnum fallax</i> -Saatgut	Dr. M. Goßmann (Berlin)	nicht beschrieben
<i>Verticillium</i> spec.	Ascomycet (Mikropilz)	in der Phyllosphäre von <i>Sphagnum fallax</i> -Saatgut	Dr. M. Goßmann (Berlin)	nicht beschrieben

***Tephrocybe palustris* (Sumpf-Graublatt)**

Während *Galerina paludosa* als Saprophyt bekannt ist, handelt es sich bei *Tephrocybe palustris* (Sumpf-Graublatt) um einen Parasit auf Torfmoos (Tab. 17). Insbesondere in den Greifswalder-Gewächshausversuchen (V2-V4) (Abb. 6161) führte der Befall zu großflächigem Absterben (Nekrosen) der Torfmoose und zum vorzeitigen Abbruch der Versuche. In allen diesen drei Versuchen folgte der Ablauf des Befalls demselben Muster:

1. nach 17-20 Tagen erste Hyphen im Torfmoosrasen
2. nach 21-30 Tagen massives Vorkommen weißer (Chlorose), noch feuchter (=wasser-versorgter) Torfmoos-Capitula und weißer Ästchen; erste Pilz-Fruchtkörper im Torfmoosrasen
3. nach 40-45 Tagen massives Vorkommen weißer, trockener Capitula und schwärzlicher, z.T. entlaubter Stämmchenabschnitte (1-6 cm lang) im Torfmoosrasen infolge Unterbrechung des kapillaren Wasseraufstieges (Nekrose); massives Auftreten von Pilzfruchtkörpern, Hyphen kaum noch zu beobachten
4. nach 60 Tagen erste Fruchtkörper bei den fragmentierten Moosen
5. Bei Abbruch der Versuche war etwa die Hälfte des Torfmoosrasens abgestorben.



Abb. 61: (von links nach rechts) Nekrose nach Infektion mit *Tephrocybe palustris* in Gewächshausversuch 4, *T. palustris* fruchtend, entlaubte Torfmoosstämmchen nach Pilzinfektion, Chlorose bei Torfmoos.

Als natürlicher Standort des Sumpf-Graublattes werden feuchte Stellen zwischen Torfmoosen (*Sphagnum*) in Hochmooren beschrieben (Untiedt & Müller 1985, Breitenbach & Kränzlin 1991). Die Angaben über Häufigkeit seines Vorkommens variieren in der Literatur von „selten“ für die Schweiz (Breitenbach & Kränzlin 1991) bis „der häufigste sphagnicole Pilz in Westfalen“ (Jahn 1964) und zahlreich in dänischen Mooren (Lange 1948). Lange (1948) hat das Auftreten des Sumpf-Graublattes als ephemer bezeichnet. Das baldige Auftreten und rasche Verschwinden des Pilzes konnte auch in den Gewächshausversuchen beobachtet werden, ohne dass die durch den Pilz verursachte Nekrose wieder nachließ.

Nach Einschätzung von Kox (1954), Tutschek et al. (1978) u.a. sind die meisten Pilze (und Bakterien) insbesondere unter Hochmoorbedingungen kaum in der Lage, die Zellwände von *Sphagnum* abzubauen. Das Sumpf-Graublatt bildet eine der Ausnahmen. Sein Potenzial als Parasit wird in der Literatur nicht einheitlich bewertet. Während Breitenbach & Kränzlin (2000) Zweifel über den Parasitismus auf *Sphagnum* äußern, schätzen andere Autoren das Sumpf-Graublatt als Parasiten mit hoher Wirtsspezifität ein, da das Sumpf-Graublatt ausschließlich bei der Gattung *Sphagnum* beobachtet wird und sein Vorkommen stets an das Auftreten von nekrotischen Flecken im Torfmoosrasen gekoppelt ist (Jahn 1964, Watling 1978, Untiedt & Müller 1985, Limpens et al. 2003). Der Pilz scheint jedoch nicht artspezifisch zu sein, da er für mehrere *Sphagnum*-Arten beschrieben wurde (*S. recurvum*, *S. fallax*, *S. cuspidatum*, *S. sect. Cymbifolia*), besonders häufig jedoch auf *Sphagnum fallax*.

Redhead (1981) konnte das Sumpf-Graublatt als Ursache für die Nekrosen, jedoch mikroskopisch keine Kontaktstellen zwischen Pilz-Hyphen und lebenden *Sphagnum*-Zellen nachweisen. Deshalb vermutete er, dass der Pilz erst mittels phytotoxischer Substanzen das *Sphagnum*-Gewebe abtötet und es erst dann besiedelt. Dahingegen gelang Untiedt & Müller (1985) licht- und elektronenmikroskopisch der Nachweis von Kontaktstellen zwischen Hyphen und lebenden *Sphagnum*-Zellen. Schon ein bis zwei Wochen nach Beimpfung steriler *Sphagnum fallax*-Kolonien mit Sumpf-Graublatt zeigten sich erste Hyphen und das typische Ausbleichen (Chlorose) und Nekrose. Der Pilz löst enzymatisch Mittellamellen zwischen lebenden *Sphagnum*-Zellen auf und dringt in Hyalo- und Chlorocyten ein. Wirtszellen kollabieren und sterben aber auch in Abwesenheit von Hyphen. Dies lässt vermuten, dass der Tod der Wirtszellen entweder auf eine Überreaktion des Wirtes zurückzuführen sein könnte oder vom Pilz abgegebene Toxine wirken zeitlich verzögert und zeigen Auswirkungen auf das Torfmoos erst, wenn die Hyphen bereits wieder verschwunden sind (Davey & Currah 2006). Der eigentliche Abbau des toten Torfmooses scheint dagegen von nachfolgenden anderen Pilzen (Saprophyten) übernommen zu werden oder es kommt unter Luftausschluss zur Torfakkumulation

(Untiedt & Müller 1985). Während das Sumpf-Graublatt das Potential hat, alle erreichbaren Moose einer steriler Kultur zu zerstören, werden in der Natur nur isolierte nekrotische Flecken im Torfmoosrasen beobachtet (Untiedt & Müller 1985). Limpens et al. (2003) beobachteten im Gewächshaus, dass nicht jede Infektion zu Nekrose führt, sondern manchmal (auf *Sphagnum* Sect. *Cymbifolia*) nur zu einem stämmchenabschnittweisen Absterben der Ästchen, so dass das Moos trotzdem weiter wachsen kann.

In den Greifswalder Gewächshausversuchen wurden optimierte Bedingungen für Torfmoose geschaffen (gleichmäßig hohe Temperatur, täglicher Sprühregen, Zusatzbeleuchtung bzw. -beschattung). Diese Bedingungen scheinen jedoch auch optimal für *Tephrocybe palustris* zu sein. Besonders schnell und intensiv wurden die Moosrasen von *Sphagnum fallax* geschädigt, die zwar einem natürlichen Torfmoosverband entnommen, im Labor jedoch neu zusammengestellt und durch gelöcherte, transparente Plastikröhren gestützt wurden. Möglicherweise forciert das Mikroklima in den Plastikröhren eine Infektion der Torfmoosrasen (z.B. durch hohe Temperaturen/Luftfeuchte) oder führt indirekt durch künstlich verstärktes Wachstum der Torfmoose zu deren konstitutioneller Schwächung. Anders als bei den anfangs 10 cm langen Torfmoosrasen wurden bei den parallel ausgebrachten Torfmoos-Fragmenten erst wesentlich später und in deutlich geringerem Ausmaß Chlorosen bzw. Nekrosen beobachtet. Als Maßnahme gegen Ausbreitung des Pilzes ist eine Düngung mit Stickstoff kontraproduktiv und eine Phosphor-Düngung nur bedingt hilfreich (Limpens et al. 2003).

Ein vergleichsweise geringes Ausmaß an Pilzbefall und darauffolgender Torfmooschädigung zeigte sich im letzten Gewächshausversuch (Torfmoosversuch indoor) (vgl. Kap. 2.4.2). Hier wurden - statt *Sphagnum fallax* – *S. papillosum*, *S. palustre* und *S. magellanicum* als Kulturarten verwendet. Dennoch selten beobachtete Chlorosen und Nekrosen konnten nur in Einzelfällen über Fruchtkörper-Ausbildung *Tephrocybe palustris* zugeordnet werden. Ob der Pilz in den verwendeten Torfmoos-Arten seltener Fruchtkörper ausbildet, ob andere Pilzarten oder ganz andere Parameter hier zum Absterben der Torfmoose geführt haben, konnte nicht ermittelt werden.

Bemerkenswert ist, dass in den Ramsloher Freiland-Schwimmattenversuchen weder Hyphen noch die typischen Nekrosen beobachtet wurden (und ebenso wenig auf den Lausitzer Freilandversuchsflächen des Projektpartners IASP). Dagegen wurden auf den „Saatgut“-Herkunftsflächen („Spielwiese“ und Versuchsfläche Ramsloh auf Hochmoor-Grünlandnarbe) vereinzelt Fruchtkörper des Sumpf-Graublattes sowie Nekrosen gefunden. Dies ist besonders interessant, weil für die Ramsloher Freiland-Schwimmattenversuchen (Feldversuche und Torfmoosversuch outdoor) Torfmoose derselben Herkunft verwendet wurden wie für die Greifswalder Gewächshausversuche. Obwohl offensichtlich infizierte Torfmoose für die Versuche nicht gesammelt wurden, kann ein Anhaften von Pilzsporen am „Saatgut“ keineswegs ausgeschlossen werden und folglich auch nicht deren Auskeimung und die Ausbreitung des Pilzes im Gewächshaus. Dies deckt sich mit den Beobachtungen des Projektpartners IASP: keine Hyphen und Pilz-Fruchtkörper auf den Lausitzer Freilandversuchen, dafür aber im Berliner Gewächshaus. Dort wurden die „Saatgut“-Moose zwischenkultiviert.

Das weit geringere Auftreten von Sumpf-Graublatt in den Freilandversuchen liegt sehr wahrscheinlich im Verzicht auf die besonders anfällige Art *Sphagnum fallax* und/oder die für den Pilz weniger optimalen abiotischen Verhältnisse im Vergleich zum Gewächshaus begründet.

Gesamteinschätzung

Uns sind 282 mit *Sphagnum* assoziierte Pilze aus der Literatur bekannt. Aus den Freiland-Versuchen des Projektes und aus Literaturangaben für natürliche Torfmoos-Bestände gibt es jedoch keine alarmierenden Hinweise auf großflächiges Absterben von Torfmoosrasen nach Befall mit Pilzen. Anders verhält es sich mit Befall durch *Tephrocybe palustris* unter Gewächshausbedingungen (besonders auf *Sphagnum fallax*). Dies zeigt, dass ein gewisses Gefährdungspotential nicht ausgeschlossen werden kann. Die Torfmooskultivierung für Substratausgangsstoff-Gewinnung steht jedoch noch sehr am Anfang ihrer Entwicklung. Das Anlegen großflächiger Monokulturen von hinsichtlich maximaler Zuwachsraten selektierten Sippen birgt stets das Potential einer Ausbreitung von Schädlingen in bis dato aus natürlichen Beständen nicht gekannter Dimension.

Ein Einsatz herkömmlicher Fungizide bei der Torfmooskultur für Erwerbsgartenbau-Substrate ist aus der Perspektive des Gewässerschutzes nicht erlaubt. Aus Sicht der Substratwirtschaft ist ihr Einsatz ebenfalls als eher kritisch zu bewerten. Vorschriften der Gütesiegel RHP, GGS, etc. zufolge müssen alle Substrate frei von pflanzenschädlichen Stoffen sein. Längst nicht alle Fungizide fallen in diese Kategorie, jedoch ist ein etwaiger Übertritt von Fungiziden und deren Rückständen aus dem Substrat in die kultivierte Pflanze in jedem Fall bei der Nahrungsmittelproduktion inakzeptabel. Bio-Erden müssen gänzlich frei von jeglichen Rückständen chemischer Pflanzenschutzmittel sein. Potential für einen Schutz von Torfmooskulturen gegen Pilzbefall besteht eher im präventiven Bereich. Ein Optimieren der Torfmooskultur über z. B. Selektion und Züchtung von resistenten Sippen, deren Spezial-Düngung usw. bieten durchaus die Chance, eine Anfälligkeit gegenüber pilzlichen Parasiten herunterzusetzen.

Tab. 17: Pilze, die mit *Sphagnum* assoziiert werden und eigene Einschätzung des Potentials der Pilze als Torfmooskultur-gefährdend.

Pilz	Referenz	Verbreitung	Vorkommen / Lebensweise	pot. kultur-gefährdend
BASIDIOMYCETEN				
<i>Arrhenia latispora</i>	Thormann & Rice 2007	Andorra, Spanien, Schweiz	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Arrhenia sphagnicola</i> (=alt: <i>Omphalina spagnicola</i> =Gelappter Nabeling)	Breitenbach & Kränzlin 1991, Thormann & Rice 2007	verbreitet, Europa, Asien, Nord-Afrika (Breitenbach & Kränzlin 1991), Europa (Thormann & Rice 2007)	als Saprophyt (benannt als <i>Arrhenia sphagnicola</i>) auf <i>Sphagnum</i> (Thormann & Rice 2007); als Parasit (benannt als <i>Omphalina spagnicola</i>) angegeben für Moore, zw. und an <i>Sphagnum</i> (Breitenbach & Kränzlin 1991)	(hoch)
<i>Bjerkandera adusta</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada	auf <i>Sphagnum</i> , <i>Carex</i> -Rhizomen; Saprophyt	gering
<i>Boletinus grisellus</i>	Thormann & Rice 2007	USA	in <i>Sphagnum</i> ; Ectomyorrhiza,	kein
<i>Boletinus paluster</i>	Thormann & Rice 2007	USA	in <i>Sphagnum</i> ; Ectomyorrhiza,	kein
<i>Clavulina amethystinoides</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Clavulinopsis luteo-ochracea</i>	Thormann & Rice 2007	Niederlande, Deutschland, Großbritannien, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Clitocybe incompta</i>	Thormann & Rice 2007	keine Angabe	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Clitocybe stygia</i>	Thormann & Rice 2007	keine Angabe	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Collybia admissa</i>	Thormann & Rice 2007	keine Angabe	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Collybia aquosa</i> (= <i>C. dryophila</i> , Scheibenförmiger Rübling)	Michael & Henning 1964	Nicht selten, Nadelwald und grasige Stellen	zwischen feuchten Moosen (= <i>Sphagnum</i> ?) und seltener in Torfsümpfen, (Parasit/Saprophyt?)	?
<i>Collybia caldarii</i>	Thormann & Rice 2007	Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Collybia clusilis</i>	Thormann & Rice 2007	Schweden	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Collybia obstans</i>	Thormann & Rice 2007	Deutschland	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Cortinarius chrysolithus</i>	Thormann & Rice 2007	Tschech. + Slowak. Republik, Großbritannien	in <i>Sphagnum</i> ; Ectomyorrhiza,	kein
<i>Cortinarius periscelis</i>	Thormann & Rice 2007	Österreich, Großbritannien	in <i>Sphagnum</i> ; Ectomyorrhiza,	kein
<i>Cortinarius sphagnophilus</i>	Thormann & Rice 2007	Russland	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Ectomyorrhiza	kein
<i>Cortinarius sterilis</i>	Thormann & Rice 2007	keine Angabe	in <i>Sphagnum</i> ; Ectomyorrhiza	kein
<i>Cortinarius tubarius</i>	Thormann & Rice 2007	USA	in <i>Sphagnum</i> ; Ectomyorrhiza	kein
<i>Cortinarius uliginosus</i>	Thormann & Rice 2007	keine Angabe	in <i>Sphagnum</i> ; Ectomyorrhiza	kein
<i>Craterellus caeruleofuscus</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Eccilia sphagnophila</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering

Pilz	Referenz	Verbreitung	Vorkommen / Lebensweise	pot. kultur- gefährdend
BASIDIOMYCETEN				
<i>Entoloma conferendum</i> (Kreuzsporiger Rötling)	Breitenbach & Kränzlin 1995	häufig; auf Streu in Wald, Wiesen, Moore; Europa, N-Amerika, Asien, N- Afrika	zwischen <i>Sphagnum</i> ; (Parasit/Saprophyt?)	gering (eher Saprophyt?)
<i>Entoloma cuspidiferum</i> (Spitzhütiger Rötling)	Breitenbach & Kränzlin 1995	Nicht häufig; Moorrand od. Feuchtwiesen: Europa, N-Amerika	zwischen <i>Sphagnum</i> u.a. Laubmoosen; (Parasit/Saprophyt?)	gering (eher Saprophyt?)
<i>Entoloma peckianum</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Entoloma sphagnum</i>	Breitenbach & Kränzlin 1995	Rand von Hochmooren; selten; Europa	Bei <i>Sphagnum</i> , <i>Oxycoccus</i> , <i>Carex</i> , <i>Molinia</i> , <i>Potentilla palustris</i> , (Parasit/Saprophyt?)	?
<i>Entoloma turbidum</i>	Thormann & Rice 2007	Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Entoloma variabile</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Fayodia gracillipes</i> (= Schlangstieliger Rußnabeling)	Breitenbach & Kränzlin 1991	Selten, Europa, Nord-Amerika	auf Nadelstreu od. zw. <i>Sphagnum</i> , (Parasit/Saprophyt?)	?
<i>Flammulina velutipes</i>	Thormann & Rice 2007	Russland	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina andina</i>	Thormann & Rice 2007	Bolivien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina atkinsoniana</i> var. <i>sphagnum</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina boliviana</i>	Thormann & Rice 2007	Bolivien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina cainii</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina calyptrata</i>	Thormann & Rice 2007	Neuseeland, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina cerina</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina clavata</i>	Thormann & Rice 2007	Europa, Jamaika, Japan, Russland	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina evelata</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, Russland, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina emmetensis</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina farinacea</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina fennica</i>	Thormann & Rice 2007	Finnland	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina frigida</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina gibbosa</i>	Thormann & Rice 2007	Europa	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina hypnorum</i>	Thormann & Rice 2007	Argentinien, Kanada, Europa, Russland, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina laeta</i>	Thormann & Rice 2007	Bolivien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina leptocystis</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina luteolosperma</i>	Thormann & Rice 2007	Norwegen	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina macrospora</i>	Thormann & Rice 2007	Tschech. Republik	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Galerina norvegica</i>	Thormann & Rice 2007	Fennoscandia	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering

Pilz	Referenz	Verbreitung	Vorkommen / Lebensweise	pot. kultur- gefährdend
BASIDIOMYCETEN				
<i>Galerina nubigena</i> <i>Galerina paludosa</i> (= Weißflockiger Sumpfhäubling)	Thormann & Rice 2007 Davey & Currah 2006, Redhead 1981, Thormann & Rice 2007	Bolivien Häufig, Moor: Europa, Kanada, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt Kolonisiert die bei der Keimung von Moossporen produzierten Filamente, in Zellen von Protonemata und Rhizoiden von <i>Sph.</i> <i>capillifolium</i> (Da & Cu 06, Re 81), Saprophyt auf <i>Sphagnum</i> (Thormann & Rice 2007)	gering gering (nur bei generativer Torfmoos- Vermehrung)
<i>Galerina praticola</i> <i>Galerina pseudomycenopsis</i>	Thormann & Rice 2007 Thormann & Rice 2007	Kanada, Deutschland, USA Kanada, USA, Argentinien, Europa, Russland	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering gering
<i>Galerina pumila</i> <i>Galerina riparia</i> <i>Galerina semiglobata</i> <i>Galerina septentrionalis</i> <i>Galerina sphagnicola</i> <i>Galerina sphagnorum</i> <i>Galerina stordalii</i>	Thormann & Rice 2007 Thormann & Rice 2007 Thormann & Rice 2007 Thormann & Rice 2007 Thormann & Rice 2007 Thormann & Rice 2007 Thormann & Rice 2007	Frankreich Argentinien Brasilien Kanada Kanada, USA Amerika, Asien, Europa Grönland, Niederlande, Scandinavien, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering gering gering gering gering gering gering
<i>Galerina subarctica</i> <i>Galerina subtibiicystis</i> <i>Galerina taimbesinhoensis</i> <i>Galerina tibiicystis</i> <i>Galerina turfosa</i> <i>Galerina uchumachiensis</i> <i>Gymnopus dryophilus</i> <i>Hiatula benzoni</i> <i>Hohenbuehelia culmicola</i>	Thormann & Rice 2007 Thormann & Rice 2007 Thormann & Rice 2007 Thormann & Rice 2007 Thormann & Rice 2007 Thormann & Rice 2007 Thormann & Rice 2007 Thormann & Rice 2007 Thormann & Rice 2007	USA Brasilien Brasilien Kanada, Europa, Japan, USA USA Bolivien Russland keine Angabe Frankreich, Dänemark, Großbritannien Europa	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering gering gering gering gering gering gering gering gering
<i>Hygrocybe citrina</i> (= Zitronengelber Saftling)	Breitenbach & Kränzlin 1991	Europa	zw. Gräsern und Moosen (seltener auch <i>Sphagnum</i>), Parasit/Saprophyt?	?
<i>Hygrocybe helobia</i> (=Sumpfsaftling)	Breitenbach & Kränzlin 1991	selten: Europa	zw. <i>Sphagnum</i> oder <i>Calluna</i> , Parasit/Saprophyt?	?
<i>Hygrocybe lacmus</i> (= Violettgrauer Ellerling)	Breitenbach & Kränzlin 1991	selten: Europa, Nord-Amerika, Asien	Moorrand, zw. Moosen, auch <i>Sphagnum</i> ? Parasit/Saprophyt?	?
<i>Hygrocybe laeta</i> (= Zäher Saftling)	Breitenbach & Kränzlin 1991, Thormann & Rice 2007	selten, Europa, Amerika (USA), Asien	Moorrand, zw. Gräsern und Moosen, auch <i>Sphagnum</i> ?(lt. Foto: Breitenbach & Kränzlin 1991); Ektomykorrhiza	kein

Pilz	Referenz	Verbreitung	Vorkommen / Lebensweise	pot. kultur- gefährdend
BASIDIOMYCETEN				
<i>Hygrocybe lepida</i> (= Trichterförmiger Saftling)	Breitenbach & Kränzlin 1991	selten, Europa, Amerika, Asien, Nord-Afrika	Moorrand, zw. Gräsern und Moosen, auch <i>Sphagnum</i> laut Foto? Parasit/Saprophyt?	?
<i>Hygrocybe lilacina</i>	Thormann & Rice 2007	Finnland, Grönland, Großbritannien	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Hygrocybe turunda</i> (= Schuppiger Saftling)	Breitenbach & Kränzlin 1991	verbreitet, Europa, N-Amerika, Asien	in Mooren, zw. <i>Sphagnum</i> , Parasit/Saprophyt?	?
<i>Hygrophorus camarophyllus</i> (=Rußbrauner Schneckling)	Breitenbach & Kränzlin 1991	selten, Europa, N-Amerika	auf Nadelstreu od. zw. <i>Sphagnum</i> , Parasit/Saprophyt?	?
<i>Hygrophorus mephiticus</i>	Thormann & Rice 2007	Großbritannien	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Hygrophorus miniatus</i> f. <i>longipes</i>	Thormann & Rice 2007	USA	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Hygrophorus nitidus</i>	Thormann & Rice 2007	USA, Kanada	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Hygrophorus obconicus</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Hygrophorus palustris</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Hygrophorus turundus</i> var. <i>sphagnophilus</i>	Thormann & Rice 2007	USA, Kanada, Europa, Japan	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Hygrophorus turundus</i> var. <i>Turundus</i>	Thormann & Rice 2007	USA, Europa, Japan	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Hypholoma elongatipes</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, Großbritannien, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Hypholoma elongatum</i>	Breitenbach & Kränzlin 1995, Thormann & Rice 2007	Rand von Mooren oder Torfstichen; verbreitet: Finnland, Kanada, USA, Asien	zwischen <i>Sphagnum</i> oder an nackten Torfwänden; Saprophyt	gering
<i>Hypholoma irroratum</i>	Thormann & Rice 2007	keine Angabe	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Hypholoma myosotis</i>	Thormann & Rice 2007	Finnland, Schottland	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Hypholoma polytrichi</i>	Thormann & Rice 2007	Europa, Großbritannien, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Hypholoma udum</i>	British Mycological Society 2003, Thormann & Rice 2007	Großbritannien, Moor: USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Inocybe hirculus</i>	Thormann & Rice 2007	Finnland	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Inocybe relicina</i>	Thormann & Rice 2007	Finnland, Frankreich	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Inocybe teraturgus</i>	Thormann & Rice 2007	Schweden	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Laccaria laccata</i>	Brit. Mycol. Society 2003	Großbritannien	mit <i>Sphagnum</i> . (Parasit/Saprophyt?)	?
<i>Lactarius canadensis</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Lactarius duplicatus</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein

Pilz	Referenz	Verbreitung	Vorkommen / Lebensweise	pot. kultur- gefährdend
BASIDIOMYCETEN				
<i>Lactarius griseus</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, USA	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Lactarius helvus</i> (Filziger Milchling)	Breitenbach 2005, Thormann & Rice 2007	Verbreitet, aber nicht häufig; Nadelwälder, feuchte u. nasse, saure Böden: Europa; Großbritannien, USA	oft im <i>Sphagnum</i> (bei <i>Pinus</i> , <i>Betula</i> → eher Mykorrhiza? (Breitenbach 2005); auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza (Thormann & Rice 2007)	kein
<i>Lactarius hibbardae</i>	Thormann & Rice 2007	USA	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Lactarius lignyotus</i> var. <i>canadensis</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Lactarius lignyotus</i> var. <i>nigroviolascens</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Lactarius mucidus</i> var. <i>Fuscogriseus</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Lactarius oculatus</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Lactarius omphaliformis</i>	Thormann & Rice 2007	Europa	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Lactarius paludinellus</i>	Thormann & Rice 2007	USA	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Lactarius rufus</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada , USA	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Lactarius sphagneti</i>	Thormann & Rice 2007	China, Europa	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Lactarius theiogalus</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Lactarius torminosus</i> var. <i>torminosus</i>	Thormann & Rice 2007	USA	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Lactarius vietus</i>	Brit. Mycol. Society 2003	Großbritannien	mit <i>Sphagnum</i> , (Parasit/Saprophyt?)	?
<i>Lactarius volemus</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, Europa, USA	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Laetiporus sulphureus</i>	Thormann & Rice 2007	Russland	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Leccinum holopus</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, Finnland, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Leccinum rotundifoliae</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, Estland, Island	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Lepiota cepistipes</i> var. <i>flos- sulphuris</i>	Thormann & Rice 2007	Frankreich, Indien, Japan, Niederlande	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Lepiota lilacinogranulosa</i>	Thormann & Rice 2007	Deutschland	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Leptonia gilletii</i>	Thormann & Rice 2007	Frankreich	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Lichenomphalia hudsoniana</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, Dänemark, Schweiz, USA	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mycena adonis</i> var. <i>adonis</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mycena caesia</i>	Thormann & Rice 2007	keine Angabe	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mycena dissimulabilis</i>	Thormann & Rice 2007	Grönland, Skandinavien	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mycena epipterygia</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mycena filopes</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering

Pilz	Referenz	Verbreitung	Vorkommen / Lebensweise	pot. kultur- gefährdend
BASIDIOMYCETEN				
<i>Mycena galopus</i> (= Weißmilchender Helmling)	Breitenbach & Kränzlin 1991	verbreitet, Europa, Nord-Amerika, Asien, Nord-Afrika	auf Holzresten, Nadelstreu, Moosen (auch <i>Sphagnum</i>), Parasit/Saprophyt?	?
<i>Mycena latifolia</i> (= Breitblättriger Helmling)	Breitenbach & Kränzlin 1991	sehr selten, Europa, N-Amerika	in Nadelwäldern od. zw. <i>Sphagnum</i> und <i>Betula</i>), Parasit/Saprophyt?	?
<i>Mycena permixta</i>	Thormann & Rice 2007	Deutschland, Norwegen	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mycena praelonga</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mycena receptibilis</i>	Thormann & Rice 2007	Deutschland	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mycena rosella</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, Skandinavien, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mycena sanguinolenta</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, Norwegen, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mycoacia aurea</i>	Thormann & Rice 2007	Großbritannien, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Naucoria elatior</i>	Thormann & Rice 2007	Großbritannien, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Naucoria paludosella</i>	Thormann & Rice 2007	Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Naucoria sphagneti</i>	Thormann & Rice 2007	Schottland	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Naucoria sphagnophila</i>	Thormann & Rice 2007	Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Naucoria suspiciosa</i>	Thormann & Rice 2007	Deutschland	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Naucoria vexabilis</i>	Thormann & Rice 2007	Deutschland	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Nolanea juncea</i>	Thormann & Rice 2007	Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Nolanea promiscua</i>	Thormann & Rice 2007	Deutschland	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Omphalia nevilleae</i>	Thormann & Rice 2007	Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Omphaliaster borealis</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, Deutschland, USA	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Omphalina affricata</i>	Thormann & Rice 2007	Schweden	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Omphalina brevisidiata</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Omphalina epichysium</i>	Thormann & Rice 2007	Finnland, Grönland, Island	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Omphalina ericetorum</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Omphalina fulvopallens</i>	Thormann & Rice 2007	Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Omphalina oniscus</i> (=Gelappter Nabeling)	Breitenbach & Kränzlin 1991, Thormann & Rice 2007	in Mooren und feuchten Streuwiesen, nicht häufig: Europa, Kanada, Asien, N-Afrika	zw. <i>Sphagnum</i> u. a. Moosen (Breitenbach & Kränzlin), Saprophyt auf <i>Sphagnum</i> (Thormann & Rice 07)	gering
<i>Omphalina philonotis</i>	Thormann & Rice 2007	Finnland	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Omphalina sphagnophila</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Omphalina telmatiaea</i>	Thormann & Rice 2007	keine Angabe	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Phaeogalera stagnina</i>	Thormann & Rice 2007	Argentinien, Canada, Europe, USA	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering

Pilz	Referenz	Verbreitung	Vorkommen / Lebensweise	pot. kultur- gefährdend
BASIDIOMYCETEN				
<i>Pholiota chromocystis</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, USA	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Pholiota elongatipes</i>	Thormann & Rice 2007	Argentinien, Kanada, Chile, Europa, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Pholiota paludosella</i>	Thormann & Rice 2007	USA	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Pholiota sphagnicola</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Psathyrella laurentiana</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Psathyrella paludosa</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Psathyrella sphagnicola</i>	Breitenbach & Kränzlin 1995, Thormann & Rice 2007	Moore, Feuchtwiesen, selten: Europa (GB), N-Amerika, Asien	Bei Sumpfräusern, zwischen Moosen (bes. <i>Sphagnum!</i>); Saprophyt	gering
<i>Psilocybe sphagnicola</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Psilocybe turficola</i>	Thormann & Rice 2007	USA, Europa	zwischen <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Psilocybe uda</i> f. <i>sphagnicola</i>	Thormann & Rice 2007	Dänemark	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Rickenella fibula</i>	Brit. Mycol. Society 2003	Großbritannien	mit <i>Sphagnum</i> , kolonisiert die bei der Keimung von Moossporen produzierten Filamente	gering
<i>Rimbachia arachnoidea</i>	Legon et al. 2005	keine Angabe	Parasit auf <i>Sph. auriculatum</i>	mittel
<i>Russula claroflava</i>	Thormann & Rice 2007	Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Russula nitida</i>	Thormann & Rice 2007	Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Russula pulchella</i>	Thormann & Rice 2007	Grönland	auf <i>Sphagnum</i> ; Ektomykorrhiza	kein
<i>Russula sphagnophila</i> (Milder Torfmoos-Täubling)	Breitenbach 2005	nicht häufig; Moore, nasse Fichtenwälder: Europa, N-Amerika	In <i>Sphagnum</i> -Rasen (bei Birke! → Mykorrhiza-Pilz?)	kein
<i>Tephrocybe palustris</i> (alt: <i>Lyophyllum palustre</i>) = Sumpf-Graublatt)	Breitenbach & Kränzlin 1991, Davey & Currah 2006, Limpens et al. 2003, Redhead 1981, Untiedt & Müller 1985, Thormann & Rice 2007	Europa, Kanada, Japan, Russland	Parasit auf <i>Sphagnum</i> (bes. <i>Sph. fallax</i> und unter Gewächshausbedingungen), löst Mittellamellen zw. <i>Sphagnum</i> -Zellen auf und dringt in Hyalo- und Chlorocyten ein, Wirtszellen sterben in Abwesenheit von Hyphen	hoch
<i>Tubaria conspersa</i>	Thormann & Rice 2007	Irland, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Tubaria privigna</i>	Thormann & Rice 2007	keine Angabe	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Xeromphalina cornui</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, Finnland, Frankreich, Schweden, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Xerotus degener</i>	Thormann & Rice 2007	keine Angabe	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering

Pilz	Referenz	Verbreitung	Vorkommen / Lebensweise	pot. kultur- gefährdend
ASCOMYCETEN (SCHLAUCHPILZE) INCL. FUNGI IMPERFECTI				
<i>Acremonium cf. curvulum</i>	Tsuneda et al. 2001b	Kanada	Mikropilzlicher Abbau von Zellwand in <i>Sphagnum fuscum</i> ; <i>Saprophyt</i>	gering
<i>Acremonium chrysogenum</i>	Thormann et al. 2003	Kanada	Mikropilzlicher Abbau von Zellwand in <i>Sphagnum fuscum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Acremonium murorum</i>	Thormann & Rice 2007	Russland	in <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Acremonium strictum</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada	in <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Alternaria alternata</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, Irland, Russland, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> sp.; Saprophyt	gering
<i>Arthrimum state</i> von <i>Apispora</i> (imp. Form)	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada	auf <i>Sphagnum</i> sp.; Saprophyt	gering
<i>Aspergillus niger</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada	auf <i>Sphagnum</i> sp.; Saprophyt	gering
<i>Aspergillus versicolor</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, Irland, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> sp., Boden; Saprophyt	gering
<i>Aureobasidium pullulans</i> (imp. Form)	Thormann & Rice 2007	Moor und Heiden: Kanada, Irland, Großbritannien, Italien, Russland, Argentinien, USA	auf <i>Sphagnum</i> sp., Boden, <i>Picea</i> , <i>Nothofagus</i> ; Saprophyt	gering
<i>Botrytes sphagnum</i>	Racovitza 1959, Thormann & Rice 2007	N-Amerika	auf <i>Sphagnum</i> sp.; <i>Saprophyt</i>	gering
<i>Botrytis cinerea</i>	Thormann & Rice 2007	Moor u. Heide: Kanada, Irland	auf <i>Sphagnum</i> sp., Boden, <i>Carex</i> -Blättern; Saprophyt	gering
<i>Botrytis rhinotrichoides</i>	Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> sp.; <i>Saprophyt</i>	gering
<i>Bryorella gregaria</i>	Döbbeler 1978, Thormann & Rice 2007	Schweden	Saprophyt auf <i>Sphagnum</i> sp. u.a. Braunmoosen (Döbbeler 1978), Parasit auf <i>Sphagnum</i> (, Thormann & Rice 2007)	mittel
<i>Casaresia sphagnum</i>	Racovitza 1959, Ellis 1971	Großbritannien, Spanien, N-Amerika	Auf Blättchen von <i>Sphagnum squarrosum</i> bzw. generell <i>Sphagnum</i> (auch andere Pflanzen, wenn diese unter Wasser)	?
<i>Cladosporium herbarum</i> = <i>Dematium herbarum</i>) = <i>Sphaerella tulasnei</i> (=perf. Form)	Racovitza 1959, Thormann & Rice 2007	Europa (Racovitza 59), Moor: Österreich, Irland, Russland, Großbritannien, Argentinien, Kanada	auf <i>Sphagnum flexuosum</i> , weitere Moose (Racovitza 1959), Boden, <i>Sphagnum</i> , <i>Carex</i> -Blätter, <i>Salix</i> -Wurzeln; Saprophyt (Thormann & Rice 2007)	gering
<i>Cudoniella buckowensis</i>	Thormann & Rice 2007	Deutschland	auf <i>Sphagnum</i> , Parasit	hoch
<i>Discinella schimperi</i> (= <i>Helotium schimperi</i> , = <i>Hymenoscyphus schimperi</i>)	Döbbeler 1997, Redhead & Spicer 1981, Davay & Currah 2006, Thormann & Rice 2007	häufig, circumpolar; Kanada, Finnland, Japan, Russland, Schweden, USA	Parasit in Schleim-produzierende Zellen an der Spitze von Stämmchen von ausschl. <i>Sph. squarrosum</i> (ca. 50% Infektionsrate, Redhead and Spicer 1981)	hoch

Pilz	Referenz	Verbreitung	Vorkommen / Lebensweise	pot. kultur- gefährdend
ASCOMYCETEN (SCHLAUCHPILZE) INCL. FUNGI IMPERFECTI				
<i>Epibryon bryophilum</i>	Döbbeler 1978, Thormann & Rice 2007	Deutschland, Frankreich, Rumänien, Schottland, Spanien	an <i>Sphagnum</i> sp.; Parasit (Gattung <i>Epibryon</i> meist parasitisch, aber nicht tödl., sogar oft kaum Schädigung (Döbbeler 1978); pathogen (Thormann & Rice 2007)	mittel
<i>Epibryon casaresii</i>	Döbbeler 1978, Thormann & Rice 2007	Europa: Frankreich., Rumänien, Schottland, Spanien, Deutschland?	an <i>Sphagnum</i> sp. (Sektion <i>Acutifolia</i>), andere Moose; Parasit (Gattung <i>Epibryon</i> meist parasitisch, aber nicht tödlich, sogar oft kaum Schädigung (Döbbeler 1978); pathogen (Thormann & Rice 2007)	mittel
<i>Epibryon turfosorum</i> (= <i>Venturia turfosorum</i>)	Döbbeler 1978, Thormann & Rice 2007	nicht häufig, Europa: Belgien, Österreich, Deutschland?	an <i>Sphagnum</i> sp. div. (absterbende od. tote Sphagnen → Parasit/Saprophyt), (Gattung <i>Epibryon</i> meist parasitisch, aber nicht tödl., sogar oft kaum Schädigung (Döbbeler 1978); pathogen (Thormann & Rice 2007)	mittel
<i>Fusarium aquaeductuum</i> var. <i>medium</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada	auf <i>Sphagnum</i> , <i>Carex</i> -Wurzeln; Saprophyt	gering
<i>Geoglossum glabrum</i>	Thormann & Rice 2007	Europa, Indien, Russland, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Geoglossum sphagnophilum</i>	Thormann & Rice 2007	Deutschland, Skandinavien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Geotrichum candidum</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada und USA	auf <i>Sphagnum</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Humaria sphagni</i>	Thormann & Rice 2007	keine Angaben	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Humaria sydowii</i>	Thormann & Rice 2007	Deutschland, Ukraine	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Hymenoscyphus procerus</i>	Thormann & Rice 2007	Finnland, Italien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Hymenoscyphus vasaensis</i>	Ellis & Ellis 1998, Thormann & Rice 2007	Deutschland	Auf Blättchen von <i>Sphagnum</i> (incl. <i>Sph. fimbriatum</i>); Saprophyt	gering
<i>Illosporium muscorum</i>	Racovitza 1959, Thormann & Rice 2007	Färöer-Inseln, Ungarn	auf <i>Sphagnum</i> (und <i>Hypnum</i>); Saprophyt	gering
<i>Kernia retardata</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Lasiosphaeria muscicola</i>	Döbbeler 1978, Thormann & Rice 2007	Italien, Neuseeland, Norwegen	<i>Sphagnum squarrosum</i> , auf geschädigten od. toten Moosen → Parasit/Saprophyt (Döbbeler 1978); auf <i>Sphagnum</i> als Saprophyt, aber pathogen (Thormann & Rice 2007)	mittel
<i>Lasiosphaeria sphagni</i>	Döbbeler 1978, Thormann & Rice 2007	Frankreich	<i>Sphagnum</i> sp., auf geschädigten oder toten Moosen → Parasit/Saprophyt (Döbbeler 1978); auf <i>Sphagnum</i> als Saprophyt, aber pathogen (Thormann & Rice 2007)	mittel

Pilz	Referenz	Verbreitung	Vorkommen / Lebensweise	pot. kultur- gefährdend
ASCOMYCETEN (SCHLAUCHPILZE) INCL. FUNGI IMPERFECTI				
<i>Lasiosphaeria sphagnorum</i> (= <i>Sphaeria sphagnorum</i>)	Döbbeler 1978, Thormann & Rice 2007	Frankreich	<i>Sphagnum capillifolium</i> , <i>Sph. nemoreum</i> , <i>Sph. squarrosom</i> , <i>Sph. subsecundum</i> , <i>Sph. teres</i> , u.a., auf geschädigten oder toten Moosen → Parasit/Saprophyt (Döbbeler 1978); auf <i>Sphagnum</i> als Saprophyt, aber pathogen (Thormann & Rice 2007)	mittel
<i>Lecanicillium lecanii</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, Russland	auf <i>Sphagnum</i> , Boden, <i>Carex</i> -Wurzeln; Saprophyt	gering
<i>Lecanicillium psalliotae</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Leucoscypha erminea</i>	Ellis & Ellis 1998	keine Angabe	auf <i>Sphagnum</i> u.a. Moose; (Parasit/Saprophyt?)	?
<i>Leucoscypha leucotricha</i>	Ellis & Ellis 1998	keine Angabe	auf <i>Sphagnum</i> u.a. Moose; (Parasit/Saprophyt?)	?
<i>Lizoniella sphagni</i>	Döbbeler 1978, Thormann & Rice 2007	USA	auf <i>Sphagnum</i> sp., auf geschädigten oder toten Moosen → Parasit/Saprophyt	mittel
<i>Mitruha borealis</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, Estland, Deutschland, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mitruha elegans</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mitruha lunulatospora</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mitruha paludosa</i>	Thormann & Rice 2007	Europa, Japan	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Monascostroma sphagnophilum</i>	Döbbeler 1978, Thormann & Rice 2007	Europa: Schweden, Deutschland	auf <i>Sphagnum</i> sp., an zusammenklebenden Blättchen absterbender oder ausgebleichter Pflanzenteile → Parasit/Saprophyt	mittel
<i>Monocillium constrictum</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada	auf <i>Sphagnum</i> , <i>Carex</i> -Blätter, <i>Salix</i> -Wurzeln; Saprophyt	gering
<i>Nodulisporium</i> spp.	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, USA	auf <i>Sphagnum</i> , Boden, <i>Carex</i> -Blättern; Saprophyt	gering
<i>Oidiodendron majus</i>	Tsuneda et al. 2001b, Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, Russland, Schweden	Saprophyt auf totem <i>Sphagnum fuscum</i> und Torf/Boden, Ektomycorrhiza auf Ericaceae-Wurzeln	gering
<i>Oidiodendron periconioides</i>	zit. in Davey & Currah 2006	keine Angabe	Saprophyt auf totem <i>Sphagnum</i> und Torf	gering
<i>Paecilomyces marquandii</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Penicillium funicolosum</i>	Thormann et al. 2003, Thormann & Rice 2007	Moor: Irland, Russland, Großbritannien, USA, Kanada	Mikropilzlicher Abbau von Zellwand in <i>Sphagnum fuscum</i> (Thormann et al. 2003), auf <i>Sphagnum</i> , Boden, <i>Carex</i> (Thormann & Rice 2007); Saprophyt	gering
<i>Penicillium glabrum</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Argentinien, Kanada, Irland, Italien, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Penicillium jensenii</i>	Thormann & Rice 2007	Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Penicillium lividum</i>	Thormann et al. 2003	Kanada	Mikropilzlicher Abbau von Zellwand in <i>Sphagnum fuscum</i> ; <i>Saprophyt</i>	gering

Pilz	Referenz	Verbreitung	Vorkommen / Lebensweise	pot. kultur- gefährdend
ASCOMYCETEN (SCHLAUCHPILZE) INCL. FUNGI IMPERFECTI				
<i>Penicillium montanense</i>	Thormann et al. 2003	Moor: Kanada, USA	auf <i>Sphagnum</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Penicillium purpurogenum</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Österreich, Kanada, Italien, Russland	auf <i>Sphagnum</i> , Boden, <i>Carex</i> -Wurzeln; Saprophyt	gering
<i>Penicillium spinulosum</i>	Thormann & Rice 2007	Moor u. Heide: Österreich, Kanada, Irland, Russland, USA, Schweden, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> , <i>Picea</i> -Wurzelraum; Saprophyt	gering
<i>Penicillium thomii</i>	Thormann & Rice 2007	Moor und Heide: Argentinien Kanada, Irland, Italien, USA, Russland, Schweden, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> , Boden, <i>Carex</i> -Wurzeln, <i>Picea</i> -Wurzelraum; Saprophyt	gering
<i>Periola hirsuta</i>	Racovitza 1959	Europa: Italien (Venedig, Padua, Toscana)	Auf Blättchen von <i>Sphagnum</i> , auch auf anderen Moosen; Saprophyt	gering
<i>Pezoloma iciliifera</i>	Ellis & Ellis 1998		inmitten <i>Sphagnum</i>	?
<i>Pezoloma iodocyanescens</i>	Ellis & Ellis 1998	Keine Angabe	Auf nassen Blättchen und anderen Rückständen von <i>Sphagnum</i>	?
<i>Phoma</i> sp.	Thormann & Rice 2007	Moor u. Heide: Kanada, Irland, Russland, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Plectania melaena</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Pochonia bulbilosa</i>	Davey & Currah 2006, Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, Italien, Schweden	Saprophyt auf totem <i>Sphagnum fuscum</i> , Torf und <i>Picea</i> - Wurzeln	gering
<i>Pseudoplectania sphagnophila</i> (= <i>P. sphagnicola</i> laut Dennis 1981?)	Dennis 1981, Ellis & Ellis 1998	Keine Angabe	inmitten <i>Sphagnum</i>	?
<i>Sarcoleotia globosa</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, Finnland, Island, USA, Japan, Russland, Schweden	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Sarcoleotia turficola</i>	Ellis & Ellis 1998, Thormann & Rice 2007	Hochmoore: Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> , Saprophyt/Parasit	mittel
<i>Scleroconidioma sphagnicola</i>	Tsuneda et al. 2001a, Davey & Currah 2006, Thormann & Rice 2007	Kanada	Parasit auf <i>Sphagnum fuscum</i> (nekrotisch, pathogen), Hyphen wachsen durch Zellwand, lösen Wandbestandteile der Chlorocyten auf und führen zu welligen Deformationen der Zellwand, Wirtszellen sterben in Abwesenheit von Hyphen	mittel

Pilz	Referenz	Verbreitung	Vorkommen / Lebensweise	pot. kultur- gefährdend
ASCOMYCETEN (SCHLAUCHPILZE) INCL. FUNGI IMPERFECTI				
<i>Scleroconidioma sphagnicola</i>	Tsuneda et al. 2001a, Davey & Currah 2006, Thormann & Rice 2007	Kanada	Parasit auf <i>Sphagnum fuscum</i> (nekrotisch, pathogen), Hyphen wachsen durch Zellwand, lösen Wandbestandteile der Chlorocyten auf und führen zu welligen Deformationen der Zellwand, Wirtszellen sterben in Abwesenheit von Hyphen	mittel
<i>Sclerotinia kirschsteineriana</i>	Thormann & Rice 2007	Niederlande	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Sclerotium sphagni</i> (= <i>Sclerotium muscorum</i> var. <i>sphagni</i>)	Racovitza 1959	Ungarn	auf <i>Sphagnum</i> , (Parasit/Saprophyt?)	?
<i>Scutellinia jaczewskiana</i>	Thormann & Rice 2007	Deutschland	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Sordaria fimicola</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Sphagnicola ciliifera</i>	Dennis 1981	selten; Großbritannien	Auf dem Boden, zwischen <i>Sphagnum</i> und <i>Carex</i> , bes. in Kiefernwäldern, (Parasit/Saprophyt?)	?
<i>Sporomiella intermedia</i>	Thormann & Rice 2007	Moor u. Heide: Kanada, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Sporothrix schenckii</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: USA	auf <i>Sphagnum</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Sporothrix</i> state of <i>Ophiostoma</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Stenoceras</i> (imp. Pilz)				
<i>Tolypocladium geodes</i>	Thormann & Rice 2007	Niederlande, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Tolypocladium inflatum</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Russland, Schweden	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Trichoderma aureoviride</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Trichoderma harzianum</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, Russland	auf <i>Sphagnum</i> , <i>Carex</i> , <i>Salix</i> -Wurzeln; Saprophyt	gering
<i>Trichoderma polysporum</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, Irland, USA	auf <i>Sphagnum</i> , <i>Carex</i> -Rhizomen, <i>Salix</i> -Wurzeln, Boden; Saprophyt	gering
<i>Trichoderma viride</i>	Thormann et al. 2003, Thormann & Rice 2007	Moor und Heide: Irland, Italien, Russland, Großbritannien, Kanada	Mikropilzlicher Abbau von Zellwand in <i>Sphagnum fuscum</i> , Boden, <i>Carex</i> , <i>Salix</i> -Wurzeln, <i>Picea</i> -Wurzelraum; Saprophyt	gering
<i>Trichoglossum hirsutum</i>	Thormann & Rice 2007	Europa, Neuseeland, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Verticillium bulbosum</i>	Thormann et al. 2003	Kanada	Mikropilzlicher Abbau von Zellwand in <i>Sphagnum fuscum</i> ; Saprophyt, Parasit auf Laubbaumarten → Welke	gering
<i>Verticillium psalliotae</i>	Thormann et al. 2003	Kanada	Mikropilzlicher Abbau von Zellwand in <i>Sphagnum fuscum</i> ; Saprophyt, Parasit auf Laubbaumarten → Welke	gering
<i>Xylaria hippotrichoides</i>	Thormann & Rice 2007	Belgien, Frankreich, Deutschland, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering

Pilz	Referenz	Verbreitung	Vorkommen / Lebensweise	pot. kultur- gefährdend
ZYGOMYCETEN (JOCHPILZE)				
<i>Coemansia aciculifera</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Endogone pisiformis</i>	Thormann & Rice 2007	Kanada, Finnland, Deutschland, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt/Ektomykorrhiza	(gering)
<i>Endogone xylogena</i>	Thormann & Rice 2007	Keine Angabe	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mortierella alpina</i>	Thormann et al. 2003, Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, Argentinien, Österreich, Irland, Russland, Großbritannien	Mikropilzlicher Abbau von Zellwand in <i>Sphagnum fuscum</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Mortierella elongata</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, Irland, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> , <i>Carex</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Mortierella horticola</i>	Thormann et al. 2003, Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada	Mikropilzlicher Abbau von Zellwand in <i>Sphagnum fuscum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mortierella humilis</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, Irland, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Mortierella isabellina</i>	Thormann et al. 2003	Kanada	Mikropilzlicher Abbau von Zellwand in <i>Sphagnum fuscum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Mortierella minutissima</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, Großbritannien, USA	auf <i>Sphagnum</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Mortierella pulchella</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, Großbritannien, USA, Irland, Schweden	auf <i>Sphagnum</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Mortierella turficola</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Großbritannien, Irland	auf <i>Sphagnum</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Mortierella verticillata</i>	Thormann et al. 2003, Thormann & Rice 2007	Moor und Heide: Kanada Italien, Großbritannien	Mikropilzlicher Abbau von Zellwand in <i>Sphagnum fuscum</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Mucor hiemalis</i>	Thormann & Rice 2007	Moor und Heide: Kanada, Irland, Argentinien, Österreich, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> , <i>Carex</i> , <i>Salix</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Mucor plumbeus</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, Italien, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Rhizopus</i> sp.	Thormann & Rice 2007	Argentinien	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Spinalia tenuis</i>	Thormann & Rice 2007	Polen, USA	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Syncephalis pendula</i>	Thormann & Rice 2007	Frankreich	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Syncephalis tenuis</i>	Thormann & Rice 2007	Deutschland	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Thamnocephalis quadrupedata</i>	Thormann & Rice 2007	Keine Angabe	auf <i>Sphagnum</i> ; Saprophyt	gering
<i>Umbelopsis angularis</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Kanada, Irland	auf <i>Sphagnum</i> , Boden; Saprophyt	gering

Pilz	Referenz	Verbreitung	Vorkommen / Lebensweise	pot. kultur- gefährdend
ZYGOMYCETEN (JOCHPILZE)				
<i>Umbelopsis isabellina</i>	Thormann & Rice 2007	Moor und Heide: Kanada, Schweden, Großbritannien	auf <i>Sphagnum</i> , <i>Carex</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Umbelopsis ramanniana</i>	Thormann & Rice 2007	Moor und Heide: Kanada, Italien, Großbritannien, USA	auf <i>Sphagnum</i> , Boden; Saprophyt	gering
<i>Umbelopsis vinacea</i>	Thormann & Rice 2007	Moor: Argentinien, Kanada, Russland, Großbritannien, USA	auf <i>Sphagnum</i> , Boden; Saprophyt	gering
MYXOMYCETEN (SCHLEIMPILZE)				
<i>Badhamia lilacina</i>	Ellis & Ellis 1998, Prof. M. Schnittler (pers. comm.)	selten, Deutschland	<i>Sphagnum</i> -Rasen, lebt von Cyanobakterien in Hyalocyten der Torfmoose	kein
<i>Comatricha rispaudii</i>	(Prof. M. Schnittler (pers. comm.))	sehr selten/ /Nordamerika	<i>Sphagnum</i> -Moore	?
<i>Diderma simplex</i>	(Prof. M. Schnittler (pers. comm.))	selten, Deutschland	<i>Sphagnum</i> -Moore	?
<i>Didymium ovoideum</i>	(Prof. M. Schnittler (pers. comm.))	Keine Angabe	<i>Sphagnum</i> -Moore	?
<i>Symphytocarpus techisporus</i> (= <i>Stemonitis trechispora</i>)	(Prof. M. Schnittler (pers. comm.))	Deutschland	<i>Sphagnum</i> -Moore	?
TAXONOMISCH unklar				
<i>Bryophytomyces sphagni</i> (= <i>Tilletia sphagni</i> ?), <i>Tilletia sphagni</i> evtl. kein <i>Tilletia</i> und damit nicht unbedingt den Basidiomyceten zugehörig wie andere Brand- und Rostpilze	Redhead & Spicer 1981, Davay & Currah 2006	Europa, ?	Parasit auf <i>Sphagnum</i> , pilzliche Ausbreitungseinheiten ersetzen Moossporen und nutzen explosive Verbreitungsmechanismen des Wirtes <i>Sphagnum</i> aus, Wirtspathogen, evtl. assoziiert mit Pilz <i>Discinella schimperi</i>	hoch (zumindest für generative <i>Sphagnum</i> -Diasporenproduktion)

2.5.4 Andere Störfaktoren der Torfmooskultivierung

Wellenschlag

Geografisch bedingt trat am Kultivierungsstandort Ramsloh regelmäßig stärkerer Wind auf. Dieser führte zu starkem Wellenschlag auf den Kultivierungsgewässern. Die Gewässer liegen weitestgehend ungeschützt in offener (waldfreier) Landschaft. Größere Wasserflächen wirken ebenfalls wellenverstärkend. Starker Wellenschlag führte zum Herunterspülen der Torfmoose von den Schwimmatten. Die in den Freilandversuchen eingesetzten Wellenbrecherkonstruktionen (fixer oder frei im Wind drehender Rahmen aus KG-Rohr) waren nur teilweise wirksam und für eine großflächige Umsetzung nicht geeignet. Wichtig erscheint dennoch das Ausrichten der Matten nach dem Wind. Wahrscheinlich verringert sich aber der Einfluss von Wind und Wellen, wenn deutlich größere Flächen mit Schwimmatten bedeckt werden. Abdecken der Kultur mit Nylon-Schlingengelege wirkte Herunterspülen entgegen. Großfragmentiges Torfmoos-Saatgut wurde weniger leicht verspült.

Wasservögel

Störungen durch rastende und nistende Wasservögel umfassten das Niederdrücken und Auszupfen des Torfmoosrasens und ggf. der schützenden Strohaufgabe, Beeinträchtigung der Mattenauftriebskraft durch Zerstören von Bauelementen, Flächenabdeckung durch Nestbau, Hinterlassen von nährstoffreichen Exkrementen, die wiederum den Torfmoosen direkt über Nährstoffüberangebot schaden oder indirekt über erhöhtes Algenaufkommen. Die Freilandversuche zeigten, dass die Matten auf großen Gewässern durch (Wasser)Vögel deutlich stärker beeinflusst werden als auf kleinen. Der Schutz der Matten könnte einen Einfluss auf die Rentabilität der Torfmooskultivierung haben; die Entwicklung eines wirksamen und großtechnisch umsetzbaren Schutzes steht noch aus. Ebenso kann sich die Auswahl von kleineren Gewässern als günstiger in Hinsicht auf Störung durch Wasservögel erweisen. Zu beachten ist jedoch, dass hier meist auch eine höhere Austrocknungsgefahr besteht.

2.6 Vergleichende Diskussion der Versuche zur Torfmooskultivierung und Schlussfolgerungen

2.6.1 Vergleichende Diskussion der Versuche zur Torfmooskultivierung

Aufbau und Eignung Matten-Varianten

Der Aufbau und die Eignung der verschiedenen Matten-Varianten werden ausführlich in den Kapiteln 2.1, 2.3 und 2.4 diskutiert.

Entwicklung eines Torfmoos-Rasens (Etablierung, Wachstum)

Bei einer Torfmooskultur folgt auf eine Etablierungs- die Wachstumsphase. Durch Aufrichten der Torfmoose und Bildung neuer Capitula etabliert sich zunächst ein geschlossener Torfmoosrasen. Erst dann findet verstärktes Torfmooswachstum statt.

Dieses Phänomen ist sowohl in der Etablierungsphase zu beobachten als auch nach kleinflächigem Ausfall von Moosen in bereits bestehenden Rasen. Dies ist der Hintergrund dafür, dass geringe Deckungswerte meist keinen homogen lockeren Torfmoosrasen abbilden, sondern vielmehr den flächigen Ausfall von Moosen an einer Stelle und einen geschlossenen Rasen an einer anderen.

Verstärktes Längenwachstum beginnt bei im Ganzen ausgebrachten Saatmoosen nach 1-2 Monaten (bes. schnell: *S. palustre*, am langsamsten: *S. magellanicum-papillosum*-Mix) und bei fragmentiertem *S. papillosum* ab dem 5. Monat (Beginn Wachstumsphase) (nachgewiesen im Torfmoosversuch indoor).

Die Etablierungsphasen dauerten bis zu drei Monaten. Nach dieser Zeit noch immer braune Moos-Sprossen müssen als Ausfall angesehen werden.

Entwicklung der Capitulazahlen

Fragmentierung der Saatgut-Moose regt deutlich die Capitula-Neubildung an. Neugebildete Capitula sind nach spätestens 12 Monaten ausgewachsen und nicht mehr als solche erkennbar.

Es zeigte sich jedoch, dass die Vorteile einer sehr feinen Saatgut-Fragmentierung bei Kultur auf Schwimmmatten im Freiland nicht genutzt werden können. Im Vergleich der Torfmoosversuche outdoor und indoor bleibt die Capitulazahl der als Fragment ausgebrachten Moose (*S. papillosum*) unter ungeschützten Bedingungen im Freiland weit hinter denen der als Ganze ausgebrachten Moose zurück (Tab. 18), wohingegen fragmentierte Moose im geschützten Gewächshaus doppelt so viele Capitula aufweisen wie die im Ganzen ausgebrachten. Im Torfmoosversuch indoor bildeten die fragmentierten Moose fünfmal mehr Capitula als im outdoor-Versuch.

Tab. 18: Vergleich der durchschnittlichen Capitulazahlen in den Torfmoosversuchen indoor und outdoor (Matten N und NB).

Torfmoosart	Anzahl Capitula pro m ²	
	indoor	outdoor
<i>S. papillosoum</i>	5.364	5.646
<i>S. papillosoum</i> Frag.	11.675	2.715
<i>S. palustre</i>	4.917	6.456
<i>S. magellanicum-papillosum</i> -Mix	8.050	5.475

Rasenhöhen

Da erst nach Etablierung eines geschlossenen Torfmoos-Rasens das Torfmoos-Wachstum einsetzt, sollte eine möglichst lange Kulturdauer angestrebt werden. Andererseits werden mit zunehmendem Alter der Torfmoose die Masseverluste infolge von Zersetzung immer größer. In Torfmoosrasen auf Moorstandorten wurden nach einem Jahr Zersetzungsraten von bis zu 20 % ermittelt (Lütt 1992). Neben äußeren Einflüssen wie Wasserstand etc. hängen diese auch stark von artspezifischen Eigenschaften ab (Lütt 1992). Wie sich der Abbau der Torfmoose auf Schwimmmatten verhält, ist bisher noch nicht untersucht.

Außerdem neigen Torfmoosrasen dazu, sich ohne Stütze (z.B. durch Gefäßpflanzen) ab einer bestimmten Höhe umzulegen (auch auf Schwimmmatten beobachtet für *S. fallax*), was die Ernte durch Schnitt erschwert.

Nach bisherigem Erfahrungsstand wird abgeschätzt, dass sich Kultur kürzer als 1 Jahr nicht „lohnt“, da der Aufwuchs noch zu gering ist (z.B. mittlere Rasenhöhen zw. 2-4 cm in Torfmoosversuch outdoor, 5-7 cm in Torfmoosversuch indoor). Anderthalbjährige Kultur von *S. fimbriatum* führte unter den

geschützten Sonderbedingungen des Feldversuchs LW-Moor (Kap. 2.3) zu mittleren Rasenhöhen von bis zu 14 cm und weist damit möglicherweise in die Richtung einer günstigen Kultivierungsdauer. Um die optimale Kulturdauer zu bestimmen sind mehr Erfahrungen mit Kulturen älter als 1 Jahr notwendig.

Biomasse

Für einen Vergleich und die (konservative) Bewertung der Torfmoos-Produktivität wurden die ermittelten Biomassen auf 12 Monate Wachstumszeit umgerechnet (Biomasse/ Anzahl der Versuchsmonate * 12) sowie die Trockenmassen des ausgebrachten Saatgutes (im Schnitt ca. 1 t ha⁻¹, vgl. (Tab. 8) und (Tab. 9)) abgezogen (=Netto Biomasse). Da zum Teil Saatgut zu Versuchsbeginn von den Matten heruntergespült oder im Laufe des Untersuchungszeitraumes zumindest anteilig zersetzt wurde, handelt es sich um eine sehr vorsichtige Schätzung der Produktivität.

Die ermittelten Biomassen weisen eine große Streuung auf (Spanne von Totalausfall bis 3,95 t ha⁻¹ a⁻¹), Dies verdeutlicht, dass eine Torfmooskultivierung erfolgreich sein kann, der Erfolg aber stark abhängt von der Kombination verschiedener Variablen. Die Abdeckung der Moose allein mit einem Netz zeigte kaum Erfolg (Abb. 62). Neben der Torfmoos-Art (inklusive Fragmentierung des Saatgutes) und Mattenvariante war zudem auch das standortbedingte Störungspotential durch Wellenschlag und Wasservogel von Bedeutung.

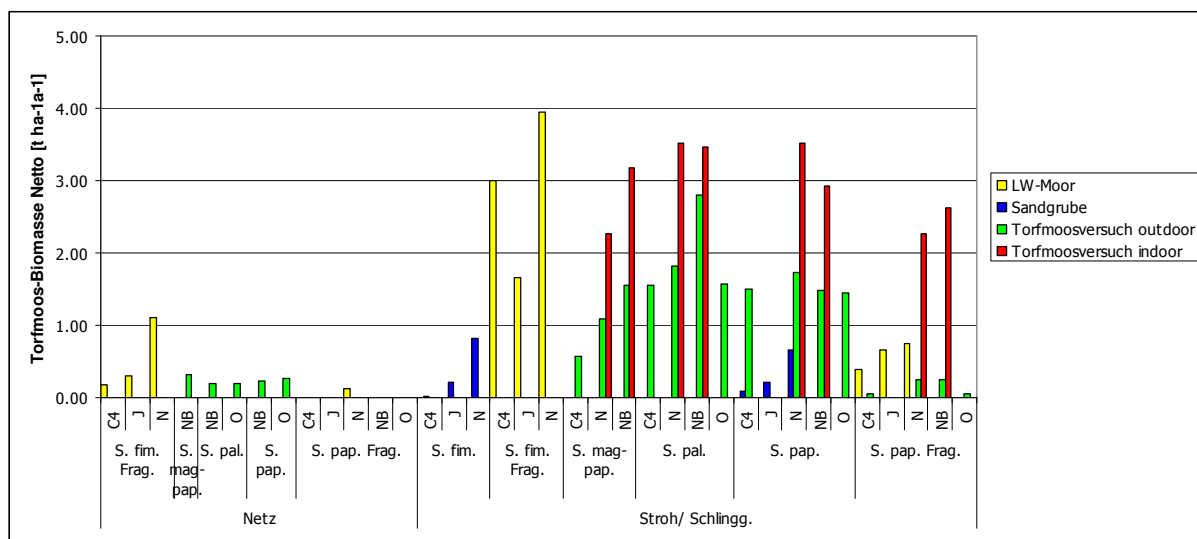


Abb. 62: Mittlere Torfmoos-Biomasse Netto, umgerechnet auf 1 Jahr Versuchslaufzeit. Alle Versuche untergliedert nach Abdeckung, Torfmoosart und Matte.

Die höchste durchschnittliche Biomasse wurde von *S. fimbriatum* (fragmentiert) im Feldversuch LW-Moor erreicht (3,95 t ha⁻¹a⁻¹; Abb. 62). An diesem Standort war eine besonders hohe Gefäßpflanzendecke durch *Juncus effusus* zu beobachten. Diese wuchsen zu Versuchsbeginn schnell auf und boten den Torfmoosen Schutz vor Verspülen sowie anscheinend ein geeignetes Mikroklima. Zudem lagen die Schwimmmatten hier zeitweise auf dem Torfuntergrund auf, da der Wasserspiegel im Sommer soweit gesunken war, dass die Matten nicht mehr frei schwimmen konnten. Auch im Torfmoosversuch indoor wurden durchgehend hohe Biomassewerte erreicht (um 3,5 t ha⁻¹ a⁻¹). Unter den (vor z. B. Wellenschlag und Wasservögeln) geschützten Gewächshausbedingungen erreichte selbst das in den Freilandversuchen wenige produktive fragmentierte Saatgut von *S. papillosum* gute Biomassewerte (wenn auch immer noch geringer als die im Ganzen auagebrachten Moose). Auf im

Freien schwimmenden Matten wurden Biomassen von bis zu $2,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ geerntet. Durchgehend hohe Biomassen lassen sich für *S. palustre* verzeichnen. Generell haben sich aber alle, im ganzen ausgebrachten Moose, als gut wüchsig herausgestellt. Das für die Kultivierung auf abgetorfem Hochmoor erprobte Zerhackeln von Saatgutmoosen in feine Fragmente (1-5 mm) hat sich für die Freilandkultur auf Schwimmmatten als ungünstig erwiesen. Das saugfähige Torfmoos-Material schafft sich entweder selber für eine Etablierung zu nasse Bedingungen oder liegt auf leicht durchhängenden Mattenabschnitten zu nass. Die Ausnahme des fragmentierten *S. fimbriatum* unter Stroh im LW-Moor ist wahrscheinlich auf das sommerliche „trockenfallen“ der Matten und damit nur noch feuchte anstatt sehr nasser Bedingungen während des Etablierungszeitraumes zurückzuführen.

In den Lausitzer Feldversuchen des Projektpartners IASP mit HUB wurden im Schnitt höhere Biomassen für Torfmoos erreicht als in den Versuchen in Niedersachsen. Ein statistisch abgesicherter Vergleich der Werte gestaltete sich schwierig, weil die Versuche unter sehr verschiedenen und nicht immer quantitativ leicht fassbaren Bedingungen eingerichtet wurden. Dennoch gibt es Anhaltspunkte für mögliche abiotische und kultivierungstechnische Ursachen, die im Folgenden aufgelistet werden (Reihung entspricht Einschätzung der Stärke des Einflusses, begonnen wird mit dem stärksten):

Anders als in der Lausitz wurden alle Versuche der EMAU zur statistischen Absicherung mit mehreren Wiederholungen (Feldversuch 2; Torfmoosversuche outdoor und indoor je 3 Wiederholungen) durchgeführt.

Auch lagen die gewählten Braunkohlegewässer in einer bewaldeten Umgebung. Es kam dort kaum zu Kulturstörungen wie Abspülen durch Wellenschlag oder Wasservogelaktivitäten.

Technisch bedingt wurden z.T. verschiedene Ausbringzeiträume gewählt.

In den Lausitzer Versuchen wurde ausschließlich sehr grob fragmentiertes Torfmoos-Saatgut ausgebracht, was sich als vorteilhafter gegenüber fein-fragmentiertem erwies.

Weiterhin war die Herkunft des Saatgutes verschieden. Für die Versuche in Niedersachsen wurde auf Saatgut aus dem Freiland der Umgebung zurückgegriffen, in den Lausitzer Versuchen kamen großenteils im Gewächshaus zwischenkultivierte Saatgutmoose zum Einsatz. Eventuell brachte dies einen Entwicklungsvorsprung. Gleichzeitig waren weniger Gefäßpflanzendiasporen darin enthalten.

Unterschiede in Klima und Witterung zwischen der Lausitz und Niedersachsen sind wahrscheinlich ebenso von Bedeutung.

Die Biomasse-Produktivität ist der meist integrative Parameter für die Einschätzung des Torfmooswachstums. Besonders für die Substratwirtschaft ist dies neben der Schüttdichte die entscheidende Größe zur quantitativen Erfassung des Torfmoos-Zuwachses. Biomassebestimmung setzt jedoch Ernte voraus und ist somit nicht geeignet für Zwischenabschätzungen (destruktive Analysenmethode). Gesucht wird eine nicht-destruktive und weniger aufwendige Methode für quantitative Abschätzungen außerhalb von Ernten.

Zwischen Biomasse und den Torfmoosparametern Deckung und Höhe des Torfmoosrasens sowie Länge der Torfmoose und Capitulazahl bestehen Zusammenhänge. Diese sind (z.B. beim Torfmoosversuch indoor) sehr eng, so dass diese als Proxy für Biomasse-Produktivität genutzt werden können (Abb. 63). Dabei spiegelt die Torfmoosrasenhöhe am zuverlässigsten die Biomasse wider ().

Tab. 19: Bestimmtheitsmaß (R^2) und Steigung der Funktionen von verschiedenen Torfmoos-Parametern und Biomasse (Brutto) ($\text{g dm}^{-2} \text{ a}^{-1} = \text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) für Torfmoose gesamt im Torfmoos-versuch indoor.

Torfmoos-Parameter/Biomasse	R^2	Steigung
Rasenhöhe (cm)	0,71	1,6
Torfmooslänge (cm)	0,70	2,6
Capitulazahl pro dm^2 (n)	0,12	24,0
Deckung (%)	0,51	29,0

Die Steigung der Geraden in Abb. 6363 zeigt das Verhältnis zwischen Biomasse (Brutto) ($\text{g dm}^{-2} \text{ a}^{-1} = \text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und Rasenhöhe (cm). Das Reziproke der Steigung könnte somit als Faktor für die Umrechnung von Rasenhöhe in Biomasse dienen. (s. Tab. 20). Der Zusammenhang zwischen Torfmooslänge und Biomasse ist ebenfalls gut (vgl. R^2 in Abb. 63, Tab. 19 + 20)).

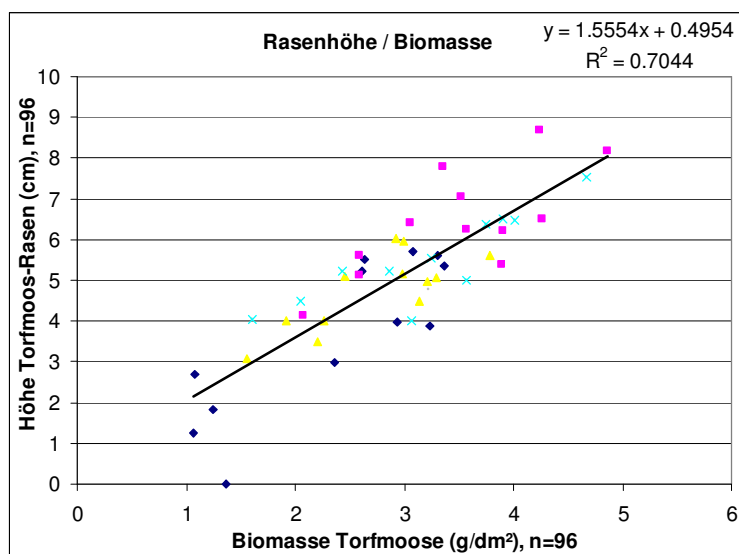


Abb. 63: Beziehung zwischen Torfmoos-Rasenhöhe und Torfmoos-Biomasse (dunkelblau = fragm. *S. papillosum*, hellblau = *S. papillosum*, gelb = *S. magellanicum+papillosum*, pink = *S. palustre*) im Versuch Bassin indoor.

Tab. 20: Bestimmtheitsmaß (R^2), Steigung und daraus resultierender Faktor für Umrechnung von Torfmoosrasenhöhe (cm) in Biomasse (Brutto) ($\text{g dm}^{-2} = \text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$).

Torfmoosart	R^2	Steigung	Umrechnungs-Faktor Rasenhöhe / Biomasse
<i>S. papillosum</i> Fragm.	0.7	1.7	0.6
<i>S. palustre</i>	0.5	1.2	0.8
<i>S. magellanicum+papillosum</i>	0.6	1.1	0.9
<i>S. papillosum</i>	0.7	1.1	0.9

Die Ermittlung der Torfmooslänge gestaltet sich aber schwierig und führt zur Beeinträchtigung des Moosverbandes im Rasen und wird deshalb als weniger geeignet eingeschätzt als die Rasenhöhe. Capitulazahl und Deckung weisen einen weniger guten Zusammenhang mit Biomasse auf. Eine hohe Anzahl von Capitula weist zwar auf eine hohe Deckung; sind die Köpfchen aber noch sehr klein, haben sie jedoch kaum Biomasse. Geringe Deckungen resultieren in niedrigen Biomassen. Ist jedoch eine Deckung von 100 % erreicht, ist die Biomasse abhängig von der Rasenhöhe. Deshalb sind Capitulazahl und Deckung (sobald der Torfmoosrasen geschlossen ist) weniger gut geeigneten Parameter für eine Erntemasse-Abschätzung.

Chemische Zusammenstellung der Torfmoos-Biomasse

Die chemische Zusammenstellung der Torfmoos-Biomasse deutet an:

- 1) ob die Torfmoose für ein maximales Wachsen ausreichend mit Nährstoffen versorgt sind
- 2) ob die Torfmoos-Biomasse von den Inhaltsstoffen her als Ausgangsstoff für Gartenbausubstrate geeignet ist.

Die C/N-Verhältnisse liegen zwischen 20 und 37, wobei die höheren an Torfmoosen aus dem LW-Moor gemessen wurden. Die Phosphor-Gehalte liegen bei 1,2 – 2,6 g kg⁻¹ Torfmoos-Biomasse, die Kalium-Gehalte bei 3,8 – 7,6 g kg⁻¹ Torfmoos-Biomasse (Abb. 64). Trotz der Unterschiede zwischen den Arten und Standorten weist noch nichts auf eine Mangelversorgung hinsichtlich Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K).

Als neuer Substratausgangsstoff soll Torfmoos-Biomasse möglichst eine dem Hochmoortorf vergleichbare Nährstoffarmut aufweisen. Richtwerte für die Bewertung von Hochmoortorf nach DIN 2005 liegen bei etwa 30 mg L⁻¹ P₂O₅ und 40 mg L⁻¹ K₂O (Schmilewski 2008). Nimmt man für die getrocknete Torfmoos-Biomasse eine Schüttdichte von 30 g L⁻¹ an (Kap. 3.5.2), entsprechen die gemessenen P-Werte 82 - 178 mg L⁻¹ P₂O₅ und die gemessenen Kalium-Werte 136 – 273 mg L⁻¹ K₂O. Sie liegen damit etwas über den angegebenen Richtwerten, aber noch um Größenordnungen unter den Vorgaben der RAL Gütesicherung (RAL 2007) für Kompost als Substratzusatz (bis 1200 mg L⁻¹ P₂O₅ und 2000 mg L⁻¹ K₂O). Von einer sehr guten Eignung der Torfmoos-Biomasse als Gartenbausubstrat ist damit auszugehen. Für finale Aussagen sollten jedoch noch die pflanzenverfügbaren Anteile des Gesamtnährstoff-Gehaltes in der Torfmoos-Frischmasse bzw. bei letztendlich verwendetem Feuchtegehalt der Torfmoose erhoben werden.

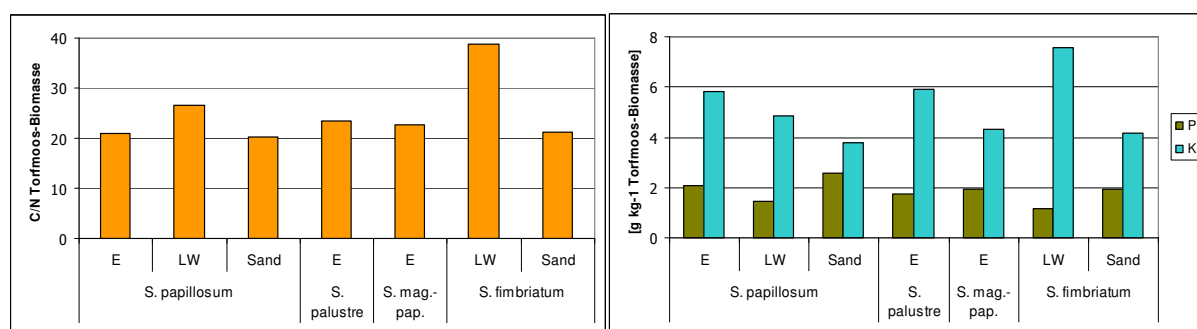


Abb. 64: a) C/N-Verhältnis und b) Phosphor- und Kalium-Gehalt der Torfmoos-Biomasse an den Freiland-Versuchsstandorten E-Moor, LW-Moor und Sandgrube.

Im Rahmen des Moosfarmprojektes wurden keine Untersuchungen zur Kontamination des Erntegutes mit pflanzenbaulich relevanten Schadstoffen oder solchen Moosinhaltsstoffen, die für die Produktion von Nahrungsmitteln auf dem zukünftigen Gartenbausubstrat nicht tolerierbar sind, durchgeführt.

Derartige Analysen sind jedoch notwendig um die qualitative Eignung der Torfmoosbiomasse als Gartenbausubstrat abschließend zu bewerten.

Für die auf Braunkohletagebauseen kultivierten Moose liegen keine Nährstoffanalysen vor. Verallgemeinerungen aus den Daten der niedersächsischen Moose lassen sich jedoch nicht treffen, da sich die Wasserqualität beträchtlich unterscheidet.

Störfaktoren

Der Themenkomplex Versuchseinrichtung und Störfaktoren für eine Torfmooskultivierung (Wellenschlag, Wasservögel, Aufkommen von Gefäßpflanzen, Fremdmoosen, Algen und Pilze) wurde im Kapitel zur Optimierung der Kultivierung diskutiert (Kap. 2.5).

2.6.2 Zusammenfassung und Ausblick

Aufschlussreiche Zwischenergebnisse erforderten z.T. das Anpassen des Arbeitsplanes im innovativen Projekt zur Entwicklung eines neuartigen Produktionsverfahrens. Es wurden mehr Versuche als eigentlich geplant, insbesondere zur Mattenentwicklung, durchgeführt.

Zusammenfassend kann folgendes geschlussfolgert werden:

- Matten ausschließlich aus natürlichen Materialien (z.B. Schilf) sind für die Torfmooskultivierung ungeeignet.
- Als Trägermaterial und für eine gute Wasserversorgung der Torfmoose sind saugfähige Vliese geeignet (450er PP-Vlies, recycelt wie überwiegend in den Versuchen verwendet).
- Schwieriger ist die Frage nach dem optimalen Schwimmelement zu beantworten. Langfristig ausreichender Auftrieb, mechanische Stabilität, Einbaubarkeit in ein transportierbares Schwimmmattensystem und Kosten müssen noch optimiert werden. PE-Schaumseile können einen hohen und konstanten Auftrieb aufweisen, die maschinelle Anbringung des Ø 40 mm-Materials in der Konstruktion mit Geogitter (Mattenvariante N) war jedoch nicht vom Industriepartner mst umsetzbar. Dahingegen konnte eine Konstruktion ohne Geogitter (Mattenvariante J: PE-Schaumseile 25 mm zwischen zwei Lagen Vlies verstept) maschinell hergestellt werden, hatte aber nicht ausreichend sicheren Auftrieb und ein ungünstiges Mikrorelief. Die patentierte, kettengewirkte stfi-Matte (C4) mit PE-Schaumseil sollte für eine Torfmooskultivierung noch optimiert werden (Auftrieb und Preis). Favorisiert wird daher Styrodur® als Schwimmelement, weil es den höchsten stabilen Auftrieb von den getesteten Materialien hat, eine höhere Festigkeit besitzt als Styropor® und zwischen zwei Lagen Vlies verstept werden kann. Die Styropor®-Matte (Mattenvariante O) wurde im Kultivierungsversuch mit positivem Erfolg getestet. Styrodur®-Matten (Mattenvariante P) wurden ohne Moosbedeckung im Freiland beobachtet und für geeignet befunden. Des Weiteren erwiesen sich wickelbares Styropor und Schwimmkörper aus Ekazell und Evazote als geeignet.
- In den Freilandversuchen erwies sich die Geogittermatte mit 40er PE-Schaumseil (Mattenvariante N) als erfolgreichste in Hinsicht auf Torfmoos-Biomasseproduktion.

Ausblick Matten: In Moosfarm entwickelte Mattentypen fließen in ein neues und großmaßstäbig angelegtes Projekt ein. Herausforderungen bestehen noch bezüglich des Testens der Lebensdauer der Matten von länger als 1,5 Jahren, der maschinentechnischen Umsetzung weiterer erprobter Mattenideen sowie die Weiter- und Neuentwicklung von Matten-Konstruktionen, des Einbeziehens noch nicht im Projekt erprobter Schwimm- und anderer Materialien (inkl. nachwachsender Rohstoffe), der Recyclebarkeit und Entsorgung sowie der Minimierung der Kosten.

- Die am besten für die Torfmooskultivierung auf schwimmfähigen Vegetationsträgern geeignete *Sphagnum*-Art ist nach bisherigen Erkenntnissen *S. palustre*, weil diese in den Freilandversuchen die beste Etablierung und die höchsten Wachstumsraten sowie Biomassen aufweist. Prinzipiell haben sich aber auch alle anderen getesteten Torfmoos-Arten (*S. fimbriatum*, *S. papillosum*, *S. magellanicum*) als geeignet erwiesen, wenn sie als mehr oder weniger ganze Moose ausgebracht werden. Es werden im Freiland mittlere Biomasse-Produktivitäten von bis zu $3,9 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Trockenmasse) und im Gewächshaus bis zu $3,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erzielt.
- Geeignester Parameter zur Abschätzung der zu erwartenden Biomasse vor der Ernte ist die Torfmoosrasenhöhe. Vorläufige Umrechnungsfaktoren streuen leicht zwischen den einzelnen Torfmoos-Arten und Fragmentgrößen und sind durch weitere Versuche zu verifizieren.
- Fragmentierung des Torfmoos-Saatgutes regt die Capitula-Neubildung und somit Rasenschluss an. Dieser Vorteil kann auf Schwimmplatten nicht ausgenutzt werden, da ein Wasserüberangebot auf den Platten durch hohe Saugfähigkeit des Moosmaterials oder Durchhängen der Platten die Etablierung eines Torfmoosrasens aus Feinfragmenten erschweren. Ob durch terrestrische Vorkultivierung die Fragmente besser geeignet werden, weil sie mehr Capitula und damit neue Pflanzen bilden und ggf. weniger Ausgangsmaterial notwendig ist, sollte künftig getestet werden. -> größere Fragmente
- Entscheidend für den Spontan-Aufwuchs von Fremdarten (Moose und Gefäßpflanzen) und damit auch für die Qualität des Substratrohstoffes hinsichtlich Inhaltsstoffe und Verarbeitbarkeit in Maschinen ist die Herkunft des Ausgangsmaterials. Ist die Herkunftsfläche dicht mit anderen Arten bewachsen, kann auch die sorgsame Aussortierung der Torfmoose das zahlreiche Aufkeimen der Fremdarten (insbesondere *Juncus effusus*) nicht verhindern. Ebenfalls häufig vertreten sind *Betula pubescens*, *Molinia caerulea* und die geschützten Arten *Drosera rotundifolia* und *Erica tetralix*. Das Sammeln des Saatgutes im Sommer verringert den Samenanteil geringfügig. Effektiver könnte das Auskämmen und Dämpfen des Saatgutes Fremdartenzuzucht dezimieren. Nur ein kleiner Teil der aufgewachsenen Fremdarten wird angeschwemmt (*Juncus bulbosus* und *Agrostis/Alopecurus*). Der atmosphärische Diasporeneintrag war vernachlässigbar. Bändchengewebe kann den Aufwuchs von Fremdartenzuzucht, anders als erwartet, nicht maßgeblich verringern, führt aber in den Freilandversuchen zu leicht höherer Torfmoos-Biomasseproduktion.
- Die aufgewachsenen Gefäßpflanzen können den Torfmoosen bei ihrer Etablierung behilflich sein, indem sie den Moosen Halt geben und die Strahlungsintensität verringern. Eine ähnliche positive Wirkung auf das Torfmooswachstum zeigt das als Abdeckung benutzte Nylon-Schlingengelege. Die Ernte müsste dann als Schnitt über dem Schlingengelege erfolgen und verbleibende Moosreste könnten sich reetablieren. Ohne eine Abdeckung würden die Torfmoose schnell von der Matte gespült, Stroh kann verkleben und damit eine lichtundurchlässige Schicht bilden (sich aber auch positiv auswirken) und das Vogelnetz bietet kaum Schatten und nur zweidimensionalen Halt.
- Das Fremdmoos-Aufkommen ist gering. Die Gesamtdeckung blieb im Schnitt unter 1 % und die Biomasse unter $0,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Bei der Substratherstellung werden keine Störungen erwartet.
- Nährstoffüberfrachtung kann zu gesteigertem Algenaufkommen führen, das sich wiederum negativ auf die Torfmooswüchsigkeit auswirkt.
- Die Freilandversuche zeigen, dass die Platten auf großen Gewässern deutlich stärker durch (Wasser)Vögel beeinflusst werden als auf kleinen. Der Schutz der Platten bzw. die Auswahl von kleineren Gewässern könnte einen Einfluss auf die Rentabilität der Torfmooskultivierung

haben. Zu beachten ist jedoch, dass bei kleineren Gewässern oft auch eine höhere Austrocknungsgefahr besteht.

- Die in den Freilandversuchen eingesetzten Wellenbrecherkonstruktionen sind nur teilweise wirksam und für eine großflächige Umsetzung nicht geeignet. Wichtig erscheint das Ausrichten der Matten nach dem Wind. Wahrscheinlich verringert sich aber der Einfluss von Wind und Wellen, wenn deutlich größere Flächen mit Schwimmmatten bedeckt werden.

Ausblick Kultivierung: Mittels einer Vorkultur der Matten an Land kann getestet werden, ob die Vorteile von Saatgut-Fragmentierung auch bei der Kultivierung auf Schwimmmatten nutzbar ist. Außerdem könnte sich eine Gefäßpflanzenbekämpfung an Land als einfacher erweisen. Versuche zu verschiedenen Ausbringzeiten von Torfmoos-Saatgut können in Zukunft Aufschluss über günstigste Zeitpunkte geben

Abschließend kann gesagt werden, dass eine Torfmooskultivierung auf textilen Vegetationsträgern auf überstauten Hochmoorflächen möglich ist. Der Erfolg ist von der Art und Weise der Versuchseinrichtung, der Wahl der Torfmoosart (und Fragmentgröße) und des Störungspotentials im Kultivierungsgewässer abhängig. Eine ökonomische Betrachtung erfolgt in Kap. 3.

3 Ökonomische Analyse der Torfmooskultivierung

3.1 Einordnung der ökonomischen Analyse

Das InnoNet-Projekt „MOOSFARM“ ist das zweite Projekt, welches die Idee der kommerziellen Kultivierung von Torfmoosen untersucht. Nachdem im abgeschlossenen FNR-Projekt „Torfmoos als nachwachsender Rohstoff“ die Eignung abgetorfster Hochmoorflächen geprüft wurde, war nun die Entwicklung schwimmfähiger Vegetationsträger für die Ausbringung auf überstaute Hochmoorflächen und saure Tagebaugewässer Projektziel. Neben den abgetorfsten sowie den überstauteen Bereichen bildet das Hochmoorgrünland ein großes Flächenpotential für die Torfmooskultivierung in Niedersachsen, was in einem weiteren Projekt erforscht werden soll (Abb. 65).

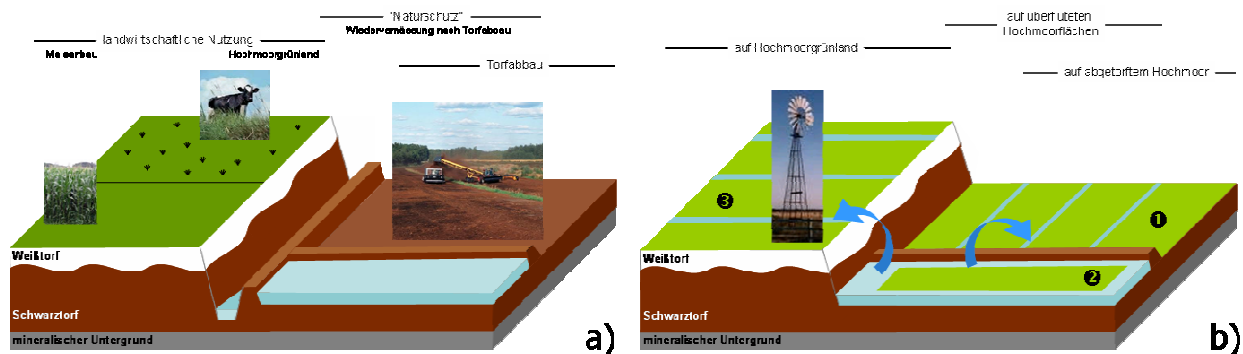


Abb. 65: Mosaik degradiertter Hochmoorflächen a) mit heutigen Nutzungsformen und b) mit Torfmooskultivierung ❶ auf abgetorfstem Hochmoor (FNR-Projekt), ❷ auf überfluteten Hochmoorflächen (InnoNet-Projekt) und ❸ auf landwirtschaftlich vorgeutzten Flächen (geplantes Projekt) (Gaudig 2008).

Die ökonomische Analyse im Rahmen des InnoNet-Projektes stützt sich auf die zwei bereits durchgeführten Projekte zur Torfmooskultivierung, um sowohl die Verfahrenskosten der Torfmooskultivierung auf Schwimm-Matten als auch auf abgetorfstem Hochmoor zu ermitteln. In beiden Projekten wurden Torfmoose erfolgreich auf kleinen Demonstrationsflächen etabliert. Die großmaßstäbige Umsetzung sowie Erfahrungen mit maschineller Beerntung und Aufbereitung der Torfmoose stehen noch aus. Für die betriebswirtschaftliche Kostenrechnung können allerdings Annahmen getroffen und auf Erfahrungen aus etablierten Nutzungsformen zurückgegriffen werden, um eine erste vergleichende Kostenabschätzung durchzuführen. Zusätzlich erfolgt eine Einschätzung der Torfmooskultivierung aus volkswirtschaftlicher Sicht.

3.2 Ökonomische Grundlagen

Aus ökonomischer Sicht weist die Torfmooskultivierung eine Reihe von Besonderheiten auf. Mit einem langen Produktionszeitraum von z.B. 15-20 Jahren und hohen Anlagekosten (Mattenausbringung bzw. Flächeneinrichtung) steht die Torfmooskultivierung der Holz-Produktion (Wald, Kurzumtriebsplantagen) bzw. Dauerkulturen (Obstbau, Weinbau) näher als jährlich wechselnden landwirtschaftlichen Kulturen. Darüberhinaus sind auf Grund der mehrfachen Beerntung diskontinuierliche Zahlungs-

ströme charakteristisch. Für eine ökonomische Einschätzung sind die Kosten und Leistungen der unterschiedlichen Zeitpunkte auf den Zeitpunkt $t(0)$ abzuzinsen. Ist die Summe der so ermittelten Gegenwartswerte (Present Value) positiv, lohnt sich die langfristige Festlegung von Finanzmitteln durch eine Investition gegenüber der Alternative, das Geld auf dem Finanzmarkt anzulegen. Durch Umwandlung des Gegenwartswertes in einen (fiktiven) gleichmäßigen Zahlungsstrom begrenzter Dauer in jährlich gleicher Höhe (Annuität) wird das Problem des zeitlich unterschiedlichen Anfalls von Zahlungen gelöst. Durch Variation unsicherer Faktoren wie Erträge, Preise, Zinssätze etc. erfolgt eine Abschätzung, unter welchen Umständen eine Investition lukrativ ist (Sensitivitätsanalyse).

3.3 Torfmoos-Kultivierung auf Schwimm-Matten

3.3.1 Gestaltung des Produktionsverfahrens

3.3.1.1 Datengrundlage

Das im Folgenden vorgestellte, potentielle Verfahren zur Kultivierung von Torfmoosen auf Schwimm-Matten stellt die Grundlage für die betriebswirtschaftliche Kostenkalkulation in Abschnitt 3.3.2 dar. Die Verfahrensgestaltung basiert auf den praktischen Erfahrungen aus den Schwimm-Matten-Versuchen im Projekt MOOSFARM, den Diskussionen der Projektpartner über zukünftige Optimierungsmöglichkeiten für ein großmaßstäbiges Produktionsverfahren sowie der Konsultation externer Experten (z.B. potentielle Erntetechnik, Gewässerverhältnisse in der Lausitz). Da für das Gesamtverfahren nur in Teilen und nur kleinmaßstäbig praktische Erfahrungen vorliegen, kommt der Beschreibung der getroffenen Annahmen für ein potentielles Verfahren und der Identifizierung kritischer Punkte besondere Bedeutung zu.

3.3.1.2 Mattenproduktion und Flächeneinrichtung

Für die Torfmooskultivierung werden mit Torfmoos-Diasporen bestückte, schwimmende Matten auf künstlichen Gewässern ausgebracht. Die Matten bestehen aus der eigentlichen Schwimm-Matte (hier: Polystyrol), die für den Auftrieb sorgt. Die Kunststoff-Platten (ca. 1 m*1m) sind von Vliesstoff ummantelt, der zum einen die Platten verbindet und zum anderen eine beständige Wasserversorgung der Moose gewährleistet (vgl. Kapitel 2.1). Des Weiteren wird der Einsatz einer Trägermatte angenommen, auf die Torfmoosfragmente sowie eine dünne Matte aus Strohhäckseln aufgebracht sind. Eine Versteppung der Komponenten soll ein Abspülen durch Wellen und Abtragen durch Wasservögel verhindern (vgl. Kapitel 2.3). Die Trägermatten können zum einen direkt auf die Schwimm-Matten aufgebracht werden. Zum anderen können sie vorher in Vorkultur gegeben werden, um die kritische Etablierungsphase der Torfmoose unter kontrollierten Bedingungen an Land ablaufen zu lassen. Beide Varianten werden in der Kalkulation betrachtet (vgl. Abb. 71).

Da sich die Wasserstandshöhe der überfluteten Hochmoorflächen im Projekt als zeitweise unzureichend erwies, wird für die Kalkulationen ausschließlich von einer Produktion auf Tagebauseen in der Lausitz ausgegangen. Die Matten werden per LKW möglichst nah ans Gewässer angeliefert. Der durch Vlies zusammengehaltene Schwimm-Mattenverbund kann für den Transport zusammengeklappt werden. Die Trägermatten können zusammengerollt transportiert werden. Abladen und ggf. Transport zum Ufer erfolgt per Hof- bzw. Radlader. Die Schwimm-Matten werden per Motor-Boot auf das Gewässer gezogen und dort verankert, um ein Abtreiben ans Ufer zu verhindern. Eine Verankerung ist über mit Steinen gefüllte Netze, Beton- oder Eisenteile möglich. Zu beachten ist, dass Tagebauseen jedoch mit zunehmender Größe eine erhebliche Tiefe aufweisen (z.B. 35-50 m). Denkbar ist alternativ eine Abspannung am Ufer bzw. Aufhängung an Pontons. Die Trägermatten werden auf den im Wasser

liegenden Schwimm-Matten ausgerollt und befestigt. Insbesondere bei größeren und baumfreien Gewässern ist die Kraft von Wind und Wellen durch Schutzvorrichtungen wie Wellenbrecher, Windschutznetze oder ähnliches zu mindern.

3.3.1.3 Bestandesführung

Maßnahmen zur Bestandesführung werden nicht vorgesehen, zumal der Einsatz von Dünge- oder Pflanzenschutzmitteln auf Gewässern nicht zulässig ist. Die Anwendung einer Trägermatte mit aufgesteppten, ggf. vorkultivierten Moosen reduziert das Etablierungsrisiko, so dass eine Nachsaat nicht erforderlich wird. Das Aufkommen von Gefäßpflanzen wird durch die Verwendung reinen Diasporen-Materials so weit reduziert (Saatgut-Erzeugung, ggf. Unkraut-Bekämpfung in der Vorkultur), dass auf eine Pflegemahd verzichtet wird. Der möglicherweise stattfindende Eintrag von Diasporen über den Wind ist von der Gewässerwahl (Ufervegetation, Entfernung der Matten zu Diasporen-Quellen) abhängig und wird an dieser Stelle vernachlässigt.

Problematisch könnte die Nutzung der Schwimm-Matten durch Vögel als Rast-, Futter- und Brutplatz sein; zusätzlich zu den mechanischen Schäden durch Vögel können ihre Exkremente insbesondere in der Etablierungsphase zur Veralgung der Matten führen (vgl. Kapitel 2.5.4). Bei erheblichem Schädigungspotential kann auf kleineren Gewässern die Errichtung von Überspannungsanlagen erwogen werden, die in der Teichwirtschaft insbesondere den Einfall von Kormoranen verhindern. Der Bedarf des Eingreifens ist fallspezifisch und wird daher in der Kalkulation nicht berücksichtigt. Maßnahmen gegen kultur-schädigende Pilze scheinen im Freiland nicht erforderlich (vgl. Kapitel 2.5.3).

3.3.1.4 Ernte & Biomasse-Abtransport

Eine Ernte ist nach einer Vegetationsperiode auf dem Gewässer (mit Vorkultur) bzw. nach zwei Vegetationsperioden (ohne Vorkultur) vorgesehen. Mit der maschinellen Beerntung von Torfmoos-Schwimm-Matten bestehen keine Erfahrungen. Verschiedene, fiktive Erntekonzepte wurden im Rahmen von MOOSFARM entworfen (vgl. Kapitel 2.7 im Abschlussbericht des ASP). Neben den fixen und variablen Maschinenkosten für die noch zu entwickelnde Erntetechnik ist insbesondere der erforderliche Arbeitszeitbedarf unklar.

Als aussichtsreiche Variante erscheint der Einsatz eines Katamarans mit Vorrichtung zum Abschneiden der Moose. In Ermangelung angepasster Technik werden für die Kostenkalkulation die Kosten aus dem Einsatz von Booten berücksichtigt, wie sie in der Gewässerpflege eingesetzt werden (s.u.). Die abgeleiteten Kosten-Schätzungen erfordern unbedingt eine praktische, großmaßstäbige Überprüfung.

Beispiel 1: Einfaches Mähboot

Für ein einfaches Mähboot ohne Aufnahme und Abtransport der Wasserpflanzen liegen die Maschinenkosten der Unterwassermahd bei voller Auslastung (300 h/Jahr) bei ca. 36 €/h (KTBL 2009). Je nach Verunkrautung und Gewässerfläche wird der Arbeitszeitbedarf mit 2-9 h/ha angegeben (KTBL 2006).

Beispiel 2: Mäh-sammelboot

Der Ruhrverband hat Erfahrungen mit der Bekämpfung von Makrophyten, v.a. des Neophyten *Elodea nuttallii* (Schmalblättrige Wasserpest), gesammelt. Die Ausstattung mit Deckförderband, Vorförderband und Entladevorrichtung ermöglicht neben dem Schneiden, den Transport und ein leichtes Entladen am Ufer. Für das Mäh-sammelschiff der niederländischen Firma Conver (Abb. 67) werden Kosten von 110 € je Betriebsstunde angesetzt. Hinzu kommen die Lohnkosten für zwei Personen. Die Flächenleistung des Mäh-sammelschiffes ist mit einem halbem Hektar pro Tag angegeben. Daraus ergeben sich Maschinenkosten von 1.760 €/ha. (Podraza et al. 2008, Ruhrverband 2009).

Die Firma Tyroller Hydraulik Herzberg GmbH vertreibt ein deutlich kleineres Mähsammelboot, das zusätzlich zum Schrägförderband zur Aufnahme des Mähgutes mit einer Querfördereinheit zum seitlichen Austrag der Biomasse ausgestattet ist (Abb. 66). Sie ermöglicht das direkte Verladen des Mähgutes auf ein parallel schwimmendes Transportboot oder das Abladen am Ufer.

Beispiel 3: Katamaran

Schwimmende Röhrichtmatten der Firma BGS (Bestmann Green Systems) Ingenieurbiologie und –ökologie GmbH werden mit einem Katamaran gemäht (Abb 68). Die halmgutartige Röhrichtbiomasse wird mit Messerbalken abgeschnitten und auf einer Ladefläche abtransportiert. Das Aufladen der Biomasse erfolgt vermutlich per Hand oder Forken. Die Firma Perebo¹ aus Wismar vertreibt einen Bausatz für Katamarane bzw. Trimarane, der eine maßgeschneiderte Konstruktion eines Trägerfahrzeuges für die Torfmoos-Ernte ermöglicht.

Beispiel 4: Truxor

Das amphibische Fahrzeug Truxor (DM 4700 B bzw. DM 5000) (Abb. 70) mit Schneidgerät DOROCUTTER ESM 2200 (Abb. 70) könnte für eine experimentelle Torfmoosernste einsetzbar sein. Die Kosten je Betriebsstunde liegen bei ca. 60 €. Der Truxor ist über den Ökologischen Gewässerdienst Zelder² bereits in sauren Braunkohletagebauseen im Einsatz. In Kooperation mit der schwedischen Mutterfirma Dorotea Mekaniska AB erfolgen derzeit Verbesserungen zur Säurebeständigkeit des Materials.

Fiktives Erntefahrzeug für die Torfmoosmatten

Basierend auf den vorgestellten Erntefahrzeugen ist zur Beerntung von Torfmoosmatten folgende Konstruktion vorstellbar:

- Unterbau: Katamaran oder Trimaran mit einem Schwimmkörperabstand von ca. 1,20 m, um in Fahrgassen über die Matten fahren zu können
- Motorisierung
- Schneidvorsatz mit Messerbalken
- Förderbänder zur Aufnahme des Mähgutes und zum seitlichen Verladen
- separates Transportfahrzeug mit Ladebunker, um Transport- und Leerfahrten zu reduzieren

Die Maschinenauslastung kann durch überbetriebliche Kooperation und Tätigkeit als Lohnunternehmer z.B. in der Gewässerpflge erreicht werden.

Nach der Ernte ist eine Pressung der nassen Moose noch am Gewässerrand sinnvoll, um überschüssiges Wasser zu entfernen und somit Gewicht sowie Volumen der Transportmasse zu verringern. Angenommen wird die Anmietung eines Presscontainers in Form einer mobilen Nass-Müll-Pressen. Sie kann per Förderband oder Hof-/Rad-/Teleskoplader beschickt werden. Der Container wird per Absetz- oder Abrollkipper zum Ort der Lagerung und Aufbereitung transportiert und per Kippen entladen. Für längere Wegstrecken sind das Umladen in Container und der Abtransport per Sattelzugmaschine mit zwei beplanten Open-Top-Containern à 32 m³ sinnvoll.

¹ www.perebo.de (07.07.2010)

² www.truxor.de (07.07.2010)



Abb. 66: Mähsammelboot mit seitlichem Mähgutaustrag (www.tyroller-hz.de; 07.07.2010)

Abb. 67: Mäh-Sammelschiff MANATI (Ruhrverband 2009).



Abb. 68: Katamaran zur Pflege von schwimmenden Röhrichtmatten (www.bestmann-green-systems.de; 07.07.2010).

Abb. 69: Amphibien-Fahrzeug Truxor (www.doroteamekaniska.se, 07.07.2010).



Abb. 70: Truxor mit Schneidgerät DOROCUTTER ESM 2200 (ebd.).

3.3.1.5 Neu-Einrichtung bzw. Regeneration der Matten

Zur Regenerationsfähigkeit der Moose nach der Mahd bestehen noch keine ausreichenden Erfahrungen: Ist ein Neuaustrieb möglich? Welche Rasenhöhe muss für eine Regeneration stehen gelassen werden? Ist eine Abdeckung mit Strohmatte zu Beginn der nächsten Wachstumsperiode hilfreich, um die natürliche Regeneration zu erleichtern? Nach welchem Zeitraum kann eine erneute Mahd erfolgen? Wie viele Erntezyklen sind möglich? Inwiefern unterscheiden sich die einzelnen *Sphagnum*-Arten bezüglich der Regenerationsfähigkeit? Welchen Einfluss haben unterschiedliche Erntetechniken (abschneiden, abschaben, rausgreifen, absaugen)?

Auf Grund dieser Unsicherheiten werden in der Kostenkalkulation für den Neubeginn einer Wachstumsperiode drei Varianten berücksichtigt: Mahd mit anschließender natürlicher Regeneration des Moosrasens sowie Mahd mit Neuausrollen einer Trägermatte bzw. einer vorkultivierten Trägermatte (vgl. Abb. 71).

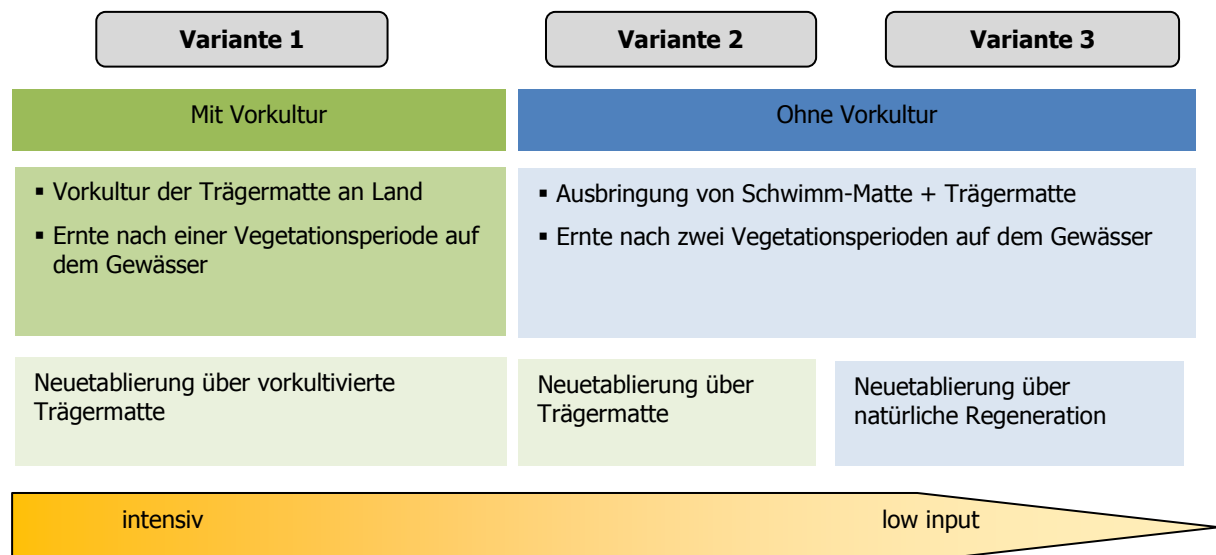


Abb. 71: Varianten des Produktionsverfahrens als Grundlage für die Kostenkalkulation.

3.3.1.6 Ertragspotential

Aufbauend auf den im MOOSFARM-Projekt ermittelten Biomassezuwächsen (vgl. Kapitel 2.3 in diesem Bericht sowie Kapitel 2.4.6 im Bericht des Berliner Projektpartners) wird von zwei Ertragsvarianten mit einem durchschnittlichen Ertrag von 2 bzw. 4 Tonnen Trockenmasse je Hektar und Jahr ausgegangen. Diese Annahmen stellen Netto-Werte dar. Sie entstehen nach Abzug der für die Bestückung der Trägermatten ausgebrachten Diasporen-Menge. Bei Variante 3 ist für die Neuetablierung an Stelle der Diasporen für die Trägermatte ein Verbleib von Biomasse bei der Ernte für eine natürliche Regeneration einzukalkulieren. Pro Ernte ergibt sich ein Netto-Biomasseaufkommen von 4 bzw. 8 t TM pro Hektar Produktionsfläche, das bei Variante 1 dank der Vorkultur jährlich und bei Variante 2 und 3 alle zwei Jahre erzielt wird.

3.3.2 Betriebswirtschaftliche Kostenkalkulation

3.3.2.1 Mattenproduktion

Schwimm-Matten

Für die Auswahl des Schwimmträger-Materials sind mehrere Kriterien entscheidend: Gewährleistung eines ausreichenden Auftriebs über mehrere Jahre, ebene Fläche ohne Mikrorelief, Haltbarkeit (UV-Beständigkeit, Wasser und Frost, Eis, ggf. mechanische Belastung bei der Ernte) sowie der Preis. Im aktuellen Forschungsprojekt wurden nach Testung verschiedener Mattenvarianten Polystyrol-Platten mit einer Stärke von 2 cm favorisiert. In der Kalkulation in Tab. 21 wird sowohl das preiswertere Styropor (EPS³) als auch das qualitativ hochwertigere, jedoch teurere Styrodur (XPS⁴) berücksichtigt. XPS wird Unverrottbarkeit, eine hohe Feuchteresistenz und hohe Druckfestigkeit zugeschrieben. Für Styropor wird auf Grund des früheren Zerbrechens der Platten und der Verringerung des Auftriebs eine kürzere Nutzungsdauer angenommen, da der Auftrieb über eine optimale Wasserversorgung der Torfmoose entscheidet: Ein Überstau durch vollständig oder in Teilen abgesunkene Matten hemmt das Wachstum.

Tab. 21: Kosten für den Ankauf von Schwimm-Matten.

Schwimm-Matten		Styropor	Styrodur	
Polystyrol, 2 cm stark	€/m ²	1,13	2,53	1
Polypropylen (PP)-Recycling-Vlies, 500g/m ²	€/m ²	1,88	1,88	2
Produktionskosten	€/m ²	1,20	1,20	3
Gewinn-/Risikoaufschlag (20%)	€/m ²	0,84	1,12	4
Transport per Spedition (Bremen - Lausitz)	€/m ²	0,42	0,42	5
Gesamt	€/m ²	5,46	7,15	
Lebensdauer	Jahre	5	8	
Gegenwartswert	€/m ²	14,24	12,79	6
Annuität	€/m ² *a	1,19	1,07	7

1 Einkaufspreis für 10.000 m² (Stand: Januar 2010), Preis schwankt mit Ölpreis, Steigerung von 25% gegenüber Herbst 2009

2 Preis: 80Ct/m², Bedarf: 2x (1,14m*1,03m) je m² Matte (doppellagig, „Nahtzugabe“, Lücke zum Klappen der Matten)

3 Arbeits- und Maschinenkosten (Versteppen, Verpacken, Verladen), Verbrauchsmaterial (Steppfaden)

4 Aufschlag auf Material-Einkauf und Produktion (Aufwand für Abladen, Lagerung, Unsicherheiten bei Produktion, etc.)

5 je LKW 600€, beladen bis 2,20m Höhe, Annahme auf Palette ca.55 m² à 4cm, je LKW 26 Paletten

6 Kosten des Mattenankaufs im Jahr 0, 5 und 10 (Styropor) bzw. 0 und 8 (Styrodur), abgezinst auf den Zeitpunkt t (0), i=3%

7 Annuität über 15 Jahre, Zinssatz: i = 3%

Die Auswahl des Materials anhand des Preises ist abhängig von der Laufzeit. Ist für ein kurzfristiges Projekt mit einer Laufzeit von z.B. 3 Jahren der Einsatz von Styropor kostengünstiger, so ist für ein großmaßstäbiges Produktionsverfahren jedoch von einer längeren Laufzeit auszugehen. Hier überwiegt der Vorteil der besseren Haltbarkeit von Styrodur (Annahme: 8 gegenüber 5 Jahren) den Kostenvorteil von Styropor beim Einkauf (vgl. Tab. 21). Werden die Mattenkosten per Abzinsung auf den Gegenwartswert und Umwandlung in eine Annuität auf die Jahre verteilt, ergeben sich bei Styrodur-Matten Kosten für den Ankauf in Höhe von 1,07 €/m² pro Jahr gegenüber 1,19 €/m² für Styropor-Matten. Bei der Berücksichtigung von Maschinen- und Personalkosten für die Bergung der alten und Neuausbringung der neuen Matten, kommt der Kostenvorteil von Styrodur noch deutlicher zum Tragen. Daher wird für die Varianten zur Kalkulation des Gesamtverfahrens die Verwendung von Styrodur angenommen (vgl. Abschnitt 3.3.2.2).

³ Expandiertes Polystyrol: eher grobporig

⁴ Extrudiertes Polystyrol: feinporig; je nach Hersteller unterschiedliche Bezeichnungen: Styrodur (BASF), Austrotherm XPS, Styrofoam (Dow Chemical), Jackodur (JACKON)

Träger-Matte

Die Grundlage der Trägermatte bildet ein Vlies⁵ zur Wasserversorgung der Torfmoose, das eine geringere Stärke aufweisen kann (z.B. 200 g/m²), da es nicht den Zusammenhalt der Schwimm-Matten sicherstellen muss. Auf die Zusammensetzung der Fasern ist jedoch besonderes Augenmerk zu richten, da Recyclingmaterial z.B. durch Freisetzung alkalischer Stoffe wachstumshemmend auf die Torfmoose wirken kann. Im Zweifelsfall muss auf teurere Neuware zurückgegriffen werden.

Als Abdeckung zum Schutz der Torfmoose wird eine dünne Strohmatte verwendet (z.B. 300 g/m²). Das gehäckselte Stroh wird von einem oben sowie unten liegenden und versteppten PP-Netz-Gewebe zusammengehalten. Die Strohmatte soll den Moosen die Etablierung erleichtern, indem sie Beschattung, Feuchtigkeit und Stütze bietet. Wichtig hierfür ist eine grobe Struktur des Strohs, um ein Verkleben fein bröseliger Häcksel zu einer lichtundurchlässigen festen Schicht zu verhindern. Im Gegensatz zur manuellen oder maschinellen Ausbringung im Gelände erlaubt das Aufsteppen eine optimale Dosierung des Strohs. Die Alternative des ebenfalls getesteten Schlinggeleges aus Nylon (vgl. Abschnitt 2.1) wäre nicht nur erheblich teurer, sondern würde ggf. Ernte und Aufbereitung behindern. Das Stroh ist hingegen nach zwei Jahren verrottet.

Bei der Herstellung der Trägermatte werden die fragmentierten Torfmoose maschinell auf die Vliesbahn aufgestreut (ca. 7-10 l je m²) und mit der von oben aufgelegten Strohmatte versteppt. Die Matten können für den Transport zusammengerollt werden. Die Gesamtkosten der Trägermatte ohne Vorkultur belaufen sich auf 2,52 €/m² bzw. 2,92 €/m² inklusive Transport in die Lausitz. Wie in Tab. 22 dargestellt sind hierbei jedoch keine Kosten für die Torfmoose angesetzt. Um die Aufwendungen für das „Saatgut“ dennoch einzubeziehen, stellen die für die Verfahrenskalkulation angenommenen Ernteerträge Netto-Werte dar (vgl. Abschnitt 3.3.1.6) und bei den Erntekosten ist ein Aufschlag berücksichtigt (vgl. Tab. 27). Weitere Kosten für die Diasporen (z.B. Transport, Aufbereitung, Gewinnaufschlag) werden damit jedoch noch vernachlässigt.

Tab. 22: Kosten für den Ankauf von Trägermatten ohne Vorkultur.

Trägermatten ohne Vorkultur			
Torfmoos-Diasporen	€/m ²	0	1
PP-Vlies, 200g	€/m ²	0,80	2
Strohmatte (300g/ m ²)	€/m ²	0,30	3
Produktionskosten	€/m ²	1,00	4
Gewinn-/Risikoaufschlag (20%)	€/m ²	0,42	5
Summe	€/m ²	2,52	
Transport per Spedition (Bremen - Lausitz)	€/m ²	0,40	6
Gesamt (Ankauf + Transport)	€/m ²	2,92	

- 1 Da es noch keinen Markt und somit keinen Preis für Torfmoos-Diasporen gibt, werden hier keine Kosten angesetzt.
- 2 Hochwertiges Vlies, vergleichbar mit Neuware
- 3 Einkaufspreis: 100€/t Stroh, PP-Netz-Gewebe, zerfällt innerhalb von 2 Jahren
- 4 Arbeits- und Maschinenkosten (Versteppen, Verpacken, Verladen), Verbrauchsmaterial (Steppfaden)
- 5 Aufschlag auf Materialeinkauf und Produktion (Aufwand für Auf-/Abladen, Lagerung, Unsicherheiten bei Produktion, etc.)
- 6 je LKW 600€, 1.500m² Matten (gerollt)

⁵ Alternativ ist die Verwendung einer biologisch abbaubaren Trägermatte vorstellbar. Verwendbare Materialien wie Kokosfaser und Jute sind zu überprüfen, inwiefern sie die Wasserversorgung sichern und zudem das Torfmoos-Wachstum nicht negativ beeinflussen. Salzwasserbehandelte Kokosfasern sind z.B. ungeeignet. Des Weiteren ist die Abbaugeschwindigkeit im sauren Milieu der Gewässer zu berücksichtigen.

Vorkultur

Die Vorkultur unter kontrollierten Bedingungen an Land ermöglicht das Ausbringen von Matten mit bereits etablierten Moosen mit neu gebildeten „Köpfchen“ (Capitula) auf die Gewässer, um ein sicheres Wachstum zu gewährleisten. Je nach Jahreszeit und Witterung ist von einer Vorkultur-Dauer von ca. zwei bis fünf Monaten bzw. mindestens zwei Durchgängen je Jahr auszugehen.

Die Trägermatten werden im Freiland auf einer dünnen PE-Folie ausgerollt. Zusätzlich zur Strohmatte fungiert ein Schattiertunnel als Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung und Verdunstung. Die Wasserversorgung erfolgt durch künstliche Bewässerung. Die Vorkultur ermöglicht neben einer leichteren Etablierung der Moose die Bekämpfung von Gefäßpflanzen. Kurzzeitige Trockenperioden lassen z.B. Sonnentau effektiv verschwinden. Des Weiteren ist ggf. der Einsatz von im Gartenbau üblichen Herbiziden möglich. Die Produktionskosten berücksichtigen alle Aufwendungen für Arbeitslohn, Maschineneinsatz, Investitionskosten, Verbrauchsmaterialien sowie Nebenkosten (Wasser, Pacht) für die relevanten Arbeitsgänge:

- Feldvorbereitung und Feldeinrichtung
- Ausbringung der Kultur
- Pflegekosten (z.B. Beregnung, Mahd der Ränder)
- Ernte, Verpackung, Beladen eines LKWs für den Abtransport.

Für den Transport per LKW werden die Matten gerollt und auf Paletten verladen. Die Spedition liefert direkt zum Gewässer, um eine umgehende Ausbringung der Matten zu gewährleisten. Gegebenenfalls ist für den Transport ein Schutz der Moose durch Einrollen eines zusätzlichen Stückes Vlies erforderlich.

Tab. 23: Kosten für den Ankauf von Trägermatten mit Vorkultur.

Trägermatten mit Vorkultur			
Ankauf der Trägermatte	€/m ²	2,52	1
Transport (Twistringen - Groß Ippener)	€/m ²	0,05	2
Vorkultur	€/m ²	2,30	3
Schwund/Verlust (5%)	€/m ²	0,24	4
Gewinnaufschlag (20%)	€/m ²	0,46	5
Transport per Spedition (Bremen - Lausitz)	€/m ²	0,40	6
Gesamt	€/m ²	5,97	

1 Siehe Tab. 22 (Kosten ohne Torfmoos-Diasporen)

2 Per betriebseigenem LKW des Mattenproduzenten (Twistringen) zur Vorkultur (Groß Ippener)

3 Verfahrensgebundene Aufwendungen: Arbeitslohn, Maschinenkosten, Investitionskosten, Nebenkosten

4 Aufschlag auf Material und Produktion für Verluste durch Teilstücke, die für Weiterversand unbrauchbar sind (5%)

5 Aufschlag auf Produktionskosten

6 je LKW 600€, 1.500qm Matten (gerollt)

Die Kosten für die Trägermatte erhöhen sich mit der Vorkultur um gut 3 €/m² auf knapp 6 €/m², wobei auch der Schwund bei der Produktion (5 %) und ein Gewinnaufschlag für den vorkultivierenden Betrieb berücksichtigt sind (vgl. Tab. 23). Gleichzeitig sind für die weitere Torfmooskultivierung auf Schwimm-Matten erhebliche Vorteile zu erwarten:

- Ausbringung bereits etablierter Torfmoose auf das Gewässer
- Dichte und unkrautfreie Torfmoosrasen
- Ernte bereits nach einer Vegetationsperiode auf dem Gewässer

In welchem Umfang sich die Vorkultur positiv auf Ertragssicherheit, Erntemenge und Biomassequalität auswirkt und so z.B. Kosteneinsparungen bei der Reinigung und Aufbereitung der Torfmoose ermöglicht, können erst die Untersuchungen im Folgeprojekt „PROSUGA“ (2010-2013) zeigen.

3.3.2.2 Verfahrenskosten

Flächeneinrichtung und laufende Kosten

Die Kosten für die Ausbringung der Matten auf das Gewässer bei Neueinrichtung sind in Tab. 24 dargestellt. Es wird angenommen, dass vier Personen mit zwei Booten innerhalb von fünf Arbeitstagen eine Produktionsfläche von ca. 1.500 m² einrichten können. Dies entspricht je einer angelieferten LKW-Ladung Schwimm- und Trägermatten. Für die Ausbringung der Schwimm-Matten sind vier Arbeitstage vorgesehen. Das Ausrollen der Träger-Matten sollte insbesondere bei den vorkultivierten Matten unverzüglich nach Lieferung, innerhalb eines Tages erfolgen, um eventuelle Trocknungsschäden an den Torfmoosen zu vermeiden. Die entsprechenden Kosten zu Beginn einer neuen Wachstumsperiode für die Neueinrichtung über Trägermatten mit bzw. ohne Vorkultur sind in Tab. 25 dargestellt. Bei den laufenden Kosten ist eine Betreuung der Matten in Form von regelmäßigen Kontrollen per Boot und kleineren Reparaturen (z.B. Schäden durch Wellen, Vandalismus usw.) einkalkuliert (vgl. Tab. 26).

Tab. 24: Kosten der Flächeneinrichtung.

Mattenausbringung		ohne Vorkultur	mit Vorkultur	
Ankauf Schwimm-Matten	€/m ²	7,15	7,15	1
Ankauf Träger-Matten (ohne bzw. mit Vorkultur)	€/m ²	2,92	5,97	2
Verbrauchsmaterial	€/m ²	0,50	0,50	3
Fahrzeug-, Maschinen-, Gerätekosten	€/m ²	0,73	0,73	4
Arbeitskosten	€/m ²	2,77	2,77	5
Gesamt	€/m ²	14,07	17,12	

1 Vgl. Tab. 21

2 Vgl. Tab. 22 und Tab. 23

3 Kosten von 5.000€/ha für Welleschutz (z.B. KG-Rohre), Befestigung, Verankerung, Mattenverbindungen etc.

4 Radlader zum Entladen und Mattentransport an Land, 2 Boote für die Ausbringung

5 Zeitbedarf für die Ausbringung von 1.500m²: 5 Tage à 8Std. mit 4 Arbeitskräften, 26€/Akh

Tab. 25: Kosten der Neuetablierung über Trägermatten nach der Ernte.

Neuetablierung über Trägermatte		ohne Vorkultur	mit Vorkultur	
Ankauf Träger-Matten (ohne bzw. mit Vorkultur)	€/m ²	2,92	5,97	1
Fahrzeug-, Maschinen-, Gerätekosten	€/m ²	0,17	0,17	2
Arbeitskosten	€/m ²	0,32	0,32	3
Gesamt	€/m ²	3,41	6,46	

1 Vgl. Tab. 22 und Tab. 23

2 Radlader zum Entladen und Mattentransport an Land, 2 Boote

3 Zeitbedarf für die Ausbringung von 1.500m²: 1 Tag à 8Std. mit 4 Arbeitskräften, 26€/Akh

Tab. 26: Laufende Kosten pro Jahr.

Laufende Kosten			
Pacht	€/ m ² *a	0,005	1
Kontroll- und Reparaturaufwand	€/ m ² *a	0,319	2
Gesamt	€/m ² *a	0,32	

1 Orientierung an Fischereipacht für Bergbauseen (25€/ha*a; Füllner et al. 2008), bei 50% Gewässerbedeckung: 50€/ha

2 Monatliche Kontrolle, eine Person mit Katamaran, 3.188€/ha*a, incl. Verbrauchsmaterial 500€/ha

Bei der Etablierung einer Torfmooskultivierung im größeren Stil ist von gewässergebundenen Kosten auszugehen. Vorerst bleiben mögliche Kosten für Genehmigung, Beprobung, Versicherung, Wege-recht, Infrastruktur, Sicherungsmaßnahmen (Zaunbau) etc. unberücksichtigt. Es wird lediglich eine symbolische Pacht angesetzt, die sich an der Fischereipacht für Bergbauseen orientiert (25 €/ha*a; Füllner et al. 2008). Dabei wird angenommen, dass das gepachtete Gewässer nur zur Hälfte mit Matten belegt wird, so dass sich ein Pachtansatz von 50 € je Hektar Produktionsfläche ergibt (vgl. Tab. 26). Für die vorliegende Kalkulation wird auf die Berücksichtigung von Opportunitätskosten (entgangener Nutzen z.B. aus einer wassersportlichen Nutzung) verzichtet. Auf die Verfügbarkeit von Tagebauseen und mögliche Nutzungskonkurrenzen wird in Abschnitt 3.4.3 näher eingegangen.

Je nach Verfahrensgestaltung (vgl. Varianten in Abb. 71) bestehen große Unterschiede hinsichtlich der Aufwendungen für den Mattenankauf sowie den Einsatz von Maschinen und Personal für die Ausbringung. Der jeweilige Kostenanfall und die Kostenzusammensetzung im Zuge der Laufzeit sind in Abb. 72 dargestellt. Das low input-Verfahren minimiert die Kosten, indem es auf eine Vorkultur der Trägermatte verzichtet und von einer natürlichen Regeneration der Torfmoose nach der Ernte ausgeht. Neben den laufenden Kosten fällt lediglich die Neueinrichtung der Mattenfläche in den Jahren 0 und 8 an. Demgegenüber weist das Intensiv-Verfahren mit vorkultivierten Matten eine deutlich höhere Anfangsinvestition sowie jährliche Aufwendungen für das Ausbringen von neuen Trägermatten auf.

Erntekosten

Aufbauend auf den Annahmen zu einem möglichen Ernteverfahren mittels Mähboot (Katamaran) und separatem Transportfahrzeug sowie einer Komprimierung der nassen Frischmasse mittels Presscontainer am Gewässerrand (vgl. Abschnitt 3.3.1.4) betragen die Kosten für Ernte und Abtransport der Biomasse bei der pessimistischen Ertragsabschätzung 2.965 €/ha und bei der optimistischen Ertragsabschätzung 4.690 €/ha (vgl. Tab. 27). Pro Quadratmeter ergeben sich je nach Variante Kosten von 30 bis 50 Ct/m². Diese Kosten fallen bei Verfahrensvariante 1 jährlich sowie bei Varianten 2 und 3 alle zwei Jahre an. Zuzüglich wird bei Variante 1 und 2 ein geringer Aufschlag von 300 €/ha für Ernte und Handling derjenigen Biomasse angenommen, die für die Berücksichtigung der in den Trägermatten verwendeten Diasporen vom Brutto-Ernteaufkommen abgezogen wurde (Netto-Ertrag) und mit 0,5-1 t TM/ha (50-100 g TM/m²) angesetzt werden muss. Auf die weiteren Arbeitsgänge für die Herstellung eines verkaufsfähigen Produktes (Lagerung, Aufbereitung, Verpackung etc.) wird in Abschnitt 3.5.1 eingegangen. Auf Grund der noch fehlenden praktischen Erfahrungen hinsichtlich der Verarbeitung von Torfmoosen muss auf eine Kostenabschätzung verzichtet werden.

Tab. 27: Kosten für Ernte und Abtransport komprimierter Torfmoose.

Erntekosten		4 t TM/ha	8 t TM/ha	<i>1</i>
Maschinenkosten	€/ha	1.520	2.280	2
Arbeitskosten	€/ha	832	1.248	3
Komprimierung	€/ha	213	362	4
Abtransport	€/ha	400	800	5
Gesamt	€/ha	2.965	4.690	
	€/m ²	0,30	0,47	
	€/t TM	741	586	
Aufschlag für Diasporen (nur Verfahrensvariante 1 und 2)	€/ha	300	300	
Gesamt	€/ha	3.265	4.990	

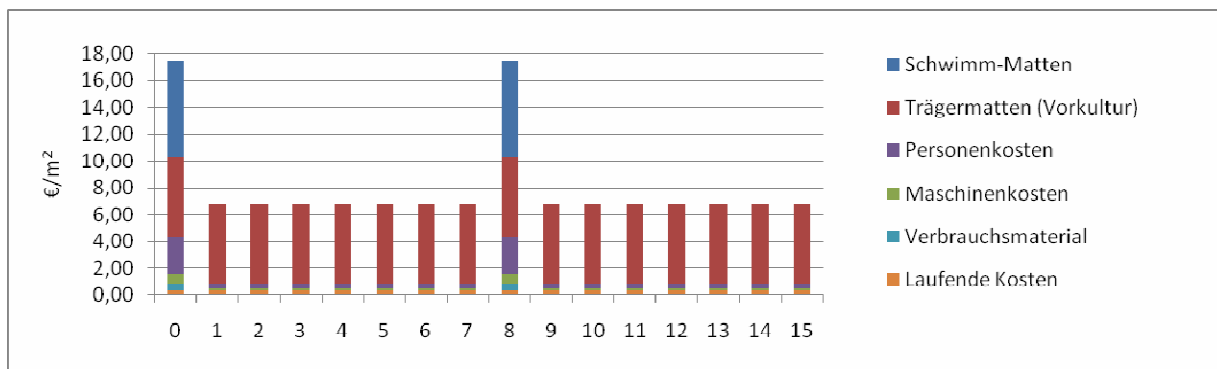
1 Ertragsvarianten: vgl. Abschnitt 3.3.1.6

2 Mähboot (65€/h), separates Transportfahrzeug (30€/h), Zeitbedarf nach Ertragsvariante je 2 bzw. 3 Tage/ha

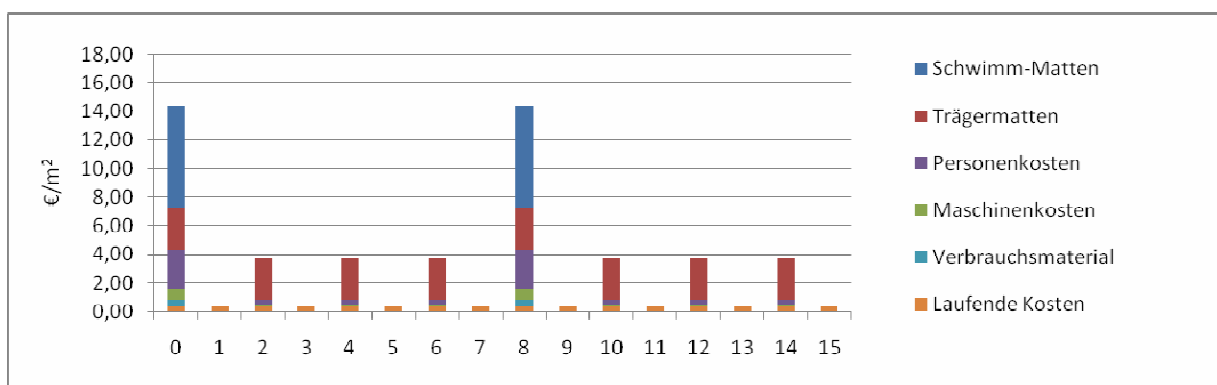
3 2 Personen à 26€/Akh, Zeitbedarf nach Ertragsvariante je 2 bzw. 3 Tage/ha

4 Beladen von Presscontainer mit Hof-/Radlader, max. 50m Transportweg, Stromaggregat für Presse

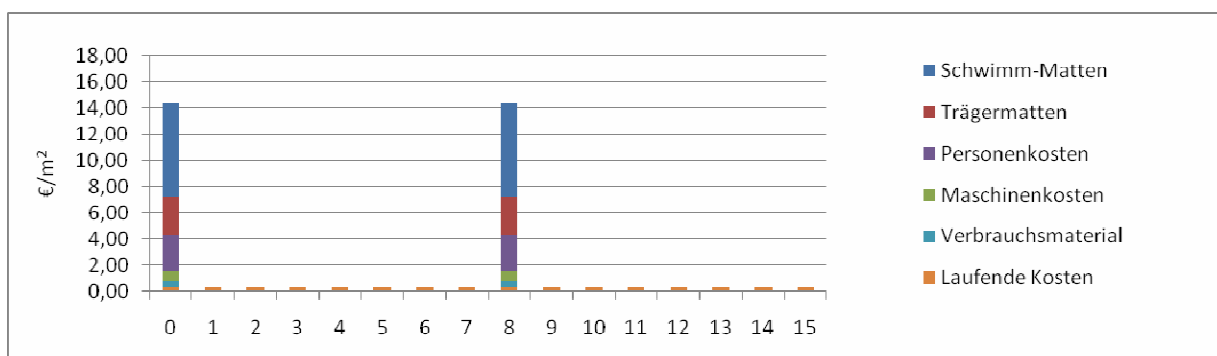
5 Abtransport des Abrollcontainers per LKW, Transportentfernung bis ca. 20km



Variante 1: Intensiv-Verfahren mit Neuetablierung über vorkultivierte Trägermatten (jedes Jahr).



Variante 2: Neuetablierung über Trägermatte ohne Vorkultur (alle zwei Jahre).



Variante 3: Low Input-Verfahren mit natürlicher Regeneration der Torfmoose nach der Ernte.

Abb. 72: Kosten der Flächeneinrichtung mit Schwimm- und Trägermatten (Jahr 0 und 8), Neuetablierung nach der Ernte und laufenden Kosten bei einer 15jährigen Laufzeit.

3.3.2.3 Gewinn-und Verlustrechnung des Gesamtverfahrens und Sensitivitätsanalyse

Gesamtkosten

Durch Ermittlung des Gegenwartswertes der unterschiedlichen Kosten zu verschiedenen Zeitpunkten sowie der Umwandlung in einen gleichmäßigen Zahlungsstrom (Annuität) werden die verschiedenen Verfahrensvarianten hinsichtlich ihrer Gesamtkosten vergleichbar (Tab. 28). In der Annuität der Verfahrenskosten sind die Kosten von Flächeneinrichtung, Neuetablierung, laufenden Kosten und Erntekosten bis hin zum Abtransport der Biomasse berücksichtigt. Nicht enthalten sind gewässer-gebundene Kosten (Beprobung, Genehmigung, Infrastruktur etc.), Kosten für die Bergung und Entsorgung der Matten nach Ablauf der Nutzungszeit sowie Kosten, um die Torfmoose für den Verkauf aufzubereiten.

Das Intensiv-Verfahren (Variante 1) verursacht pro Quadratmeter und Jahr mehr als doppelt so hohe Verfahrenskosten wie die Variante 2 und mehr als dreimal so hohe wie die low input-Variante (Variante 3), da die Höhe der Gesamtkosten insbesondere von den quadratmeterbezogenen Investitionskosten für den Mattenankauf bestimmt wird. Bei der Kostenermittlung wurde deutlich, dass demgegenüber die Bewirtschaftungskosten, die auf den Hektar bezogen werden (Flächenkontrolle, Beerntung der Schwimm-Matten) nur einen geringen Teil der Gesamtkosten ausmachen. Selbst bei einer Verdopplung der Erntekosten, z.B. durch ein anderes Ernteverfahren, würden diese nur ein Viertel der Kosten für den Ankauf einer Trägermatte betragen.

Tab. 28: Gesamtkosten der Verfahrensvarianten im Vergleich.

Verfahrensgestaltung		Variante 1	Variante 2	Variante 3
• Mit Vorkultur		X	-	-
• Mit Neuetablierung über Trägermatte		X	X	-
• Ertragsniveau: Ø 2t TM/ha*a				
Zinssatz: 3%				
Gegenwartswert der Kosten	€/m ²	111,01	47,68	31,21
Annuität der Kosten	€/m ² *a	9,30	3,99	2,62
Zinssatz: 5%				
Gegenwartswert der Kosten	€/m ²	98,74	43,20	28,88
Annuität der Kosten	€/m ² *a	9,51	4,16	2,78

Variation des Zinssatzes

Die Steigerung des Zinssatzes von 3 % auf 5 % würde eine Erhöhung der jährlichen Kosten um 16 bis 21 Cent/m² bzw. 2-6 % verursachen (vgl. Tab. 28). Angesichts der aktuellen Finanzmarktsituation ist jedoch ein niedriger Zinssatz realistisch, so dass in den folgenden Kalkulationen die Berechnung mit einem Zins von 3 % erfolgt.

Variation der Erträge

Um die Kosten dem möglichen Erlös gegenüberzustellen, wird ein an den Handelspreis von Weißtorf angelehnter Erlös von 25 €/m³ angenommen. Für eine Vergleichbarkeit mit Weißtorf ist eine Umrechnung des Erntegewichts in Volumen erforderlich. Mit 2 bzw. 4 t TM/ha*a werden zwei Ertragsvarianten untersucht (vgl. Abschnitt 3.3.1.6). Zusätzlich zum doppelten Erntegewicht wird ein unterschiedliches Volumengewicht von 40 g/l bzw. 20 g/l angesetzt (vgl. hierzu Abschnitt 3.5.2.). Bei niedrigem Ertragsniveau wird von einer Menge von 50 m³, bei hohem Ertragsniveau von 200 m³ je Hektar ausgegangen.

Auf einem Preisniveau von 25 €/m³ können bei keinem der Verfahren die Verfahrenskosten gedeckt werden (vgl. Tab. 29). Die höchste Kostenunterdeckung weist mit 9,03 €/m² pro Jahr das Intensivverfahren bei niedrigem Ertragsniveau auf. Die angenommene Vervierfachung des Ertrages kann den Verlust lediglich um 0,62 € bzw. 7 % reduzieren. Bei der kostenextensiven Variante 3 wird der Verlust um 12 % gesenkt. Allerdings weist auch dieses Verfahren mit 2,18 €/m² bzw. 21.800 € pro Hektar und Jahr ein extrem negatives Ergebnis auf.

Tab. 29: Wirtschaftlichkeit der Torfmooskultivierung in Abhängigkeit vom Ertrag.

Verfahrensgestaltung		Variante 1	Variante 2	Variante 3	
Ertragsniveau/ha*a: Ø 2t TM → 50m ³					1
Verfahrenskosten	€/m ² *a	9,30	3,99	2,62	2
Erlös: 25€/m ³ (analog zu Weißtorf)	€/m ² *a	0,27	0,13	0,13	3
Jährlicher Verlust	€/m²*a	9,03	3,86	2,49	4
Ertragsniveau/ha*a: Ø 4t TM → 200m ³					5
Verfahrenskosten	€/m ² *a	9,49	4,09	2,71	2
Erlös: 25€/m ³ (analog zu Weißtorf)	€/m ² *a	1,08	0,53	0,53	3
Jährlicher Verlust	€/m²*a	8,41	3,56	2,18	4

- 1 Annahme: 2t TM bei einem Volumengewicht von 40gTM/l entsprechen 50m³
- 2 Mattenankauf, Flächeneinrichtung, Kontrolle, Pacht, Ernte, Abtransport
- 3 Preis in Anlehnung an Weißtorf (vgl. Abschnitt 3.5)
- 4 Annuität über eine Laufzeit von 15 Jahre, Zinssatz i =3%
- 5 Annahme: 4t TM bei einem Volumengewicht von 20gTM/l entsprechen 200m³

Variation der Erlöse

Ausgehend von dem höheren Ertragsniveau (200 m³/ha*a) sind in Tab. 30 zusätzlich die Auswirkungen unterschiedlicher Erlössteigerungen auf das Ergebnis der Gewinn- und Verlustrechnung dargestellt:

(1) Die Verdopplung des Erlöses von 25 € auf 50 €/m³ wirkt sich mit einer Reduzierung des Verlustes von 13 % (Variante 1) bis 25 % (Variante 3) aus.

(2) Eine Kostendeckung (Break even Point) würde bei Variante 3 ab einem Erlös von 127 €/m³ erfolgen (vgl. Tab. 30). Bei Variante 1 wäre die Gewinnschwelle bei einem Erlös von 219 €/m³ erreicht (nicht tabellarisch dargestellt).

(3) Werden aktuelle Handelspreise von *Sphagnen* für die Orchideen-Zucht zu Grunde gelegt (vgl. Abschnitt 3.5.3), wird deutlich, dass kostendeckende Erlöse keineswegs unerreichbar sind. Wird ein mittlerer Preise von 600 €/m³ angenommen, weisen nicht nur alle Varianten deutliche Gewinne zwischen 8 und 16 €/m² auf. Gleichzeitig wird im Hochpreissektor die Vorteilhaftigkeit der Variante 1 durch Intensivierung des Verfahrens mit Vorkultur und jährlicher Mattenbeerntung deutlich. Mit der hier dargestellten „Gewinn-Spanne“ sind die weiteren Kosten bis zum verkaufsfähigen Produkt zu decken (Aufbereitung, Transport, Verpackung, Vermarktung).

Tab. 30: Wirtschaftlichkeit bei Steigerung der Erlöse.

Ertragsniveau/ha*a: Ø 4t TM → 200m ³		Variante 1	Variante 2	Variante 3	
Verfahrenskosten	€/m ² *a	9,49	4,09	2,71	1
(1) Erlös: 50€/m ³	€/m ² *a	2,17	1,07	1,07	2
Jährlicher Gewinn/Verlust	€/m ² *a	-7,32	-3,02	-1,64	
(2) Break even Point von Variante 3: 127€/m ³	€/m ² *a	5,51	2,71	2,71	3
Jährlicher Gewinn/Verlust	€/m ² *a	-3,98	-1,38	0	
(3) „Orchideen-Zucht“ (600€/m ³)	€/m ² *a	26,01	12,81	12,81	4
Jährlicher Gewinn	€/m ² *a	16,52	8,72	10,10	

1 Vgl. Tab. 29

2 Verdopplung des Preises in Anlehnung an Weißtorf

3 Break even Point, an dem die Erlöse die Kosten decken.

4 Preis in Anlehnung an den Torfmoos-Handel für die Orchideen-Zucht (vgl. Abschnitt 3.5): Annahme: 30€/kg bei 20g/l

3.3.2.4 Ansatzpunkte zur Optimierung

Kostensenkung

Der Gewinn- und Verlustrechnung liegt eine konservative Herangehensweise zu Grunde. Im Zweifel sind die Kosten daher eher überschätzt und Erträge unterschätzt worden. Die praktischen Erfahrungen mit der maschinellen Mattenproduktion sowie mit der Erprobung der Vorkultur einer Trägermatte im Zuge des Folgeprojektes PROSUGA lassen eine Reduzierung der Verfahrenskosten erwarten. Einsparpotential wird insbesondere bei der Mattenproduktion gesehen, da bereits relativ geringe Änderungen hochgerechnet auf den Hektar eine große Wirkung zeigen können. Gleichzeitig ist der Handlungsspielraum auf Grund der marktabhängigen Materialkosten der Ausgangsstoffe (Polystyrol, Recycling-Vlies) begrenzt.

Ertragssteigerung

Es ist davon auszugehen, dass der bereits in der Kalkulation berücksichtigte, aber praktisch noch nicht erprobte Einsatz einer Trägermatte eine Steigerung der Produktivität ermöglicht. Ebenso kann die Vorkultur Quantität und Qualität der Torfmoosbiomasse verbessern. Darüberhinaus bestehen weitere Optionen wie z.B. der Einsatz anderer Torfmoos-Sippen, um das Ertragspotential in diesem erst am Anfang stehenden Kultivierungsverfahren zu steigern.

Andere Märkte

Wie mit der Variation der Erlöse bereits angedeutet, bestehen neben der Substitution von Weißtorf in der Substratwirtschaft noch andere Einsatzmöglichkeiten für Torfmoose. Insbesondere die Bestände, die durch die Vorkultur vermutlich frei von Gefäßpflanzen sind, scheinen für eine Ernte von Diasporen zur Erweiterung von Torfmooskultivierungsflächen geeignet. Auf Verwertungsoptionen und die Steigerung der Erlöse durch die Erschließung anderer Märkte wird in Abschnitt 3.5 ausführlicher eingegangen.

Honorierung gesellschaftlicher Leistungen

Positive externe Effekte von Produktionsverfahren können monetarisiert und honoriert werden. Hierzu sei auf Abschnitt 3.6 verwiesen.

3.3.3 Gewässerauswahl, Nutzungsalternativen, Flächenverfügbarkeit & Ertragspotential

Für die Torfmoos-Kultivierung kommen künstliche, kalkfreie Gewässer in Frage. Hierzu zählen Tagebauseen, Kies- oder Sandgruben und überstaute, abgetorfte Flächen. Voraussetzung ist ein ganzjährig ausreichende Wassertiefe von mindestens 1 m. Inwiefern sich eine unterschiedliche Wasserqualität auf die Erträge auswirkt oder z.B. Inhaltsstoffe wie Schwermetalle Kulturschädigungen hervorrufen (Verkrustungen) oder/und sich im Substrat negativ auswirken, ist noch weiter zu prüfen. Der Einfluss der Gewässergröße und Ufervegetation (Wind, Wellen, Diasporen-Eintrag) wird an dieser Stelle vernachlässigt. Für die Verfahrenskosten ist neben der Lage (Entfernung zum „Betrieb“) insbesondere die Infrastruktur (Erreichbarkeit über LKW-geeignete Straßen) ein entscheidender Punkt.

Gegebenenfalls können Nutzungskonkurrenzen mit Naturschutz, Naherholung und Wassersport auftreten. Konflikte mit einer Fischerei-Nutzung sind auf Grund der für stabile Wachstums- und Reproduktionsbedingungen von Fischen erforderlichen pH-Werte von 6,0-9,5 (Rümmler et al. 2003, KTBL 2005) nicht zu erwarten. Saure Wasserverhältnisse verhindern die Reproduktion von Fischen und führen zu Schäden an Kiemen, Flossen sowie Augentrübungen (Rümmler 2007). Darüberhinaus liegen weite Teile der für die Lausitz typischen Teichwirtschaften brach, so dass ein Mangel an Fischerei-Gewässern nicht anzunehmen ist.

Auf Grund der Wasserqualität, dem Vorhandensein großer Flächen und z.T. bisher fehlender Nutzungsmöglichkeiten kommen von den künstlichen Gewässern insbesondere Tagebauseen für eine Torfmooskultivierung in Betracht. Laut Nixdorf et al. (2000) entstehen durch den Braunkohlebergbau in Deutschland über 500 künstliche Seen, von denen gut 100 größer als 50 ha sind. Die Hälfte der Tagebauseen wird als neutral beschrieben und ist i.d.R. durch hohe Härtegrade gekennzeichnet. In Revieren mit tertiären Substraten sind die Gewässer auf Grund der Pyrit- und Markasitverwitterung sehr sauer. Dies betrifft vor allem die Lausitz (Brandenburg, Ostsachsen), aber auch Mitteldeutschland (West-Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen) und Bayern.

Daher erscheinen insbesondere die Tagebauseen Ostdeutschlands für die Torfmooskultivierung potentiell geeignet. Die Fläche der entstehenden Braunkohletagebaurestseen in dieser Region umfasst ca. 42.000 ha bzw. 420 km² (Rümmler et al. 2003). Bayerische Tagebauseen werden wegen der geringen Gesamtfläche von ca. 650 ha (Nixdorf et al. 2000) nicht berücksichtigt. Ein Teil der Gewässer kommt aus verschiedenen Gründen nicht in Frage: zu hoher pH-Wert z.B. durch Flutung mit alkalinem Flusswasser oder durch Kalkung, zu niedriger pH-Wert, Vorrangziel Erholungsnutzung, Entwicklungsziel Naturschutz etc. Lienhoop & Messner (2009) identifizierten für die Lausitzer Tagebauseen bei guter Wasserqualität eine Vielzahl nicht-handelbarer Güter und Dienstleistungen mit einem jährlichen Nutzen von ca. 10-16 Mio. €. Insbesondere große Seen werden nach Möglichkeit mit Fremdwasser geflutet; von einer Versauerung durch Grundwassereinfluss sind v.a. kleinere Seen betroffen (Rümmler et al. 2004). Ostdeutsche Tagebauseen mit einer Größe >50 ha umfassen laut Nixdorf et al. (2000) ca. 36.000 ha.

Demzufolge wird die Annahme getroffen, dass maximal etwa ein Viertel der Gewässerfläche, d.h. ca. 10.000 ha, für die Torfmooskultivierung genutzt werden können. Darüberhinaus kann nicht die gesamte Oberfläche eines Sees als Produktionsfläche berücksichtigt werden. Je nach Verlauf der Uferlinie (z.B. Buchten) und Ernteverfahren (ggf. Bedarf von Fahrgassen) werden die Schwimmdecken nicht flächendeckend ausgebracht. Des Weiteren sprechen vermutlich limnologische Gründe gegen eine komplette Beschattung des Wasserkörpers durch Abdeckung sowie gegen die Behinderung von Wellenschlag, der für natürlichen Sauerstoffeintrag sorgt. Wird daher die tatsächliche Produktionsfläche auf 5.000ha geschätzt und ein Ertrag von 3 t TM/ha*a angenommen, ergibt sich ein mögliches durchschnittliches Jahresaufkommen von 15.000 t TM. Bei einem Volumengewicht von 30 g TM/l beträgt das Ernteaufkommen 100 m³ pro Hektar. Mit dem potentiellen Jahresaufkommen von 500.000 m³ Torfmoosen könnte der Bedarf der deutschen Torf- und Humuswirtschaft an Weißtorf, der 3-4 Mio. m³ pro Jahr beträgt (Caspers & Schmatzler 2009), zu ca. 15 % gedeckt werden.

3.3.4 Offene Fragen und Hindernisse

Das Projekt „MOOSFARM“ hat die Machbarkeit der Kultivierung von Torfmoosen auf schwimmenden Matten anhand von Laborversuchen und Freilandexperimenten gezeigt. Müssen jedoch für eine Gewinn- und Verlustrechnung großmaßstäbige Lösungen sowie konkrete Zahlen angenommen werden, so erscheinen schnell eine Reihe offener Fragen. Das Berechnen verschiedener Varianten der Verfahrensgestaltung sowie des Ertrags- und Erlöspotentials versucht das widerzuspiegeln. Es bleiben jedoch konservative Schätzungen, die zu einem großen Teil auf Annahmen basieren. Für differenzierte Antworten und realistische Zahlen sind weitergehende Forschung und praktische Erprobung im betrieblichen Maßstab erforderlich. Zentrale Fragen sind:

- Herkunft und Kosten der Diasporen
- Torfmooskultivierung auf großen Gewässern (z.B. Verankerung, Wellenschlag, Kulturschäden durch Vögel)
- Entwicklung einer Erntetechnik
- Lebensdauer der Schwimm-Matten
- Effekt der Trägermatte
- Effekt der Vorkultur auf Quantität und Qualität (z.B. dichter Rasen, unkrautfrei)
- Regenerationsfähigkeit der Moose nach der Mahd
- Länge der Erntezyklen, ggf. nachlassendes Ertragspotential bei natürlicher Regeneration
- Aufbereitung und Verarbeitung der Torfmoose
- Umrechnung Gewicht ↔ Volumen
- Eignung der Torfmoose im Gartenbau im Vergleich zu Weißtorf
- Weitere Verwendungsmöglichkeiten der Torfmoose

Grundsätzlich ist die Erzeugung von Torfmoos-Biomasse auf Gewässern mit einer Reihe von Schwierigkeiten verbunden:

- Insbesondere bei größeren Flächen sind die Einflüsse der Natur wie Wind, Wellen, Eisgang, Schäden durch Vögel schwer zu kalkulieren und nur mit hohem Kostenaufwand zu vermindern.
- Aus limnologischer Sicht bestehen Grenzwerte hinsichtlich der Reduzierung von Licht und Wellenschlag für das Gewässer.
- Wasserstandsschwankungen von ca. 1,50 m werden bei Tagebauseen als normal angesehen. Viele Tagebaugewässer sind zudem als Puffergewässer eingestuft: Bei Hochwasser kann der Wasserspiegel durch Zuleitung innerhalb kurzer Zeit um ca. 30-40 cm steigen und sich hierdurch auch die Wasserqualität (z.B. pH-Wert) verändern.
- Die tatsächlich vorhandene Wasserfläche saurer Gewässer scheint durch Kalkung bereits kurzfristig deutlich abzunehmen.
- Die Gefahr vor Vandalismus steigt im zunehmend touristisch genutzten „Lausitzer Seenland“.
- Bei wassergebundenen Verfahren ist grundsätzlich ein höherer Arbeitszeitbedarf sowie höherer Arbeitsschutz erforderlich.

Es ist daher überlegenswert, die Torfmooskultivierung an Land durchzuführen. Denkbar wäre z.B. die Installation von flachen Plastik-Rinnen für den Torfmoosanbau und für die Bewässerung das Wasser eines kleinen, noch sauren Tagebausees zu nutzen. Im Zuge der Tagebaurekultivierung stehen große Landflächen zur Verfügung, für die noch attraktive Landnutzungsoptionen gesucht werden. Gegebenenfalls wäre die Nachbarschaft von Kraftwerken ein interessanter Standort: Die Abwärme könnte zur ganzjährigen Anzucht unter Glas verwendet werden und zusätzlich könnten die sauren Abwässer auf ihre Verwendbarkeit geprüft werden.

3.4 Torfmoos-Kultivierung auf abgetorften Hochmoorflächen

3.4.1 Gestaltung des Produktionsverfahrens

3.4.1.1 Datengrundlage

Als Grundlage für die betriebswirtschaftliche Kostenkalkulation in Abschnitt 3.4.2 wird zunächst das potentielle Verfahren zur Kultivierung von Torfmoosen auf abgetorften Hochmoorflächen vorgestellt. Für die Verfahrensgestaltung wurden Erfahrungen und Erkenntnisse zur Wiedervernässung von Torfabbauflächen, zur Hochmoorregeneration und zur Torfmoosetablierung berücksichtigt. Hervorzuheben ist insbesondere das Projekt „Torfmoose als nachwachsender Rohstoff: Etablierung von Torfmoosen – Optimierung der Wuchsbedingungen“, gefördert durch die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) e.V. (2004-2007). Parallel dazu war beim Torfwerk Moorkultur Ramsloh/Niedersachsen eine Versuchsfläche von ca. 1.000 m² eingerichtet worden (Kammermann & Blankenburg 2008). Des Weiteren wurden die Versuche zur Torfmoosetablierung im Dalumer Moor auf einer Fläche von zwei Hektar (Durchführung: Staatliche Moorverwaltung Meppen, wissenschaftliche Begleitung durch Dr. Blankenburg vom damaligen Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung in Bremen) sowie die langjährigen kanadischen Erfahrungen mit Moorrestauration und Etablierung einer standorttypischen Vegetation berücksichtigt. Die Annahmen für Kosten und Arbeitszeitbedarf basieren auf den Angaben von MOKURA, der Staatlichen Moorverwaltung Meppen und Standard-Datenwerken des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. sowie der Baugeräteliste.

3.4.1.2 Flächeneinrichtung

Auswahl geeigneter Flächen

Nicht alle abgetorften Flächen ermöglichen eine Wiedervernässung und erfolgreiche Torfmoosetablierung. Für die Auswahl sind daher umfangreiche Untersuchungen zur Eignung der Fläche sowie zur Wasserverfügbarkeit und Wasserqualität erforderlich.

Zur Verdeutlichung der Bedeutung einer gründlichen Flächenprüfung sei auf die Erfahrungen des Versuchs zur Torfmoosetablierung im Dalumer Moor verwiesen. Die ausgebrachten Torfmoose konnten sich nur vereinzelt etablieren (vgl. Abb. 73. 73 bis Abb. 76) und die Fläche wird heute von Pfeifengras dominiert, das ein Zeiger für wechselfeuchte Standorte ist (Oberdorfer 1994). Ursachen sind vermutlich die sehr trockene Witterung während der Ausbringung (September 2002) sowie v.a. das mangelnde Wasserhaltevermögen der Fläche, das u.a. in der Zerstörung der Ortsteinschicht beim vorhergegangenen Torfabbau begründet ist. Die Bewässerung erfolgt mit nährstoffreichem Grundwasser, so dass sich an der Einlaufstelle Rohrkolben und Schilf etabliert haben. Das Zuwachsen der Gruppen mit Binsen, Röhrichtpflanzen und Gebüsch behindert zusätzlich die Verteilung des Bewässerungswassers in der Fläche.



Abb. 73: Gescheiterter Versuch zur Torfmoosetablierung im Dalumer Moor.



Abb. 74: Torfmoose konnten sich nur vereinzelt etablieren.

Abb. 75: Pfeifengras dominiert die Fläche; in den Gruppen wachsen Rohrkolben, Binsen, Gehölze



Abb. 76: Bewässerung per Solarpumpe und Windrad.

Einrichtung

Die Herrichtung der abgetorfte Fläche ist zum einen auf den Wasserrückhalt und zum anderen auf eine gleichmäßige Versorgung der gesamten Fläche mit dem vorhandenen Wasser ausgerichtet. Hierfür werden Entwässerungsgräben blockiert und durch Planieren eine ebene, horizontale Fläche geschaffen, die von Dämmen umgeben ist. Für die Torfmooskultivierung ist zusätzlich ein präzises Wassermanagement erforderlich.

In Niedersachsen ist die Einrichtung von Poldern die etablierte Methode zur Wiedervernässung von Torfabbauf Flächen (vgl. u.a. Nick et al. 1993, Nick et al. 2001, Blankenburg 2004, Niedersächsisches Umweltministerium 2008). Die Polder dienen zur Wasservorratsspeicherung: Durch Überstau mit Winter-Niederschlägen soll das sommerliche Wasserdefizit kompensiert werden. In Abhängigkeit von der Oberflächenneigung sind kaskadenförmige, ggf. kleinflächige Polder einzurichten (Eggelsmann & Blankenburg 1993). Für die befahrbaren Hauptverwallungen wird eine Endhöhe von mindestens 1m sowie für Zwischenverwallungen von 0,5 m empfohlen (Blankenburg 2004). Bei größeren Wasserstandsamplituden können durch Wellenschlag und Eisgang bei winterlichem Überstau Schäden an den Verwallungen auftreten. Bei der Torfmooskultivierung soll kein Überstau der Fläche erfolgen, so dass eine Dammhöhe von 1 m (rückverfestigt) ausreicht (schriftl. Mitteilung, Blome, Staatliche Moorverwaltung, 19.01.2010). Durch Mineralisation und Verlust von Porenvolumen ist mit einer Sackung um ca. 30(-50 %) zu rechnen (Blankenburg 2004). Zur Hochmoor-Restauration wird eine abdichtende Schicht von mindestens 50cm gewachsenen Schwarztorfs sowie die Ausbringung von mindestens 30cm Bunkerde empfohlen (Niedersächsisches Umweltministerium 2008). Die Bunkerde soll als Wasserspeicher zur Verhinderung von Schrumpfrissen sowie zur Einbringung von Diasporen der Hochmoorflora dienen. Bei der Flächenherrichtung zur Torfmooskultivierung ist sie durch die Ausbringung von Moosen und Strohmulch sowie konstant hohen Wasserständen weder erforderlich noch gewünscht.

Für eine gleichmäßige Bewässerung der Flächen ist für die Torfmooskultivierung die Anlage von Gruppen zum Einstau von Graben-, Moor- oder Grundwasser erforderlich. Die Installation von Pumpen sowie der Einbau von festen Überläufen sollen eine Regulierung eines optimalen Wasserspiegels ermöglichen, da sich sowohl Trockenheit als auch Überstau negativ auf Etablierung und Wachstum der Torfmoose auswirken. Je nach Fläche ist unter Umständen die Anlage eines Wasserreservoirs einzuplanen, um über die Überläufe abfließendes Wasser aufzufangen und zu sammeln.

Bereits bei der Flächeneinrichtung sind die technischen Möglichkeiten der Bewirtschaftung, v.a. hinsichtlich Pflege und Ernte, zu berücksichtigen. Daher wurden in Abhängigkeit von einer möglichen Erntetechnik zwei Varianten entwickelt, die als Grundlage für die Modellkalkulationen in Abschnitt 3.4.2 dienen.

Variante 1: System mit Fahrdämmen

Auf Grund der geringen Tragfähigkeit nasser Moorböden und da die Torfmoose extrem empfindlich auf wiederholtes Betreten und Befahren reagieren, wird die Anlage von Fahrdämmen angenommen, von denen aus die Bestandesetablierung, Bestandespflege und Ernte erfolgen.

Variante 2: System mit angepasster Technik zum Befahren der Kultivierungsfläche

Zur Erhöhung des Anteils der Kultivierungsfläche ist alternativ zu Variante 1 ein Verzicht auf Bewirtschaftungsdämme vorstellbar. Für diese Variante ist die Entwicklung von einer angepassten Technik für die Pflegemahd und Ernte erforderlich. An den Seiten wird die Fläche von breiten Fahrdämmen begrenzt, die zum Abtransport der Moose dienen.

Bestandesetablierung

Zur Begründung der Torfmooskultur erfolgt die Ausbringung von Diasporen als gleichmäßig dünne Schicht auf der frisch vorbereiteten, wiedervernässten Fläche. Aus Kanada liegen Erfahrungen in der maschinellen Ausbringung von Pflanzenfragmenten mit Stallungstreuern vor (Quinty & Rochefort 2003, Landry & Rochefort 2009). Zur Verbesserung des Mikroklimas wird anschließend eine Mulchschicht aus Strohhäckseln aufgeblasen (ca. 3 t/ha), was z.B. mittels eines Futterwagens mit Gebläse möglich ist.

3.4.1.3 Bestandesführung

Es wird keine Düngung angenommen, da Düngerversuche (z.B. Phosphor, Kalium, Kalkung) nur z.T. zu einer Wachstumssteigerung führten bzw. sogar negative Auswirkungen zeigten (Gaudig 2008, Landry & Rochefort 2009).

Gefäßpflanzen können durch Beschattung und als Stütze durchaus förderlich für das Wachstum der Torfmoose sein. Andererseits wurzeln sie tief und steigern den Wasserverbrauch der Fläche. Zusätzlich erhöhen sie den Aufbereitungsaufwand der Torfmoosbiomasse nach der Ernte, da sie auf Grund unkontrollierter Stickstoff-Immobilisierung im Substrat nicht enthalten sein dürfen (vgl. Kapitel 2.5.1). Daher ist 2-3mal im Jahr eine Pflege durch Mahd bzw. Mulchen der Kultivierungsfläche erforderlich, um das Aussamen und Ausbreiten ggf. auftretender Gefäßpflanzen zu verhindern. Sowohl Algen als auch Pilze scheinen hingegen für Torfmooskulturen im Freiland kein Problem darzustellen.

Pumpen und Überläufe erfordern regelmäßige, persönliche Kontrollen ihrer Funktionstüchtigkeit und einer ggf. notwendigen Anpassung hinsichtlich der präzisen Einstellung des Wasserstandes auf der Fläche. Für den Erhalt der Infrastruktur sind eine regelmäßige Gruppenreinigung sowie die Mahd der Fahrdämme erforderlich. Auch hier verhindert eine rechtzeitige Pflege zusätzlich den Eintrag von Gefäßpflanzen-Diasporen in die Torfmooskultur.

3.4.1.4 Ernte & Biomasse-Abtransport

Die Ernte in natürlichen Beständen z.B. in Australien, Neuseeland, Chile erfolgt in der Regel per Hand oder Forke. Die Moose werden vor Ort in große Säcke wie Wollsäcke gepackt. Für den Abtransport der Säcke aus der Fläche existieren unterschiedliche Methoden: per Hand, per vierrädriger Motorräder, über Schienensysteme, per Raupenfahrzeuge (Whinham et al. 2003, Buxton 2008), in Chile auch auf von Ochsen gezogenen Karren⁶. Je nach Zugänglichkeit der Fläche findet der Abtransport auch per Seilbahn bzw. in Neuseeland üblicherweise per Hubschrauber statt (Buxton 2008). Mit der maschinellen Beerntung von Torfmoosen bestehen hingegen kaum Erfahrungen. In Kanada wurde die Gewinnung von *Sphagnum* dominierter Vegetation per Bagger mit Frontgabel oder per Bodenfräse erprobt (vgl. Miousse 2005, Landry & Rochefort 2009).

Variante 1

Für die Beerntung von Fahrdämmen aus erscheint der Einsatz von Baggern möglich, die mit einem Mähkorb ausgestattet in der Grabenräumung Verwendung finden. Eine Probeernte mit einem Bagger mittlerer Größe (ca. 7 t) und einem Mähkorb mit Messerbalken mit einer Arbeitsbreite von ca. 2,50 m erfolgte am 14.10.2009 beim Torfwerk Moorkultur Ramsloh (vgl. Abb. 77).

⁶ <http://www.losvolcanes.com/gallery.htm> (07.07.2010)

Variante 2

Alternativ ist die Umrüstung eines Pistenbully auf die Torfmoosernte möglich. Je nach Flächen-gestaltung ist die Länge der Fahrtstrecke zwischen den Seitendämmen und somit das Ernteauf-kommen unterschiedlich. Die Flächeneinteilung sollte so an Mahdbreite und Ladevermögen angepasst werden, dass während der Ernte jede Strecke nur einmal befahren werden muss.



Abb. 77: Probeernte mit Mähkorb (Ramsloh, Oktober 2009).

3.4.1.5 Neu-Einrichtung bzw. Regeneration

Bei der manuellen Beerntung natürlicher Torfmoosbestände wird in der Regel ein Teil der Moose (bis ca. 30 %) auf der Fläche zurückgelassen, um die Regeneration zu beschleunigen und kürzere Erntezyklen zu ermöglichen (Whinam et al. 2003). Zur Regenerationsfähigkeit der Moose nach einer Mahd bestehen jedoch noch keine ausreichenden Erfahrungen (vgl. Abschnitt 3.3.1.5). Daher wird in Anlehnung an die Mattenvariante (vgl. Abschnitt 3.3) eine dreimalige Regeneration angenommen (Jahr 5, 10, 15), so dass die Laufzeit auf insgesamt 20 Jahren begrenzt ist.

3.4.1.6 Ertragspotential

Es wird eine Ernte alle 5 Jahre angenommen. Mit 1 bzw. 2,5 t TM pro Hektar Kultivierungsfläche werden zwei Ertragsvarianten untersucht, die auf den Daten zur Produktivität der Versuchsfläche in Ramsloh basieren (Brisch 2010). Zusätzlich wird eine optimistische Ertragsvariante von 5 t TM/ha*a berücksichtigt, die sich aus deutlich höheren Literaturdaten ableitet (vgl. Gaudig 2001). Diese Annahmen stellen Netto-Werte dar. Hierfür ist von der Brutto-Produktivität sowohl die für die Bestandesetablierung ausgebrachte Diasporen-Menge, als auch die für die Regeneration nach der Ernte auf der Fläche verbleibende Biomasse abgezogen.

Für eine Vergleichbarkeit mit Weißtorf ist eine Umrechnung des Erntegewichts in Volumen erforderlich. Es fehlen jedoch noch detaillierte Informationen zum Volumengewicht der Torfmoose sowie zu einem möglichen Volumenverlust bei der Herstellung von Substratmischungen. Daher sind hier zwei Varianten von 40 kg TM/m³ bzw. 20 kg TM/m³ zu berücksichtigen, die die bisher bekannte Spannweite abdecken (vgl. Tab. 33).

3.4.2 Betriebswirtschaftliche Kostenkalkulation

3.4.2.1 Verfahrenskosten

Flächeneinrichtung und laufende Kosten

Die Kosten der Flächeneinrichtungen sind abhängig von der spezifischen Ausgangssituation und erhöhen sich durch zusätzlichen Aufwand wie z.B. die Polderung herausragender Sandinseln. Gleichzeitig schlagen sich Unterschiede im Lohnniveau zwischen öffentlichem Dienst, Torfwerken und Bauunternehmen in den Maßnahmenkosten nieder. In Tab. 31 sind die Kosten der zwei Verfahrensvarianten bei mittlerem Kostenniveau aufgeführt.

Die Kosten der Flächenvorbereitung unterscheiden sich zwischen Variante 1 und Variante 2 erheblich. Die größere Fahrdammlänge sowie die teurere Anlage von Gruppen am Fahrdamm gegenüber der Anlage in der Fläche verursachen fast doppelt so hohe Kosten je Grundfläche bzw. bezogen auf die Kultivierungsfläche sogar mehr als dreifach so hohe Kosten. Die Kosten der Installation der Bewässerungsanlagen sind, auf die zu bewässernde Kultivierungsfläche gerechnet, gleich hoch.

Die laufenden Kosten sind ein großer Kostenfaktor und umfassen das Drei- bis Vierfache der über die Laufzeit von 20 Jahren pro Jahr anzurechnenden Kosten der Bestandesetablierung. Der Kontrollaufwand wird für beide Verfahrensvarianten als gleich angenommen. Der Aufwand der Pflegemahd und Gruppenreinigung von den Fahrdämmen aus ist für die Variante 1 jedoch erhöht.

Planungskosten sowie Flächenkosten sind für beide Verfahrensvarianten in gleicher Höhe angesetzt und umfassen zusammen gut 1.000 €. In Abhängigkeit von der konkreten Fläche und der Zurechenbarkeit der Kosten zur Torfmooskultivierung besteht hier jedoch eine große Variabilität sowohl nach oben als auch nach unten. Die Aufwendungen für Pacht bzw. anzusetzende Opportunitätskosten sind stark von der Fläche und ihrer potentiellen alternativen Nutzung abhängig: Restaurierung, Maisanbau, Hochmoorgrünland (vgl. Abschnitt 3.4.3).

Erntekosten

Aufbauend auf den Annahmen zu möglichen Ernteverfahren mittels Bagger bzw. Pistenraupe und Abfuhr der Frischmasse per Dumper (vgl. Abschnitt 3.4.1.4) betragen die Kosten für Ernte und Abtransport der Biomasse je nach Ertragsniveau und Erntetechnik ca. 800 €/ha*a bis 3.500 €/ha*a (vgl. Tab. 32). Diese Kosten fallen alle fünf Jahre an.

Auf die weiteren Arbeitsgänge für die Herstellung eines verkaufsfähigen Produktes wird in Abschnitt 3.5.1 eingegangen. Auf Grund der noch fehlenden praktischen Erfahrungen hinsichtlich der Verarbeitung von Torfmoosen muss jedoch auf eine Kostenabschätzung verzichtet werden.

Tab. 31: Kosten der Torfmooskultivierung je ha Ausgangsfläche abgetorfte Hochmoor.

Bestandesetablierung		Variante 1	Variante 2
Bezugsgröße: Gesamtfläche		1ha	1ha
Davon Produktionsfläche		50%	82%
Flächenvorbereitung		6.065	3.075
Aussaat		370	630
Bewässerung		3.000	4.920
Gesamtkosten der Flächeneinrichtung	€/ha	9.435	8.625
Gesamtkosten als Annuität (über 20 Jahre, Zins: 3%)	€/ha*a	660	621
Laufende Kosten			
Pflege (Produktionsfläche, Gruppenreinigung, Fahrdamm)	€/ha	930	435
Kontrollaufwand	€/ha	960	960
Flächenkosten (Pacht/Opportunitätskosten, Abgaben etc.)	€/ha	580	580
Annuität (Nutzungsdauer: 20 Jahre, Zins: 3%)	€/ha*a	2.540	2.040
Gesamtkosten als Annuität	€/ha*a	3.200	2.661

3.4.2.2 Gewinn-und Verlustrechnung des Gesamtverfahrens und Sensitivitätsanalyse

Gesamtkosten

Die Gesamtkosten des Verfahrens mit Flächeneinrichtung, Bewässerung und laufenden Kosten (vgl. Tab. 31) sowie die Erntekosten sind als Annuität in Tab. 32 dargestellt. Nicht enthalten sind mögliche Kosten zur Herrichtung der Fläche nach Ablauf der Nutzungszeit für eine alternative Folgenutzung z.B. von Seiten der Landwirtschaft sowie Kosten, um die Torfmoose für den Verkauf aufzubereiten.

Die Gesamtkosten belaufen sich auf ca. 2.800 bis 3.600 € je Hektar und Jahr. Auf Grund höherer Erntekosten steigen die Verfahrenskosten mit zunehmenden Erträgen. Gleichzeitig sind die Kosten bei gleichem Ertragsniveau bei Variante 1 höher als bei Variante 2. Einen besonders hohen Anteil nehmen die jährlich anfallenden, laufenden Kosten mit Kontrolle der Bewässerung, Erhalt der Infrastruktur, Bestandespflege und flächengebundenen Kosten ein.

Tab. 32: Kosten für Ernte und Abtransport der Torfmoosbiomasse sowie Summe aller Verfahrenskosten.

Ertragsniveau		pessimistisch	realistisch	optimistisch
Netto-Ertrag	t TM/ha*a	1	2,5	5
Variante 1: 0,5ha Produktionsfläche je 1 ha Ausgangsfläche				
Erntekosten (Ernte alle 5 Jahre)	€/ha	1.125	1.350	2.250
Annuität (20 Jahre, 3%)	€/ha*a	212	254	424
Gesamtkosten (Annuität)	€/ha*a	3.411	3.453	3.623
Variante 2: 0,82 ha Produktionsfläche je 1 ha Ausgangsfläche				
Erntekosten (Ernte alle 5 Jahre)	€/ha	814	1.807	3.549
Annuität (20 Jahre, 3%)	€/ha*a	153	340	669
Gesamtkosten (Annuität)	€/ha*a	2.814	3.001	3.329

Variation der Erlöse bei unterschiedlichen Erträgen

Die Kostendeckung und mögliche Gewinnspannen sind einerseits von dem Ertragspotential (vgl. Abschnitt 3.4.1.6: Gewicht bzw. Volumen) und andererseits von den Erlösen (vgl. Abschnitt 3.5.3) abhängig. Entsprechende Variationen und ihre Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der Torfmooskultivierung sind in Tab. 33 dargestellt. Sollen die in Tab. 33 angegebenen Erlöse den Verfahrenskosten je Hektar Ausgangsfläche aus Tab. 32 gegenübergestellt werden, müssen die Erlöse mit dem Faktor 0,5 (Variante 1) bzw. 0,82 (Variante 2) multipliziert werden, um sie auf die anteilige Kultivierungsfläche zu beziehen.

Tab. 33: Erlöse in Abhängigkeit von Ertrag und Preis je Hektar Kultivierungsfläche.

Ertragsniveau		pessimistisch		realistisch		optimistisch	
		1	20	2,5	20	5	20
Ertrag (netto)	t TM/ha*a						
Volumengewicht	kg/m ³	40	20	40	20	40	20
(1) Erlös: 25€/m ³	€/ha*a	589*	1.177*	1.472*	2.943*	2.943*	5.886
(2) „Bio-Erde“: 50€/m ³	€/ha*a	1.177*	2.354*	2.943*	5.886	5.886	11.772
(3) „Orchideen“: 600€/m ³	€/ha*a	14.127	28.253	35.316	70.633	70.633	141.266

* Kennzeichnung der Ertragsvariante, bei der bei dem jeweiligen Erlös die Kosten nicht gedeckt werden können
Annahme: Ernte alle 5 Jahre, Annuität über 20 Jahre, Zinssatz: 3%

(1) Um die Kosten dem möglichen Erlös gegenüberzustellen, wird zunächst ein an den Handelspreis von Weißtorf angelehnter Erlös von 25 €/m³ angenommen. Nach der derzeitigen Kostenstruktur können die Verfahrenskosten in diesem Fall nicht gedeckt werden. Einzige Ausnahme stellt die optimistische Ertragsvariante mit einem Ertrag von 5 t TM/ha bei einem Volumengewicht von 20 kg/m³ und einer Flächenherrichtung nach Variante 2 dar. Den Kosten von 3.329 € steht ein Erlös von 4.827 € (=5.886 € *0,82) je Hektar Ausgangsfläche gegenüber.

(2) Anders stellt sich die Wirtschaftlichkeit bei einer Verdopplung des Erlöses auf 50 €/m³ dar. Bei der Variante 1 verzeichnet die optimistische Ertragsvariante bei einem Volumengewicht von 20 kg/m³ einen positiven Saldo. Bei Variante 2 der Flächeneinrichtung und gleichem Volumengewicht sind die Kosten zusätzlich bei 2,5 t TM/ha*a sowie bei einem Ertrag von 5 t auch bei einem Volumengewicht von 40 kg/m³ ausgeglichen. Eine Verdopplung auf einen Preis von 50 €/m³ spiegelt z.B. die Vermarktung der Torfmoose als echte „Bio-Erde“ wider, da bei einer Zertifizierung von torffreien Erden oder von torffrei erzeugtem Gemüse eine höhere Zahlungsbereitschaft der Kunden angenommen werden kann. Auch für herkömmlichen Weißtorf wurden einmalig im Jahr 1997 bereits ca. 50 €/m³ gezahlt, als schlechte Witterungsbedingungen die Torfgewinnung behinderten.

(3) Als dritte Erlösvariante ist die Verwendung von Torfmoosen für höherwertige Nutzungen wie Spezialkulturen (z.B. Orchideenzucht) oder in Terrarien angenommen (vgl. Abschnitt 3.5.3). Wird in Anlehnung an den existierenden Handel mit Torfmoosen aus Neuseeland oder Chile ein eher niedriger Preis von 30 €/kg und ein Volumengewicht von 20 g/l angenommen, erhält man den angenommenen Erlös von 600 €/m³. In diesem Fall weisen selbst niedrigste Erträge wie 1 t TM/ha auf 2 ha Produktionsfläche in Variante 1 Gewinne von ca. 3.600 € pro Hektar und Jahr aus.

Darüber hinaus wird sehr deutlich, welche hohe Bedeutung das unzureichend bekannte Volumengewicht der Torfmoose bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit spielt (vgl. Abschnitt 3.5.2).

3.4.2.3 Ansatzpunkte zur Optimierung

Kostensenkung

Der Gewinn- und Verlustrechnung liegt eine konservative Herangehensweise zu Grunde. Insbesondere fehlen praktische Erfahrungen mit der maschinellen Torfmooskultivierung. Im Zweifel sind die Kosten daher eher überschätzt und Erträge unterschätzt worden. Wesentlichen Einfluss auf die Gesamtkosten haben die hohen laufenden Kosten, so dass z.B. die Aufwendungen für die Kontrollen zu überprüfen sind. Die Höhe der flächengebundenen Kosten sollten bereits bei der Flächenauswahl einbezogen werden. Pachtniveau und Opportunitätskosten sind jedoch veränderlich, da sie maßgeblich durch agrar- und energiepolitische Rahmenbedingungen (Agrar-Direktzahlungen, EEG-Förderung) bestimmt werden.

Ertragssteigerung

Das Verfahren zur Kultivierung von Torfmoosen steht erst am Anfang, so dass z.B. durch eine optimierte Bewässerung und den Einsatz selektierter Torfmoos-Sippen im Schnitt höhere Erträge erwartet werden können als die Versuchsfläche in Ramsloh aufweist.

Andere Märkte

Neben der Substitution von Weißtorf in der Substratwirtschaft sowie der Zertifizierung als „Bio-Erde“ bestehen noch andere Einsatzmöglichkeiten für Torfmoose. Auf Verwertungsoptionen und die bereits angedeutete Steigerung der Erlöse durch die Erschließung anderer Märkte wird in Abschnitt 3.5.3 ausführlicher eingegangen.

Honorierung gesellschaftlicher und ökologischer Leistungen

Die Torfmooskultivierung auf abgetorften Flächen zur Substitution von Weißtorf reduziert nicht nur den Torfabbau mit seinen negativen externen Effekten. Gleichzeitig werden auf der Kultivierungsfläche durch konstant hohe Wasserstände Torfmineralisation und CO₂-Emissionen von im Sommer trockenfallenden Restaurierungsflächen bzw. von entwässerten Flächen bei landwirtschaftlicher Folgenutzung verhindert. Darüberhinaus zeigte die Versuchsfläche in Ramsloh, dass die Kultivierungsflächen innerhalb kurzer Zeit von gefährdeten Hochmoorarten als wertvoller Ersatzlebensraum besiedelt werden können. Entsprechende positive externe Effekte von Produktionsverfahren können monetarisiert und honoriert werden. Hierzu sei auf Abschnitt 3.6 verwiesen.

3.4.3 Flächenauswahl, Nutzungsalternativen, Flächenverfügbarkeit & Ertragspotential

Zusätzlich zu den Kriterien für die Flächenauswahl hinsichtlich der Einrichtung von Torfmoos-Kultivierungsflächen und Wiedervernässung, sind Fragen der Flächenverfügbarkeit und der Nutzungsalternativen zu prüfen.

Niedersachsen umfasst mit einem Anteil von knapp 250.000 ha ca. $\frac{3}{4}$ aller heutigen Hochmoorflächen Deutschlands (Grosse-Brauckmann 1997). Unberücksichtigt sind hierbei die durch Torfabbau und Landnutzung bereits „verschwundenen“ Moore. Allein 120.000 ha der ehemaligen Moorflächen sind nach Kuntze (1983) durch Sandmischkultur (Tiefumbruch) verloren gegangen. Von den verbliebenen Hochmooren sind lediglich 2.600 ha (1 %) als naturnah einzustufen (NLWKN 2006). Diese kommen per se nicht für eine Nutzung, auch nicht zur Torfmooskultivierung, in Frage.

Ca. 30.000 ha (12 %) der Flächen dienen der Rohstoffgewinnung für die Torfwirtschaft. Die langfristigen Abbaugenehmigungen laufen maximal bis zum Jahr 2050. Seit 1981 erfolgt nach dem Torfabbau i.d.R. nicht mehr – wie früher üblich – eine landwirtschaftliche Folgenutzung, sondern eine Restauration der abgetorften Flächen. Eine Wiedervernässung ist bei über 80 % der aktuellen Abbauvorhaben vorgesehen und ist auf ca. 11.000 ha (ca. 4 % der Gesamtmoorfläche) begonnen (Stand: 2005). Die 1981 und 1986 etablierten Moorschutzprogramme haben zum Ziel, insgesamt 81.000 ha verbliebener Hochmoorflächen sowie zu restaurierender Abtorfungsflächen zu sichern. Hier ist jede wirtschaftsbetonte Nutzung ausgeschlossen. Das entspräche ca. $\frac{1}{3}$ der verbliebenen, niedersächsischen Hochmoorfläche. 2005 war dieses Ziel gut zur Hälfte erreicht, kann aber erst nach Ablauf der Abbaugenehmigungen vollständig verwirklicht werden. (NLWKN 2006)

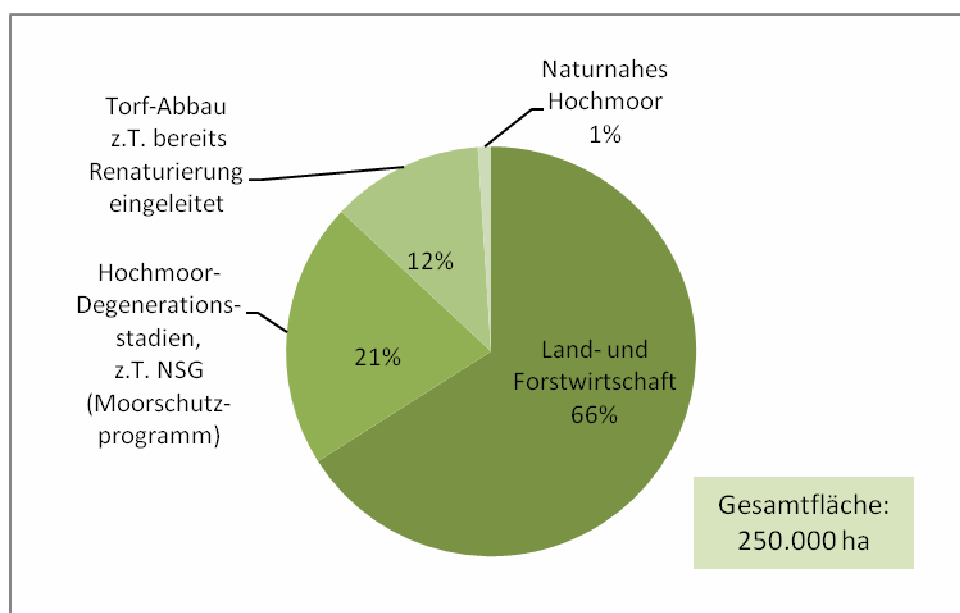


Abb. 78: Nutzung niedersächsischer Hochmoore (eigene Darstellung nach NLWKN 2006).

Mit ca. 66 % der Hochmoorflächen (165.000 ha) wird der überwiegende Anteil land- oder forstwirtschaftlich genutzt (vgl. Abb. 78). 1990 waren 59 % der Flächen als Grünland, 6 % als Acker und 2 % als Aufforstungen eingestuft (Falkenberg 1990, zitiert in Schmatzler 1999). Neben der dominierenden Grünlandnutzung erfolgt jedoch in zunehmendem Maße eine ackerbauliche Nutzung in Form von Maisanbau zur Verwertung in Biogasanlagen, die durch das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) gefördert wird. Niedersachsen ist mit 950 Biogasanlagen mit einer Kapazität von 439 MW neben

Bayern bundesweiter Spitzenreiter; der Landkreis Cloppenburg weist mit allein 40 Anlagen die zahlenmäßig höchste Konzentration auf⁷. Die Entwicklung der letzten Jahre spiegelt sich zum einen in einem hohem Flächendruck mit steigenden Pachtpreisen von bis zu 1.000 €/ha*a sowie zunehmendem Grünlandumbruch für Maisanbau wider. Im Oktober 2009 wurde für Niedersachsen ein Verbot zum Umbruch für Dauergrünland erlassen, da der Grünlandanteil gegenüber dem Referenzjahr 2003 um mehr als 5 % zurückgegangen war.

Welches Flächenpotential steht somit für eine Torfmooskultivierung zur Verfügung? Für diejenigen Flächen, für die eine Restaurierung in Anschluss an die Torfgewinnung mit Erteilung der Abbaugenehmigung bereits festgeschrieben wurde, wird angenommen, dass sie auch für eine nasse Bewirtschaftung wie die Torfmooskultivierung nicht in Frage kommen. Somit verbleiben die Abbauflächen mit landwirtschaftlicher Nachnutzung im Umfang von ca. 6.000 ha. Insbesondere im Einzugsbereich von Biogasanlagen, ist hier jedoch mit hohen Opportunitätskosten zu rechnen. Hinzu kommen diejenigen Flächen, für die ein Torfabbau in Frage kommt, für die bisher jedoch noch keine Genehmigung erteilt wurde. Das Flächenpotential wird auf 20.000 ha geschätzt. Die Torfmooskultivierung könnte auch aus ökonomischer Sicht eine Alternative zur Restaurierung der Flächen darstellen, da die Pflege der wiedervernässten Flächen wie z.B. Kontrolle und Reparatur der Überläufe langfristig nicht gesichert scheint. Die zuständige Staatliche Moorverwaltung wird über die Torfheuer finanziert, die je Kubikmeter Torf erhoben wird und daher mit rückläufigem Abbau mittelfristig sinkt (Kumar, Torfwerk Moorkultur Ramsloh, mdl. Auskunft). Im Falle einer neuen Abbaugenehmigung könnte hier eine Torfmooskultivierung als nachhaltige und sich selbst tragende Nachnutzung vorgesehen werden. Wird die gesamte potentielle Produktionsfläche für Torfmoose auf abgetorfem Hochmoor auf 20.000 ha geschätzt und ein realistischer Ertrag von 2,5 t TM/ha*a angenommen, ergibt sich ein mögliches durchschnittliches Jahresaufkommen von 62.500 t TM. Bei einem mittleren Volumengewicht von 30 g TM/l beträgt das Ernteaufkommen ca. 83 m³ pro Hektar und Jahr. Mit dem potentiellen Jahresaufkommen von 1,7 Mio m³ Torfmoosen könnte die heutige Nachfrage der deutschen Torf- und Humuswirtschaft nach Weißtorf, die 3-4 Mio. m³ pro Jahr beträgt (Caspers & Schmatzler 2009), zu ca. 50 % gedeckt werden.

Darüberhinaus besteht mit dem Hochmoorgrünland (ca. 150.000 ha) ein erhebliches Flächenpotential für die Torfmooskultivierung. Das Produktionsverfahren ist mit dem für abgetorfte Hochmoorflächen beschriebenen Verfahren vergleichbar (Abschnitt 3.4.1), erfordert jedoch voraussichtlich zusätzliche Arbeitsgänge für Abtrag und ggf. Abfuhr der Grasnarbe. Praktische Erfahrungen stehen derzeit noch aus, sollen jedoch im Rahmen eines bei der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. beantragten Forschungsprojektes gesammelt werden. Dabei bietet die Torfmooskultivierung auf Hochmoorgrünland auch eine nachhaltige Bewirtschaftungsalternative für landwirtschaftlich genutztes Hochmoor, da der aktuellen Nutzung nicht nur Umweltbelastungen sondern auch erhebliche Bewirtschaftungsschwierigkeiten zuzuschreiben sind. Die vorherrschende intensive Grünlandnutzung auf den Hochmoorflächen ist verbunden mit regelmäßigem Umbruch und Neuansaat oder Nachsaaten, starker Stickstoff-Düngung und Kalkung sowie tiefer Entwässerung. Die Folge sind Sackung, Schrumpfung und Torfschwund (vgl. Kuntze 1983). Eine ständige Vertiefung der Entwässerungsgräben wird notwendig (ebd.). Mit Aufbrauchen des Weißtorfes bildet zunehmend Schwarztorf die Kulturschicht, was zu Stau- und Haftnässe-Problemen führt (ebd.). Bereits ca. 50 % des Grünlandes hat mit Staunässe zu kämpfen (Blankenburg, LBEG, mdl. Mitteilung 12.10.2009). Die Nutzung wird immer schwieriger und unrentabler. Die Flächen fallen brach (Schmatzler 1999) oder Landwirte begegnen diesen Schwierigkeiten indem sie durch Tiefpflügen und Baggerkuhlung versuchen, einen „Mineralbodenstandort“ zu schaffen (Blankenburg 1999). Nach Tiefumbruch oder Kuhlung für die ackerbauliche Nutzung ist das Moor praktisch nicht mehr existent.

⁷ http://www.topagrar.com/index.php?option=com_content&task=view&id=19354&Itemid=516 (06.07.2010)

3.4.4 Offene Fragen und Hindernisse

Ähnlich wie bei der Torfmooskultivierung auf Schwimm-Matten ist für die abgetorften Flächen die grundsätzliche Machbarkeit gezeigt, insbesondere für eine bessere Einschätzung der Wirtschaftlichkeit ist jedoch eine großmaßstäbige Umsetzung des Produktionsverfahrens erforderlich. Folgende Fragen, die zum Großteil bereits bei den Schwimm-Matten aufgeworfen wurden, stehen im Vordergrund:

- Herkunft und Kosten der Diasporen
- Erprobung bzw. Entwicklung einer Erntetechnik
- Geeignete Flächeneinrichtung in Abhängigkeit von der Erntetechnik
- Regenerationsfähigkeit der Moose nach der Mahd
- Länge der Erntezyklen, ggf. nachlassendes Ertragspotential bei natürlicher Regeneration
- Management der Gefäßpflanzen
- Aufbereitung und Verarbeitung der Torfmoose
- Umrechnung Gewicht ↔ Volumen
- Eignung der Torfmoose im Gartenbau im Vergleich zu Weißtorf
- Weitere Verwendungsmöglichkeiten der Torfmoose

Als kritische Punkte für die Torfmooskultivierung auf Hochmoorflächen sind zusätzlich zu nennen:

- Gewährleistung einer ausreichenden, konstanten Wasserversorgung der Torfmoose
- Sehr unterschiedlich hohe Opportunitätskosten in Abhängigkeit von der Lage der Fläche und der aktuellen agrar- und energiepolitischen Förderpolitik
- Ungeklärte Kosten hinsichtlich einer möglichen Folgenutzung durch Naturschutz oder Landwirtschaft

3.5 Aufbereitung & Verwertungsoptionen

3.5.1 Aufbereitung der Torfmoos-Biomasse

Um ein verkaufsfähiges Produkt bzw. einen mit dem zu ersetzenden Weißtorf gleichwertigen Ausgangsstoff für die Substratherstellung zu erhalten, ist nach der Ernte die Aufbereitung der Torfmoose erforderlich. Im Gegensatz zur manuellen Ernte von Torfmoosen z.B. in Chile bestehen für eine maschinelle Aufbereitung in Deutschland bisher keine Erfahrungen, die über erste Versuche hinausgehen. Zu den voraussichtlichen Arbeitsschritten gehören je nach Ausgangsmaterial:

- (1) Separation: Trennung von Fremdstoffen, wie unerwünschten Gefäßpflanzen, z.B. durch Absieben
- (2) Ggf. Trocknung: Senkung von Transportkosten, z.B. durch Nutzung von Abwärme aus Biogasanlagen
- (3) Hygienisierung: Verhinderung des Auskeimens bzw. des Austreibens von im Substrat enthaltenen Samen und Pflanzenteilen, incl. der Torfmoose selber, ggf. durch Dämpfung⁸ (Substratdesinfektion durch Heißdampf) oder durch Sterilisation⁹
- (4) Fraktionierung: Herstellung von Chargen einheitlicher Größe mittels Sternsieb

Die Kosten variieren in Abhängigkeit von der Qualität des Ernteguts. Bei Biomasse aus verunkrauteten Beständen erhöht sich der Reinigungsaufwand. Bei höherem Feuchtegehalt der Torfmoose steigt die Dämpfungsdauer und somit die Energiekosten. Der aktuelle Heizölpreis sowie die Preisdifferenz zwischen den Qualitäten entscheiden, ob sich das Dämpfen lohnt. Bei der Mischung der Substrate ist ein Volumenverlust zu erwarten, der für die Torfmoose jedoch noch nicht abgeschätzt werden kann.

Zusätzlich zu den Aufbereitungskosten sind Kosten für die Lagerung zu berücksichtigen. In Abhängigkeit von der angestrebten Vermarktung ist ein loser Verkauf von Roh-Biomasse zur Aufbereitung möglich oder eine Abpackung in Big Bales (z.B. Substrat für Gartenbaubetrieb) bis hin zu kleinsten Verpackungsgrößen für den Endverbraucher (z.B. Terrarien) erforderlich.

3.5.2 Volumengewicht: Schüttdichte-Bestimmung

Für den Handel wird Weißtorf in Volumen angegeben. (Liter oder m³). Hierfür wird das Volumengewicht (g/l) nach der Richtlinie DIN EN 12580 bestimmt. Damit kann über das Gewicht der zu verkaufenden Charge das Gesamtvolumen (m³) errechnet werden. Die Schüttdichte stellt jedoch eine Momentaufnahme dar, die u.a. vom jeweiligen Feuchtegehalt abhängig ist.

In Tab. 34 sind Volumengewichte von Torfmoosproben zusammengetragen, der jeweilige Wassergehalt der Probe angegeben und das daraus abgeleitete Volumengewicht der Trockenmasse aufgeführt. Die Werte sind nur begrenzt vergleichbar, da sie nach unterschiedlichen Methoden bestimmt wurden:

Die DIN 11540 „Torfe und Torfprodukte; Technische Lieferbedingungen, Eigenschaften, Prüfverfahren“ ist die früher für die Mengenbestimmung von Weißtorf gültige Norm. Sie wurde 2001 von der Europa-Norm DIN EN 12580 „Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate - Bestimmung

⁸ Eine Dämpfung tötet z.B. Wurzelteile ab, nicht aber alle Mikroorganismen.

⁹ Eine Sterilisation durch Autoklavieren (thermische Behandlung mit i.d.R. 121°C und Überdruck) scheint nach ersten Erkenntnissen für Torfmoose ungeeignet, da sich auf den so behandelten Moosen schnell Pilze ansiedeln. Eine Sterilisation durch Bestrahlung wird bei Sphagnen chilenischer Herkunft durchgeführt (<http://www.chilemoss.com/sterilization.htm>; 07.07.2007). Es ist noch zu prüfen, inwiefern diese Methode in Deutschland zulässig ist.

der Menge“ abgelöst, um europaweit einheitliche Volumenangaben für lose und verpackte Produkte zu garantieren. In diesem Zuge wurden der Messzylinder und Siebaufsatz verändert, so dass nun die Auflockerung über drei Siebe mit Maschenweiten à 20, 40 und 60 mm erfolgt und ein 20 l-Schüttzylinder verwendet wird. Die DIN EN 13040 „Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Probenherstellung für chemische und physikalische Untersuchungen, Bestimmung des Trockenrückstands, des Feuchtigkeitsgehaltes und der Laborschüttdichte“ findet im Labor zur Bestimmung des Volumengewichts Anwendung. Das Methodengewicht der VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V.) ist ebenfalls eine Labor-Methode.

Für Torfmoose kann es keinen allgemein gültigen Umrechnungsfaktor z.B. von Trockenmasse in Volumen geben. Die Schüttdichte ist abhängig vom Trocknungsgrad, da die Restfeuchte das Gewicht maßgeblich beeinflusst. Zusätzlich führen der Wassergehalt, unterschiedliche Fragmentlängen und die jeweilige *Sphagnum*-Art zu unterschiedlichen Lagerungsdichten. Demzufolge ist die in Tab. 40 dargestellte Spannbreite von 20 g bis 42 g TM/l sehr groß. Angesichts der großen Bedeutung des Volumengewichts für die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit (vgl. Abschnitt 3.4.2.2) ist es erforderlich, durch weitere Untersuchungen einen realistischen Mittelwert zu bestimmen.

Tab. 34: Bestimmung des Volumengewichts von Torfmoosen.

Methoden	g / l	Wassergehalt (%)	g TM / l	
EN 12580	157	73	42	1
DIN 11540	24	16	20	2
	131	79	28	2
	330	89	36	2
	509	92	41	2
DIN EN 13040 (Laborschüttdichte)	26	17	22	3
LUFA-Methodengewicht	30	10	27	4
Spannbreite			20 bis 42	

1 S. Kumar, Torfwerk Moorkultur Ramsloh

2 Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau in Hannover Ahlem

3 G. Schmilewski, Klasmann-Deilmann

4 LUFA, über S. Kumar, Torfwerk Moorkultur Ramsloh

3.5.3 Verwendungsmöglichkeiten und Erlöse

3.5.3.1 Substratherstellung

Zielsetzung der Torfmooskultivierung ist der Ersatz des fossilen Rohstoffs Weißtorf in der Substratherstellung durch nachwachsende Biomasse. Im Handel von Weißtorf werden zwei Qualitäten unterschieden: A-Qualität ist unkrautfrei. B-Qualität ist, z.B. durch landwirtschaftliche Vornutzung der Abtorfungsflächen, mit Unkrautsamen verunreinigt. Darüberhinaus sind verschiedene Absiebungen auf dem Markt. Der Preis für B-Ware deutscher Herkunft liegt unter 10 €/m³. A-Ware baltischer Herkunft wird ab 15 €/m³ bzw. 30 €/m³ bei grober Körnung (20-40 mm) gehandelt. Deutscher Sodentorf (grobe Körnung oder heile Soden) erzielt Preise von bis zu 35 €/m³. Auf Grund steigender Transport- und Lohnkosten ist zukünftig von einer weiteren Erhöhung des Preises des zudem immer knapper werdenden, schon heute großteils importierten Rohstoffs Weißtorf auszugehen (Falkenberg 2008).

Der Schwerpunkt der Verwendung von Torfmoosen in Substratmischungen würde im Bereich feinerer Körnung (0-10 mm) liegen. Längere Moosstränge wären evtl. auch im Bereich 10-20 mm einzusetzen. Größere Strukturen (20-40 mm), wie sie bei der Weißtorfernte im Sodentorf-Verfahren gewonnen werden können, sind durch Torfmoose wohl nicht zu erreichen.

In Teilen der Bevölkerung besteht ein Bewusstsein über die negativen Auswirkungen der Torfgewinnung. Umweltverbände wie der BUND¹⁰ initiieren Informationskampagnen, um die Problematik weiterhin bekannt zu machen. Allerdings ist es für den Verbraucher nicht einfach, auf Torf zu verzichten. Blumenerde aus Torf wird verwirrend als „Naturprodukt“ und „Bio-Erde“ deklariert, da es keine geschützte Bezeichnung gibt. Torffreie Alternativen sind oft nur schwer zu finden und sie zu erkennen, erfordert einen kritischen Blick auf die Zusammensetzung der Erden. Auch der Kauf von Gemüse mit „Bio-Siegel“ gibt keine Gewähr für den Konsum von Gemüse aus torffreier Anzucht. Eine Zertifizierung und klare Kennzeichnung von torffreien Produkten lässt eine höhere Zahlungsbereitschaft der Verbraucher und bessere Erlösmöglichkeiten erwarten.

3.5.3.2 Zierpflanzen

Bisher auf dem Markt erhältliches Torfmoos¹¹ kommt überwiegend aus Neuseeland und in den vergangenen 10 Jahren zunehmend aus Chile (vgl. Buxton 2008). Es wird als Substrat für Zierpflanzen, insbesondere Orchideen, aber z.B. auch Bromelien, Bonsai und Moorbeetpflanzen wie Sonnentau genutzt. Die per Hand geerntete Biomasse (vgl. Abschnitt 3.4.1.4) wird in aller Regel getrocknet und bestrahlt auf den Markt gebracht. Die Torfmoose werden für unterschiedliche Verwendungsmöglichkeiten aufbereitet und verkauft:

- grob, zum Umwickeln → bei Empfindlichkeit der Pflanzen gegenüber Verdichtung
- gröbere Strukturen, als Substrat → z.B. Orchideen, die in reinem *Sphagnum* wachsen
- fein, als Substratrohstoff (z.B. in Mischung mit Pinienrinde)
- Plättchen aus gepresstem *Sphagnum* → Vermehrung: Pflänzchen dazwischen stecken, in Wasser aufquellen lassen
- verarbeitet als hängende Körbe, lebende Wände etc.
- ...

Länge, Dicke und Farbe bestimmen die Qualitäten, die je nach Händler mit Sternen (z.B. 5 Sterne) oder Buchstaben (AAAA bis B) angegeben werden. Die Packungsgrößen für den Endverbraucher variieren von ca. 75 g bis 40 kg. Je nach Packungsgröße liegen die Preise zwischen 15 und 95 €/kg.

Vereinzelt werden auch lebende Torfmoose zu noch deutlich höheren Preisen wie z.B. 1.500 € bis 5.000 €/m³ angeboten.

3.5.3.3 Terrarien

Im Terrarien-Sektor werden ebenfalls Torfmoose gehandelt. *Sphagnen* werden wegen ihrer Wasserhaltefähigkeit geschätzt, um z.B. eine hohe Luftfeuchte im Terrarium zu sichern. Sie dienen als Substrat für die Eiablage, für feuchte Verstecke, für die Überwinterung und den Transport. Torfmoose werden für die Haltung von Amphibien (Frösche), Reptilien (Geckos, Schildkröten, Schlangen) und Spinnen verwendet.

¹⁰ „Torf tötet“, „Ich bin kein Torfkopp“

http://www.bund.net/bundnet/themen_und_projekte/naturschutz/moore/sei_kein_torfkopp/ (05.07.2010)

¹¹ www.losvolcanes.com (Chile)

www.chilemoss.com (Chile)

www.beautifulorchids.com/orchids/Accessories/moss/sphagnum.html (Neuseeland)

www.orchidweb.com/detail.aspx?id=362 (Neuseeland)

www.justmoss.com (Neuseeland)

(letzter Aufruf aller Internetseiten: 07.07.2010)

3.5.3.4 Weitere Optionen

An erster Stelle existiert eine große Nachfrage nach Torfmoos-„Saatgut“. Die Möglichkeit der Etablierung von Torfmoosrasen über Fragmente ist praktisch erprobt, der Bedarf ist bei einem Verhältnis von 1:10 jedoch sehr hoch. Neben dem „Saatgut“ für eine kommerzielle Kultivierung von Torfmoosen besteht auch seitens des Naturschutzes ein Interesse an Diasporen, um den Erfolg von Restaurierungsvorhaben zu verbessern.

Weitere Verwendungsmöglichkeiten bestehen darüber hinaus in der Herstellung eines Absorbtionsmittel¹² für bei Öl- und Chemieunfällen ausgelaufenen Flüssigkeiten wie Öl, Pestizide und Schwermetalle, als Hygieneartikel (z.B. Absorbec™ von Johnson & Johnson) oder auch in der Medizin. Auf Grund der positiven Eigenschaften der Moose besteht eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten, die z.T. vermutlich noch gar nicht bekannt ist.

¹² <http://www.spillsorb.com/> (05.07.2010)

3.6 Volkswirtschaftliche Bewertung

3.6.1 Externe Effekte: Umweltschutz

Die volkswirtschaftliche Bewertung betrachtet die gesamtgesellschaftlichen Kosten und Nutzen eines Produktionsverfahrens. Hierzu zählen insbesondere die sogenannten „externen Effekten“. Das sind diejenigen positiven und negativen Auswirkungen für Dritte, die zwar mit dem Produktionsverfahren verbunden sind, die jedoch nicht marktfähig sind und sich somit nicht in einer betriebswirtschaftlichen Kalkulation widerspiegeln: Weder werden positive Effekte als Leistungen entgolten, noch negative Effekte als Kosten berücksichtigt. Hierzu zählen insbesondere Umwelteffekte. Sie sind häufig dadurch gekennzeichnet, dass sie sich zum einen nur schwer beziffern, bewerten und monetarisieren lassen und zum anderen nicht allein einem Verursacher zuzuordnen sind.

Die Umwelt mit sauberer Luft, sauberem Wasser, funktionsfähigen Ökosystemen mit wohlfahrtsrelevanten Dienstleistungen usw. ist ein öffentliches Gut. Sie wird von allen gebraucht, es besteht keine Rivalität im Konsum und niemand kann von der Nutzung ausgeschlossen werden. An dieser Stelle versagt die „unsichtbare Hand“ des Marktes: „Da die Kosten und Ersparnisse vom Urheber der Exernalität nicht berücksichtigt werden, wird aus volkswirtschaftlicher Sicht die wirtschaftliche Aktivität bei negativen externen Effekten zu sehr ausgeweitet – weil sie zu ‚billig‘ ist und den Verursacher nicht durch die Kostenbelastung ‚bremst‘ –, während sie bei positiven externen Effekten zu gering ist.“ (Altmann 2009) Es gibt jedoch Ansätze zur sogenannten „Internalisierung“ externer Effekte. Der Staat kann im Interesse der Gesellschaft regulierend eingreifen. Es besteht ein große Bandbreite umweltspezifischer Instrumente, die je nach Ausgangssituation eingesetzt werden können: Abgaben (Steuern oder Gebühren), Auflagen (Verbote oder Gebote, z.B. Grenzwerte), Anreize (Subventionen, Steuerergünstigungen) oder Zertifikate (z.B. Handel von CO₂-Emissionsrechten).

Bei der Torfmooskultivierung mit dem Ziel des Ersatzes von Weißtorf sind als positive externe Effekte die Funktionen und Leistungen intakter Moore zu berücksichtigen, die durch Vermeidung des Torfabbaus erhalten bleiben. Darüber hinaus wird bei der Torfmooskultivierung auf abgetorften Hochmoorflächen durch die nasse Bewirtschaftung der Moorböden weiterer gesellschaftlicher Nutzen gestiftet (vgl. Tab. 35). Demgegenüber stehen die negativen Effekte, die durch Degradierung der Moore durch Entwässerung oder Abbau für die Torfgewinnung entstehen: Kohlenstoff-Freisetzung, Verlust der Funktionen natürlicher Moore als Lebensraum, für den Landschaftswasserhaushalt, als Senken-Ökosysteme und als Archive der Landschaftsgeschichte. Bei dem Ersatz von Torfmoosen aus natürlichen Beständen bestehen die positiven externen Effekte in der Vermeidung der Transportemissionen von z.B. Neuseeland und Chile nach Europa sowie der Reduzierung der Eingriffe in natürliche Moore sowie deren potentieller Übernutzung.

Eine umfassende gesamtgesellschaftliche Bewertung der Vermeidung der Zerstörung von Mooren zur Weißtorf-Gewinnung durch die Torfmooskultivierung kann hier nicht erfolgen. Externe Effekte stehen charakteristischer Weise ganz oder teilweise außerhalb des Marktes, – entsprechend schwierig ist es, sie zu erfassen, zu quantifizieren, zu bewerten und zu monetarisieren, um sie – als Geldwert ausgedrückt – in volkswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Analysen berücksichtigen zu können. In großen Studien werden in den letzten Jahren die Möglichkeiten und Grenzen der In-Wert-Setzung der Natur und der ökonomischen Bewertung von Ökosystemdienstleistungen untersucht (z.B. Stern-Report on the Economics of Climate Change¹³, TEEB-Studie: The Economics of Ecosystems and Biodiversity¹⁴).

¹³ http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm (07.07.2007)

¹⁴ <http://www.teebweb.org/> (07.07.2007)

Tab. 35: Potenzielle Effekte der Produktion von Torfmoosen zur Substitution von Weißtorf.

Potenzielle Effekte (i.w.S.)	Torfmooskultivierung auf...	
	Schwimm-Matten	abgetorfem Hochmoor
Externe Effekte: Umweltschutz		
Vermeidung von Entwässerung und Abtorfung natürlicher Moore → Erhalt von: <ul style="list-style-type: none"> • Biodiversität • Wasserrückhalt in der Landschaft • Kohlenstoffspeicher • Archive der Landschaftsgeschichte 	x x x x	x x x x
Nasse Bewirtschaftung von degradierten Hochmoorböden: <ul style="list-style-type: none"> • Reduzierung der Kohlenstoff-Emissionen → Klimaschutz • Ersatz-Lebensraum für gefährdete Hochmoor-Arten • Ausgleichende Wirkung für das Regionalklima 	- -	x x x
Beschäftigungseffekte		
Verhinderung der Verlagerung der Substrat- und Erdenproduktion z.B. ins Baltikum → Erhalt von Arbeitsplätzen in Deutschland auch nach Ablauf der Torfabbaugenehmigungen	x	x
Verhinderung der Verlagerung des Gartenbaus → Erhalt von Arbeitsplätzen in Deutschland	x	x
Nutzungsperspektive für saure Gewässer in strukturschwachen Bergbaufolgelandschaften → Schaffung von Arbeitsplätzen	x	-

In diesem Rahmen sei auf Grund der großen Bedeutung von Mooren als langfristiger Kohlenstoff-Speicher stellvertretend auf die Emission von Treibhausgasen¹⁵ als Ursache für den externen Effekt des Klimawandels eingegangen.

Bei einer durchschnittlichen Produktivität von 100 m³ Torfmoosen pro Hektar und Jahr zum Ersatz von Weißtorf mit einem Kohlenstoffgehalt von ca. 50 kg/m³ können Emissionen in Höhe von ca. 18 t CO₂/ha*a eingespart werden (vgl. Höper 2007). Die in wachsenden Mooren erfolgende Kohlenstoff-Festlegung, ist auf Grund der geringen Torfakkumulationsrate von ca. 1 mm/Jahr zahlenmäßig zu vernachlässigen. Diese indirekte Klimawirksamkeit der Torfmooskultivierung durch den Torferhalt in intakten Mooren gilt – bei gleichem Ertragsniveau – gleichermaßen für die Mattenvariante und die Bodenvariante. Zusätzlich entfällt durch die lokale Produktion eines Substratrohstoffes der Torftransport aus den immer entfernten Torfabbauregionen zu Torfindustrie und Gartenbau in Deutschland. Die eingesparten Emissionen können bei einer angenommenen Entfernung von ca. 1.500 km (einfache Strecke) und einem Verbrauch von 35 l/100 km je Lkw mit ca. 1,6 tCO₂ angenommen werden¹⁶. Eine LKW-Ladung Weißtorf wird auf 108 m³ geschätzt (24 Paletten mit je einem Big Bale à 4,5 m³), so dass dem Substitut Torfmoos eine Einsparung von weiteren 1,5 t CO₂/ha*a zugeschrieben werden kann.

Für das Produktionsverfahren auf abgetorfem Hochmoor ist darüberhinaus ein Torferhalt durch die konstant nasse Bewirtschaftung der Hochmoorböden anzunehmen. Die Klimagasemissionen der Torfmoos-Versuchsfläche in Ramsloh werden seit 01.09.2009 gemessen, erste Ergebnisse werden jedoch erst Ende 2010 vorliegen (Höper, LBEG, schr. Auskunft 17.05.2010) und können somit noch nicht berücksichtigt werden. Zusätzlich müssten die Emissionen aus Gräben/Gräben sowie der Fahrdämme einbezogen werden. Würde nach Torfabbau alternativ zur Torfmooskultivierung eine Restaurierung erfolgen, ist je nach Wasserstand und Vegetation weiterhin mit erhöhten, über dem

¹⁵ CO₂-Emissionen aus dem Maschineneinsatz für Bewirtschaftung (Torfabbau bzw. Torfmooskultivierung) und dem Transport vor Ort werden vernachlässigt.

¹⁶ <http://www.compense.de> (07.07.2007)

Niveau naturnaher Flächen liegenden Treibhausgasemissionen zu rechnen (Höper 2007). Eine landwirtschaftliche Folgenutzung mit tiefer Entwässerung kann erhebliche Emissionen an CO₂ und N₂O verursachen (Couwenberg 2009). Für intensiv landwirtschaftlich genutzte Hochmoorböden oder gekühlte Flächen bestehen jedoch noch Lücken hinsichtlich der Messungen des Gasaustauschs (Höper 2007; Höper, LBEG, schr. Auskunft 17.05.2010).

Erscheint eine Abschätzung der Menge der bei Verzicht auf Weißtorfabbau eingesparten Treibhausgasemissionen noch machbar bzw. sind für die Bewertung unterschiedlicher Nutzungsoptionen für Moorböden noch weitere Klimagasmessungen möglich, ist eine Bewertung der externen Effekte der Emissionen ausgesprochen schwierig. Der Klimawandel und seine Folgen für Mensch und Natur sind global, langfristig und anhaltend, die Unsicherheiten und Risiken hinsichtlich der ökonomischen Folgen sind weitreichend und es besteht ein ernstes Risiko eines großen, irreversiblen Wandels mit wesentlichen ökonomischen Auswirkungen (Stern 2006). Um den eingesparten Emissionen einen Geldwert zuweisen zu können, kann man folgende Hilfsmittel nutzen.

Handel mit Emissionszertifikaten

Auf dem seit 2005 innerhalb der EU existierenden Markt für den Handel mit Emissionszertifikaten hat sich der Preis für eine Tonne CO₂ auf ca. 15 € eingepegelt¹⁷. Bei Ausschöpfen der zugeteilten Emissionsrechte stehen Industriebetriebe vor der ökonomischen Entscheidung, Investitionen für die Reduktion ihrer Emissionen vorzunehmen oder zusätzliche Emissionszertifikate zu erwerben. Werden hingegen die Emissionsrechte nicht ausgeschöpft, können sie zum Verkauf angeboten werden. Ungeachtet dessen, dass die auf Moorstandorten eingesparten Emissionen hier (noch) nicht handelbar sind, können demnach für die Torfmooskultivierung auf Schwimm-Matten bei Vermeidung von ca. 20 t CO₂/ha*a 300€ und für die Torfmooskultivierung auf abgetorften Hochmoor anstelle einer intensiven, landwirtschaftlichen Nutzung mit einer Vermeidung von insgesamt ca. 30 t CO₂/ha*a je Hektar und Jahr 450 € angenommen werden.

Vermeidungskosten

Um die Ziele zur Reduktion von Treibhausgasen zu erreichen wird von staatlicher Seite in vielen Bereichen eingegriffen, indem über umweltpolitische Instrumente wie Subventionen, Investitionsbeihilfen und Steuern gesellschaftliche Gelder ausgereicht werden. Hierzu zählen die Förderung der Wärmedämmung von Gebäuden, die Öko-Steuer auf Benzin oder die Subventionierung der Nutzung von Wasser-, Wind- und Solarenergie. Im Landnutzungsbereich wird die Bioenergie-Erzeugung massiv gefördert. Die Vermeidungsleistung, angegeben in Tonnen CO₂-Äquivalente je Hektar, sowie die Vermeidungskosten¹⁸ in Euro je Tonne vermiedene CO₂-Äquivalente sind jedoch sehr differenziert zu bewerten (vgl. Abb. 79). So ist die Erzeugung von Biokraftstoffen oder Biogas auf Maisbasis mit 150 € bis weit über 300 €/t CO₂ als teuer einzustufen (WBA 2007). Der Wissenschaftliche Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (WBA) empfiehlt eine Konzentration auf Bioenergielinien, die Klimaschutz bei Vermeidungskosten < 50 €/t CO₂-äq ermöglichen (ebd.).

¹⁷ European Climate Exchange (<http://www.ecx.eu/>) und Climate Corporation (<http://www.climatecorp.com/>); (02.07.2010)

¹⁸ „Die CO₂-äq-Vermeidungskosten geben an, welche zusätzlichen Kosten einer Volkswirtschaft durch Subventionen und Subventionsäquivalente (Steuererleichterung, Mindestvergütung, Beimischungszwang, etc.) entstehen, wenn mit Hilfe der jeweiligen Bioenergie-Linie die CO₂-äq-Emissionen um eine Tonne reduziert werden.“ (WBA 2007)

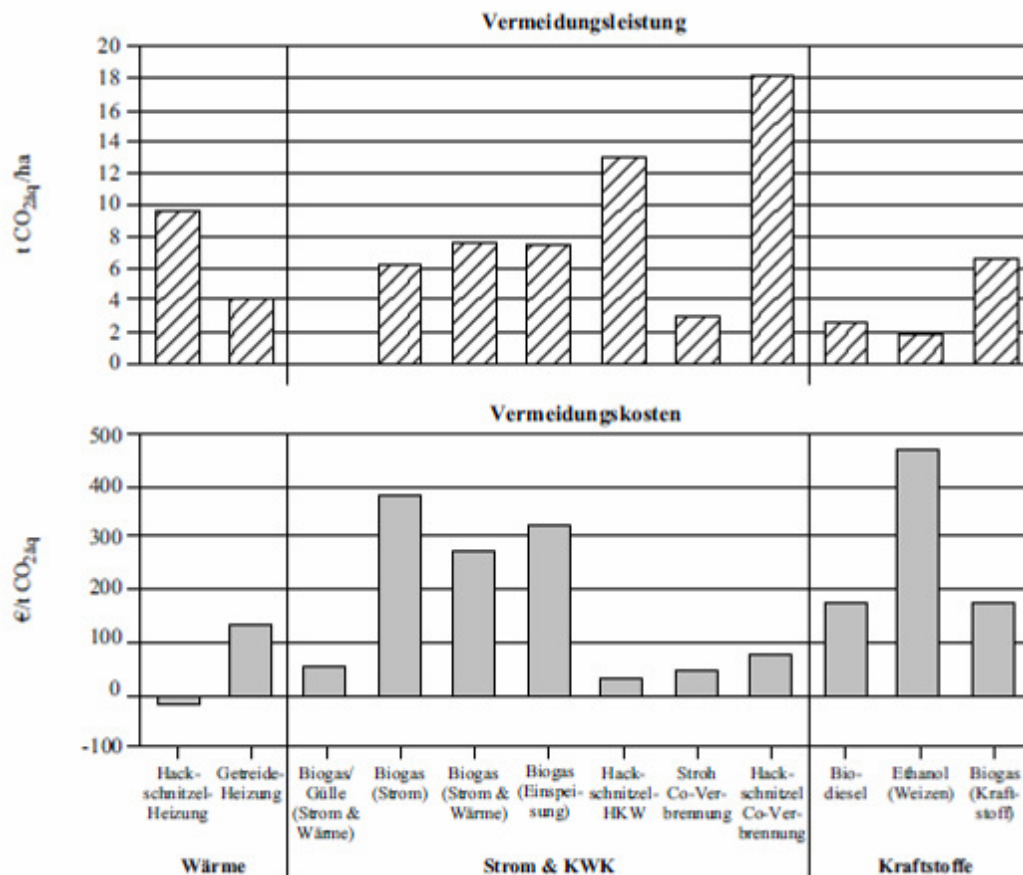


Abb. 79: CO₂-äq-Vermeidungskosten und Vermeidungsleistung bei der Erzeugung von Biomasse für die energetische Nutzung (WBA 2007).

Wird der Mais auf Moorböden angebaut, werden in zweifacher Hinsicht volkswirtschaftliche Kosten verursacht. Zusätzlich zum ineffizienten Einsatz von Subventionsäquivalenten für Biogas aus Mais werden durch die Torfmineralisation der intensiv genutzten Moorstandorte in großem Umfang Treibhausgasemissionen freigesetzt. Somit wird durch den Anbau des „Bio“-Energieträgers Mais für Biogas bis zu zehnmal mehr CO₂ je erzeugter Energieeinheit emittiert als beim fossilen Energieträger Heizöl (Couwenberg 2007).

Sowohl die Torfmooskultivierung auf Schwimm-Matten als auch auf abgetorften Hochmoor weist im Vergleich zu den Landnutzungsformen in Abb. 79 mit insgesamt 20 bzw. 30 t CO₂ je Hektar Kultivierungsfläche eine ausgesprochen hohe Vermeidungsleistung auf. Wird bei der Kultivierung auf abgetorften Hochmoorflächen nach Verfahrensvariante 2 und bei einem geringen Erlös von 25 €/m³ Torfmoose ein Defizit von 900 €/ha Kultivierungsfläche angenommen, betragen die Vermeidungskosten 30 €/t CO₂. Sie liegen somit unter der vom WBA (2007) empfohlenen Kostengrenze. Daher sollte die Fehlallokation gesellschaftlicher Mittel für die „Bio“-Energieerzeugung auf Moor zu Gunsten der Torfmooskultivierung auf Hochmoor korrigiert werden. Für die Kultivierung von Schwimm-Matten betragen die Vermeidungskosten bei gleichem Erlösniveau (25 €/m³) und den derzeitigen Kostenannahmen für Verfahrensvariante 3 gut 1.000 €/tCO₂.

3.6.2 Beschäftigungseffekte

Mit steigenden Lohnkosten in den Weißtorf exportierenden Ländern (v.a. dem Baltikum, Russland, Polen) sowie zunehmenden Transportkosten verteuern sich die Kosten des Substratrohstoffs. Falkenberg (2008) prognostiziert daher einen Wandel hin zu einer höheren Wertschöpfung vor Ort: Anstelle von Gewinnung und Export eines Rohstoffs würde der Weißtorf direkt zu Kultursubstraten weiterverarbeitet und in die südeuropäischen Gartenbauländer geliefert werden. Die direkte Vermarktung, ohne Umweg über die Niederlande oder Deutschland, würde für die Länder, die derzeit ca. 80 % der Weißtorf-Substrate für Europa erzeugen, jedoch erhebliche Marktverluste bedeuten (ebd.). In der deutschen Torfindustrie sind in ca. 90 Betrieben etwa 2.100 bzw. saisonal 2.400 Beschäftigte angestellt (ebd.). Torfgewinnung und Substratherstellung finden in der Regel in strukturschwachen, peripheren Regionen statt, die von einem chronischen Mangel an Beschäftigungsmöglichkeiten geprägt sind (Altmann 2008). Der Verlust von Arbeitsplätzen würde daher bei fehlenden Beschäftigungsalternativen zu volkswirtschaftlichen Kosten in Form von Sozialleistungen wie Arbeitslosengeld I und II, Wohngeld u. ä. führen.

Die Herstellung der Gartenbausubstrate in der Nähe der Rohstofflagerstätten im Baltikum sowie die Veränderung der Vermarktungswege könnte zudem eine Verlagerung von Teilen des Gartenbaus in Länder mit geringeren Lohnkosten nach sich ziehen. Der deutsche Profigartenbau wäre mit 45.000 Haupterwerbsbetrieben mit ca. 400.000 Beschäftigten und einem Wirtschaftsvolumen von ca. 8 Mrd. € betroffen (Falkenberg 2008). Zusätzlich zum Verlust von Arbeitsplätzen weist Altmann (2008) auf die zunehmende Abhängigkeit von Importen sowie den geringeren Einfluss auf Produktions- und Qualitätsaspekte hin, insbesondere wenn die Verlagerung der Produktion in Nicht-EU-Länder erfolgt.

Durch die Kultivierung von Torfmoosen könnte ein zunehmend importierter, wesentlicher Ausgangsstoff für Gartenbausubstrate zumindest anteilig mit einem Substitut ersetzt werden, das in Deutschland erzeugt werden kann. Somit können der Verlust von Arbeitsplätzen in Torfwirtschaft und Gartenbau vermindert sowie die damit verbundenen volkswirtschaftlichen Kosten reduziert werden.

Zusätzlich bietet die Torfmooskultivierung auf Tagebauseen in strukturschwachen Bergbaufolgelandschaften Beschäftigungsalternativen sowie eine neue Option für die Regionalentwicklung. Angesichts der Beschäftigungssituation in der Region wird der Schaffung von Arbeitsplätzen eine hohe Bedeutung zugemessen: Das Lausitzer Seenland umfasst Teile der sächsischen Landkreise Görlitz und Bautzen sowie des brandenburgischen Landkreises Oberspreewald-Lausitz. Die Landkreise Görlitz und Oberspreewald-Lausitz weisen mit ca. 24 % und ca. 26 % die höchste bzw. zweithöchste Arbeitslosenquote in ihrem Bundesland auf. Der Landkreis Bautzen liegt mit ca. 20 % im Landesdurchschnitt Sachsens sowie Brandenburgs. Der Bundesdurchschnitt beträgt ca. 11 %.¹⁹

¹⁹ Arbeitslosenquoten für die Jahre 2003-2005 (zuletzt aufgerufen am 09.07.2010):

Sachsen: http://www.statistik.sachsen.de/21/03_04/03_04_03_tabelle.asp

Brandenburg: <http://www.statistik.brandenburg.de/sixcms/detail.php/lbm1.c.236633.de>

BRD: <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Zeitreihen/LangeReihen/Arbeitsmarkt/Content100/lrab001ga.templateId=renderPrint.psml>

3.7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Das Projekt Moosfarm konnte die grundsätzliche Machbarkeit der Kultivierung von Torfmoosen auf Schwimm-Matten zeigen. Es fehlen jedoch die Erfahrungen einer großmaßstäbigen und maschinellen Umsetzung des potentiellen Produktionsverfahrens. Für die ökonomische Analyse wurden daher Annahmen zur Verfahrensgestaltung getroffen, konservative Schätzungen von Maschinenkosten und Arbeitszeitbedarf vorgenommen und Modellkalkulationen für unterschiedliche Verfahrens-, Ertrags- und Erlösvarianten durchgeführt.

Bei der Kalkulation der Kosten der Schwimm-Matten-Produktion wurde deutlich, dass die Materialauswahl nicht nur vom Preis, sondern auch von der Lebensdauer abhängig gemacht werden sollte. Ist für ein kurzfristiges Projekt der Einsatz von Styropor kostengünstiger, so überwiegt bei einer längeren Laufzeit der Vorteil der besseren Haltbarkeit von Styrodur den Kostenvorteil von Styropor beim Einkauf.

Die Einrichtung der Produktionsfläche stellt mit ca. 14 €/m² den größten Kostenfaktor im Produktionsverfahren dar. Allein ca. 10 € entfallen auf den Ankauf von Schwimm- und Trägermatten. Bei Annahme einer Vorkultur der Trägermatten verteuert sich die Flächeneinrichtung um 3 € auf ca. 17 €/m². Die Bewirtschaftungskosten wie Flächenkontrolle und Beerntung der Schwimm-Matten machen hingegen nur einen geringen Teil der Gesamtkosten aus. Je nach Verfahrensvariante – mit/ohne Vorkultur bzw. nach der Ernte Neuetaablierung über Trägermatte oder natürliche Regeneration – liegen die als Annuität ausgedrückten Gesamtkosten bei 2,60 €, 4 € bzw. 9,30 € je Quadratmeter und Jahr (Laufzeit: 15 Jahre). Mit einem Preis von 25 €/m³, der sich an dem beim Weißtorfhandel für die Substratherstellung üblichen Preisniveau orientiert, liegen die jährlichen Verluste bei ca. 2 € bis 9 €/m². Der Break even Point der kostengünstigsten Produktionsvariante wird bei einem Erlös von 127 €/m³ erreicht. Werden weitere Einsatzmöglichkeiten für Torfmoose in Erwägung gezogen und aktuelle Handelspreise von *Sphagnen* für die Orchideen-Zucht zu Grunde gelegt (600 €/m³), weisen alle Varianten deutliche Gewinne zwischen 8 und 16 €/m²*a auf. Gleichzeitig wird im Hochpreissektor die Vorteilhaftigkeit der Intensivierung des Verfahrens mit Vorkultur und jährlicher Mattenbeerntung deutlich.

Für saure Tagebaugewässer wurden keine wirtschaftlichen Nutzungskonkurrenzen festgestellt, so dass dem Verfahren keine Opportunitätskosten angelastet werden. Es ist allerdings eine Reduktion der verfügbaren Gewässerfläche insbesondere durch Flutung mit Flusswasser und Kalkung der Tagebauseen festzustellen, so dass die potentielle Produktionsfläche in Deutschland auf 5.000 ha geschätzt wird. Bei einem durchschnittlichen Ernteaufkommen von 100m³ pro Hektar und einem potentiellen Jahresaufkommen von 500.000 m³ Torfmoosen könnte die heutige Nachfrage der deutschen Torf- und Humuswirtschaft an Weißtorf zu ca. 15 % gedeckt werden.

Im Vergleich zur Kultivierung von Torfmoosen auf Schwimm-Matten wurde die Kultivierung auf abgetorften Hochmoorflächen untersucht. Auch hier ist die Machbarkeit auf einer Demonstrationsfläche bereits gezeigt worden, die großmaßstäbige Umsetzung steht jedoch noch aus. Die Kosten für die Flächeneinrichtung sind mit ca. 9.000 €/ha (bzw. umgelegt auf die Nutzungsdauer je nach Verfahrensvariante 620 € bzw. 660 € pro Hektar und Jahr) erheblich niedriger als die Produktion und Ausbringung von Schwimm-Matten. Trotz höherer laufender Kosten z.B. für die Pflege oder flächengebundene Kosten wie der entgangene Nutzen alternativer Produktionsverfahren bleiben die Gesamtkosten mit 2.800 € bis 3.600 €/ha*a deutlich niedriger als beim Matten-Verfahren. Dementsprechend können bei einem Erlös von 25 €/m³ zumindest bei optimistischen Biomasse-Erträgen von 5 t TM/ha*a, bei einer Verdopplung auf 50 €/m³ jedoch auch bei realistischen Erträgen von 2,5 t TM/ha*a die Verfahrenskosten gedeckt werden. Da für herkömmlichen Weißtorf einmalig im Jahr 1997 bereits ca. 50 €/m³ gezahlt wurden, als schlechte Witterungsbedingungen die Torf-

gewinnung behinderten, und zudem zukünftige Preissteigerungen im Weißtorfsektor sowie die Option einer Zertifizierung „torffreier“ Erde angenommen werden kann, ist der Einsatz von Torfmoosen im Substratbereich auch weiterhin anzustreben. Die potentielle Produktionsfläche für Torfmoose auf abgetorfem Hochmoor wird auf 20.000 ha geschätzt. Bei einem realistischen Ertrag von 2,5 t TM bzw. 83 m³ pro Hektar und Jahr ergibt sich ein potentielles Jahresaufkommen von 1,7 Mio m³ Torfmoosen, was ca. 50 % der derzeitigen Weißtorfnachfrage der deutschen Torf- und Humuswirtschaft entspricht.

Sowohl für die Torfmooskultivierung auf Schwimm-Matten als auch für die Produktion auf abgetorften Hochmoorflächen bestehen offene Fragen. Hierzu zählen z.B. die Herkunft und Kosten der Diasporen, die Regenerationsfähigkeit der Moose nach einer Mahd, die Aufbereitung und Verarbeitung der Torfmoose sowie die Umrechnung der Erträge von Gewicht in Volumen, um eine Vergleichbarkeit mit Weißtorf zu ermöglichen.

Die Vorteile der Schwimm-Matten bestehen in der optimalen Wasserversorgung der Moose, der Möglichkeit unkrautfreier Produktion, z.B. für den Verkauf von Torfmoos-Diasporen, und geringen flächengebundenen Kosten. Die – nach erster Einschätzung – hohen Mattenkosten sind kritisch einzuschätzen.

Die Vorteile der abgetorften Hochmoorflächen liegen insbesondere in den niedrigeren Produktionskosten. Zusätzlich sind auf volkswirtschaftlicher Ebene positive Effekte durch die nasse Bewirtschaftung der degradierten Hochmoore in Form von vermiedenen Treibhausgasen sowie der Bereitstellung von Ersatzlebensraum für gefährdete Hochmoorarten zu nennen. Als problematisch sind eine eventuell unzureichende Wasserversorgung der Moose, eine ggf. hohe Flächenkonkurrenz mit landwirtschaftlicher Nutzung und demzufolge hohe Opportunitätskosten einzustufen.

Um die betriebswirtschaftlichen Erfolgsaussichten zu verbessern, sind als Ansatzpunkte zur Optimierung der Torfmooskultivierung die Senkung der Produktionskosten, die Steigerung der Produktivität z.B. durch ausgewählte Torfmoos-Sippen sowie die Erschließung anderer Märkte wie z.B. für Torfmoos-Diasporen, Orchideenzucht, Terrarienkunde oder Medizin zu nennen. Gleichzeitig ist der hohe volkswirtschaftliche Nutzen des Einsatzes von Torfmoosen zur Substitution von Weißtorf zu betonen. Intakte Moore erbringen eine Vielzahl von Ökosystemdienstleistungen, wobei insbesondere dem langfristig im Torf festgelegten Kohlenstoff eine hohe Bedeutung zukommt. Die Torfmooskultivierung ist eine hinsichtlich der Vermeidungsleistung pro Hektar effektive und in Bezug auf die Boden-Variante angesichts geringer CO₂-Vermeidungskosten gesellschaftlich kostengünstige Möglichkeit zur Reduktion von Klimagasen.

4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

4.1 Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten

Das zentrale Ergebnis des Projektes ist die erfolgreiche Entwicklung eines Prototyps für einen schwimmfähigen Vegetationsträger zur Torfmooskultivierung auf Gewässern, der sowohl den physikalischen Anforderungen von Seiten der Torfmoose entspricht, als auch maschinell herstellbar und preisgünstig ist. Die großtechnische Produktion des Prototyps ist nach einigen Anpassungen möglich. Zur Optimierung des Vegetationsträgers ist dessen Weiterentwicklung angebracht.

In zahlreichen Versuchen wurden die am besten geeigneten *Sphagnum*-Arten, Fragmentgrößen und abiotischen Bedingungen ermittelt, die für eine erfolgreiche Torfmooskultivierung auf Hochmoorgewässern in Niedersachsen ausschlaggebend sind. Zur Etablierung von *Sphagnum* als neue Kulturpflanze sind weitere Forschungen hinsichtlich Selektion optimal wachsender Arten und Sippen (Herkünfte) erforderlich. Die Erfahrungen zu externen, zuvor nicht absehbaren Einflüssen bereiten auf potentielle Schwierigkeiten bei der großflächigen Umsetzung vor bzw. ermöglichen gezieltes Entgegenwirken.

Die Verwendung von Torfmoos-Frischmasse als Substratrohstoff für den Erwerbsgartenbau wurde an der HU Berlin erfolgreich getestet (vgl. Abschlussbericht IASP). Als nächster Schritt ist die Optimierung der Substrate und Kulturverfahren auch im industriellen Maßstab zu verfolgen.

Das Produktionsverfahren ist bisher nicht technisiert. Einrichtung, Pflege und Ernte erfolgten in den Versuchen manuell. Für die maschinelle Umsetzung wurden jedoch Konzepte entwickelt (vgl. Abschlußbericht IASP) bzw. erfolgten erste Testläufe (Bestückung der Matten mit Torfmoosen).

Nach wie vor ist die Herstellung von reinem „Saatgut“ zur Ausbringung auf die Matten offen. Bisher wurden die Torfmoose in natürlichen Beständen gesammelt und manuell sortiert. Diese sehr aufwendige Methode ist für die großflächige Umsetzung nicht realisierbar. Deshalb sind Forschungen hierfür dringend erforderlich.

Im Projekt konnte die prinzipielle Machbarkeit der Torfmoosproduktion auf schwimmfähigen Vegetationsträgern nachgewiesen werden. Die Ergebnisse sind viel versprechend und stellen die Basis für eine großmaßstäbige Umsetzung dar, die als realisierbar eingeschätzt wird.

4.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Lässt sich Weißtorf im Hobby-Bereich weitgehend durch Alternativen ersetzen, fehlte bisher insbesondere im Erwerbsgartenbau ein adäquates Substitut. Die Versuche mit Torfmoosen als Substratrohstoff legen nahe, dass diese ähnlich positive physikalische und chemische Eigenschaften wie Weißtorf aufweisen und als nachwachsender Rohstoff die endliche Ressource Weißtorf weitestgehend ersetzen können. Damit haben Torfmoose ein großes wirtschaftliches Potential.

Jährlich werden 3-4 Mio. m³ Weißtorf in der deutschen Torf- und Humuswirtschaft eingesetzt, von denen nur ca. 1 Mio m³ in Deutschland gewonnen werden können. Der immer knapper werdende, zu importierende Rohstoff wird sich auch durch steigende Transport- und Lohnkosten zukünftig weiter verteuern. Mit einer potentiellen Produktionsfläche von 5.000 ha auf sauren Tagebaugewässern könnten bei einem mittleren Netto-Ertrag von 3 t TM bzw. 100 m³ je Hektar pro Jahr 15.000 t TM und somit ca. 15 % der deutschen Weißtorfnachfrage ersetzt werden. Zusätzlich können auf ca. 20.000 ha abgetorften Hochmoorflächen 2,5 t TM bzw. 83 m³ je Hektar und somit insgesamt weitere 1,7 Mio m³ Torfmoose (ca. 50 % der Jahresnachfrage) produziert werden. Unter Berücksichtigung des Hochmoor-

grünlandes als potentielle Torfmooskultivierungsfläche ist der gesamte Bedarf an Weißtorf durch Torfmoose ersetzbar.

Das Einsatzpotential der Torfmoose ist positiv zu bewerten. Demgegenüber zeigten die Modellkalkulationen, dass Torfmoose nicht mit den aktuell gültigen Handelspreisen von Weißtorf konkurrieren können. Dies betrifft insbesondere die sehr kostenintensive Produktion von Schwimm- und Trägermatten zur Kultivierung von Torfmoosen auf Tagebauseen. Die kostengünstigste Verfahrensvariante erfordert einen Erlös von 127 €/m³, um die Produktionskosten zu decken (break even point). Die Herrichtung von abgetorften Hochmoorflächen für die Torfmooskultivierung ist zu geringeren Kosten möglich. Doch auch hier sind bei einem Preisniveau von 25 €/m³ hohe Erträge oder aber eine Steigerung der Erlöse (z.B. 50 €/m³) erforderlich, um bei der betriebswirtschaftlichen Vollkostenrechnung einen Gewinn zu verzeichnen.

Wirtschaftliche Risiken stellen die unbekanntenen Kosten für den Ankauf von Diasporen, die Abhängigkeit der Erlöse von den Erträgen, insbesondere das unzureichend bekannte Volumengewicht von Torfmoosen, die fehlende großmaßstäbige und maschinelle Erprobung der Produktionsverfahren sowie die mangelnden Erfahrungen zur Aufbereitung der Torfmoose dar. Die derzeitige Kostenstruktur der Modellkalkulationen basiert jedoch auf konservativen Annahmen, so dass sowohl die Reduzierung von Verfahrenskosten als auch die Erzielung höherer Erträge wahrscheinlich sind.

Zusätzlich zum Substratbereich mit seinem niedrigen Preisniveau, sind für Torfmoose weitere Einsatzmöglichkeiten zu identifizieren. *Sphagnen* werden bereits im Zierpflanzenektor wie z.B. für Orchideen, Bromelien, Bonsai und Moorbeetpflanzen sowie in der Terrarienkunde für die Haltung von Amphibien, Reptilien und Spinnen verwendet. Einsatzmöglichkeiten bietet zudem die Verarbeitung zur Nutzung als Absorptionsmittel bei Öl- und Chemieunfällen, als Hygieneartikel oder in der Medizin. Torfmoose, die v.a. in Neuseeland und Chile in natürlichen Beständen per Hand gesammelt werden, kommen getrocknet auf den Markt und werden zu Preisen gehandelt, die sowohl die Aufwendungen für die Erzeugung von Torfmoosen auf abgetorften Hochmoorflächen als auch die höheren Kosten der Torfmooskultivierung auf Schwimm-Matten bei Weitem decken würden.

Die naheliegende Alternative zur Verwendung als Substratrohstoff ist jedoch die Erzeugung von Diasporen auf Schwimm-Matten für die Torfmooskultivierung auf degradierten Hochmoorflächen oder zur Restaurierung hochmoortypischer Vegetation. In der Saatgut-Produktion ist die Schwimm-Matten-Variante der Torfmooskultivierung auf Hochmoor überlegen: Durch eine Unkrautbekämpfung in der Vorkultur und abgeschirmt von einem nachträglichen Unkrautsamen-Eintrag können Torfmoose frei von Gefäßpflanzen produziert werden.

In Ergänzung zur betriebswirtschaftlichen Rentabilitätsrechnung sind aus volkswirtschaftlicher Perspektive die Kosten und Nutzen zu betrachten, die für die Gesellschaft mit der Torfmooskultivierung verbunden sind. Hierbei geht es insbesondere um Externalitäten, die nicht richtig über den Markt bewertet werden können. Dem Erhalt der dauerhaften Kohlenstoff-Speicherung in Weißtorf durch die Kultivierung von Torfmoosen als Substitut kommt angesichts der eingesparten Treibhausgasemissionen eine besondere Bedeutung zu: „Der Klimawandel ist das größte Versagen des Marktes, das die Welt je gesehen hat.“ (Stern 2006). Darüber hinaus ist der Wert intakter Hochmoore als Lebensraum für gefährdete Tier- und Pflanzenarten, als Archive der Landschaftsgeschichte und für Landschaftswasserhaushalt sowie Regionalklima anzuführen. Aus volkswirtschaftlicher Sicht sind zudem potentielle Beschäftigungseffekte zu berücksichtigen. Zum einen trägt eine einheimische Torfmoosproduktion mittelfristig zur Sicherung der Arbeitsplätze in der deutschen Torfindustrie und im Gartenbau bei, zum anderen sind in den strukturschwachen Bergbaufolgelandschaften positive Arbeitsmarkteffekte durch die Torfmooskultivierung auf sauren Tagebaugewässern möglich.

Die Anerkennung und Honorierung gesellschaftlich gewünschter ökologischer und sozialer Leistungen, z.B. durch die Bereitstellung von Subventionsäquivalenten für die Vermeidung von CO₂-Emissionen, kann die betriebswirtschaftliche Rentabilität der Torfmooskultivierung verbessern .

5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während des Versuchszeitraumes sind auf dem Gebiet der Torfmooskultivierung keine Fortschritte bei anderen Stellen bekannt geworden.

6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

6.1 Veröffentlichungen

- Gaudig, G., H. Joosten & D. Kamermann. 2008. Growing growing media: promises of *Sphagnum* biomass. Acta Horticulturae 779: 165-171.
- Gaudig, G. 2008. *Sphagnum* farming in progress – experiences and perspectives. Proceedings 13th Int. Peat Congress in Tullamore, Ireland: 168-171.

Eine Veröffentlichung ausgewählter Projektergebnisse ist geplant.

6.2 Teilnahme an Tagungen

- Informationsveranstaltung zum Thema „Torfmoos als nachwachsender Rohstoff“: Vorstellung des Projektes und der Hintergründe vor Vertretern aus Naturschutz, Torfindustrie und Wissenschaft
- DGMT Sektionstagung Moorschutz im Wald/ Renaturierung von Braunmoosmooren 22./ 23.05.2008 in Lübben
- 13th Int. Peat Congress 08.-13.06.2008 in Tullamore, Irland: Vortrag (Gaudig) „*Sphagnum* farming in progress – experiences and perspectives“
- Zukunftsforum Moor – Landschaftsentwicklung im Nordwesten 28.-30.11.2008 in Stapelfeld: Vortrag (Gahlert) „Torfmooskultivierung als Perspektive für Hochmoorgrünländer im Nordwesten“
- Workshop „Moorschutz ist Klimaschutz – Beitrag einer nachhaltigen Torfnutzung zum Schutz des Klimas“ 30.03.-01.04.2009 auf Vilm: Vortrag (Gahlert) „*Sphagnum* farming“
- Fachtagung von NNA, DGMT und BfN „Für die Neubegründung eines ganzheitlichen Moorschutzes“, 10.-11.Mai 2010 in Schneverdingen: Vortrag (Wichmann) „Paludikultur – Ansätze für eine boden- und klimaschonende Nutzung von Moorböden“ (u.a. Torfmooskultivierung)

6.3 Projekttreffen

- Auftakttreffen noch vor Bewilligungszeitraum am 19.06.2007 in Berlin (alle Projektpartner)
- 25.07.2007 in Berlin (IASP, EMAU, HU)
- 06.09.2007 in Chemnitz (IASP, EMAU, stfi)
- 19.09.2007 in Twistringern (IASP, EMAU, HU, mst, stfi)
- 22.11.2007 in Greifswald (IASP, EMAU)
- 29.11.2007 in Sedelsberg und Ramsloh (alle Projektpartner)
- 26.02.2008 in Greifswald (IASP, EMAU)
- 20./ 21.05.2008 in Berlin (alle Projektpartner)
- 27./ 28.11.2008 in Ramsloh (alle Projektpartner)
- 23.02.2009 in Groß Ippener mit NIRA (Dr. Schade)
- 6/7.5.2009 in Ramsloh und Twistringern (alle Projektpartner)
- 3./4.11.2009 in Berlin und Lausitz (alle Projektpartner)
- 27.4. 2010 Öffentliche Abschlusspräsentation in Berlin (alle Projektpartner)

6.4 „Public Relations“

- Radiobericht über „Endstation Balkon - vom Verschwinden der Moore“ am 15.05.2008 bei Deutschlandradio Kultur in der Reihe „Länderreport“
- Präsentation des Projektes auf der Expo der Vielfalt 26.-30.05.2008 in Bonn
- Fernsehbericht über „Ohne Moos nix los - Moorschutz durch Torfersatz“ am 02.06.2008 im rbb in der Sendung „ozon“
- Fernsehbericht über „Ohne Moos nix los“ am 11.08.2008 in Greifswald TV
- Radiobericht über die Torfmooskultivierung am 04.01.2009 bei NDR 1 Radio MV

7 Literatur und weitere Quellen

Zitierte Literatur

Alle Internetquellen wurden zuletzt am 07.07.2010 eingesehen.

- Altmann, J. (2009): Volkswirtschaftslehre. Einführende Theorie mit praktischen Bezügen. 7., völlig überarbeitete Auflage, UTB, Lucius & Lucius, Stuttgart. 494 S.
- Altmann, M. (2008): Socio-economic impact of the peat and growing media industry on horticulture in the EU. 119 p. http://www.epagma.org/pdf/Socio_Economic_Study1.pdf
- Blankenburg, J. (1999): Leitbilder der Hochmoornutzung und die langfristige Nutzung von Hochmoorgrünland. *Telma*, 29: 183-190.
- Blankenburg, J. (2004): Praktische Hinweise zur optimalen Wiedervernässung von Torfabbauf Flächen. Geofakten 14. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung. 11 S. http://cdl.niedersachsen.de/blob/images/C38208256_L20.pdf
- Breitenbach, J., Kränzlin, F. (1991): Pilze der Schweiz. Bd. 3. Luzern.
- Breitenbach, J., Kränzlin, F. (1995): Pilze der Schweiz. Bd. 4. Luzern.
- Breitenbach, J., Kränzlin, F. (2000): Pilze der Schweiz. Bd. 5. Luzern.
- Breitenbach, J. (2005): Pilze der Schweiz. Bd. 6. Luzern.
- Brisch, A. (2010): Wasserstand & Produktivität. Fragmente von einem Versuch, *Sphagnum papillosum* zu kultivieren. Projektarbeit, Universität Greifswald, unveröffentlicht. 19 S.
- British Mycological Society (2003): Newsletter of the Warwickshire Fungus Survey for 2003. No 37.
- Buxton, R. (2008): Sphagnum harvesting in New Zealand. Document based on presentations given at a workshop and at an international seminar, 5./6.11.2008, Chile. 17 p. <http://www.musgosphagnum.cl/Sphagnum%20in%20New%20Zealand.pdf>
- Caspers, G. & Schmatzler, E. (2009): Vorkommen und Verwendung von Torf in Deutschland. *Telma*, 39: 75-98.
- Couwenberg, J. (2007): Biomass energy crops on peatlands: on emissions and perversions. *IMCG Newsletter*, 2007-3: 12-14.
- Couwenberg, J. (2009): Emission factors for managed peat soils - An analysis of IPCC default values. *Wetlands International*, Ede, 16 p.
- Davay, M.L. & Currah, R.S. (2006): Interactions between mosses (Bryophyta) and fungi. *Can. J. Bot.* 84: 1509-1519.
- Dennis, R.W.G. (1981): *British Ascomycetes*. Cramer Vaduz.
- Döbbeler, P. (1978): Moosbewohnende Ascomyceten I. Die pyrenocarpen, den Gametophyten besiedelnden Arten. *Mitt. Bot. München*, 14: 1-360.
- Döbbeler, P. (1997): Biodiversity of bryophilous ascomycetes. *Biodiversity and Conservation* 6: 721-738.

- Eggelsmann, R. & Blankenburg, J. (1993): Moor und Wasser – Leegmoorprojekt. IN: Nick, K.-J., Blankenburg, J.; Eggelsmann, R.; Weber, H. E.; Mossakowski, D.; Beinhauer, R. & J. Lienemann (1993): Beiträge zur Wiedervernässung abgebauter Schwarztorfflächen, Ergebnisse eines Erprobungs- und Entwicklungsvorhabens im Leegmoor, Landkreis Emsland. Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen, 29: 19-48.
- Ellis, M.B. & Ellis, J.P. (1998): *Microfungi on Miscellaneous Substrates: An Identification Handbook*. Richmond Publishers.
- Ellis, M.B. (1971): *Demateaceous Hyphomycetes*. KMI Kew, England.
- Emmel, M. (2008): Growing ornamental plants in Sphagnum biomass. *Acta Horticulturae* 779: 173-178.
- Falkenberg, H. (1990): Die Situation der niedersächsischen Torfwirtschaft und ihre Rohstoffreserven. IN: Moor und Torf in Niedersachsen. Veröffentlichungen der Niedersächsischen Akademie der Geowissenschaften. 5: 62-65.
- Falkenberg, H. (2008): Torfimporte aus dem Baltikum – Bedeutung für die Torf- und Humuswirtschaft in Deutschland. *Bergbau* 3/2008: 132-135.
- Füllner, G.; Bild, A. & Schreier, A. (2008): Zahlen zur Binnenfischerei, Freistaat Sachsen, Jahresbericht 2007. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.). 48 S.
http://www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/publikationen/download/3444_1.pdf
- Gaudig, G. (2001): Sphagnum als nachwachsender Rohstoff. Etablierung von Sphagnen, Optimierung der Wuchsbedingungen. Stand der Forschungen. Literaturstudie, Universität Greifswald. 75 S.
http://www.uni-greifswald.de/~sphagnumfarming/Literatur/Sphagnum_Literaturstudie.pdf
- Gaudig, G. (2008): Sphagnum farming in progress – experiences and perspectives. IN: *After Wise Use – The Future of Peatlands*. Proceedings of the 13th International Peat Congress: 168-171.
- Grantzau, E. & Gaudig, G. (2005): Torfmoos als Alternative. *TASPO Magazin* 3: 8-10.
- Grantzau, E. (2002): Sphagnum als Kultursubstrat. *Deutscher Gartenbau* 44: 34 - 35.
- Grantzau, E. (2004): Torfmoos als Substrat für Zierpflanzen geeignet. *Deutscher Gartenbau* 34: 14-15.
- Grosse-Brauckmann, G. (1997): Moore und Moor-Naturschutzgebiete in Deutschland – eine Bestandaufnahme. *Telma*, 27: 183-215.
- Heijmans, M.M.P.D., Klees, H. & Berendse, F. (2002): Competition between *Sphagnum magellanicum* and *Eriophorum angustifolium* as affected by raised CO₂ and increased N deposition. *OIKOS* 97: 415–425.
- Hooper, C.A. (1981): Microcommunities of algae on a Sphagnum mat. *HOLARCTIC ECOLOGY* 4: 201-207
- Höper, H. (2007): Freisetzung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren. *Telma*, 37: 85-116.
- Jahn, H. (1964): Das Sumpfgraublatt, *Lyophyllum palustre* (Peck) Singer. *Westfälische Pilzbriefe* 5: 13-15.
- Kammermann, D. & Blankenburg, J. (2008): Erfahrungen und Ergebnisse eines Feldversuchs im Projekt „Torfmoos als nachwachsender Rohstoff“. *Telma*, 38: 121-144.
- Kox, E. (1954): Der durch Pilze und aerobe Bakterien veranlaßte Pectin- und Cellulose-Abbau in Hochmoor unter besonderer Berücksichtigung des Sphagnum-Abbaus. *Arch. Mikrobiol.* 20: 111-140.

- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.) (2005): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 13.Auflage. 1095 S.
- Kuntze, H. (1983): Probleme bei der modernen landwirtschaftlichen Moornutzung. *Telma*, 13: 137-152.
- Landry, J. & Rochefort, L. (2009): Experimental Sphagnum farming station Shippagan, New-Brunswick, Activity Report 2003-2008. NSERC`s industrial research chair in peatland management & Peatland ecology research group, Université Laval, Québec. 50 p.
www.gret-perg.ulaval.ca/uploads/tx_centrecherche/Report_SphFarm_2003_2008_final_03.pdf.
- Lange, M. (1948): *The Agarics of Maglemose*. Kopenhagen.
- Legon, N.W. & Henrici, A., with Roberts, P.J., Spooner, B.M. & Watling, R. (2005): Checklist of the British and Irish Basidiomycota. Royal Botanic Gardens, Kew (RBG (K)).
- Lienhoop, N. & Messner, F. (2009): The economic value of allocating water to the post-mining lakes in East Germany. *Water Resour Manage*, 23: 965-980.
- Limpens, J., Raymakers, J.T.A.G., Baar, J., Berendse, F. & Zijlstra, J.D. (2003): The interaction between epiphytic algae, a parasitic fungus and Sphagnum as affected by N and P. *OIKOS* 103: 59-68.
- Londo, G. (1976): The decimal scale for relevés of permanent quadrats. *Vegetatio* 33 (1): 61-64.
- Malmer, N., Svensson, B.M. & Wallen, B. (1994): Interactions between Sphagnum mosses and field layer vascular plants in the development of peat-forming systems. *Folia Geobot. Phytotax.* 29: 483-496.
- Malmer, N., Albinsson, C., Svensson, B., Waller, B. (2003): Interferences between Sphagnum and vascular plants: effects on plant community structure and peat formation. *Oikos* 100: 469-482.
- Michael, E. & Henning, B. (1964): *Handbuch für Pilzfreunde*. 3. Bd: *Hellblättler und Leistlinge*.
- Miousse, L. (2005): Site expérimental dédié à la culture de la sphaigne à Shippagan, Nouveau-Brunswick. Rapport d'activités 2003-2004. Groupe de recherche de écologie des tourbières, Université Laval, Québec. 21 p.
http://www.gret-perg.ulaval.ca/uploads/tx_centrecherche/CultSph_Rapport_activ_03_01.pdf
- Nick, K.-J., Blankenburg, J.; Eggelsmann, R.; Weber, H. E.; Mossakowski, D.; Beinhauer, R. & Lienemann, J. (1993): Beiträge zur Wiedervernässung abgebauter Schwarztorfflächen, Ergebnisse eines Erprobungs- und Entwicklungsvorhabens im Leegmoor, Landkreis Emsland. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Naturschutz (Hrsg.), Hannover. *Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen*, 29, 127 S.
- Nick, K.-J.; Löpmeier, F.-J.; Schiff, H.; Blankenburg, J.; Gebhardt, H.; Knabke, C.; Weber, H.E.; Främb, H. & Mossakowski, D. (2001): Moorregeneration im Leemoor/Emsland nach Schwarztorfabbau und Wiedervernässung. Ergebnisse aus dem E+E-Vorhaben 809 01 001 des Bundesamtes für Naturschutz. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), Bonn – Bad Godesberg. *Angewandte Landschaftsökologie*, 38, 204 S.
- Niedersächsisches Umweltministerium (2008): Leitfaden zur Zulassung des Abbaus von Bodenschätzen unter besonderer Berücksichtigung naturschutzrechtlicher Anforderungen. Info-Reihe, 3.Auflage. 62 S.
- Nixdorf, B.; Hemm, M.; Schlundt, A.; Kapfer, M. & Krumbeck, H. (2000): Braunkohletagebauseen in Deutschland. Gegenwärtiger Kenntnisstand über wasserwirtschaftliche Belange von Braunkohletagebaurestlöchern. Abschlussbericht zum F&E Vorhaben FKZ 29822240, im Auftrag

- des Umweltbundesamtes. Brandenburgische Technische Universität Cottbus. 519S.
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/1996.pdf>
- NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) (2006): 25 Jahre Niedersächsisches Moorschutzprogramm. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 3/2006: 151-180.
- Oberdorfer, E. (1994): Pflanzensoziologische Exkursionsflora. 7., überarb. u. erg. Aufl., Ulmer-Verlag, Stuttgart. 1050 S.
- Podraza, P.; Brinkmann, T.; Evers, P.; von Felde, D.; Frost, U.; Klopp, R.; Knotte, H.; Kühlmann, M.; Kuk, M.; Lipka, P.; Nusch, E.; Stengert, M.; Wessel, M. & van de Weyer, K. (2008): Untersuchungen zur Massenentwicklung von Wasserpflanzen in den Ruhrstauseen und Gegenmaßnahmen, Abschlussbericht zum F & E - Vorhaben des Ruhrverbands im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (MUNLV), 364 S., http://www.ruhrverband.de/fileadmin/pdf/elodea_abschlussbericht.pdf
- Quinty, F. & Rochefort, L. (2003): Peatland Restoration Guide. Canadian Sphagnum Peat Moss Association & New Brunswick Department of Natural Resources and Energy. Second Edition, 106 p. <http://www.peatmoss.com/pdf/Englishbook.pdf>
- RAL (2007): Kompost Gütesicherung RAL-GZ 251. RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Saint Augustin, Germany.
- Redhead, S.A. & Spicer, K.W. (1981): *Diszinella schimperi*, a circumpolar parasite on *Sphagnum squarrosum*, and notes on *Bryophytomyces sphagni*. *Mycologia* 73: 904-913.
- Redhead, S.A. (1981): Parasitism of bryophytes by agarics. *Can. J. Bot.* 59: 63-67.
- Rice, A.V., Tsuneda, A. & Currah R.S. (2006): In vitro decomposition of *Sphagnum* by some microfungi resembles white rot of wood. *FEMS Microbiol. Ecol.* 56: 372-382.
- Rudolph, H., Kirchhoff, M. & Gliemann, S. (1988): *Sphagnum* culture techniques. In: Glime, J., ed.: *Methods in bryology. Proceedings of the Bryological Methods Workshop, Mainz. Nichinan, Japan: The Hattori Botanical Laboratory: 25-34.*
- Ruhrverband (2009): Untersuchungen zur Massenentwicklung von Wasserpflanzen in den Ruhrstauseen und Gegenmaßnahmen, Kurzfassung. F & E - Vorhaben des Ruhrverbands im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (MUNLV), 32 S., http://www.ruhrverband.de/fileadmin/pdf/elodea_broschuere.pdf
- Rümmler, F. (2007): Entwicklung nutzbarer Fischbestände in neu entstandenen Braunkohletagebauseen des Landes Brandenburg. Jahresbericht 2006. Schriften des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow, 21: 21-22., <http://www.ifb-potsdam.de/aktuelles/band21.pdf>
- Rümmler, F.; Füllner, G.; Mencke, J. & Jurrmann, S. (2003) Die fischereiliche Nutzung von Braunkohletagebaurestseen. In: *Fischereiliche Nutzung von Bergbaurestseen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft*, 8, 4: 1-12
http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/962_1.pdf
- Rümmler, F.; Ritterbusch, D.; Schiewe, S. & Weichler, F. (2004): Fischereiliche Bewirtschaftung von Braunkohletagebauseen, Möglichkeiten und Besonderheiten. IN: v. Lukowicz, M. & Hilge, V. (Hrsg.): *Fischereiliche Bewirtschaftung künstlich angelegter Gewässer. Arbeiten des deutschen Fischerei-Verbandes e.V.*, 80: 29-57.
- Schacht, M. (2007): Torfmoose - Bioaktive Inhaltsstoffe bringen Zusatznutzen. *Deutscher Gartenbau* 13: 36.

- Schmatzler, E. (1999): Hochmoorgrünland in Niedersachsen. – Bestand, Leitbilder und Konzepte des Moorschutzes. *Telma*, 29: 195-204.
- Schmilewski, G. (2008): The role of peat in assuring the quality of growing media. *Mires and Peat*, 3 (2008), Article 02, <http://www.mires-and-peat.net>.
- Schnittler, M., Krieglsteiner, L., Marx, h., Flatau, L., Neubert, H., Nowotny, N. & Bauman, K.-H. (1996): Vorläufige Rote Liste der Schleimpilze (Myxomyceten) Deutschlands. *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 28: 481-525.
- Stern, N. (2006): Stern Review Report on the Economics of Climate Change. 575 p. http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm
- Thormann, M.N. & Rice, A.V. (2007): Fungi from peatlands. *Fungal Diversity* 24: 241-299.
- Thormann, M.N. (2006): Diversity and function of fungi in peatlands: A carbon cycling perspective. *Canadian Journal of Soil Science* 86: 281-293.
- Thormann, M.N., Currah, R.S. & Bayley, S.E. (2003): Succession of microfungi assemblages in decomposing peatland plants. *Plant and Soil* 250: 323-333.
- Thormann, M.N., Rice, A.V. & Beilmann, D.W. (2007): Yeasts in peatland: A review of richness and roles in peat decomposition. *Wetlands* 27: 761-773.
- Tsuneda, A., Chen, M.H. & Currah, R.S. (2001a): Characteristics of a disease of *Sphagnum fuscum* caused by *Scleroconidioma sphagnicola*. *Can. J. Bot.* 79(10): 1217–1224.
- Tsuneda, A., Thormann, M. N. & Currah, R. S. (2001b): Modes of cell-wall degradation of *Sphagnum fuscum* by *Acremonium cf. curvulum* and *Oidiodendron maius*. *Can. J. Bot.* 79(1): 93–100 (2001).
- Tutschek, R., Rudolph, H., Assmussen, L. & Altena, U. (1978): Anatomisch-Histochemische Untersuchungen der Zellwand von *Sphagnum magellanicum* Brid. *Rev. Bryol. Lichenol.* 44(3): 319-330.
- Untiedt, E. & Müller, K. (1985): Colonization of *Sphagnum* cells by *Lyophyllum palustre*. *Can. J. Bot.* 63: 757-761.
- Watling, R. (1978): The distribution of larger fungi in Yorkshire. *Naturalist* 103: 39-57.
- WBA (Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2007): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung, Empfehlungen an die Politik. 242 S. <http://www.bmelv.de/cae/servlet/contentblob/382594/publicationFile/23017/GutachtenWBA.pdf>
- Whinam, J.; Hope, G.S.; Clarkson, B.R.; Buxton, R.P.; Alspach, P.A. & Adam, P. (2003): *Sphagnum* in peatlands of Australasia:

Kontaktstellen außerhalb des Projektes

Staatliche Moorverwaltung Meppen (Karl-Heinz Blome)

→ Erfahrungen mit Durchführung und Kosten von Hochmoorrestaurierung, Erfahrungen zur Gewinnung von Torfmoosen als Diasporen für Restaurierungsvorhaben, Einrichtung einer Restaurierungsfläche, Versuche mit schwimmenden Konstruktionen

Hofer & Pautz GbR, Ingenieurgesellschaft für Ökologie, Umweltschutz und Landschaftsplanung (Bernd Hofer)

→ Verfahren und Kosten von Planung und Genehmigung der Wiedervernässung von Hochmoorstandorten nach Abtorfung

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Bremen (Dr. Joachim Blankenburg)

→ Erfahrungen mit Hochmoorrestaurierung und landwirtschaftlicher Hochmoornutzung

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover (Dr. Heinrich Höper)

→ Treibhausgasmessungen auf Moorstandorten, u.a. auf der im FNR-Projekt angelegten Demonstrationsfläche zur Torfmooskultivierung

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (verschiedene Ansprechpartner)

→ aktuelle landwirtschaftliche Nutzung von Hochmoorstandorten, Kalkulationsdaten zur Wirtschaftlichkeit, Baggerkuhlung

Ökologischer Gewässerdienst Zelder (Siegmond Zelder)

→ Erfahrungen mit der Pflege saurer Tagebaugewässer, deutscher Vertrieb des amphibischen Trägerfahrzeugs Truxor

Bestmann Green Systems, Ingenieurbiologie und -ökologie GmbH

→ Vertrieb schwimmender Röhrichtmatten, Pflege mittels Katamaran

Landesfischereiverband Brandenburg/Berlin (Lars Dettmann)

→ Nutzung von Tagebaugewässern (fischereiliche Eignung, Pacht, Maschinenkosten)