

TELMA	Band 32	Seite 227 - 242		Hannover, November 2002
-------	---------	-----------------	--	-------------------------

## Das Forschungsprojekt: „Torfmoose (*Sphagnum*) als nachwachsender Rohstoff: Etablierung von Torfmoosen – Optimierung der Wuchsbedingungen“

The research project: “Peat mosses (*Sphagnum*) as a renewable resource: establishment of peat mosses – optimising growth conditions”

GRETA GAUDIG

### Zusammenfassung

Die Vorräte an Weißtorf (schwach zersetzter *Sphagnum*-Torf) sind in West- und Mitteleuropa nahezu verschwunden. Alternativen für diesen Rohstoff im Erwerbsgartenbau fehlen. Der wirtschaftliche Druck auf die noch existierenden wachsenden Hochmoore wächst. Für eine langfristige und dauerhafte Sicherung von Weißtorf als Rohstoff erscheint die nachhaltige Kultivierung von Torfmoosen (*Sphagnum*) als sinnvolle Lösung

*Sphagnum*-Material verliert mit zunehmenden Alter immer mehr seiner ursprünglich gebildeten Masse, weshalb eine frühe Ernte zu maximalen Erträgen führen würde. Ob aber *Sphagnum*-Frischmasse pflanzenbaulich geeignet ist oder das Material einen bestimmten Zersetzungsgrad aufweisen muss (*Sphagnum*-Torf), gilt es zu prüfen. Des weiteren muss getestet werden, welche abiotischen Standortfaktoren eine optimale Produktivität ermöglichen. Für die Produktion von *Sphagnum*-Torf scheint die Kultivierung von Bultarten unter „Schlenkenbedingungen“ optimal. Die Etablierung der Torfmoose stellt einen weiteren Schwerpunkt der Forschungen dar.

Hier werden die Ergebnisse einer im Jahr 2001 durchgeführten Literaturstudie ausführlicher dargestellt, welche die Forschungsschwerpunkte für das Projekt festlegt.

### Abstract

The stocks of white peat (slightly humified *Sphagnum*-peat) in Western and Central Europe are nearly depleted. Alternatives for this raw material in professional horticulture are absent. The pressure on pristine bogs increases. The sustainable cultivation of peat mosses (*Sphagnum*) seems a sensible solution ensuring a lasting supply of white peat as raw material.

*Sphagnum* material loses more and more of its original mass with increasing age. Early harvesting would therefore maximise the annual crop. Whether fresh *Sphagnum* biomass is structurally suited or

whether the material needs a certain degree of decomposition (*Sphagnum* peat) has to be tested. Furthermore it must be analysed, which abiotic conditions enable optimal productivity. For obtaining *Sphagnum* peat, the cultivation of hummock species under "hollow conditions" is optimal. The establishment of peat mosses constitutes a further focus in the research programme.

A literature study from 2001 is presented in detail and a resulting research programme.

## 1. Einleitung

Weißtorf (schwach zersetzter *Sphagnum*-Torf) ist in West- und Mitteleuropa ein zunehmend knapper werdendes Gut, für das es als Rohstoff im Erwerbsgartenbau kaum Alternativen gibt. Um die Verfügbarkeit dieses Rohstoffs langfristig und dauerhaft zu sichern, erscheint die Kultivierung von Torfmoosen sinnvoll. Damit würden nicht nur Ressourcen und Ökosysteme geschützt, sondern auch die Kohlenoxid-Emission reduziert. Zu erwarten wäre auch die Erhaltung bzw. Schaffung von Arbeitsplätzen.

Für die Kultivierung von Torfmoosen sprechen also ökologische, ökonomische und sozialpolitische Gründe.

Mögliche Anbauflächen sind Teile von Seen der Bergbaufolgelandschaften der Lausitz und abgetorfte oder als extensives Grünland genutzte Hochmoore Niedersachsens. Zuvor müssen jedoch Fragen zur Rohstoffeignung, Produktivitätserhöhung und Etablierung in Labor- und Freilandversuchen beantwortet werden. Die Benennung dieser Forschungsschwerpunkte ist Ergebnis einer im Jahr 2001 durchgeführten Literaturstudie.

## 2. Forschungsschwerpunkte

### 2.1 Eignung als Rohstoff

Welche *Sphagnum*-Arten mit welchem Zersetzungsgrad als Rohstoff im Gartenbau am besten geeignet sind, muss in pflanzenbaulichen Versuchen herausgefunden werden (GAUDIG 2001). Untersuchungen zu weiteren Einsatzbereichen von Torfmoos-Frischmasse sind geplant.

### 2.2 Kultivierung von *Sphagnum* zur Gewinnung von Frischmasse

Für die Kultivierung von *Sphagnum* zur Gewinnung von Frischmasse und dem Erreichen maximaler Erträge eignen sich Arten mit höchster Produktivität, also Arten der Sektion *Cuspidata* (*S. recurvum* agg.) am besten (GAUDIG 2001).

Nach LÜTT (1992) ist das Wachstumspotential einer *Sphagnum*-Art genetisch fixiert. Hinweise darauf gibt ein Versuch, der zeigt, dass unter gleichen Bedingungen (Wasserstand bis – 14 cm unter der Capitula) *S. recurvum* (Sekt. *Cuspidata*) einen höheren Trockenmassezuwachs aufweist als *S. papillosum* (Sekt. *Cymbifolia*) und *S. capillifolium* (Sekt. *Acutifolia*) (CLYMO & HAYWARD 1982). Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen TITUS & WAGNER (1984), die für *S. fallax* (Sekt. *Cuspidata*, *S. recurvum* agg.) einen über 60% höheren Netto-Kohlendioxid-Austausch (als Maß der Photosynthese) gegenüber dem von *S. capillifolium* feststellen konnten. Sinkt der Wasserspiegel aber bis auf – 40 cm unter die Capitula, zeigt *S. capillifolium* einen höheren Netto-Kohlendioxid-Austausch als *S. fallax*. Die Produktivität wird also nur zum Teil durch intrinsische Faktoren bestimmt. Da das Wachstumspotential einer *Sphagnum*-Art durch abiotische Standortfaktoren beeinflusst wird (LÜTT 1992), könnten durch deren Manipulation höhere Produktivitätswerte als unter natürlichen Bedingungen erreicht werden. Dabei scheinen ein ganzjährig ausgeglichener hoher Wasserstand, ein hoher CO<sub>2</sub>-Gehalt im Wasser, durchfließendes Wasser, Phosphor- und eventuell Kalium-Düngung sowie eine geringe Beschattung z.B. durch Gefäßpflanzen von Bedeutung zu sein (GAUDIG 2001). Diese Faktoren wirken sich positiv auf die Produktivität von *Sphagnum* aus, ohne gleichzeitig eine Erhöhung der Zersetzungsrate zu verursachen. Im Folgenden wird auf die genannten Standortfaktoren im Einzelnen eingegangen.

### 2.2.1 Wasserstand

Torfmoose haben keine Kontrolle über ihren Wasserverlust (HAYWARD & CLYMO 1982) und sind nicht tolerant gegenüber anhaltender Trockenheit (CLYMO 1973), so dass das Wachstum von einer gesicherten Wasserverfügbarkeit abhängt (HAYWARD & CLYMO 1982). Ein ganzjährig ausgeglichener hoher Wasserstand, wie für Schlenken typisch, führt zu höchster Produktivität bei niedrigster Zersetzung (LÜTT 1992). Nach CLYMO (1970) ist der Massezuwachs in Schlenken am höchsten, in Rasen niedriger und in Bulten am geringsten. Eine intensivere Photosynthese der Torfmoose an Schlenkenstandorten ist Ursache für deren bessere Wüchsigkeit in Masse ( $\text{g m}^{-2} \text{a}^{-1}$ ) und Länge ( $\text{cm a}^{-1}$ ) (vgl. TITUS & WAGNER 1984). Unterstützend wirken:

- der hohe Wasserstand und damit bessere Wasserverfügbarkeit,
- der lockere Stand des Rasens, der auch Ästchen in tieferen Schichten ausreichend Lichtzufuhr als Voraussetzung für eine hohe assimilatorische Leistung bietet,
- die bessere Nährstoffversorgung und
- die winterlich höheren Temperaturen (LÜTT 1992).

Aufgrund der höheren Wachstumsrate (in Länge und Masse) von Schlenkenarten in Schlenken konkurrieren sie die Bultarten hier aus (CLYMO & REDDAWAY 1971).

Grundsätzlich wachsen jedoch alle Arten in Schlenken, also bei ausgeglichenem hohem Wasserstand besser als in Bulten, also bei niedrigem Wasserstand bzw. Wassermangel (CLYMO & REDDAWAY 1971, LÜTT 1992, RYDIN 1993). Aufgrund dessen gilt es im Hinblick auf die Kultivierung von Torfmoosen zu überprüfen, ob Bultarten wie *S. magellanicum* und *S. rubellum* bei Ausschluss von Konkurrenz in der Schlenke einen höheren Massezuwachs verzeichnen als im Bult.

### 2.2.2 Nährstoffgehalte im Wasser

Das Torfmoos-Wachstum ist unter anthropogen nicht erhöhten Nährstoffeinträgen Stickstoff-limitiert (LEE et al. 1993, MALMER 1993, TWENHÖVEN 1992). Die Zugabe von Stickstoff fördert unter diesen Umständen das Torfmoos-Wachstum (RISAGER 1998). Bei Zunahme der Stickstoff-Deposition, wie in den letzten Jahrzehnten in Europa erfolgt (PITCAIRN et al. 1995), ist Stickstoff nicht länger wachstumslimitierend (LAMERS 2001). Das Torfmoos-Wachstum wird dann von Phosphor limitiert (AERTS et al. 1992, LIMPENS et al. 2000, LIMPENS & BERENDSE 2000, MALMER 1990, RISAGER 1998, VERHOEVEN et al. 1996), was an einem N:P-Verhältnis im Torfmoos von größer als 14 ersichtlich wird (AERTS et al. 1992, VERHOEVEN et al. 1996).

Da Phosphor in nur geringen Mengen aus der Atmosphäre ins Moor gelangt (MALMER 1975), ist dessen Konzentration in sauren Mooren immer gering (LI et al. 1993, MALMER 1993). Der atmosphärische Phosphor stammt aus der Landwirtschaft (DAMMAN 1990), besonders von Getreidefeldern (SMITH et al. 1970). Pflanzenverfügbare Phosphor begrenzt in Hochmooren das Wachstum (RISAGER 1998, RUDOLPH et al. 1988). Obwohl Torf große Mengen an Phosphor enthält, dieser aber im organischen Material festgelegt ist, ist für die Torfmoose nur ein geringer Teil des gesamten Phosphors verfügbar (MALMER 1975). Durch eine höchstmögliche Phosphor-Aufnahme, effiziente Nutzung und Speichern des Phosphates (LAJTHA & HARRISON 1995) sowie dem internen Transport von den unteren, älteren Teilen der Torfmoose in obere, wachsende (RYDIN & CLYMO 1989) passen sich die Torfmoose an den Phosphat-Mangel an.

Gerade aus diesem Grund besteht die Frage, ob durch Phosphat-Düngung eine Steigerung des Torfmoos-Wachstums erreicht werden kann. Hinweise darauf gibt ein Labor-experiment von LEE et al. (1993), bei dem der Einfluss unterschiedlicher Phosphor-Konzentrationen im Wasser auf das Wachstum von *S. papillosum* und *S. magellanicum* untersucht wurde und festgestellt werden konnte, dass beide Arten ihren maximalen Massezuwachs bei 0,1 mM  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  zeigten.

Möglicherweise kann auch durch Zugabe von Kalium eine Wachstumssteigerung erreicht werden. Angaben über Kalium als wachstumslimitierendem Faktor wurden jedoch nicht gefunden. Hierzu besteht daher Untersuchungsbedarf.

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) wird oft nur wenig Bedeutung zugemessen, obwohl es den wichtigsten Pflanzennährstoff darstellt. Es ist Kohlenstoffquelle für die Torfmoose und fördert ihr Auftreiben (LAMERS 2001, LÜTT 1992). An oligo- bzw. ombrotrophen Standorten kann die infolge geringer mikrobieller Aktivität geringe CO<sub>2</sub>-Konzentration im Wasser wachstumslimitierend sein (LÜTT 1992).

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration, die zur Maximierung der Photosyntheseleistung gebraucht wird, ist wesentlich höher als die in der Atmosphäre (LAMERS 2001). Zwar wirkt eine Zunahme der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration wachstumsstimulierend (HEIJMANS 2000, JAUHIAINEN 1998, SAARNIO et al. 2000, SILVOLA 1990), ist aber aufgrund der Klimarelevanz des Gases nicht wünschenswert. Aber auch eine erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Wasser fördert die Photosynthese und damit das Wachstum von Torfmoosen (SILVOLA 1990, SMOLDERS et al. 2001). Ein Versuch von SMOLDERS et al. (2001) zeigt eine enorme Wachstumssteigerung (Biomassezuwachs) von *S. magellanicum* bei Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Wasser bis 750 µmol l<sup>-1</sup>. Während bei 20 µmol CO<sub>2</sub> l<sup>-1</sup>, also einer Konzentration im Gleichgewicht mit der Atmosphäre, das Torfmoos-Wachstum konstant gering bleibt und die Pflanzen horizontal zur Wasseroberfläche wachsen, führt eine höhere Kohlendioxid-Konzentration im Wasser zur Bultbildung bzw. kompakteren Wuchsform auf dem Wasser. Ist ein Bult gebildet, wirkt dessen Kompaktheit als „Kohlendioxid-Falle“ für aus Zersetzungsprozessen in tieferen Torfschichten stammendes CO<sub>2</sub> (SMOLDERS et al. 2001, TOMASSEN et al. 2001). Für *S. cuspidatum* geben PAFFEN & ROELOFS (1991) an, dass nur bei hohen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Wasser (über 750 µmol l<sup>-1</sup>) eine Zunahme in Länge und Masse sowie eine Schwimmmattenbildung zu verzeichnen ist. Aquatische, wie auch terrestrische Torfmoose sind also von hohen Konzentrationen des im Wasser gelösten bzw. vom Substrat stammenden CO<sub>2</sub> abhängig (PAFFEN & ROELOFS 1991, SMOLDERS et al. 2001, TOMASSEN et al. 2001). Erst wenn die Torfmoos-Köpfchen ausreichend hoch über dem Wasserspiegel wachsen, gewinnt das atmosphärische CO<sub>2</sub> als Kohlenstoff-Ressource an Bedeutung.

Um die wachstumsfördernde Wirkung einer hohen CO<sub>2</sub>-Konzentration im Wasser bei der Kultivierung von Torfmoosen ausnutzen zu können, sind weitere Forschungen notwendig. Es muss versucht werden, großflächig ein CO<sub>2</sub>-produzierendes und gleichzeitig Torfmoosfreundliches Milieu zu schaffen, ohne dass es sich negativ auf das Klima auswirkt.

Fließt das Wasser durch die lebende Torfmoos-Schicht, wird das Torfmoos-Wachstum vermutlich durch die permanente Nährstoffzufuhr gefördert (ANDRUS 1986, CLYMO & HAYWARD 1982). Zur Feststellung der optimalen Durchflussgeschwindigkeit, Ionenkonzentration und pH-Wert sind weitere Untersuchungen notwendig.

### 2.2.3 Licht

Die Torfmoose ombrotropher Hochmoore sind Lichtpflanzen, die unter starker Beschattung nicht zu leben vermögen (ELLENBERG 1996). Eine moderate Beschattung (z.B.

durch Gefäßpflanzen) aber fördert das Wachstum von Torfmoosen, solange die photosynthetisch aktive Strahlung um nicht mehr als 50 % reduziert wird (CLYMO & HAYWARD 1982). Da im Experiment (CLYMO & HAYWARD 1982) zwischen fehlender und 50 % Beschattung keine „Zwischenstufe“ verwendet wurde, könnte eine Wachstumshemmung schon bei weniger als 50 % Beschattung einsetzen, was in weiteren Untersuchungen abzuklären ist.

### 2.3 Kultivierung von *Sphagnum* zur Gewinnung von Torf

Torf wird erst dann akkumuliert, wenn die Produktion die Zersetzung übersteigt (CLYMO 1992). Aufgrund der ungewöhnlich langsamen Zersetzungsrate der meisten Torfmoose wird durch ihre tote Pflanzenmasse Torf akkumuliert (CLYMO 1997, CLYMO & HAYWARD 1982). Bei Kultivierung von Bultarten (z.B. *Sphagnum fuscum*, *S. rubellum*, *S. magellanicum*) unter „Schlenken-Bedingungen“ ist die intensivste Torfakkumulation zu erwarten, da

- Bultarten in Schlenken eine höhere Produktivität aufweisen als in ihrem natürlichen Habitat (CLYMO & REDDAWAY 1971, LÜTT 1992, RYDIN 1993; vgl. Kap. 2.2.1),
- unter den Standortbedingungen einer Schlenke die Zersetzungsbedingungen schlecht sind (LÜTT 1992, BELYEA 1993, MALMER 1986) und
- Bultarten schlechter zersetzbar sind als Schlenkenarten (JOHNSON & DAMMAN 1991, 1993, RISAGER 1998, SCHEFFER 1998, VERHOEVEN & TOTH 1995).

### 2.4 Etablierung von Torfmoosen

Auch die Etablierung von Torfmoosen auf abgetorften (Hochmoor-) Flächen stellt ein Problem dar, wobei aber auf Erfahrungen der Hochmoorrenaturierung zurückgegriffen werden kann.

Auf abgetorften Flächen sind die natürlichen Regenerationsprozesse durch einen niedrigen Wasserspiegel, wenig Diasporen und Erosion des Torfes behindert (LAVOIE et al. 2000). Eine *Sphagnum*-dominierte Vegetation etabliert sich hier nicht ohne anthropogene Maßnahmen (LAVOIE & ROCHEFORT 1996, MONEY 1995, PFADENHAUER & KLÖTZLI 1996).

#### 2.4.1 Wiedervernässung

Bei der Etablierung von Torfmoosen auf abgetorften Flächen spielt der Wasserstand eine herausragende Rolle.

Durch Entwässerung wird das Moor aufgrund der Sackung und damit Verringerung des Wasserhaltevermögens (Speicherkapazität) immer trockener (PRICE et al. 2000). Die Ansiedlung von tief wurzelnden und stark verdunstenden Gefäßpflanzen verstärkt diesen Effekt, indem der sommerliche Wasserstand in abgetorften Hochmooren meist unter den natürlicher Moore sinkt. Für die Ansiedlung von Torfmoosen darf dieser aber nicht mehr als 30 cm unter die Oberfläche absinken (SCHOUWENAARS 1995).

Um eine Wiedervernässung zu ermöglichen (CAMPEAU & ROCHEFORT 2000, QUINTY & HOOD 1998, ROCHEFORT et al. 2000, SCHOUWENAARS 1995), ist es zunächst notwendig, die horizontalen Wasserverluste (Oberflächenabfluss und lateraler Abfluss im Torf) einzudämmen, indem z.B. die Gräben blockiert und kleine, offene Wasserflächen angelegt werden (u.a. NICK et al. 2001, PRICE 1998, SCHOUWENAARS 1995, SLIVA 1997, 1998). Des weiteren ist eine geringe Versickerungsrate von größter Wichtigkeit. Diese kann zum einen durch einen ausreichenden Versickerungswiderstand (z.B. durch eine vorhandene Stauschicht aus Schwarz-Torf, Mudde, Ortstein oder Ton) (BLANKENBURG 1993, LÜTT 1992, PFADENHAUER & KLÖTZLI 1996, SLIVA 1998), zum anderen durch eine geringe Potentialdifferenz zwischen Moor- und Grundwasser erreicht werden. Torfmächtigkeit, Zersetzungsgrad und Lagerungsdichte bestimmen die hydraulische Leitfähigkeit des Torfes und sind vor Maßnahmenbeginn zu untersuchen, um deren Erfolg einschätzen zu können (HEATHWAITE 1995, NICK et al. 2001, SCHOUWENAARS 1995). Des weiteren sind verschiedene Maßnahmen für die Wasserhaltung in abgetorften Mooren notwendig, die in der Praxis umfangreich getestet und in der Literatur beschrieben sind: BUGNON et al. (1997), BRÜSLISAUER & KLÖTZLI (1998), EGGELSMANN (1988), HEATHWAITE (1995), LAROSE et al. (1997), LÜTT (1992), NICK et al. (2001), JOOSTEN (1992), SLIVA (1998), SCHOUWENAARS (1995), WHEELER & SHAW (1995).

#### 2.4.2 Zugabe von Diasporen

Da abgetorfte Flächen ihre Diasporenbank verloren haben (SALONEN 1987) und ihre natürliche Wiederbesiedlung vom Diasporeneintrag abhängt, kann im Falle von *Sphagnum* die Etablierung einer Vegetationsdecke auf Frästorfflächen durch Einbringen von Diasporen (Pflanzenfragmente und Sporen) (BUGNON et al. 1997, ROCHEFORT et al. 1995) unterstützt werden.

Eine Menge von 450 zwei cm großen Diasporen pro m<sup>2</sup> können die Etablierung eines Torfmoos-Polsters innerhalb einer Vegetationsperiode ermöglichen, wenn der Wasserspiegel kurz unter der Oberfläche steht (CAMPEAU & ROCHEFORT 1996, FERLAND & ROCHEFORT 1997). Dabei ist es wichtig zu wissen, dass alle Teile der Torfmoose (bis auf die Blätter), vorausgesetzt sie werden nass gehalten, dazu in der Lage sind, isoliert von der Mutterpflanze ein neues Individuum zu bilden (POSCHLOD & PFADENHAUER 1989, SOBOTKA 1976).

Als für die Wiederbesiedlung abgetorfte Hochmoorflächen geeignete *Sphagnum*-Arten empfehlen FERLAND & ROCHEFORT (1997), ROCHEFORT & BASTIEN (1998) sowie SLIVA (1997) die Einbringung einer Mixtur vieler (Bult-, Rasen-, Schlenken-)Arten, um so die Anpassung der Moosschicht an verschiedene Klimate (z.B. unterschiedlich nasse Sommer) zu ermöglichen bzw. stärkeren Wasserstandsschwankungen zu begegnen. Hingegen schlagen GROSVERNIER et al. (1997) *S. fallax* als Pionier bei der Wiederbesiedlung abgetorfte Moore vor, auf dem sich dann für Hochmoore typische Torfmoose ansiedeln können. Obwohl zu erwarten ist, dass das relativ austrocknungsresistente *S. fuscum* die am besten an trockene, nackte Torfe angepasste *Sphagnum*-Art ist, eignet sich *S. fallax* aufgrund seiner hohen Wachstumsrate, der Kapazität Rasen zu bilden und noch höherer Austrocknungsresistenz besser zur Wiederbesiedlung (GROSVERNIER et al. 1995). *Sphagnum*-Decken aus *S. fallax* (in Norddeutschland) und *S. angustifolium* (in Süddeutschland und der Schweiz) weisen neben *S. cuspidatum* eine hohe Produktivität auf, garantieren eine schnelle Torfbildung (LÜTT 1992) und sind an die aktuell höheren Stickstoff-Depositionen besser angepasst (TWEINHÖVEN 1992). Durch *Sphagnum*-Arten (z.B. die Schlenkenart *S. cuspidatum*) gebildete, flutende Decken können Schwankungen des Wasserspiegels ausgleichen und sind nach Verdichtung Substrat für Bultarten (LÜTT 2001, MAWBY 1995, SLIVA 1997). Um die Menge des benötigten Materials zu minimieren, ist die Auswahl geeigneter Arten und Dichten entsprechend der Trockenheit der Oberfläche wichtig, wobei die Verbesserung der Feuchtigkeitsbedingungen die benötigte Anzahl an Diasporen mindert (CAMPEAU & ROCHEFORT 1996).

Wenn der Wasserstand nicht hoch genug ist, können Diasporen durch ein Beregnungssystem, durch die Schaffung geschützter Mikrostandorte (Eggen oder Pflügen) oder durch den Gebrauch von Abdeckungen, Stroh oder Gefäßpflanzen (vgl. Kap. 2.4.3) sowie Einbringung der Diasporen in der nassesten Jahreszeit (Frühjahr oder Herbst) vor der Austrocknung geschützt werden (JOHNSON et al. 2000, ROCHEFORT & CAMPEAU 1997).

#### 2.4.3 Schutz durch Strohaufbringung bzw. Gefäßpflanzen

Das Aufbringen von Stroh zur Schaffung geeigneter klimatischer Verhältnisse (Absenkung der Bodentemperatur, Verminderung der Verdunstung im Sommer) und dadurch Verbesserung der Wasserverfügbarkeit für Pflanzen (Erhöhung des Bodenwassergehaltes, Verringerung der Bodenwasserspannung, Verhinderung der oberflächigen Austrocknung im Sommer) fördert die Etablierung einer Vegetationsdecke (FERLAND & ROCHEFORT 1997, QUINTY & HOOD 1998, ROCHEFORT et al. 2000, SLIVA 1997, WROBEL 2001). QUINTY & ROCHEFORT (2000) berichten von weiteren positiven Eigenschaften des Strohs, das den Regenaufprall vermindert, die Wasserenergie zerstreut sowie die Anzahl und Intensität der Frost-Tau-Zyklen, die eine Etablierung der Moose verhindern, mindert. Ist die Strohschicht zu dick, ist das Torfmoos-Wachstum aus Mangel an photosynthetisch nutzbarer Strahlung gering (QUINTY & HOOD 1998, WROBEL 2001). Im Ver-

gleich zwischen Beschattung und Strohaufgabe kommt WROBEL (2001) zu dem Ergebnis, dass letztgenannte Methode die geeignetere ist, da hierdurch die mikroklimatischen Verhältnisse an der Mooroberfläche aufgrund verringerter Wasserspannung und erhöhten Bodenwassergehaltes günstiger sind, auch wenn das Photosynthesevermögen der Torfmoose verringert ist. Außerdem ist eine Strohaufgabe billiger und besser durchführbar als künstliche Beschattung. PRICE (1998) empfiehlt eine Strohaufgabe von 2250 kg ha<sup>-1</sup>. Da Stroh mit der Zeit zersetzt wird, dient es nicht nur als Schutz bei der Etablierung der Torfmoose sondern auch als Nährstoffquelle (WROBEL 2001). Die Substratqualität dürfte durch Stroh nicht beeinträchtigt werden.

Im Prozess der Etablierung von Torfmoosen auf abgetorften Standorten können auch die höheren Pflanzen eine Schlüsselrolle spielen (SLIVA 1997). Auf trockenen Standorten siedeln sich die Torfmoose unterhalb der *Eriophorum vaginatum*-Bulte an, deren Schutzwirkung durch höhere Konzentrationen an pflanzenverfügbaren Nährstoffen und Erhöhung der Boden- und Luftfeuchte sowie die Minderung der Temperaturextreme, zum Ausdruck kommen (GROSVERNIER et al. 1995, SLIVA 1997). Auf Standorten mit Wasserstandschwankungen über die Torfoberfläche hinaus wirkt *Eriophorum vaginatum* als Trägerpflanze (SLIVA 1997). An Standorten mit hoher Wind- und Wassererosion sind dichte Pflanzendecken, z.B. mit *Eriophorum angustifolium*, möglicherweise ein besserer Schutz für die Torfmoose als Stroh (BOUDREAU & ROCHEFORT 2000). Auch FERLAND & ROCHEFORT (1997) und NICK et al. (2001) erwähnen einen positiven Effekt des gleichzeitigen Anpflanzens bzw. Ansaats (besonders auf nassen Teilstandorten) von *Eriophorum angustifolium* auf das Überleben der Torfmoose. An Standorten mit andauernder Überflutung ist die Bildung von Schwimmmatten die einzige Möglichkeit zur Ansiedlung von Torfmoosen (PFADENHAUER & KLÖTZLI 1996). Hierbei spielen schnellwachsende Verlandungspioniere (z.B. *Carex lasiocarpa*, *C. rostrata*, *Eriophorum angustifolium*, *Juncus bulbosus*, *Menyanthes trifoliata*, *Potentilla palustris*) eine wichtige Rolle (SLIVA 1997). Die Gefäßpflanzen durchbrechen die Wasseroberfläche und reduzieren die Wellenbewegung (MONEY 1995). An den aus dem Wasser herausragenden Sprossen können die Torfmoose (*Sphagnum cuspidatum*) anhaften (SLIVA 1997). Schwimmt Bunkerde (der vor der Abtorfung abgetragene, zur weiteren Verwendung unbrauchbare Vegetationshorizont bzw. die durchwurzelte Schicht (POSCHLOD 1990) auf, kann diese auch zur Schwimmmattenbildung beitragen (PFADENHAUER & KLÖTZLI 1996).

Ein zu hoher Deckungsgrad von Gefäßpflanzen wirkt sich aufgrund zu starker Streubildung (MALMER 1993, MALMER et al. 1994) sowie der Förderung mikrobieller Aktivität und damit Zersetzung (LÜTT 1992) negativ auf das Torfmooswachstum aus.

Inwiefern Gefäßpflanzen, die zur Etablierung von Torfmoosen auf abgetorften Flächen sowie aufgrund der produktivitätssteigernden Wirkung einer moderaten Beschattung (vgl. Kap. 2.2.3) eingesetzt wurden, die Substratqualität beeinflussen, ist unbekannt.

### 3. Schlussfolgerungen

Die alternative Nutzungsform der für die Kultivierung von Torfmoosen geeigneten Flächen (Teile von Seen der Bergbaufolgelandschaften der Lausitz und abgetorfte oder als extensives Grünland genutzte Hochmoore Niedersachsens) ist deren Renaturierung bzw. „sich selbst“ überlassen. Damit würden zwar Flächen mit einem höheren Grad an Natürlichkeit geschaffen als bei deren Nutzung für die Kultivierung von Torfmoosen, aber die Vernichtung wachsender, noch kaum durch den Menschen beeinflusster Moore in anderen Regionen würde fortgesetzt werden (JOOSTEN & TIMMERMANN 1999). Die Fehnlandschaft im nordwestlichen Niedersachsen als Kulturlandschaft und damit Arbeitsplätze in ländlichen Räumen würden verloren gehen.

Um dem entgegenzuwirken, erscheint die Kultivierung von Torfmoosen notwendig. Hierfür besteht Aussicht auf Erfolg, da schon ohne Manipulation der Standortbedingungen sehr hohe Produktivitätswerte erreicht werden können. Bereits heute werden größere Mengen lebender Torfmoose in Nord- und Südamerika, Neuseeland, Australien und China geerntet, die sich nicht nur zu Kultursubstraten (z.B. für Orchideen- und Bromelien-Zucht), sondern auch als Dämmstoffe u.a.m. verarbeiten lassen.

Bevor Torfmoose im großen Maßstab kultiviert werden, gilt es folgende mit der Literaturstudie aufgeworfenen Fragen während der dreijährigen Hauptphase des Forschungsprojektes in Mikro-Ökosystem- und Pilotversuchen im Freiland zu beantworten:

1. Ist *Sphagnum*-Frischmasse (Biomasse) für den Pflanzenbau geeignet und wenn, von welcher *Sphagnum*-Art?
2. Erreichen Bultarten (*S. magellanicum* und *S. rubellum*) ohne Konkurrenz im Schlenkenniveau einen höheren Massezuwachs ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) als im Bultniveau?
3. Trägt der Durchfluss von Wasser zu einer Produktivitätssteigerung bei?
4. Wie kann ein hoher  $\text{CO}_2$ -Gehalt im Wasser erreicht werden, ohne die Torfmoose zu schädigen?
5. Inwieweit steigert Phosphor- bzw. Kalium-Düngung die Torfmoos-Produktivität?
6. Bis zu welchem Deckungsgrad steigert die Anwesenheit von Gefäßpflanzen die Torfmoos-Produktivität?
7. Welche *Sphagnum*-Art bzw. -Artengemisch eignet sich am besten zur Etablierung auf abgetorften Flächen?
8. Welches Material (Gefäßpflanzen, Stroh usw.) trägt am besten (schnell und günstig) zur Etablierung der Torfmoose auf abgetorften Flächen bei?
9. Welches Material (Gefäßpflanzen-Art, Bunkerde usw.) trägt am besten (schnell und günstig) zur Schwimmmattenbildung bei?
10. Ist die Produktivität der Torfmoose auf Schwimmmatten höher als auf abgetorften Flächen mit Wasserstand nahe der Oberfläche?
11. Inwieweit beeinflussen andere Materialien als Torfmoose und Düngung die Substratqualität?

Außerdem muss die Torfmoosproduktion ökonomisch analysiert werden. Die Umsetzung der gewonnenen Forschungsergebnisse in die Praxis wird dann Aufgabe der Industrie und des Naturschutzes sein.

#### 4. Danksagung

Mein Dank gilt der Bundesvereinigung Torf- und Humuswirtschaft (BTH) für die Finanzierung der Literaturstudie und Hans Joosten für die Bereitstellung seiner umfangreichen Moorbibliothek und die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

#### 5. Literaturverzeichnis

- AERTS, R., WALLEN, B. & MALMER, N. (1992): Growth-limiting nutrients in *Sphagnum*-dominated bogs subject to low and high atmospheric nitrogen supply. - J. Ecol. **80**: 131-140.
- ANDRUS, R. E. (1986): Some aspects of *Sphagnum* ecology. - Can. J. Bot. **64**: 416-426.
- BELYEA, L.R. (1996): Separating the effects of litter quality and microenvironment on decomposition rates in a patterned peatland. - Oikos **77**: 529-539.
- BLANKENBURG, J. (1993): Abtorfungsverfahren und Wiedervernäßbarkeit. - Telma **23**: 85-93; Hannover.
- BOUDREAU, S. & ROCHEFORT, L. (1998) : Restoration of post-mined peatlands: effect of vascular pioneer species on *Sphagnum* establishment. - In: MALTERER, T., JOHNSON, K. & STEWARD, J. (Hrsg.): Proceedings of the 1998 International Peat Symposium, Peatland restoration and reclamation: 39-43; Jyväskylä.
- BRÜLISAUER, A. & KLÖTZLI, F. (1998): Notes on the ecological restoration of fen meadows, ombrogenous bogs and rivers: definitions, techniques, problems. - Bulletin of the Geobotanical Institute ETH **64**: 47-61.
- BUGNON, J.-L., ROCHEFORT, L. & PRICE, J.S. (1997): Field experiments of *Sphagnum* reintroduction on a dry abandoned peatland in eastern Canada. - Wetlands **17**: 513-517.
- CAMPEAU, S. & ROCHEFORT, L. (1996): *Sphagnum* regeneration on bare peat surfaces: field and greenhouse experiments. - J. of Applied Ecol. **33**: 599-608.
- CAMPEAU, S. & ROCHEFORT, L. (2000): Production rate and water content of *Sphagnum* on restored cut-over peatlands: comparison with natural areas. - In: CROWE, A. & ROCHEFORT, L. (Hrsg.): Millennium Wetland Event Quebec (6. - 12.08.2000), Programm und Abstracts: 171.
- CLYMO, R.S. (1970): The growth of *Sphagnum*: methods of measurement. - J. Ecol. **58**: 13-49.
- CLYMO, R.S. (1973): The growth of *Sphagnum*: some effects of environment. - J. Ecol. **61**: 849-869.
- CLYMO, R.S. (1992): Productivity and decomposition of peatland ecosystems. - In: BRAGG, O.M., HULME, P.D., INGRAM, H.A.P. & ROBERTSON, R.A.: Peatland ecosystems and man - an impact assessment: 3 - 16; Dep. Of Biological Sciences, University of Dundee.

- CLYMO, R.S. (1997): The roles of *Sphagnum* in peatlands. - In: PARKYN, L., STONEMAN, R.E. & INGRAM, H.A.P. (Hrsg.): Conserving peatlands. CAB International: 95-102.
- CLYMO, R.S. & HAYWARD, P.M. (1982): The ecology of *Sphagnum*. - In: SMITH, A.J.E. (Hrsg.): Bryophyte ecology: 229-289; London - New York (Chapman & Hall).
- CLYMO, R.S. & REDDAWAY, E.J.F. (1971): Productivity of *Sphagnum* (bog-moss) and peat accumulation. - *Hydrobiologia* **12**: 181-192.
- DAMMAN, A.W.H. (1990): Nutrient status of ombrotrophic peat bogs. - *Aquilo Ser. Bot.* **28**: 5-14.
- EGGELSMANN, R. (1988): Rewetting for protection and renaturation/ regeneration of peatland after or without peat winning. - *Proceedings 8th International Peat Congress Leningrad* **3**: 251-260.
- ELLENBERG, H. (1996): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*.- 5. Aufl.: 1095 S.; Stuttgart (Ulmer).
- FERLAND, C. & ROCHEFORT, L. (1997): Restoration techniques for *Sphagnum*-dominated peatlands. - *Can. J. Bot.* **75**: 1110-1118.
- GAUDIG, G. (2001): Das Forschungsprojekt: Etablierung von *Sphagnum* – Optimierung der Wuchsbedingungen. - *Telma* **31**: 329-334; Hannover.
- GROSVERNIER, P., MATTHEY, Y. & BUTTLER, A. (1995): Microclimate and physical Properties of peat: new clues to the understanding of bog restoration processes. - In: WHEELER, B.D., SHAW, S., FOJT, W. J. & ROBERTSON, R.A. (Hrsg.): Restoration of temperate wetlands: 435-450; Chichester (John Wiley & sons).
- GROSVERNIER, P., MATTHEY, Y. & BUTTLER, A. (1997): Growth potential of three *Sphagnum* species in relation to water table level and peat properties with implications for their restoration in cut-over bogs. - *J. of Applied Ecol.* **34**: 471-483.
- HAYWARD, P.M. & CLYMO, R.S. (1982): Profiles of water content and pore size in *Sphagnum* and peat, and their relation to peat bog ecology. - *Proc. R. Soc. Lond. B* **215**: 299-325.
- HEATHWAITE, L. (1995): Problems in the hydrological management of cut- over raised mires, with special reference to Thorne Moors, South Yorkshire. - In: WHEELER, B.D., SHAW, S., FOJT, W.J. & ROBERTSON, R.A. (Hrsg.): Restoration of temperate wetlands: 315-329; Chichester (John Wiley & sons).
- HEIJMANS, M.M.P.D. (2000): Effects of elevated CO<sub>2</sub> and increased N deposition on bog vegetation in the Netherlands. - Ph.D thesis, University of Wageningen, Wageningen (Ponsen & Looijen bv).
- JAUHAINEN, J. (1998): Response of *Sphagnum* mosses to increased CO<sub>2</sub> concentration and nitrogen deposition. - Ph.D thesis, University of Joensuu, Publications in sciences **48**.
- JOHNSON, K.W., MALY, C.C. & MALTERER, T.J. (2000): Effects of mulch, companion species, and planting time on restoration of post-harvested Minnesota peatlands. - In: CROWE, A. & ROCHEFORT, L. (Hrsg.): Millenium Wetland Event Quebec (6. - 12.08.2000), Programm und Abstracts: 403.
- JOHNSON, L.C. & DAMMAN, A.W.H. (1991): Species-controlled *Sphagnum* decay on a South Swedish raised bog. - *Oikos* **61**: 243-242; Copenhagen.

- JOHNSON, L.C. & DAMMAN, A.W.H. (1993): Decay and its regulation in *Sphagnum* peatlands. - In: MILLER, N.G. (Hrsg.): *Advances in Bryology* 5: 249-296.
- JOOSTEN, H. (1992): Bog regeneration in the Netherlands: a review. - In: BRAGG, O.M., HULME, P.D., INGRAM, H.A.P. & ROBERTSON, R.A. (Hrsg.): *Peatland Ecosystems and Man: An Impact Assessment*. Dept. of Biological Sciences University of Dundee: 367 – 373; Dundee.
- JOOSTEN, H. & TIMMERMANN, T. (1999): Torf als nachwachsender Rohstoff. - *Telma* 29: 171-181; Hannover.
- LAJTHA, K. & HARRISON A.F. (1995): Strategies of phosphorus acquisition and conservation by plant species and communities. - In: TIESSEN, H. (Hrsg.): *Phosphorus in the global environment – transfer, cycles and management*: 139-147; Chichester (Wiley).
- LAMERS, L.P.M. (2001): Tackling Biochemical Questions in Peatlands. - Ph.D thesis, Katholieke Universiteit Nijmegen.
- LAROSE, S., PRICE, J. & ROCHEFORT, L. (1997): Rewetting of a cutover peatland: hydrologic assessment. - *Wetlands* 17: 416-423.
- LAVOIE, C. & ROCHEFORT, L. (1996): The natural revegetation of a harvested peatland in southern Quebec: A spatial and dendroecological analysis. - *Ecoscience* 3: 101-111.
- LAVOIE, C., GROSVERNIER, P., GIRARD, M., MARCOUX, K. & CAMPBELL, D.R. (2000): Peatland restoration: natural processes against all odds?. - In: CROWE, A. & ROCHEFORT, L. (Hrsg.): *Millenium Wetland Event Quebec* (6. - 12.08.2000), Programm und Abstracts: 316.
- LEE, J.A., PARSONS, A.N. & BAXTER, R. (1993): *Sphagnum* species and polluted environments, past and future. - In: MILLER, N.G. (Hrsg.): *Advances in Bryology* 5: 297-313.
- LI, Y., GLIME, J.M. & DRUMMER, T.D. (1993): Effects of phosphorus on the growth of *Sphagnum magellanicum* Brid. and *S. papillosum* Lindb. - *Lindbergia* 18, Lund.
- LIMPENS, J. & BERENDSE, F. (2000): Effect of elevated nitrogen deposition on production and decomposition in raised bogs. - In: CROWE, A. & ROCHEFORT, L. (Hrsg.): *Millenium Wetland Event Quebec* (6. - 12.08.2000), Programm und Abstracts: 150.
- LIMPENS, J., TOMASSEN, H.B.M., BERENDSE, F. & ROELOFS, J.G.M. (2000): Dutch survival plan for bogs: Impact of enhanced nitrogen deposition on ombrotrophic bogs. - In: CROWE, A. & ROCHEFORT, L. (Hrsg.): *Millenium Wetland Event Quebec* (6. - 12.08.2000), Programm und Abstracts: 486.
- LÜTT, S. (1992): Produktionsbiologische Untersuchungen zur Sukzession der Torfstichvegetation in Schleswig-Holstein. - *Mitt. d. AG Geobotanik in SH und Hamburg* 43.
- MALMER, N. (1975): Bog mires and their influence on landscapes. - In: HASLER, A.D.: *Coupling of Water and Land Ecosystems*: 83-92. Berlin (Springer).
- MALMER, N. (1986): Vegetational gradients in relation to environmental conditions in northwestern European mires. - *Can. J. Bot.* 64: 375-383.
- MALMER, N. (1990): Constant or increasing nitrogen concentrations in *Sphagnum* mosses on mires in Southern Sweden during the last few decades. - *Aquilo Ser. Bot.* 28: 57-65.

- MALMER, N. (1993): Mineral nutrients in vegetation and surface layers of *Sphagnum*-dominated peat-forming systems. - In: MILLER, N.G. (Hrsg.): *Advances in Bryology* **5**: 223-248.
- 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.
- MAWBY, F.J. (1995): Effects of damming peat cuttings on Glasson Moss and Wedholme Flow, two lowland raised bogs in Northwest England. - In: WHEELER, B.D., SHAW, S., FOJT, W.J. & ROBERTSON, R.A. (Hrsg.): *Restoration of temperate wetlands*: 349-357; Chichester (John Wiley & sons).
- MONEY, R.P. (1995): Re-establishment of a *Sphagnum*-dominated flora on cut-over lowland raised bogs. - In: WHEELER, B.D., SHAW, S., FOJT, W.J. & ROBERTSON, R.A. (Hrsg.): *Restoration of temperate wetlands*: 405-422; Chichester (John Wiley & sons).
- NICK, K.-J., LÖPMEIER, F.J., SCHIFF, H., BLANKENBURG, J., GEBHARD, H., KNABKE, C., WEBER, H.E., FRÄMBS, H. & MOSSAKOWSKI, D. (2001): Moorregeneration im Leegmoor/ Emsland nach Schwarztorfabbau und Wiedervernässung - Ergebnisse aus dem E+E-Vorhaben 80901001 des Bundesamtes für Naturschutz. - *Angewandte Landschaftsökologie Heft* **38**, Bundesamt für Naturschutz, Bonn - Bad Godesberg.
- PAFFEN, B.G.P. & ROELOFS, J.G.M. (1991): Impact of carbon dioxide and ammonium on the growth of submerged *Sphagnum cuspidatum*. - *Aquatic Botany* **40**: 61-71.
- PFADENHAUER, J. & KLÖTZLI, F. (1996): Restoration experiments in middle European wet terrestrial ecosystems: an overview. - *Vegetatio* **126**: 101-115.
- PITCAIRN, C.E.R., FOWLER, D. & GRACE, J. (1995): Deposition of fixed atmospheric nitrogen and foliar nitrogen content of bryophytes and *Calluna vulgaris* (L.) Hull. - *Env. Poll.* **88**: 193-205.
- POSCHLOD, P. (1990): Vegetationsentwicklung in abgetorften Hochmooren des bayrischen Alpenvorlandes unter besonderer Berücksichtigung standortkundlicher und populationsbiologischer Faktoren. - *Diss. Botanicae* **152**; Berlin.
- POSCHLOD, P. (1995): Diaspore rain and diaspore bank in raised bogs and implications for the restoration of peat-mined sites. - In: WHEELER, B.D., SHAW, S., FOJT, W.J. & ROBERTSON, R.A. (Hrsg.): *Restoration of temperate wetlands*: 471-494; Chichester (John Wiley & sons).
- POSCHLOD, P. & PFADENHAUER, J. (1989): Regeneration vegetativer Sproßteilchen von Torfmoosen – Eine vergleichende Studie an neun *Sphagnum*-Arten. - *Telma* **19**: 77-88; Hannover.
- PRICE, J.S. (1998): Methods for restoration of a cutover peatland, Quebec, Canada. - In: MALTERER, T., JOHNSON, K. & STEWARD, J. (Hrsg.): *Proceedings of the 1998 International Peat Symposium, Peatland restoration and reclamation*: 259; Jyväskylä.
- PRICE, J.S., HEATHWAITE, A.L., BAIRD, A. & BLANKENBURG, J. (2000): Hydrological processes in abandoned and restored peatlands. - In: CROWE, A. & ROCHEFORT, L. (Hrsg.): *Millenium Wetland Event Quebec* (6. - 12.08.2000), Programm und Abstracts: 315.
- QUINTY, F. & HOOD, G. (1998): Peatland restoration guide. - In: MALTERER, T., JOHNSON, K. & STEWARD, J. (Hrsg.): *Proceedings of the 1998 International Peat Symposium, Peatland restoration and reclamation*: 79-81; Jyväskylä.

- QUINTY, F. & ROCHEFORT, L. (2000): Bare peat substrate instability in peatland restoration: problems and solutions. - In: CROWE, A. & ROCHEFORT, L. (Hrsg.): Millenium Wetland Event Quebec (6. - 12.08.2000), Programm und Abstracts: 171.
- RISAGER, M. (1998): Impacts of nitrogen on *Sphagnum* dominated bogs with emphasis on critical load assessment. - Ph.D thesis, Department of Plant Ecology, Botanical Institute, Faculty of Science, University of Copenhagen.
- ROCHEFORT, L. & BASTIEN, D.F. (1998): Reintroduction of *Sphagnum* in harvested peatland: Assessment of various methods of protection against desiccation. - *Ecoscience* **5**: 117-127.
- ROCHEFORT, L. & CAMPEAU, S. (1997): Rehabilitation work on post-harvested bogs in South Eastern Canada. - In: PARKYN, L., STONEMAN, R.E. & INGRAM, H.A.P. (Hrsg.): Conserving peatlands, CAB International: 287-294.
- ROCHEFORT, L., GAUTHIER, R. & LEQUERE, D. (1995): *Sphagnum* regeneration - toward an optimisation of bog restoration. - In: WHEELER, B.D., SHAW, S., FOJT, W.J. & ROBERTSON, R.A. (Hrsg.): Restoration of temperate wetlands: 423-434; Chichester (John Wiley & sons).
- ROCHEFORT, L., QUINTY, F., CAMPEAU, S., VITT, D.H., JOHNSON, K. & MALTERER, T. (2000): North American approach to peatland restoration. - In: CROWE, A. & ROCHEFORT, L. (Hrsg.): Millenium Wetland Event Quebec (6. - 12.08.2000), Programm und Abstracts: 223.
- RUDOLPH, H., KIRCHHOFF, M. & GLIESMANN, S. (1988): *Sphagnum* culture techniques. - In: GLIME, J.M. (Hrsg.): Methods in bryology: 25-34. Proc. Bryol. Meth. Workshop; Mainz.
- RYDIN, H. (1993): Mechanisms of interactions among *Sphagnum* species along water-level gradients. - In: MILLER, N.G. (Hrsg.): Advances in Bryology **5**: 153-185.
- RYDIN, H. & CLYMO, R.S. (1989): Transport of carbon and phosphorus compounds about *Sphagnum*. - Proceedings of the Royal Society of London Series B **237**: 63-84.
- SAARNIO, S., JUAHAINEN, J., SAARINEN, T., VASANDER, H. & SILVOLA, J. (2000): Response of *Sphagnum* mosses to increased CO<sub>2</sub> concentration and NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> availability. - In: CROWE, A. & ROCHEFORT, L. (Hrsg.): Millenium Wetland Event Quebec (6. - 12.08.2000), Programm und Abstracts: 313.
- SALONEN, V. (1987): Relationship between the seed rain and the establishment of vegetation in two areas abandoned after peat harvesting. - *Holarct. Ecol.* **10**: 171-174.
- SCHEFFER, R. (1998): Decomposition of *Carex* and *Sphagnum* litter in fens. - Ph.D thesis, Faculty of Biology, University of Utrecht.
- SCHOUWENAARS, J.M. (1995): The selection of internal and external water management options for bog restoration. - In: WHEELER, B.D., SHAW, S., FOJT, W.J. & ROBERTSON, R.A. (Hrsg.): Restoration of temperate wetlands: 331-346; Chichester (John Wiley & sons).
- SILVOLA, J. (1990): Combined effects of varying water content and CO<sub>2</sub>-concentration on photosynthesis in *Sphagnum fuscum*. - *Holarctic Ecology* **13**: 224-228; Copenhagen.
- SLIVA, J. (1997): Renaturierung von industriell abgetorften Hochmooren am Beispiel der Kendlmühlfilzen. - Diss. TU München, Freising-Weihenstephan, Institut für Landespflege und Botanik; München (H. Utz Verlag Wissenschaft).

- SLIVA, J. (1998): Regeneration of milled peat bog: a large scale approach in Kollerfilze (Bavaria, Southern Germany). - In: MALTERER, T., JOHNSON, K. & STEWARD, J. (Hrsg.): Proceedings of the 1998 International Peat Symposium, Peatland restoration and reclamation: 82-87; Jyväskylä.
- SMITH, R.M., TWISS, P.C., KRAUSS, R.K. & BROWN, M.J. (1970): Dust deposition in relation to site, season, and climatic variables. - Soil Sci. Soc. Am. Proc. **34**: 112-117.
- SMOLDERS, A.J.P., TOMASSEN, H.B.M., PIJNAPPEL, H., LAMERS, L.P.M. & ROELOFS, J.G.M. (2001): Substrate-derived CO<sub>2</sub> is important in the development of *Sphagnum* spp.. - New Phytologist **152**: 325-332.
- SOBOTKA, D. (1976): Regeneration and vegetative propagation of *Sphagnum palustre* as factor of population stability. - Acta Societatis Bot. Poloniae: 357-367.
- SUNDBERG, S. (2000): The ecological significance of sexual reproduction in peat mosses (*Sphagnum*). - Acta Universitatis Upsaliensis. Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology **581**; Uppsala.
- TITUS, J.E. & WAGNER, D.J. (1984): Carbon balance for two *Sphagnum* mosses: water balance resolves a physiological paradox. - Ecology **65**: 1765-1774.
- TOMASSEN, H.B.M., SMOLDERS, A.J.P., LIMPENS, J., VAN DUINEN, G.-J., VAN DER SCHAAF, S. & VAN WIRDUM, G. (2001): Onderzoek ten behoeve van herstel en beheer van Nederlandse hoogveen en - Tussentijdse rapportage 2000. - Leerstoelgroep Aquatische Oecologie en Milieubiologie, Universiteit Nijmegen.
- TWENHÖVEN, F.L. (1992): Untersuchungen zur Wirkung stickstoffhaltiger Niederschläge auf die Vegetation von Hochmooren. - Mitt. d. AG Geobotanik in SH und Hamburg **44**.
- VERHOEVEN, J.T.A., KOERSELMAN, W. & MEULEMAN, A.F.M. (1996): Nitrogen- or phosphorus-limited growth in herbaceous, wet vegetation: relations with atmospheric inputs and management regimes. - Trends in Ecol. and Evol. **11**: 494-497.
- VERHOEVEN, J.T.A. & TOTH, E. (1995): Decomposition of *Carex* and *Sphagnum* litter in fens: Effect of litter quality and inhibition by living tissue homogenates. - Soil Biology and Biochemistry **27**: 271-275.
- WHEELER, B.D. & SHAW, S. (1995). - In: WHEELER, B.D., SHAW, S., FOJT, W.J. & ROBERTSON, R.A. (Hrsg.): Restoration of temperate wetlands: 49-72; Chichester (John Wiley & sons).
- WROBEL, S. (2001): Bodenklimatische und ökophysiologische Untersuchungen mit *Sphagnum papillosum* Lindb. zur Hochmoorrenaturierung. - Unveröff. Dipl.-Arbeit Uni Essen, Fachbereich 9.

Anschrift der Verfasserin:

G. Gaudig  
 Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald  
 Botanisches Institut  
 Grimmer Straße 88  
 D-17489 Greifswald  
 E-mail: gaudig@uni-greifswald.de

Manuskript eingegangen am 10. Juni 2002