

TELMA	Band 29	Seite 171 – 181		Hannover, November 1999
-------	---------	-----------------	--	-------------------------

# Torf als nachwachsender Rohstoff <sup>\*)</sup>

Peat as a renewable resource

HANS JOOSTEN und TIEMO TIMMERMANN

## Zusammenfassung

Schwach zersetzter *Sphagnum*-Torf (Weißtorf) ist ein wertvoller Rohstoff, der für eine Reihe spezieller Anwendungen, insbesondere im Erwerbsgartenbau, schwer substituierbar ist. In West- und Mitteleuropa ist bereits ein Großteil der Vorräte aufgebraucht und wird zunehmend Weißtorf aus Nord- und Ost-Europa sowie Kanada importiert. Langfristig werden die Weißtorf-Vorräte und wachsende Hochmoore nur in Reservaten und in kommerziell nicht erschließbaren Regionen überdauern. Es ist daher an der Zeit, in eine Phase der nachhaltigen Nutzung von Torfen, die Paludikultur, einzutreten. Daß eine Rotationskultur junger *Sphagnum*-Torfe technisch machbar ist, zeigen Erfahrungen mit dem *Sphagnum*-Harvesting sowie mit der Revitalisierung von Hochmooren zu Naturschutzzwecken. Die Paludikultur wirft Fragen auf zur Auswahl geeigneter *Sphagnum*-Sippen, zu Techniken der Etablierung und Beerntung von Moorflächen, zur Optimierung der Erträge und Substratqualitäten, zu erforderlichen Flächengrößen, zur Rentabilität und zu möglichen positiven oder negativen Nebenwirkungen. Diese Aspekte werden ansatzweise diskutiert. In Mitteleuropa stellen insbesondere abgetorfte Hochmoore und andere Bergbaufolgelandschaften ein Flächenpotential für die Paludikultur dar.

## Summary

Slightly humified *Sphagnum* peat is a valuable resource that is difficult to be substituted in professional horticulture. In West- and Central Europe, the stocks are nearly exhausted and peat is increasingly imported. At the long run, *Sphagnum* moss peat and virgin *Sphagnum* bogs may only survive in nature reserves or in areas that are technically and commercially inaccessible. Time has, therefore, come for peat extraction to develop into sustainable peat cultivation: paludiculture.

Experiences with *Sphagnum*-harvesting and restoration of cut-over bogs indicate that a rotation culture of young *Sphagnum* peat is technically possible. A future paludiculture implies the identification of optimal conditions and *Sphagnum* taxa for peat accumulation, the development of adequate cultivation and retrieval techniques, an estimation of necessary areas and economics, and an assessment of possible positive and negative side effects. This paper presents a review of these aspects. Suitable areas

---

\*) Vortrag, gehalten am 16. März 1999 auf der gemeinsamen Arbeitstagung der DGMT und Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz über die Entwicklung des Hochmoorgrünlands in Niedersachsen

for paludiculture in Central-Europe may include cut-over bogs and other exhausted open-cast mining areas.

## 1. Einführung

Wachsende, lebende Moore erstreckten sich außerhalb der Tropen ursprünglich über 3 Millionen km<sup>2</sup>. Davon sind heute 0,5 Millionen km<sup>2</sup> infolge anthropogener Nutzung nicht mehr torfbildend. In Europa sind von 495.000 km<sup>2</sup> bereits 2/3 nicht mehr wachsend (JOOSTEN 1998a). In den meisten Staaten West- und Mitteleuropas ist schwach zersetzter *Sphagnum*-Torf (Weißtorf) nach einem Jahrhundert intensiver Exploitation nahezu verschwunden und wird derzeit in ständig wachsenden Anteilen eingeführt (LANGER & STEFFENS 1998). Damit verlagert sich die Gewinnung in bisher weniger genutzte Regionen wie das Baltikum, Skandinavien und Kanada (JOOSTEN 1995a), was zu einer immer stärkeren Bedrohung der kaum anthropogen beeinflussten Moore und eine weitere Abnahme der natürlichen Weißtorf-Vorräte führt. Es ist zu befürchten, daß wachsende Hochmoore langfristig nur in ständig bedrohten Reservaten und in kommerziell nicht erschließbaren Regionen überdauern werden. Der einzige Ausweg aus diesen Trends, die sowohl für den Naturschutz als auch für die Torfindustrie negativ sind, liegt in der Entwicklung einer nachhaltigen Torf-Bewirtschaftung, der Paludikultur (JOOSTEN 1998b).

Von Seiten der Torfindustrie wird die gegenwärtige Praxis des Torfabbaus schon vielfach als nachhaltige Nutzung bezeichnet (PETTERSON 1994, MUHONEN 1997, SCHMILLEWSKI 1997). Tatsächlich übertrifft in einigen Ländern die jährliche Neubildung von Torfen die jährlich abgebauten Torfmengen, etwa in den Niederlanden (wo überhaupt kein Torf mehr abgebaut wird), Estland, Finnland und Rußland. In der Rechnung werden jedoch die zusätzlichen Torfverluste übersehen, die in bereits abgetorften oder für andere Zwecke entwässerten Mooren laufend stattfinden. Diese führen in all diesen Ländern, zusammen mit dem Torfabbau, zu einer negativen Kohlenstoffbilanz für die Moore. Auch weltweit geht derzeit jährlich mehr Torf verloren, als sich neu bildet; die Torfreserven schwinden etwa zehnmals schneller, als sie sich gebildet haben (JOOSTEN 1998b). Torfnutzung ist daher im Weltmaßstab derzeit nicht nachhaltig.

Die „Restauration“ abgetorfener Moore wird häufig als eine geeignete Kompensation für die Moorverluste durch den industriellen Torfabbau betrachtet. Aber auch dies trifft nur teilweise zu. Trotz zahlreicher Erfolge bei der Wiedervernässung von Mooren und der Restitution einer Feuchtgebietsvegetation ist die Initiierung einer erneuten Bildung von *Sphagnum*-Torfen bisher nur in Ansätzen gelungen (JOOSTEN 1995b). Viele Ökosystem-Eigenschaften, wie etwa die Speicherkapazität für Kohlenstoff, der Archivwert, Mechanismen der Selbstregulation und die Biodiversität, lassen sich auch langfristig nicht oder nur unvollständig wieder herstellen. Daher kann die Revitalisierung nach einer Abtorfung niemals ein Ersatz für den absoluten Schutz jungfräulicher Moore sein (WHEELER 1995, JOOSTEN 1998b).

Die Forstwirtschaft und Fischerei orientieren sich schon seit über hundert Jahren an einer nachhaltigen Nutzung ihrer Naturressourcen. Dagegen zieht die Torf-Industrie noch immer nach Art der Jäger und Sammler von einer ausgebeuteten Lagerstätte zur nächsten weiter. Doch nicht nur der Verbrauch der materiellen Ressourcen, gerade auch die steigende Wertschätzung weiterer, z. T. immaterieller gesellschaftlicher Funktionen von Mooren wird die Entwicklung hin zu einer Paludikultur beschleunigen. Ein ähnlicher Prozeß findet derzeit bei der Nutzung tropischer Regenwälder statt, die sich aus den genannten Gründen zunehmend am Leitbild der Nachhaltigkeit orientiert.

## 2. Paludikultur

Weil Torf „wächst“, kann er – zumindest auf lange Sicht – als nachwachsender Rohstoff betrachtet werden (TOLONEN 1979). Das trifft vor allem für schwach zersetzte *Sphagnum*-Torfe (Weißtorfe) zu, die jünger als die Schwarztorfe sind. Weißtorfe werden für die Herstellung von Substraten für den Erwerbsgartenbau verwendet und stellen damit das wertvollste und am schwierigsten ersetzbare Torfprodukt dar (REINIKAINEN 1997, GRANTZAU 1997).

Die ersten Vorschläge für eine Paludikultur, entworfen zum Zweck einer nachhaltigen Energieerzeugung, stammten von SCHOOCKIUS (1658) und wurden weiter ausgearbeitet von DAU (1823) und LESQUEREUX (1847). Diese Initiative konnte sich jedoch nicht durchsetzen, da Torf im 19. Jahrhundert durch die leichter verfügbare Steinkohle verdrängt wurde.

Erfahrungen, die in die heutige Entwicklung einer Paludikultur einfließen können, stammen aus den rezenten Untersuchungen zur Hochmoor-Revitalisierung, dem *Sphagnum*-Harvesting in Australien, Neuseeland, Tasmanien, Feuerland und Nordamerika (WHINAM & BUXTON 1997) sowie aus der Kulturpflanzenzüchtung. Für die Entwicklung eines praxisreifen Verfahrens müssen insbesondere folgende Fragen geklärt werden:

- a) Welche *Sphagnum*-Sippen kombinieren optimal Kultivierbarkeit, Torfbildungsraten und Substrateigenschaften?
- b) Welche Standortbedingungen ermöglichen die Bildung der *Sphagnum*-Bestände und führen zu optimalen Erträgen?
- c) Welche Kultivierungs- und Erntemethoden sind geeignet?
- d) Welche Flächengrößen sind im Hinblick auf eine Nachhaltigkeit sowie aus betriebswirtschaftlicher Sicht erforderlich und wo besteht ein Flächenpotential?
- e) Welches sind die möglichen positiven und negativen Nebeneffekte der Paludikultur?

## 2.1 *Sphagnum*-Sippen

Geeignet für die Paludikultur sind *Sphagnum*-Sippen (Arten, Varietäten, Hybriden, Geschlechter), die Massenbestände bilden können, gute Eigenschaften zur Substratherstellung besitzen und hohe Torfbildungsraten aufweisen. Aus europäischer Perspektive sind daher vor allem *Sphagnum papillosum*, *S. magellanicum* und *S. imbricatum* interessant. Da diese Arten im allgemeinen erst in späteren Sukzessionsstadien Massenbestände bilden, gilt es zu prüfen, ob sie unter manipulierten hydrochemischen Bedingungen auch als Primärbesiedler auftreten können. Daneben sollte untersucht werden, inwieweit typische Arten früher Sukzessionsstadien wie *Sphagnum cuspidatum*, *S. fallax*, *S. angustifolium* und *S. fimbriatum*, die häufig spontan Massenbestände in Torfstichen oder auf Renaturierungsflächen bilden (JOOSTEN & BAKKER 1987, LÜTT 1992, WEBER 1993, GROSVERNIER et al. 1997, JOHNSON & MALY 1998, LEQUERÉ & SAMSON 1998, WHEELER et al. 1998) oder auch Torfmoose der Sektion *Acutifolia* (*Sphagnum fuscum*, *S. rubellum*), als Etablierungshilfe oder als Rohendprodukt nutzbar sind.

## 2.2 Standortbedingungen

Optimale Voraussetzungen für eine Paludikultur bieten Standorte, die trocken genug sind, um höchste Produktivität zu garantieren und gleichzeitig dauerhaft naß genug bleiben, um den oxidativen Torfabbau zu hemmen. Für das Anbauverfahren bieten sich daher zwei Leitbilder an:

- a) von einem Wasserkörper unterlagerte Schwingrasen:  
Sie weisen besonders stabile Standortbedingungen auf, da sie den Schwankungen des Moorwasserspiegels folgen und somit die Flurabstände nahezu konstant bleiben. In geringmächtigen, ganzjährig wassergesättigten Schwingrasen (Teppich-Niveau) findet die stärkste Torfakkumulation statt (LÜTT 1992).
- b) schwammsumpfige, nicht von einem Wasserkörper unterlagerte Moorstandorte:  
Diese bleiben durch ein allmähliches Anheben des Wasserspiegels, wie es in Kesselmooren durch positive Rückkoppelungseffekte stattfindet (TIMMERMANN 1999), bei höchsten Torfakkumulationsraten permanent wassergesättigt.

Die mittleren Torfbildungsraten wachsender Hochmoore liegen bei 30–60 g Trockenmasse  $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$  (TURUNEN & TOLONEN 1996, CLYMO et al. 1998). Betrachtet man nur Torfe, die in den letzten tausend Jahren gebildet wurden, liegen die Werte bei über 100–150 g  $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$  (WIEDER et al. 1994, TURUNEN & TOLONEN 1996). Noch höhere Akkumulationsraten wurden in Torfstichen gemessen. Sie liegen im Mittel bei ca. 250 g  $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$  und schwanken zwischen 100 und 500 g  $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$  (LÜTT 1992, JOOSTEN 1995b).

### 2.3 Kultivierungs- und Erntemethoden

Zur Ansiedlung von Torfmoosen liegen aus Freiland- und Laborexperimenten eine Vielzahl von Erkenntnissen vor (u. a. MELZER et al. 1992, LÜTT 1992, WHEELER 1995, QUINTY & ROCHEFORT 1997, SLIVA 1997).

Ein 4-Phasen-Modell für die Initiierung von *Sphagnum*-Rasen beschreibt SLIVA (1998):

- a) Flachüberstau einer Abtorfungsfläche im ersten Jahr (Quellung der Torfe, Beobachtung der Wasserdynamik)
- b) Absenken der Wasserstände auf Flurhöhe im zweiten Jahr, Einbringen von rhizombildenden Gefäßpflanzen (*Carex rostrata*, *Eriophorum angustifolium*) und Pflanzenstreu (Mulch), begleitet von spontaner Einwanderung weiterer Arten (*Eriophorum vaginatum*), ggf. Düngung
- c) Sobald 2/3 der Fläche vegetationsbedeckt sind (nach ca. 2–3 Jahren) Anhebung der mittleren Wasserstände um ca. 20 cm, Ausbringung von *Sphagnum*-Fragmenten
- d) Nach Ausbildung einer geschlossenen *Sphagnum*-Decke, die innerhalb einiger Jahre möglich ist, weitere Anhebung der Wasserstände.

Eine andere erprobte Möglichkeit stellt das Ausbringen von *Sphagnum*-Fragmenten in dauerhaften Gewässern dar, das sogenannte „Hydroseeding“. Hierbei werden zur Beschleunigung der Schwingrasenbildung auch Schwimmhilfen wie Holzschnitzel, Reisig, oder Vliesmatten eingesetzt (MONEY 1995, SLIVA 1997). BUTTLER et al. (1998) erreichten eine Beschleunigung des Torfmoos-Wachstums auf abgetorfte Flächen durch die Abdeckung mit Plastikfolien oder Netzen.

Eine Reihe von Fragen zur Etablierung und Entwicklung von *Sphagnum*-Schwingrasen ist nach wie vor offen, etwa zur Bedeutung und dem möglichen Einsatz rhizombildender, z. T. schwimmfähiger Gefäßpflanzen wie *Carex rostrata*, *Eriophorum angustifolium*, *Menyanthes trifoliata* oder *Eriophorum vaginatum* für den Zusammenhalt und die Schwimmfähigkeit der Rasen und die Etablierung der Torfmoose (BUTTLER et al. 1998, SLIVA 1998), zu den pflanzlichen Strategien der Dominanzbildung und Ablösung von *Sphagnum*-Arten im Verlauf der Hydroserie und zur Düngung, zum Wassermanagement oder zur Einbringung von Diasporen. Der Kohlenstoff-Haushalt, insbesondere die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Wasser, und die mikrobielle Aktivität beeinflussen vermutlich entscheidend die Schwimmfähigkeit der *Sphagnum*-Rasen (PAFFEN & ROELOFS 1991, LAMERS et al. 1998, LAMERS et al. 1999) und bedürfen einer weiteren Untersuchung.

Die Primärproduktion vieler *Sphagnum*-Arten kann trotz ihrer hohen Artspezifität (LÜTT 1992, GROSVERNIER et al. 1997) gefördert werden durch eine Optimierung der Nährstoffversorgung (insbesondere von P und N, vgl. LÜTKE TWENHÖVEN 1992, LI & VITT 1997), des pH-Werts (MONEY 1995, HARAGUCHI 1996), der CO<sub>2</sub>-Versorgung (PAFFEN & ROELOFS 1991, LAMERS et al. 1998, LAMERS et al. 1999), des Mikroklimas (MURRAY et al. 1993, BUTTLER et al. 1998) und des Wasserregimes

(MALMER et al. 1994, WHINAM & BUXTON 1997, JOHNSON & MALY 1998). Allerdings birgt eine Düngung auch das Risiko einer zu starken Ausbreitung minerotraphenter Arten, etwa von Großseggen, *Phragmites* oder *Typha*, aber auch von Gehölzen wie *Betula pubescens* oder Zwergsträuchern, die einen negativen Einfluß auf das Wachstum der Torfmoose und die Qualität des Erntegutes haben können (MALMER et al. 1994). Ein Problem stellt weiterhin die Reduzierung langlebiger Diasporen beispielsweise von *Carex lasiocarpa*, *C. rostrata*, *Erica tetralix*, *Calluna vulgaris*, *Drosera rotundifolia* (POSCHLOD 1990, THOMPSON et al. 1997) in den Torfen dar. Eine zu hohe Anzahl keimfähiger Samen reduziert die Möglichkeiten einer Verwendung der Substrate im Erwerbsgartenbau und damit ihren Marktwert.

Zur Ernte liegen Erfahrungen mit dem *Sphagnum*-Harvesting vor (ELLING & KNIGHTON 1984), d. h. dem Ernten frischer *Sphagnum*-Pflanzen für z. B. die Orchideen- und Bromelienzucht. Sehr effizient ist das Fräsen und anschließende Absaugen mit Vakuum-Maschinen. Bei vollständiger Entfernung der lebenden *Sphagnum*-Schicht erfolgt die *Sphagnum*-Neuansiedlung allerdings äußerst schleppend (ELLING & KNIGHTON 1984). Durch ein Belassen von ca. 30 % der lebenden Torfmoose und deren Verteilung auf den abgeernteten Flächen wird hingegen in Mooren Tasmaniens innerhalb von 3 Jahren eine *Sphagnum*-Deckung von 90 % erzielt (WHINAM & BUXTON 1997). Zum Themenkomplex Kultivierung und Ernte von neugezüchteten Torfen sind ebenfalls noch viele Fragen offen. Dies betrifft vor allem die Umtriebszeiten unter verschiedenen Klimabedingungen, die Beerntung und Regeneration von Schwingrasen sowie die Möglichkeiten der Substratverbesserung (Zersetzungsgrad, Sterilität) vor und nach der Ernte.

## 2.4 Flächenpotential und Flächenbedarf

Potentielle Areale für die Paludikultur sind abgetorfte Hochmoorgebiete des mitteleuropäischen Flachlandes. Von zentraler Bedeutung für die Schaffung geeigneter Standortbedingungen ist ein qualifizierter Endabbau (PFADENHAUER 1998): als günstig werden im allgemeinen Systeme von Flachwasserbereichen angesehen (SLIVA 1998, WHEELER et al. 1998). Diese können durch eine „Polderung“ (vgl. EGGELSMANN & BLANKENBURG 1993) oder durch einen entsprechenden Torfabbau geschaffen werden (PFADENHAUER 1998, SLIVA 1998). Ein weiteres Flächenpotential bieten die Bergbaufolgelandschaften in Brandenburg, Sachsen, Niedersachsen und Böhmen. Da in vielen Tagebaurestseen aufgrund der z. T. extrem niedrigen pH-Werte nur wenige Pflanzenarten existieren können, wird derzeit nach Möglichkeiten für eine Vitalisierung dieser Seen gesucht.

Eine Antwort auf die Frage nach notwendigen Flächengrößen ist nicht einfach zu geben. Die 25 Millionen m<sup>3</sup> Weißtorf, die derzeit weltweit jährlich für den Gartenbau abgetorft werden, ließen sich – bei einer durchaus realistischen Torfakkumulationsrate von 250 g Trockenmasse m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> – auf 15.000 km<sup>2</sup> nachhaltig erzeugen (vgl. JOOSTEN 1998b).

Diese Fläche erscheint viel größer als die Fläche von 800 km<sup>2</sup>, auf der heute weltweit Weißtorf abgebaut wird. Man sollte aber nicht unberücksichtigt lassen, daß die dort jährlich abgebaute Torfmenge einer jährlichen Torfakkumulation auf 75.000 km<sup>2</sup> entspricht und daß auf diesen Flächen die Perspektiven für eine weitere Torfakkumulation weitgehend vernichtet werden.

Die notwendige Fläche für die Paludikultur hängt somit davon ab, welche Maßstäbe an einen notwendigen bzw. sinnvollen Verbrauch von Torf gelegt werden. Einerseits werden hochwertige Torfe heutzutage auch vielfach „unter Wert“ für Zwecke genutzt, für die sie leicht substituierbar wären, andererseits sind hinsichtlich der Produktivität der Paludikulturflächen gegenüber den Akkumulationsraten in Torfstichen starke Steigerungsraten zu erwarten. In beiden Bereichen steht eine Optimierung noch aus.

### 2.5 Positive und negative Effekte der Paludikultur

Die Paludikultur bietet eine Reihe von positiven Effekten, hat aber auch Nachteile und birgt Risiken. Ein großer Vorteil ist sicherlich, daß der aktuelle Druck auf wachsende oder wenig beeinträchtigte Moore nachlassen wird. Günstige Wirkungen wird eine Paludikultur auf den Wasser- und Stoffhaushalt der Landschaft sowie das Klima haben. Darüberhinaus werden Habitate für seltene Arten offener Moorstandorte geschaffen. Zu den Risiken zählt die mögliche Auswilderung von *Sphagnum*-(Halb-)Kultursippen in ungenutzte Moore und die Genintrogression in Wildsippen, wie sie bei den Unkraut-Nutzpflanze-Komplexen vieler Gefäßpflanzen auftritt (SUKOPP & SUKOPP 1994). Im Falle von *Sphagnum*-Halbkultursippen werden diese Risiken vermutlich geringer sein, da *Sphagnum*-Gameten sich, anders als Pollen, nur im Zentimeterbereich bewegen oder mittels strömenden Wassers transportiert werden müssen (CRONBERG 1993). Allerdings kann das Risiko einer Zurückdrängung von *Sphagnum*-Wildsippen infolge anemochorer oder zoochorer Besiedlung von Mooren durch *Sphagnum*-Fragmente bzw. Sporen von Halbkultur-Sphagnen keinesfalls ausgeschlossen werden.

### 3. Schlußbetrachtung

Die Paludikultur bedeutet in abgetorften Mooren ohne Zweifel einen weniger radikalen Standortwandel als eine Grünland- oder Ackernutzung. Trotzdem handelt es sich um Kulturflächen, in die regelmäßig eingegriffen wird. Moore, die revitalisiert würden und dann „sich selbst“ überlassen blieben, besäßen einen höheren Grad an Natürlichkeit und meist einen höheren Naturschutzwert als wenn sie in Paludikultur genommen würden. Doch darf der Naturschutz den Erhalt oder die „Renaturierung“ lokaler Moor-Restflächen zur alleinigen Zielvorstellung erheben, wenn durch eine Paludikultur die Vernichtung wachsender, noch kaum durch den Menschen beeinflusster Moore in anderen Regionen aufgehalten werden könnte?

Die Paludikultur ist langfristig die einzige Alternative zum radikalen Verzicht auf den Torfabbau. Je schneller die Chance ergriffen wird, desto mehr wachsende Moore können erhalten werden und desto gerechter wird die weltweite Verteilung der Moor-Naturgüter sein. Das Basiswissen zur Paludikultur ist ebenso vorhanden wie die Flächen. Es ist an der Zeit, ein Forschungsprojekt zur Paludikultur auf den Weg zu bringen, das verschiedene Forschungseinrichtungen, staatliche Institutionen und die Torfindustrie einbezieht.

#### 4. Literaturverzeichnis

- BUTTLER, A., GROSVERNIER, P. & MATTHEY, Y. (1998): Development of *Sphagnum fallax* diaspores on bare peat with implications for the restoration of cut-over bogs. – *J. Applied Ecology* **35**: 800–810.
- CLYMO, R.S., TURUNEN, J. & TOLONEN, K. (1998): Carbon accumulation in peatland. – *Oikos* **81**: 368–388.
- CRONBERG, N. (1993): Reproductive biology of *Sphagnum*. – *Lindbergia* **17**: 69–82.
- DAU, J. H. C. (1823): Neues Handbuch über den Torf. – 244 S.; Leipzig (J. E. Hinrichsche Buchhandlung).
- EGGELSMANN, R. & BLANKENBURG, J. (1993): Moor und Wasser – Leegmoorprojekt. – *Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen* **29**: 19–48.
- ELLING, A.E. & KNIGHTON, M.D. (1984): *Sphagnum* recovery after harvest in a Minnesota bog. – *J. Soil and Water Conservation* **39**: 209–211.
- 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. Applied Ecology* **34**: 471–483.
- GRANTZAU, E. (1997): Eigenschaften organischer Substratkomponenten. – *Taspo Gartenbaumagazin*, Heft Oktober, S. 51.
- HARAGUCHI, A. (1996): Effect of pH on photosynthesis of five *Sphagnum* species in mires in Ochiishi, Northern Japan. – *Wetlands* **16**: 10–14.
- JOHNSON, K.W. & MALY, C.C. (1998): Greenhouse studies of *Sphagnum papillosum* for commercial harvest and peatland restoration in Minnesota. – In: MALTERER, T., JOHNSON, K. & STEWART, J.: *Peatland Restoration and Reclamation – Techniques and Regulatory Considerations*. 49–55; Jyskä (Int. Peat Soc.).
- JOOSTEN, J.H.J. (1995a): The golden flow: the changing world of international peat trade. – *Gunneria* **70**: 269–292.
- JOOSTEN, J.H.J. (1995b): Time to regenerate: long-term perspectives of raised bog regeneration with special emphasis on palaeoecological studies. – In: WHEELER, B.D., SHAW, S.C., FOJT, W.J. & ROBERTSON, R.A.: *Restoration of temperate wetlands*. 379–404; Chichester (Wiley).
- JOOSTEN, H. (1998a): Peat: the final frontier. Mires and peatlands outside the tropics. – In: *Society of Wetland Scientists, 19th Annual Meeting*: 101–102; Anchorage (SWS).
- JOOSTEN, H. (1998b): Peat as a renewable resource: the road to paludiculture. – In: MALTERER, T., JOHNSON, K. & STEWART, J.: *Peatland Restoration and Reclamation – Techniques and Regulatory Considerations*. 56–63; Jyskä (Int. Peat Soc.).

- JOOSTEN, J.H.J. & BAKKER, T.W.M. (1987): De Groote Peel in verleden, heden en toekomst. – 291 S.; Utrecht (Staatsbosbeheer).
- LAMERS, L.P.M., VAN GROENENDAHL, J.M. & ROELOFS, J.G.M. (1998): Carbon dynamics and bog restoration: key roles for dissolved carbon dioxide and bicarbonate. – In: MALTERER, T., JOHNSON, K. & STEWART, J.: Peatland Restoration and Reclamation – Techniques and Regulatory Considerations. 205–208; Jyskä (Int. Peat Soc.).
- LAMERS, L.P.M., FARHOUSH, C., VAN GROENENDAHL, J.M. & ROELOFS, J.G.M. (1999): Calcareous groundwater raises bogs; the concept of ombrotrophy revisited. – *J. Ecology* **87**: 639–648.
- LANGER, A. & STEFFENS, P. (1998): Die Entwicklung der niedersächsischen Torf- und Humuswirtschaft während der letzten 15 Jahre. – *Telma* **28**: 157–164.
- LEQUERÉ, D. & SAMSON, C. (1998): Peat bog restoration: industrial scale application. – In: MALTERER, T., JOHNSON, K. & STEWART, J.: Peatland Restoration and Reclamation – Techniques and Regulatory Considerations. 69–72; Jyskä (Int. Peat Soc.).
- LESQUEREUX, L. (1847): Untersuchungen über die Torfmoore im Allgemeinen. – 260 S.; Berlin (Veit und Comp).
- LI, Y. & VITT, D.H. (1997): Patterns of retention and utilization of aerially deposited nitrogen in boreal peatlands. – *Ecoscience* **4**: 106–116.
- LÜTKE TWENHÖVEN, F. (1992): Untersuchungen zur Wirkung stickstoffhaltiger Niederschläge auf die Vegetation von Hochmooren. – *Mitt. AG Geobot. Schlesw.-Holst. u. Hamburg* **44**: 164 S. u. Anhang.
- LÜTT, S. (1992): Produktionsbiologische Untersuchungen zur Sukzession der Torfstichvegetation in Schleswig-Holstein. – *Mitt. AG Geobot. Schlesw.-Holst. u. Hamburg* **43**: 249 S. u. Anhang.
- MALMER, N., SVENSSON, B.M. & WALLÉN, B. (1994): Interactions between *Sphagnum* mosses and field layer vascular plants in the development of peat forming systems. – *Folia Geobot. Phytotax.* **29**: 483–496.
- MELZER, A., POHL, W., HÜNERFELD, G. & PFLEIDERER, P. (1992): Ökophysiologische Untersuchungen zur Nitratbelastung und Nitratbelastbarkeit von Hochmooren. – *Materialien Umwelt und Entwicklung Bayern* **81**: 78 S. u. Anhang.
- MONEY, R.P. (1995): Re-establishment of a *Sphagnum*-dominated flora on cut-over lowland raised bogs. – In: WHEELER, B.D., SHAW, S.C., FOJT, W.J. & ROBERTSON, R.A.: Restoration of temperate wetlands. 405–422; Chichester (Wiley).
- MUHONEN, E. (1997): Peat as a renewable bioenergy in the EU, too. – *IPS-Bulletin* **28**: 42–43.
- MURRAY, K.J., TENHUNEN, J.D. & NOWAK, R.S. (1993): Photoinhibition as a control on photosynthesis and production of *Sphagnum* mosses. – *Oecologia* **96**: 200–207; Heidelberg.
- 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.
- PETTERSON, R. (1994): Opening remarks of the International Peat Society. – *IPS-Newsletter* **2** (April 1994): 3.
- PFADENHAUER, J. (1998): Grundsätze und Modelle der Moorrenaturierung in Süddeutschland. – *Telma* **28**: 251–272.

- POSCHLOD, P. (1990): Vegetationsentwicklung in abgetorften Hochmooren des bayrischen Alpenvorlandes unter besonderer Berücksichtigung standortkundlicher und populationsbiologischer Faktoren. – Diss. Bot. **152**: 331 S.
- QUINTY, F. & ROCHEFORT, L. (1997): Peatland restoration guide. – 21 S.; (Canadian *Sphagnum* Peat Moss Association).
- REINIKAINEN, O. (1997): Peat, the ultimate material for horticultural use? – In: SCHMILEWSKI, G.: Peat in horticulture – its use and sustainability: 105–111; Jyväskylä (Int. Peat Soc.).
- SCHMILEWSKI, G. (1997): Peat in horticulture – its use and sustainability. – 194 S.; Jyväskylä (Intern. Peat Soc.).
- SCHOOCKIUS, M. (1658): Tractatus de turfis ceu cespitibus bituminosis. – 156 S.; Groningae (Johannis Cöllén).
- SLIVA, J. (1997): Renaturierung von industriell abgetorften Hochmooren am Beispiel der Kendlmühlfilzen. – 221 S.; Diss. TU München.
- SLIVA, J. (1998): Regeneration of milled peat bog: a large scale approach in Kollerfilze (Bavaria, Southern Germany). – In: MALTERER, T., JOHNSON, K. & STEWART, J.: Peatland Restoration and Reclamation – Techniques and Regulatory Considerations. 82–87; Jyskä (Int. Peat Soc.).
- SUKOPP, U. & SUKOPP, H. (1994): Ökologische Lang-Zeiteffekte der Verwilderung von Kulturpflanzen. – In: VAN DEN DAELE, W., PÜHLER, A. & SUKOPP, H.: Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz. Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB), Berlin, Heft 4: 1–144.
- THOMPSON, K., BAKKER, J. & BEKKER, R. (1997): The soil seed banks of North West Europe. – 276 S.; Cambridge (University Press).
- TIMMERMANN, T. (1999): *Sphagnum*-Moore in Nordostbrandenburg: Stratigraphisch hydrodynamische Typisierung und Vegetationswandel seit 1923. – Diss. Bot. **305**: 178 S.
- TOLONEN, K. (1979): Peat as a renewable resource: long-term accumulation rates in Northeuropean mires. – Proceedings of the International Symposium on Classification of Peat and Peatlands Hyttiälä, Finland: 282–296; Helsinki (Int. Peat Soc.).
- TURUNEN, J. & TOLONEN, K. (1996): Rate of carbon accumulation in boreal peatlands and climatic change. – In: LAPPALAINEN, E.: Global peat resources. 21–28; Jyskä (Int. Peat Soc.).
- WEBER, H. (1993): Steuerung und Beobachtung der Vegetation – Leegmoorprojekt. – Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen **29**: 49–78.
- WIEDER, R.K., NOVAK, M., SCHELL, W.R. & RHODES, T. (1994): Rates of peat accumulation over the past 200 years in five *Sphagnum*-dominated peatlands in the United States. – J. Palaeolimnol. **12**: 35–47.
- WHEELER, B.D. (1995): Introduction: restoration and wetlands. – In: WHEELER, B.D., SHAW, S.C., FOJT, W.J. & ROBERTSON, R.A.: Restoration of temperate wetlands. 1–18; Chichester (Wiley).
- WHEELER, B., MONEY, R.P., SHAW, S.C. & MEADE, R. (1998): Lowland bogs in Northwest Europe). – In: MALTERER, T., JOHNSON, K. & STEWART, J.: Peatland Restoration and Reclamation – Techniques and Regulatory Considerations. 23–31; Jyskä (Int. Peat Soc.).
- WHINAM, J. & BUXTON, R. (1997): *Sphagnum* peatlands of Australasia: an assessment of harvesting sustainability. – Biol. Conservation **82**: 21–29.

Anschrift der Verfasser:

Dr. H. Joosten  
Dr. T. Timmermann  
Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald  
Botanisches Institut  
Grimmerstr. 88  
D-17487 Greifswald  
E-Mail: Joosten@mail.uni-greifswald.de  
tiero@mail.uni-greifswald.de

Manuskript eingegangen am 23. August 1999