

| | | | | |
|-------|-----------|-----------------|----------------|--------------------------|
| TELMA | Beiheft 4 | Seite 215 - 234 | 1 Abb., 2 Tab. | Hannover, September 2011 |
|-------|-----------|-----------------|----------------|--------------------------|

Paludikultur: Standortgerechte Bewirtschaftung wiedervernässter Moore

Paludiculture – site adapted management of re-wetted peatlands

WENDELIN WICHTMANN und SABINE WICHMANN

Zusammenfassung

Bei herkömmlichen Wiedervernässungen trockengelegter Moore, die aus Gründen des Natur-, Gewässer- oder Klimaschutzes durchgeführt werden, gehen diese Standorte der Nutzung für den Menschen verloren. Eine Alternative dazu bietet die Paludikultur. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über einschlägige Forschungsprojekte und ausgewählte Erkenntnisse. Die Nutzungsmöglichkeiten der nach Wiedervernässung natürlich oder künstlich etablierten Vegetation umfassen ein weites Spektrum. Landtechnische Lösungen für die nasse Bewirtschaftung sind vorhanden und werden im Rahmen verschiedener Projekte weiter verbessert. Modellkalkulationen zeigen, dass Paludikultur-Verfahren kostendeckend sein können. Eine sehr positive Klimabilanz ergibt sich aus den Emissionsminderungen durch Wiedervernässung und dem Ersatz fossiler Energieträger durch Biomasse aus nassen Mooren. Einige offene Fragen werden in dem Ende 2010 begonnenen BMBF-Projekt VIP – Vorpommern Initiative Paludikultur bearbeitet. Zentrales Ziel ist die Verbesserung der juristischen, agrarpolitischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für eine großflächige Umsetzung standortgerechter Bewirtschaftung auf degradierten Mooren.

Abstract

Re-wetting of peatlands usually addresses nature conservation, protection of water resources or climate change mitigation by taking agricultural peatlands out of their former unsustainable use. An alternative sustainable use of re-wetted peatlands is paludiculture. This article presents an overview of relevant research projects and selected findings. Biomass from naturally developed or artificially established vegetation is applicable for different forms of utilisation. Technical solutions for harvesting of biomass from wet peatlands are available. Several recent projects are orientating on further technical improvements. Calculations have shown that paludiculture can be a cost-effective form of land use. A very favourable climate balance can be achieved since emission reductions are gained by re-wetting degraded peatlands as well as by replacing fossil fuels with biomass. Some remaining questions will be addressed within a recently started project (VIP – Vorpommern Initiative Paludikultur). One of the main targets of this project is the improvement of the legislative and economic frameworks necessary for further implementation of the paludiculture concept on a larger scale.

1. Einleitung

Nachdem die Moore in der Kulturlandschaft der norddeutschen Tiefebene lange Zeit als natürliche Ökosysteme erhalten blieben, kam es im 19. und 20. Jahrhundert zu einer besonders intensiven Erschließung. Die in Nordwestdeutschland aufgrund höherer Niederschläge verbreiteten Regen- bzw. Hochmoore wurden überwiegend abgetorft oder als Grünland bewirtschaftet. Die vor allem im Nordosten vorhandenen Niedermoore mit einer Fläche von ca. 830.000 Hektar (WICHTMANN 2003) wurden dagegen in jüngerer Zeit vorwiegend als intensives Saatgrasland genutzt. Dabei wurde stets versucht, die Standorte an die begrenzten Möglichkeiten der Technik anzupassen, so dass die Bewirtschaftung der Moore intensive Entwässerung – in der ehemaligen DDR auch Komplexmelioration genannt – voraussetzte. Dies wurde mit dem Bau von Entwässerungssystemen, Errichtung von Poldern und Pumpanlagen, der Einebnung der Moorflächen und der Einsaat von produktiven Gräsern erreicht. Die Probleme, die sich durch die Trockenlegung der Moore bis heute ergeben, reichen vom Verlust seltener moortypischer Tier- und Pflanzenarten über starke Bodendegradierung, die mit hohen Stoff- und Treibhausgasemissionen sowie Ertragsrückgängen verbunden sind, bis hin zur Flächenaufgabe (WICHTMANN & KOPPISCH 1998, SUCCOW & JOOSTEN 2001).

Insbesondere durch Ziele des Biotop- und Artenschutzes begründet (KRATZ & PFADENHAUER 2001), später auch zur Minderung von Stoffausträgen in die Gewässer (SCHWILL 2003, TREPEL 2008) und Treibhausgasemissionen in die Atmosphäre (FREIBAUER et al. 2009, BUND 2010), sind in den letzten Jahrzehnten große Moorflächen in den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Brandenburg und Schleswig-Holstein wiedervernässt und einer natürlichen Entwicklung überlassen worden (KOWATSCH 2007, LANDGRAF 2010).

Dort, wo eine Nutzungsauffassung nach Wiedervernässung durch sozio-ökonomische Rahmenbedingungen nicht möglich ist, kann eine Neuorientierung zu einer nassen, standortgerechten Moorbewirtschaftung erfolgen, die – abgeleitet vom lateinischen *palus* (Sumpf) – als Paludikultur bezeichnet wird. Um dem vorrangigen Ziel der Reduzierung der Torfmineralisierung zu entsprechen, sind ein winterlicher Überstau und sommerliche Wasserstände bis höchstens 15 cm unter Flur anzustreben. Die „nasse“ Nutzung ermöglicht eine weitgehende Reetablierung der natürlichen Funktionen von Mooren im Landschafts- und Wasserhaushalt: Regulation, Lebensraum und Produktion.

- Durch Erhalt des Torfkörpers wird die Belastung von Grund- und Oberflächenwasser und Atmosphäre erheblich reduziert und im Idealfall durch Initiierung einer Torfbildung die Senkenfunktion reaktiviert.
- Offene Moore werden als Lebensraum für z. T. seltene Tier- und Pflanzenarten erhalten.

- Gleichzeitig ist durch angepasste land- oder forstwirtschaftliche Nutzung eine Wertschöpfung zu erzielen. Die produzierte Biomasse kann fossile Rohstoffe oder Energieträger ersetzen, ohne die Nutzungskonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion weiter zu verschärfen.

2. Forschungsaktivitäten zur Nutzung nasser Moore (Paludikultur)

Möglichkeiten zur schonenden Bewirtschaftung degradierter Moorflächen nach Wiedervernässung wurden bereits im Rahmen einer Reihe von Forschungsvorhaben anhand von Demonstrationsflächen untersucht (siehe Tab.1, Nr. ①-⑩, eine Einführung geben WICHTMANN & JOOSTEN 2007 und AUTORENKOLLEKTIV GREIFSWALD 2009). Die Erfahrungen reichen von der Anpflanzung von Seggen (①, ③), Schilf (①-③, ⑦) und Rohrkolben (④), dem Anbau von Heilpflanzen (③) sowie der Aufforstung von Erlen für die Wertholzproduktion (⑥) auf Niedermooren bis hin zur Kultivierung von Torfmoosen zur Verwendung als Gartenbau-Substrat auf abgetorften (⑨) bzw. ehemals als Grünland genutzten (⑩) Hochmooren. Neben der aktiven Etablierung gewünschter Pflanzenarten ist auch die Nutzung der sich durch natürliche Sukzession spontan einstellenden Dominanzbestände möglich (WICHTMANN 2003).

Darüber hinaus besteht insbesondere mit der Mahd natürlicher Röhrichte zur Gewinnung von Qualitätsschilf eine historische und bis heute weit verbreitete Form der nassen Moornutzung. Sowohl die in diesem Zusammenhang gesammelten Erfahrungen mit angepasster Landtechnik als auch mit stofflichen Verwertungsoptionen (Dachdeckung, drahtgebundene Dämmplatten, Matten als Putzträger bzw. Sicht- und Frostschutz, etc.) sind für die Nutzung wiedervernässter Moore wertvoll.

Aktuell werden in Polen, Litauen, Lettland, Weißrussland und der Ukraine großflächig Paludikulturen erprobt, die insbesondere aus Naturschutzgründen initiiert wurden (WICHTMANN & TANNEBERGER 2011). Die Mahd mit schlagkräftiger Technik und anschließender energetischer Verwertung der Biomasse dient in den aktuell in Osteuropa laufenden Projekten maßgeblich der Wiederherstellung bzw. dem Erhalt offener Niedermoore als Lebensraum für seltene Tier- und Pflanzenarten.

Aufbauend auf den Erfahrungen historischer Nutzungsformen nasser Moore, früherer Forschungsprojekte zur Bewirtschaftung wiedervernässter Moore sowie aktueller, naturschutzmotivierter Projekte zur Nutzung artenreicher Feuchtlebensräume in Osteuropa startete Ende 2010 das Forschungsprojekt „VIP – Vorpommern Initiative Paludikultur“ (vgl. Tab.1: ⑧). VIP wird für drei Jahre vom BMBF gefördert und unter Leitung der Universität Greifswald in einem Verbund von acht Forschungseinrichtungen und fünf Praxispartnern bearbeitet. Das Projekt dient der Erprobung und umfassenden wissenschaftlichen Begleitung der Nutzung wiedervernässter Niedermoore am Beispiel Vorpom-

Tab. 1: Forschungsprojekte zur Wiedervermässung degraderter Moore, Etablierung geeigneter Pflanzen und Erprobung von Verwertungsmöglichkeiten
 Research projects on rewetting of degraded peatlands, introduction of suitable plants and tests of their utilization

| Projekt | Ausgewählte Aktivitäten bzw. Schwerpunkte | Projektleitung | Laufzeit | Förderer | Literatur / Internet |
|-------------------|---|----------------------|------------------------|--------------|---|
| NIEDERMOOR | | | | | |
| ① | Ökosystemmanagement für Niedermoore | TU München | 1992-1995 1995-1998 | BMBF | KRATZ & PFADENHAUER 2001 Roth 2000 |
| ② | Sanierung eines degradierten Niedermoors mittels Anbau von Schilf als nachwachsendem Rohstoff unter Verwendung gereinigter kommunaler Abwässer. | Uni Greifswald | 1995-1998 | DBU | SCHÄFER 1999 TIMMERMANN 1999 WICHTMANN 1999a, WICHTMANN 1999b |
| ③ | Regeneration und alternative Nutzung von Niedermoorflächen im Landkreis Ostvorpommern | Stiftung Odermündung | 1995-1999 | EU LEADER II | STIFTUNG ODERMÜNDUNG 1999 |
| ④ | Rohrkolbenbau in Niedermoores – Integration von Rohstoffgewinnung, Wasserreinigung und Moorschutz | TU München | 1998-2001 | DBU | WILD et al. 2001 SCHÄTZL et al. 2006 |
| ⑤ | Wiedervermässung von Niedermoores mit gereinigtem Abwasser – Umweltverträglichkeit und Möglichkeiten der nachhaltigen Nutzung | Uni Greifswald | 2000-2002 | VW-Stiftung | SCHÄFER 2004 |
| ⑥ | ALNUS: Renaturierung von Niedermoores durch Schwarzenbestockung | Uni Greifswald | 2002-2005 | DBU | SCHÄFER & JOOSTEN 2005 www.uni-greifswald.de/~ainus/ |
| ⑦ | ENIM – Energiebiomasse aus Niedermoores | Uni Greifswald | 2007-2010 | DBU | WICHTMANN & WICHTMANN 2009 WICHTMANN et al. 2010a |
| ⑧ | VIP – Vorpommern Initiative Paludikultur | Uni Greifswald | 2010-2013 | BMBF | www.vip.paludikultur.de |
| HOCHMOOR | | | | | |
| ⑨ | Torfmoos als nachwachsender Rohstoff | Uni Greifswald | 2004-2007 | BMLV / FNR | GAUDIG 2002 KANIERMANN & BLANKENBURG 2008 GAUDIG et al. 2008 www.torfmooskultivierung.de |
| ⑩ | Moosgrün – Torfmoos als nachwachsender Rohstoff: Torfmooskultivierung auf | Uni Greifswald | 2010-2013 | BMLV / FNR | |

merns. Die Untersuchungen umfassen u.a. den Einsatz einer modifizierten Pistenraupe für die großflächige Sommer- und Wintermahd, die Erprobung stofflicher, energetischer und tierischer Verwertung der Biomasse, die Auswirkungen auf Flora, Fauna und Klimarelevanz, die Mentalitätsgeschichte der Moornutzung in Vorpommern sowie Akzeptanz und Konflikte der Wiedervernässung. Ziel der Arbeiten in VIP ist die Verbesserung der Rahmenbedingungen für Paludikultur, um die nasse Bewirtschaftung für die Landwirtschaft attraktiver zu gestalten.

3. Ausgewählte Aspekte der Paludikultur

3.1 Geeignete „Paludi“-Pflanzen auf Niedermoor und ihre Nutzungspotentiale

Halmgutartige Pflanzen

Die häufigsten nutzbaren Pflanzenarten auf wiedervernässten Niedermooren sind Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*), Gewöhnliches Schilf (*Phragmites australis*), Rohrkolben (*Typha spec.*) und Großseggen (*Carex spec.*). Der Ertrag und die Pflanzeninhaltsstoffe sind von der Zusammensetzung des Pflanzenbestandes, dem Standort und dem Erntezeitpunkt abhängig. Eine umfassende Auswertung von Literatur zu Trockenmasse-Erträgen natürlich entwickelter Bestände gibt TIMMERMANN (2003; Tab. 2). Für Schilfröhrichte wird im Weiteren bei eigenen Berechnungen konservativ von einem Ertrag von 8 t Trockenmasse (TM) je Hektar und Jahr ausgegangen.

Tab. 2: Produktivität von Röhrichten und Feuchtgebieten (t TM ha⁻¹ a⁻¹; TIMMERMANN 2003)
Productivity of reedbeds and wetlands (t DM ha⁻¹ yr⁻¹; TIMMERMANN 2003)

| Dominanzart | Produktivität t TM ha ⁻¹ a ⁻¹ |
|--|---|
| Gemeines Schilf (<i>Phragmites australis</i>) | 3,6 .. 43,5 |
| Rohrkolben (<i>Typha latifolia</i>) | 4,8 .. 22,1 |
| Rohrglanzgras (<i>Phalaris arundinacea</i>) | 3,5 .. 22,5 |
| Großer Wasserschwaden (<i>Glyceria maxima</i>) | 4,0 .. 14,9 |
| Sumpfschilf (<i>Carex riparia</i>) | 3,3 .. 12,0 |
| Zum Vergleich: aufgelassenes Feuchtgrünland | 6,4 7,4 |
| Intensivgrasland | 8,8 .. 10,4 |

Die Ernte von Qualitätsschilf erfolgt traditionell im Winter für eine stoffliche Verwertung. Geringwertige bzw. unspezifische Biomasse aus der Wintermahd ist für eine Verbrennung geeignet (Tab. 1: ⑦, ⑧; OEHMKE & WICHTMANN 2011). Die Feuerungsanlagen sind an die Besonderheiten halmgutartiger Brennstoffe wie hohen Ascheanfall und die Einhaltung der spezifischen Grenzwerte der BImSchV (Bundesimmissionsschutzverordnung) anzupassen. Bei sommerlicher Mahd kann die grüne Niedermoor-Biomasse zur Vergärung in

konventionellen Biogasanlagen eingesetzt werden (Tab. 1: ⑧), wenn eine entsprechende Ausrichtung der Anlagentechnik (z. B. geeignete Rührtechnik) und Aufbereitung der Halmgüter (z. B. kurze Häckselgrößen < 1cm, Zerkleinerung oder hydrothormaler Aufschluss) erfolgt. Obwohl die Gasausbeute relativ gering ist, wird die Nutzung von „Paludi“-Biomasse durch die höheren EEG-Vergütungspauschalen für Landschaftspflegematerial auch ökonomisch attraktiv. Eine Beweidung nasser Moore ist mit geeigneten Tierarten bzw. -rassen ebenfalls möglich und wird im VIP-Projekt anhand von Wasserbüffeln untersucht, die von Natur aus an Leben und Nahrung in Feuchtgebieten angepasst sind (Tab. 1: ⑧).

Gehölzartige Pflanzen

Weitere Potenziale liegen in der Anpflanzung von Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) und Grauweide (*Salix cinerea*) auf wiedervernässten Niedermooren. Insbesondere auf wiedervernässtem, stark degradierten Moorgrünland mit hoher Nährstoffbelastung entstehen günstige Wuchsbedingungen für die Erle. Erträge von 4-10 t TM/ha und Jahr müssten im „Kurzumtrieb“ erzielbar sein. Allerdings liegen zum Erlenanbau im Kurzumtrieb noch keine Erfahrungen vor. Auch hier stellt die einzusetzende Erntetechnik aufgrund der sehr eingeschränkten Tragfähigkeit der nassen Moorböden noch eine große Herausforderung dar. Für die Ernte von Erlenwertholz (Tab. 1: ⑥) ist der Einsatz von Seilkrantechnik eine Option (SCHRÖDER 2010).

Verwertungsmöglichkeiten

Einen Überblick zu den potenziellen Verwertungsmöglichkeiten der Biomasse aus nassen bzw. wiedervernässten Mooren gibt Abb. 1. Das Spektrum reicht von der traditionell landwirtschaftlichen Verwertung als Tierfutter (nicht dargestellt), über die stoffliche bzw. industrielle Nutzung, die energetische Verwertung bis hin zur medizinischen Verwendung (WICHTMANN 1999b, STIFTUNG ODERMÜNDUNG 1999, WICHTMANN et al. 2010b). Für eine energetische Verwertung sind nahezu alle Pflanzenarten geeignet, die in nassen Mooren wachsen. Ihre Verwendbarkeit ist wahrscheinlich weniger von deren Qualität als von den bewirtschaftungsspezifischen bzw. wirtschaftlichen Parametern abhängig (Ertrag pro Hektar, Erntbarkeit, Schlagkraft etc.). Inwieweit sich artspezifische Unterschiede hinsichtlich Produktivität, stofflicher Zusammensetzung und Verbrennungseigenschaften ergeben, wird z. B. im Rahmen des VIP-Projektes (vgl. Tab.1: ⑧) untersucht. Stoffliche Verwertungsoptionen können zum Teil mit unspezifischer Biomasse realisiert werden (Formkörper: ② evtl. auch Platten). Manche Produkte verlangen allerdings sehr spezifische Qualitäten wie offizinelle Produkte (z. B. Fieberklee – *Menyanthes trifoliata*; ③) und Dachdeckungsmaterial (Schilfrohr). Auch hier wird das VIP-Projekt weitere Ansprüche definieren.

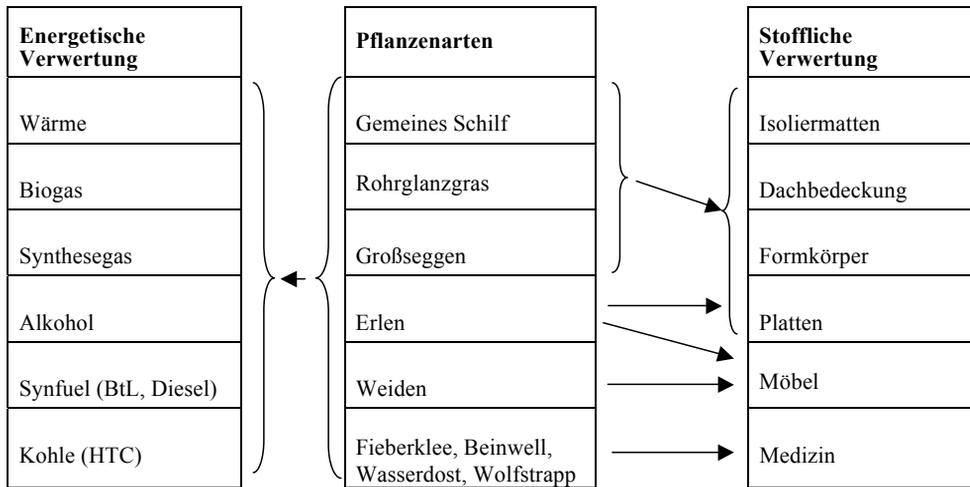


Abb. 1: Verwertungsmöglichkeiten von Biomasse aus wiedervernässten Niedermooren
Options of utilisation for biomass from rewetted fens

3.2 Angepasste Landtechnik

Besonderheiten der Ernte auf nassen Standorten

Die Tragfähigkeit von Niedermoorböden wird durch die Bodenfeuchte (Wasserstand) und die Vegetationsdecke (Pflanzenarten, Geschlossenheit der Narbe) bestimmt. Gleichzeitig führen niedrige Wasserstände zur Torfoxidation mit hohen CO_2 -Emissionen. Weil eines der wichtigsten Ziele der Wiedervernässung die Reduktion klimarelevanter Treibhausgase ist, kommt ein Absenken der Wasserstände zur Erzielung günstigerer Bedingungen zur Ernte der Biomasse nicht in Frage. Es können nur Maschinen verwendet werden, die an die nassen Bedingungen angepasst sind und Schäden an Vegetation und Boden minimieren.

Der Einsatz leichterer Maschinen und Sonderausstattungen geht mit einer Verringerung der Leistungsfähigkeit und einer Erhöhung von Arbeitszeitbedarf sowie Maschinenkosten einher. Eine hohe Schlagkraft (Ernte und Transport großer Biomasse in kürzester Zeit) erfordert in nassen Niedermooren sowohl eine Anpassung der Technik an die Standorte als auch an das Erntegut und ggfs. dessen vorgesehene Verwertung. Einen detaillierten Überblick geben WICHMANN & WICHTMANN (2009). Daraus werden an dieser Stelle die wichtigsten Techniken beispielhaft vorgestellt.

Da der Markt begrenzt ist und die Anforderungen an die Erntetechnik in Abhängigkeit von Wasserständen, deren Regulierbarkeit und Frostsicherheit regional unterschiedlich sind, stellen die bereits auf nassen Mooren eingesetzten Maschinen individuell optimierte Einzel-

lösungen dar (vgl. RECHBERGER 2003, WICHTMANN & TANNEBERGER 2009). Fahrzeuge, die mit Raupenkettens oder mit großen Ballonreifen ausgestattet sind, finden Verwendung. Durch die sehr großen Auflageflächen kommt es nur zu sehr geringem Bodendruck. Diese Maschinen sind sowohl auf Eis als auch auf sehr nassen und überstauten Flächen einsetzbar.

Die Tragfähigkeit der Pflanzendecke wird durch mehrfaches Befahren reduziert. Zusätzlich zum Einsatz von Spezial-Technik kann es daher erforderlich sein, häufig genutzte Zugangsstellen zu den Moorflächen sowie Fahrstrecken von ggf. eingesetzten Transportfahrzeugen zu befestigen, um Bodenschäden zu vermeiden. Dies kann z. B. mit Material aus einer vorausgehenden Entbuschung erfolgen (Erstinstandsetzung). Hierzu liegen bereits Erfahrungen aus Nordostpolen vor, wo nasse Moore der Biebrza-Niederung großflächig im Rahmen von Agrarumweltprogrammen bewirtschaftet werden (WICHTMANN & TANNEBERGER 2009).

Qualitätsschilf

Zur Ernte von langhalmigem Schilf zur Verwendung als Dachdeckungsmaterial oder für die Matten- bzw. Dämmstoffherstellung werden Balkenmähwerke verwendet, die meist an selbstfahrenden Maschinen angebaut sind. Größere Maschinen sind oft mit einem Binder ausgestattet, der – ähnlich dem Selbstbinder bei der Garbenerstellung bei der Getreideernte Mitte des letzten Jahrhunderts – das Schilf in sogenannte Vorbünde bindet. So bleiben die Schilfhalme bis zur Weiterverarbeitung in Parallellage.

Weiterentwicklungen in den letzten Jahren beziehen sich auf eine Vorverlagerung des bisher im Anschluss an die Mahd am Feldrand stattfindenden Kämmens der aufgelösten Rohbünde auf die Ernte: Das geerntete Schilf wird direkt nach dem Schnitt mittels rotierender Bürsten ausgekämmt, automatisch vorgereinigt und gebunden und per Förderband oder Hand zur Ladefläche transportiert. Dadurch wird weniger, nicht verwertbares Mähgut geladen und von der Fläche transportiert.

Zur Schilfernte für Bedachungen werden zwei Fahrwerkstypen verwendet: Bei dem Seiga-Maschinen-Typ handelt es sich um relativ leichte, zwei- bzw. dreiachsige Fahrzeuge mit Niedrigdruck-Ballonreifen und Balkenmähwerk. Der dänische Hersteller hat die Produktion inzwischen eingestellt; es erfolgen jedoch weiterhin Nach- und Umbauten durch Rohrwerber. Daneben kommen auch Pistenraupen zum Einsatz, die ebenfalls mit Balkenmähwerk und Bindevorrichtungen ausgestattet sind.

Unspezifische Biomasse

Für die energetische Verwertung ist auf Grund niedriger Wertschöpfung ein hoher Biomassedurchsatz erforderlich. Dieser kann durch Beerntung großer Flächen mit schlagkräftigen Maschinen erreicht werden. Statt hoher Qualität ist Quantität gefragt. Dabei fällt

Biomasse mit großem Volumen bei geringen Gewichten an. Für eine wirtschaftliche Biomasse-Ernte und eine hohe Schlagkraft sind große Arbeitsbreiten und hohe Transportkapazitäten entscheidend.

Insbesondere in der Biebrza- und der Narew-Niederung (Ostpolen) werden umgebaute Pistenraupen zum Erhalt offener Niedermoore als Lebensraum seltener Arten bereits großflächig zur Mahd eingesetzt (WICHMANN & TANNEBERGER 2011). Als Mähwerkzeuge werden hier entweder modifizierte Schneefräsen, Mulchgeräte oder Balkenmäher in Kombination mit einem Feldhäcksler verwendet. Auch für ein BMU-gefördertes Projekt in Weißrussland und das VIP-Projekt (®) kommen solche modifizierten Pistenraupen der Firma Kässbohrer zum Einsatz. Weitere Hersteller von Raupenfahrzeugen sind z.B. Wildemann, Ratrac, Leitner und Hägglund.

Die Biomasse wird zum Abtransport entweder als Häckselgut in einen auf der Mähmaschine aufgesattelten Bunker geblasen oder in Ballen gepresst und mit der Erntemaschine selbst von der Fläche gefahren. Auch absetzige Verfahren sind denkbar, sind aber bei hohen Wasserständen nicht zu empfehlen, da die gemähte Biomasse ggfs. Wasser aufnimmt. Zur Optimierung der Mahd und des Abtransports ist über den Einsatz von speziellen Transportern, z. B. auch auf der Basis von Pistenraupen oder Seiga-Maschinen, nachzudenken. Diese könnten, wie z. B. in der Silageproduktion üblich, parallel zum Mähfahrzeug fahren und die über den Feldhäcksler übergeblasene Biomasse aufnehmen und abtransportieren. Eine Arbeitspause bei der Mahd würde sich dann nur während des Wechsels der beiden Transportfahrzeuge ergeben.

3.3 Wirtschaftlichkeit

Die einzelbetriebliche Rentabilität ist ein zentrales Kriterium für Akzeptanz, Umsetzbarkeit und Zukunftsfähigkeit der nassen Moorbewirtschaftung. Kalkulationen zu den Verfahrenskosten verschiedener nasser Bewirtschaftungsverfahren konnten jedoch bisher nur modellhaft erfolgen und mussten sich auf kleinflächige Praxis-Erfahrungen sowie Werte aus landwirtschaftlichen Datensammlungen stützen.

Generell ist die Bewirtschaftung von nassen Mooren durch erhöhte Erntekosten gegenüber der Bewirtschaftung trockener Standorte gekennzeichnet. Diese ergeben sich insbesondere aus den erhöhten Fixkosten für die Spezial-Erntemaschine. Im Vergleich zur Ernte von anderen Halmgütern (Stroh, Miscanthus, Gras) ist eine deutlich geringere Schlagkraft anzunehmen, die sich aus den geringeren Arbeitsbreiten der „leichten“ Maschinen und dem komplizierteren Abtransport aus der Fläche zum Feldrand ergeben. Allgemein spielen bei halmgutartiger Biomasse mit geringem Volumengewicht die Transportkosten eine entscheidende Rolle. Für längere Transportwege ist daher bei energetischer Verwertung der Biomasse Brikettierung oder Pelletierung sinnvoll.

Im Gegenzug sind bei der Beerntung existierender Bestände im Unterschied zu anderen Bioenergieträgern (z. B. *Miscanthus*) keine Pflanz- oder Aussaatkosten anzusetzen. Auch fallen normalerweise keine Aufwendungen für Dünger- oder Pflanzenschutzmittel an. Bei Neuaufnahme der Paludikultur nach längerer Nutzungsauffassung ist ggf. zunächst eine „Instandsetzung“ der Fläche mittels Entfernung von Sträuchern und Büschen erforderlich.

Eine aktive Bestandesetablierung im Rahmen der Wiedervernässung kann angeraten sein, um schnell eine flächendeckende Vegetation zu etablieren, eine kurzfristige Beerntung zu ermöglichen oder bestimmte Arten oder Sippen einzubringen, die die gewünschten Biomassequalitäten sicherstellen. Kostenkalkulationen zur Bestandesetablierung erfolgten anhand der Einrichtung von Demonstrationsflächen für Rohrkolben (SCHÄTZL et al. 2006), Schilf (SCHÄFER 1999, DAHMS 2009) und Erle (SCHÄFER & JOOSTEN 2005). Sie unterscheiden sich hinsichtlich der einbezogenen Kosten (z. B. wasserbauliche Aufwendungen), des angesetzten Zinssatzes (2-5%) und – auch kulturbedingt – der Laufzeit und sind daher kaum vergleichbar. In allen Fällen ist jedoch eine Neuetablierung von Beständen durch Pflanzung mit langfristigen, hohen Investitionen verbunden und erscheint nur für eine hochwertige Nutzung lukrativ.

Fallbeispiel 1: Anbau von Rohrkolben für die Verwendung als Dämmstoff

Basierend auf dem Versuchsanbau im Donaumoos (Tab. 1: ④) kalkulieren SCHÄTZL et al. (2006) für das Rottal (Bayern) drei Varianten mit unterschiedlichen Kosten. Sie variieren in Abhängigkeit vom Aufwand für die Begründung des Rohrkolbenbestandes, wie dem Umfang der erforderlichen Erdarbeiten für die Anlage von Dämmen zum Überstau der Produktionsfläche, und von der Ernteform (Häckselgut bzw. ganze Pflanzen). Je nach Variante sind Erlöse von 170 €/t, 270 €/t bzw. 330 €/t erforderlich, um die unterschiedlich hohen Kosten von Abschreibung der Anlage und Pflanzung sowie Pflege, Ernte und Flächenpacht zu decken. Dabei wird ein Ertragsniveau von 17 t/ha mit einer Trockenmasse von 86% angenommen (SCHÄTZL et al. 2006). Die Variante mit den geringsten Kosten aber auch geringstem Erlös (Ernte von Häckselgut zur thermischen Verwertung) ist bei Bereitstellungskosten von 170 €/t nicht rentabel; bei mittleren Investitionskosten und Ernte ganzer Pflanzen wurden Kosten von 270 €/t errechnet, die nur bei Produktion hochwertiger Dämmstoffe gedeckt werden können (ebd.). Die gute Eignung bestimmter Rohkolben-Sorten für die stoffliche Verwertung ist bekannt, hinsichtlich der langfristigen Stabilität kultivierter Rohrkolben-Bestände besteht jedoch noch Forschungsbedarf.

Fallbeispiel 2: Anbau von Qualitätsschilf zur stofflichen Verwertung

Unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus dem Versuchsanbau in Biesenbrow (Tab. 1: ②) sowie aus der Ernte natürlicher Schilfbestände in Vorpommern wurde eine Modellrechnung zur Schilfrohrkultur auf degradiertem Niedermoor durchgeführt (SCHÄFER 1999, 2004). Die Annahmen der drei Szenarien (optimistisch, pessimistisch und realis-

tisch) unterscheiden sich hinsichtlich der Kosten für die Bestandesbegründung (Pflanzung) und die Ernte sowie in Bezug auf Ertragsniveau und Erlösmöglichkeiten. Demnach ist die Schilfrohrkultur bei realistischen und optimistischen Annahmen rentabel bei 41 €/ha bzw. 415 €/ha (SCHÄFER 2004), jedoch bei pessimistischen Annahmen mit - 386 €/ha defizitär (nach SCHÄFER 1999). Diese starken Unterschiede ergeben sich insbesondere durch die Kombination von hohen Kosten und geringem Erlös im pessimistischen Szenario (hohe Pflanzkosten bei geringer Nutzungszeit, niedriger Ertrag bei geringem Preis pro Schilfbund) gegenüber der Annahme von niedrigen Kosten und hohem Erlös für das optimistische Szenario (niedrige Pflanzkosten bei sehr langer Nutzungszeit, hoher Ertrag bei höherem Schilfpreis). Auf der Grundlage eines maschinellen Pflanzversuchs (Tab. 1: Ⓞ, DAHMS 2009) und veränderter Erlösstruktur für Qualitätsschilf wird im Rahmen des VIP-Projektes eine Aktualisierung und Korrektur der Kalkulation erfolgen.

Fallbeispiel 3: Ernte von Niedermoorbiomasse zur energetischen Verwertung

Für die Bereitstellung von Biomasse zur Verfeuerung wurden Modellkalkulationen im Rahmen des ENIM-Projektes durchgeführt (Tab. 1: Ⓞ, WICHMANN & WICHTMANN 2009). Bei der Wintermahd bestehender Schilfröhrichte ist bereits bei mittleren Erträgen (8 t TM/ha) und trotz Einsatz von Spezialtechnik die Konkurrenzfähigkeit mit anderen halmgutartigen Energieträgern gegeben. Für Schilf wurden Brennstoffbereitstellungskosten von 3,38 €/GJ ermittelt, die unter denen von Miscanthus (4,28 €/GJ) bzw. denen von Stroh (3,76 €/GJ) liegen. Demgegenüber erhöhte die Annahme der Pflanzung eines Schilfbestandes (DAHMS 2009) die Energiekosten auf 4,93 €/GJ. Auch die Mahd von Rohrglanzgrasbeständen mit konventioneller Grünlandtechnik ist auf Grund geringerer Erträge (5 t TM/ha), erforderlicher Bodentrocknung der Biomasse sowie Abtransport der Ballen einzeln von der Fläche zum Flächenrand vergleichsweise teuer (4,69 €/GJ).

Neben den konkreten Verfahrenskosten und Erlösen wird die einzelbetriebliche Attraktivität von Paludikultur von weiteren Aspekten beeinflusst. So erfordern Flächen, deren Pflanzenbestände bereits durch Vernässung verändert wurden und deren Biomasse nicht mehr herkömmlich über Mutterkühe veredelt werden kann, neue Verwertungsmöglichkeiten. Zum Beispiel kann ein lokaler Wärmebedarf (Stallgebäude, Gewächshäuser, Nahwärme für Anwohner) durch Niedermoor-Biomasse gedeckt werden. Die Wintermahd ermöglicht eine ganzjährige Anstellung von sonst im Landwirtschaftssektor häufig nur saisonal beschäftigten Mitarbeitern.

3.4 Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasen

Die Aufgabe entwässerungsbasierter Moorbewirtschaftung zu Gunsten der nassen Nutzung ermöglicht die Vermeidung von Treibhausgas-Emissionen, die sich aus zwei Komponenten zusammensetzt. Auf der einen Seite sind bei der energetischen Verwertung, wie bei Bioenergieträgern üblich, die Einsparungen fossiler Energieträger anzusetzen. Auf der anderen Seite ergeben sich Emissionseinsparungen aufgrund der Wiedervernässung.

Ersatz fossiler Brennstoffe

Schilf ist als nachwachsender Brennstoff geeignet und weist einen Heizwert von 17,5 MJ/kg auf. Werden Schilf-Erträge von 8 t TM/ha erzielt, entsprechen diese einem Energieertrag von 140 GJ/ha. Um diesen Wert mit anderen Energieträgern vergleichen zu können, wird er auf Tera-Joule (TJ) bezogen. Für die Produktion von 1 TJ Energie durch Schilf werden bei einem jährlichen Aufwuchs von 8 t TM/ha ca. 7 ha benötigt ($1.000 \text{ GJ} / 140 \text{ GJ} = 7,14 \text{ ha}$). Heizöl produziert als fossiler Energieträger Emissionen in Höhe von 75 t CO₂-Äquivalente/TJ (Äquivalente = äq). Somit können beim Ersatz von Heizöl durch Verfeuerung von Schilf ca. 10 t CO₂-äq/ha a eingespart werden ($75 \text{ t CO}_2\text{-äq} / 7 \text{ ha}$). Bei Abzug von pauschal 2 t CO₂-äq/ha für Emissionen aus Ernte, Lagerung und Transport verbleibt ein CO₂-Vermeidungspotential von 8 t/ha a (nach WICHMANN & WICHTMANN 2009).

Reduzierung der Torfmineralisierung

Für eine Schätzung der Emissionsminderung durch Wiedervernässung wurde der GEST-Ansatz (TreibhausGas-Emissions-Standort-Typen) entwickelt, der eine Beziehung mittlerer Wasserstände mit Treibhausgas-Emissionen ermöglicht. Diesem Ansatz liegt eine Auswertung nahezu aller verwertbarer Literaturquellen zugrunde, die sich auf CO₂ und CH₄ Emissionen aus Mooren in temperaten Breiten Mitteleuropas beziehen. Da die mittleren Wasserstände eng mit den sich entwickelnden Vegetationstypen verknüpft sind, können die Emissionen flächenbezogen aus indikativen Pflanzenartengruppen (Vegetationsformen; KOSKA et al. 2001) abgeleitet werden (COUWENBERG et al. 2008, COUWENBERG et al. 2011). Messbare Lachgas (N₂O)-Emissionen kommen ausschließlich in trockeneren, insbesondere stickstoffgedüngten Mooren vor. Sie sind aber schwer mit Wasserständen zu korrelieren und werden mit dem GEST-Ansatz nicht berücksichtigt. Hierdurch wird die Abschätzung der Emissionsminderungen durch Wiedervernässung noch sicherer, da durch diese Maßnahme Lachgasemissionen zusätzlich reduziert werden (konservative Abschätzung). Eine detaillierte Beschreibung des GEST-Konzeptes und seine beispielhafte Anwendung finden sich in COUWENBERG et al. (2011). Bei der Umwandlung von Saatgrasland (Wasserstufe 2+/-, nach PETERSEN 1952) zu einem Schilfröhricht (Wasserstufe 5+) können durch Wiedervernässung Emissionen von mehr als 15 t CO₂-äq/ha a eingespart werden. Somit ergibt sich im beschriebenen

Beispiel durch den Ersatz fossiler Brennstoffe (8 t CO₂-äq/ha) und die Wiedervernässung (15 t CO₂-äq/ha) eine Gesamtreduktion an Treibhausgasemissionen von ca. 23 t CO₂-äq/ha a.

Vergleich mit anderen Bio-Energieträgern

Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für die energetische Verwertung wird insbesondere in Deutschland durch gesellschaftliche Transferzahlungen wie im Rahmen des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) stark gefördert. Neben der Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und der Stärkung dezentraler Strom- und Wärmeerzeugung ist die Verringerung von Treibhausgasemissionen vorrangiges politisches Ziel. Dabei wird auch die Erzeugung von z. B. Mais- oder Grassilage auf Moor für die Biogas-Erzeugung gefördert. Die Emissionen aus Torfzehrung betragen hier jedoch bis zum Zehnfachen der Emissionen, die die Nutzung einzusparender fossiler Rohstoffe verursacht hätte (COUWENBERG 2007).

Auch auf Mineralboden liegen die Vermeidungsleistungen sämtlicher Bio-Energieträger deutlich unter dem skizzierten Potential der energetischen Verwertung von Paludikultur-Biomasse. Die Vermeidung von Treibhausgasemissionen reicht von der Kraftstoff-Produktion (Ethanol) mit knapp 2 t CO₂-äq/ha über die Biogas-Erzeugung für Strom- und Wärmeproduktion mit ca. 7 t CO₂-äq/ha bis hin zu maximal 18 t CO₂-äq/ha für den Einsatz von Hackschnitzeln (WBA 2007). Die Wiedervernässung degradiertes Moore ist mit 15 t CO₂-äq/ha somit im Vergleich mit anderen Optionen der Vermeidung von Treibhausgasemissionen eine äußerst effiziente Landnutzungsform. Bei energetischer Verwertung der Moor-Biomasse werden ebenfalls dezentral Wärme und ggf. Strom erzeugt und somit zusätzlich hohe Vermeidungsleistungen von 8 t CO₂-äq/ha erbracht (s.o.). Diese sind höher als bei den meisten Bioenergie-Linien (2-8 t CO₂-äq/ha), die mit z. B. 150 € bis weit über 300 € pro vermiedener Tonne CO₂ bzw. mit bis zu 3.000 €/ha (WBA 2007, WWF 2011) hoch subventioniert werden.

3.5 Nährstoffhaushalt nach Wiedervernässung

Die Wiedervernässung von Moorstandorten hat neben dem Klimaschutz zum Ziel, Nährstoffausträge zu reduzieren und möglichst die langfristige Senkenfunktion für Nährstoffe zu reetablieren. Abhängig vom jeweiligen Standort, der Beschaffenheit des Vernässungswassers und insbesondere vom sich im Rahmen der Wiedervernässung einstellenden Wasserregime (Wasserstandsdynamik) können jedoch neben einer Änderung der klimarelevanten Emissionen bedeutende Stoffverlagerungen (gelöste organische Bestandteile, Nähr- und Schadstoffe) mit abströmendem Oberflächenwasser oder über den Grundwasserpfad erfolgen. Im Vorfeld einer Wiedervernässung – ob im Rahmen einer Nutzungsänderung zur Paludikultur, einer Auffassung oder „Pflegetzung“ – ist jeweils zu entscheiden, ob der Standort für eine Wiedervernässung geeignet ist oder nicht. Ein entsprechen-

der Entscheidungsbaum zur Risikoeinschätzung wurde bereits von SCHWILL (2003), basierend auf einer umfassenden Literaturrecherche, vorgeschlagen. Seitdem liegen weitere umfangreiche Feld- und Labor-Untersuchungen vor, die erneut zusammenfassend ausgewertet werden müssen (z. B. TIEMEYER et al. 2004, VELTY 2005, ZAK & GELBRECHT 2007, GELBRECHT & ZAK 2008, MEISSNER et al. 2008), um Risiken bei der praktischen Umsetzung von Wiedervernässungsmaßnahmen zu minimieren. Mit dem vorliegenden Beitrag kann auf diese grundsätzlichen Risiken der Wiedervernässung von Mooren nicht weiter eingegangen werden.

4. Diskussion und Ausblick

Die nasse Moorbewirtschaftung (Paludikultur) ist aufgrund ihrer vielfältigen positiven Wirkungen eine moorschonende, langfristig tragfähige Landnutzung. Bei Etablierung der Paludikultur auf stark degradierten, hypertrophen Niedermooren ist bei Wintermahd (Ernte abgestorbener Pflanzenteile) und optimalen Wiedervernässungsmaßnahmen (Vermeidung von hohen Stoffverlusten mit abströmendem Grund- und Oberflächenwasser) von einer langfristig ausreichenden Nährstoffversorgung auszugehen. Durch trockene und nasse Deposition und durch Einträge über das Grundwasser werden zudem die wichtigsten Nährstoffe in Größenordnungen eingetragen, wie sie mit dem Erntegut von der Fläche exportiert werden, so dass von langfristig stabilen Erträgen auszugehen ist. Mittels Sommermahd kann dagegen durch den Entzug von Nährstoffen mit grüner Biomasse eine Hagerung der Standorte erreicht werden.

Durch eine Vielzahl geeigneter Kulturen und Verwertungsoptionen eröffnet die Paludikultur neue Perspektiven für den Erhalt von Arbeitsplätzen im ländlichen Raum und für eine regionale Wertschöpfung. Bei einer optimalen Umsetzung der Wiedervernässungsmaßnahme und Paludikultur können neben ökologischen Leistungen (Substitution knapper fossiler Rohstoffe, Reduktion von Treibhausgasemissionen und Nährstoffausträgen in Grund- und Oberflächenwasser) eine Vielzahl weiterer Leistungen erzielt werden wie die Offenhaltung der Landschaft, ein kühleres Regionalklima und die Bereitstellung von Lebensraum für seltene Arten.

Die existierenden Rahmenbedingungen vernachlässigen bisher jedoch die externen Effekte von Landnutzungsalternativen. Herkömmliche Grünlandnutzung oder „Bio“-Energieproduktion auf entwässertem Moor wird durch gesellschaftliche Transferzahlungen über die EU-Direktzahlungen oder das EEG gefördert, obwohl die negativen externen Umwelteffekte den internationalen Verpflichtungen von Klima- und Gewässerschutz entgegenwirken. Die positiven externen Effekte der Paludikultur hingegen werden nicht honoriert.

Diese bestehenden Rahmenbedingungen erschweren ein Konkurrerieren der Paludikultur mit „trockneren“ Produktionsverfahren. Hier fehlt es auf politischer Ebene an klaren Bekenntnissen und Entscheidungen zu Fragen wie:

- **Kostenübernahme für Wiedervernässung durch die öffentliche Hand**
Die Melioration von Mooren wurde zumeist durch die Gesellschaft getragen – die Wiedervernässung sollte genauso behandelt werden. Auch in anderen Bereichen werden Rückbaumaßnahmen, oft mit geringeren Wirkungen auf den Naturhaushalt (Infrastruktur, Mülldeponien, KKWs etc.), staatlich finanziert.
- **Ansprüche auf Direktzahlungen bei Paludikultur**
Auf Grund der Subventionierung der Grünlandbewirtschaftung durch EU-Flächenprämien werden häufig defizitäre und zudem umweltschädigende Produktionsverfahren auf entwässerten Moorstandorten aufrechterhalten. Erst wenn Paludikulturen im Rahmen der Agrarförderung wie Dauergrünland behandelt werden, kann die nasse Bewirtschaftung mit der entwässerungsbasierten Bewirtschaftung der Moore konkurrieren.
- **Unterstützung durch Investitionsförderung**
Die Umstellung auf eine nasse Moorbewirtschaftung erfordert Investitionen in angepasste Landtechnik sowie Anlagen zur Aufbereitung und/oder Verwertung der Biomasse wie Feuerungsanlagen, Pelletieranlagen usw.
- **Honorierung von Artenschutz über Agrarumweltprogramme**
Paludikultur ist geeignet, Lebensräume von ausgewählten Arten wiederherzustellen und langfristig zu sichern. Agrarumweltzahlungen können die Rentabilität sichern bzw. landwirtschaftliche Nachteile auf naturschutzfachlich wertvollen Flächen wie Nutzungseinschränkungen oder geringere Erträge ausgleichen.
- **Honorierung der Vermeidung von Treibhausgasemissionen**
Der wissenschaftliche Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (WBA) empfiehlt eine Konzentration auf Bio-Energielinien, die Klimaschutz bei Vermeidungskosten $< 50 \text{ €/t CO}_2\text{-äq.}$ ermöglichen (WBA 2007). Würde lediglich eine Subvention von $25 \text{ €/t CO}_2\text{-äq.}$ und eine sehr geringe Vermeidungsleistung von 10 t/ha a angesetzt (vgl. 3.4), macht das bereits eine Flächenförderung von 250 €/ha aus, die die Rentabilität von Paludikultur erheblich verbessern würde.
- **Aus- und Weiterbildung zur Moorbodenbewirtschaftung**
Sowohl an staatlichen Stellen (Berufsschulen, Meister-Ausbildung, Universitäten) und privaten Einrichtungen (Winterschulen, Fortbildungen der Landwirtschaftsberatung usw.) sollte der verantwortliche Umgang mit Mooren stärker in den Mit-

telpunkt der Ausbildung gerückt werden, damit diejenigen, die die Moore bewirtschaften auch die Tragweite ihres Handelns und Verbesserungsmöglichkeiten einschätzen können.

Mit dem VIP-Projekt werden einige der dringendsten offenen Fragen aufgegriffen. Damit wird sowohl für Norddeutschland als auch international die Paludikultur als tragfähiges Landnutzungskonzept weiter vorangebracht. Durch den großflächigen Einsatz angepasster Landtechnik und die praktische Erprobung unterschiedlicher stofflicher sowie energetischer Verwertungsoptionen, durch Verbesserung des Kenntnisstandes zur Ökonomie, zum Einfluss auf Biodiversität, Boden und Treibhausgasemissionen, durch Information von Landwirten und Bevölkerung sowie Verbesserung der juristischen und förderpolitischen Rahmenbedingungen soll sowohl Interesse als auch Akzeptanz für eine großflächige Umsetzung der Paludikultur nicht nur in Vorpommern sondern weltweit gefördert werden.

5. Danksagung

Der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, den Bundesministerien für Bildung und Forschung sowie für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie dem Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern möchten wir für die Förderung verschiedener Projekte danken, die eine vertiefte Auseinandersetzung mit Fragen zur Paludikultur erst ermöglicht haben. Bei den unterschiedlichen Projekten waren und sind eine Vielzahl von Partnern aus Praxis und Forschung beteiligt, die an dieser Stelle nicht alle namentlich genannt werden können. Ihnen möchten wir für Ihre Kooperation und Unterstützung unseren besonderen Dank aussprechen.

6. Literaturverzeichnis

- AUTORENKOLLEKTIV GREIFSWALD (2009): Paludikultur – Perspektiven für Mensch und Moor. – 16 S.; Greifswald (Universität Greifswald, Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Institut für Dauerhaft Umweltgerechte Entwicklung von Naturräumen der Erde (DUENE) e.V.).
- BUND (2010): Moorschutz – Ein Beitrag zum Klima- und Naturschutz. – 18 S.; BUNDstandpunkt 3. www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/naturschutz/20100420_naturschutz_moorschutz_standpunkt.pdf (letzter Aufruf: 30.06.2011)
- COUWENBERG, J. (2007): Biomass energy crops on peatlands: on emissions and perversions. – IMCG-Newsletter 2007/3: 12-14. (www.imcg.net) (letzter Aufruf: 30.06.2011)
- COUWENBERG, J., AUGUSTIN, J., MICHAELIS, D., WICHTMANN, W. & JOOSTEN, H. (2008): Entwicklung von Grundsätzen für eine Bewertung von Niedermooren hinsichtlich ihrer Klimarelevanz. – 33 S.; Studie im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Naturschutz M-V. DUENE e.V.; Greifswald.

- COUWENBERG, J., THIELE, A., TANNEBERGER, F., AUGUSTIN, J., BÄRISCH, S., DUBOVİK, D., LIASHCHYNSKAYA, N., MICHAELIS, D., MINKE, M., SKURATOVICH, A. & JOOSTEN, H. (2011): Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy. *Hydrobiologia*, online first, DOI 10.1007/s10750-011-0729-x
- DAHMS, T. (2009): Bestandesetablierung. – In: WICHMANN, S. & WICHTMANN, W.: Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt Energiebiomasse aus Niedermooren (ENIM):117-122; Institut für Botanik und Landschaftsökologie. Universität Greifswald. http://paludiculture.botanik.uni-greifswald.de/documents/enim_endbericht_2009.pdf (letzter Aufruf: 30.06.2011)
- FREIBAUER, A., DRÖSLER, M., GENSIOR, A. & SCHULZE, E.-D. (2009): Das Potenzial von Wäldern und Mooren für den Klimaschutz in Deutschland und auf globaler Ebene. – *Natur und Landschaft* **84/1**: 20-25.
- GAUDIG, G. (2002): Das Forschungsprojekt „Torfmoose (*Sphagnum*) als nachwachsende Rohstoffe: Etablierung von Torfmoosen – Optimierung der Wuchsbedingungen“. – *Telma* **32**: 227-242.
- GAUDIG, G., JOOSTEN, H. & KAMERMANN, D. (2008): Growing growing media: the promises of *Sphagnum* biomass. – *Acta Horticulturae* **779**: 165-172.
- GELBRECHT, J. & ZAK, D. (Hg.) (2008): Phosphor- und Kohlenstoff-Dynamik und Vegetationsentwicklung in wiedervernässten Mooren des Peenetals in Mecklenburg-Vorpommern. *Berichte des IGB* **26**, 190 S.
- KAMERMANN, D. & BLANKENBURG, J.(2008): Erfahrungen und Ergebnisse eines Feldversuchs im Projekt „Torfmoos als nachwachsender Rohstoff“. – *Telma* **38**: 121-144.
- KOWATSCH, A. (2007): Moorschutzkonzepte und -programme in Deutschland. Ein historischer und aktueller Überblick. – *Naturschutz und Landschaftsplanung* **39** (7): 197-204.
- KOSKA, I., SUCCOW, M., & TIMMERMANN, T. (2001): Vegetationsformen der offenen, naturnahen Moore und des aufgelassenen Feuchtgrünlandes. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*. 2. völlig neu bearbeitete Auflage. 143-144; Stuttgart (Schweizerbart sche Verlagsbuchhandlung).
- KRATZ, R. & PFADENHAUER, J. (Hrsg.) (2001): *Ökosystemmanagement für Niedermoore – Strategien und Verfahren zur Renaturierung*. – 317 S.; Stuttgart (Eugen Ulmer).
- LANDGRAF, L. (2010): Wo steht der Moorschutz in Brandenburg? *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg* **19** (3,4): 126-131.
- MEISSNER, R.; LEINWEBER, P., RUPP, H.; SHENKER, M.; LITAOR, I. M.; ROBINSON, J. S. & SCHLICHTING, A. (2008): Mitigation of diffuse phosphorus pollution during rewetting of fen peat soils: a trans-European case study. – *Water, Air and Soil Pollution* **88** (1-4): 111-126.
- OEHMKE, C. & WICHTMANN, W. (2011): Festbrennstoffe aus Paludikultur – Produktivität und Verbrennungseignung von Halmgut aus nassen und wiedervernässten Mooren. – Dokumentation zur Konferenz „Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial“, 1.-2. März 2011 in Berlin. – Schriftenreihe des BMU - Förderprogramms „Energetische Biomassennutzung“, Band 1. ISSN: 2192-1806.
- PETERSEN, A. (1952): *Die neue Rostocker Grünlandschätzung*; Berlin (Akademie Verlag).

- RECHBERGER, CH. (2003): Schilf (*Phragmites australis*), Analyse der Ernte- und Verwertungsmöglichkeiten unter besonderer Berücksichtigung des Neusiedler Sees. – 131 S.; Diplomarbeit an der FH Wiener Neustadt für Wirtschaft und Technik, Studiengang Produkt- und Projektmanagement in Wieselburg.
- ROTH, S. (2000): Etablierung von Schilfröhrichten und Seggenrieden auf wiedervernässtem Niedermoor. – 153 S., Diss. Uni Marburg, Ber. aus der Biologie; Aachen (Shaker Verlag).
- SCHÄFER, A. (1999): Schilfrohrkultur auf Niedermoor – Rentabilität des Anbaus und der Ernte von *Phragmites australis*. – Archiv f. Naturschutz und Landschaftsforschung **38**: 193-216.
- SCHÄFER, A. (2004): Umwelt als knappes Gut – Ökonomische Aspekte von Niedermoorrenaturierung und Gewässerschutz. – Archiv f. Naturschutz und Landschaftsforschung **43**: 87-105.
- SCHÄFER, A. & JOOSTEN, H. (2005): Erlenaufforstung auf wiedervernässten Niedermooren. – 68 S.; Greifswald (Institut für Dauerhaft Umweltgerechte Entwicklung der Naturräume der Erde (DUENE) e.V.).
- SCHÄTZL, R., SCHMITT, F., WILD, U. & HOFFMANN, H. (2006): Gewässerschutz und Landnutzung durch Rohrkolbenbestände. – WasserWirtschaft **11/2006**: 24-27.
- SCHRÖDER, J. (2010): Praxisversuch zur Seilkranrückung auf Moorstandorten in Mecklenburg-Vorpommern. – 12 S.; Landesforst Mecklenburg-Vorpommern. <http://www.uni-greifswald.de/~alnus/dokumente/Tagungsbericht%20Forstvereinstagung%20%20Beitrag%20J.%20Schr%C3%B6der.pdf> (letzter Aufruf: 30.06.2011)
- SCHWILL, S. (2003): Wirkung von Wiedervernässungen auf degradierten Niedermoorstandorten, eine Literaturstudie. – In: LUNG MV: Stoffausträge aus wiedervernässten Niedermooren. – Materialien zur Umwelt **1**: 10-27.
- STIFTUNG ODERMÜNDUNG (Hrsg.) (1999): Ergebnisse des Projektes „Regeneration und alternative Nutzung von Niedermoorflächen im Landkreis Ostvorpommern“. – 57 S.; Anklam.
- SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. – 622 S., 2. völlig neu bearbeitete Auflage; Stuttgart (Schweizerbart sche Verlagsbuchhandlung).
- TIEMEYER, B., LENNARTZ, B., SCHLICHTING, A. & VEGELIN, K. (2004): Risk assessment of the phosphorus export from a re-wetted peatland. - Physics and Chemistry of the Earth **30** (8-10): 550-560.
- TIMMERMANN, T. (1999): Anbau von Schilf (*Phragmites australis*) als ein Weg zur Renaturierung von Niedermooren – eine Fallstudie zu Etablierungsmethoden, Bestandesentwicklung und Konsequenzen für die Praxis. – Archiv f. Naturschutz und Landschaftsforschung **38**: 111-144.
- TIMMERMANN, T. (2003): Nutzungsmöglichkeiten der Röhrichte und Riede wiedervernässter Niedermoor Mecklenburg-Vorpommerns – Greifswalder Geographische Arbeiten **31**: 31-42
- TREPEL, M. (2008): Zur Bedeutung der Moore in der Klimadebatte. – Jahresbericht des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein 2007/2008, **12**: 61-74.
- VELTY, S. (2005): Einfluss von Wiedervernässungsmaßnahmen auf den Stoffhaushalt degradierter Niedermoor. Dissertation Humboldt Universität Berlin. Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät. 102 S.

- 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> (letzter Aufruf: 30.06.2011)
- WICHMANN, S. & WICHTMANN, W. (2009): Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt Energiebiomasse aus Niedermooren (ENIM). – 190 S.; Institut für Botanik und Landschaftsökologie. Universität Greifswald. http://paludiculture.botanik.uni-greifswald.de/documents/enim_endbericht_2009.pdf (letzter Aufruf: 30.06.2011)
- WICHMANN, S. & TANNEBERGER, T. (2011): Paludikultur – Nutzung von Biomasse nasser Moorstandorte: aktuelle Umsetzungsbeispiele aus Norddeutschland und Osteuropa. – Dokumentation zur Konferenz „Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial“, 01.-02. März 2011 in Berlin. – Schriftenreihe des BMU - Förderprogramms „Energetische Biomassennutzung“, Band 1. ISSN: 2192-1806.
- WICHTMANN, W. (1999a): Schilfanbau als Alternative zur Nutzungsauffassung von Niedermooren. – Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung **38**: 97-110.
- WICHTMANN, W. (1999b): Nutzung von Schilf (*Phragmites australis*). – Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung **38**: 217-232.
- WICHTMANN, W. (2003): Verwertung von Biomasse von Niederungsstandorten. – In: TIMMERMANN, T., WICHTMANN, W., SUCCOW, M. & BILLWITZ, K. (2003): Alternative Nutzungsformen für Moorstandorte in Mecklenburg-Vorpommern. Greifswalder Geographische Arbeiten **31**: 43-54; EMAU Greifswald.
- WICHTMANN, W. & KOPPISCH, D. (1998): Nutzungsalternativen für Niedermoore am Beispiel Nordostdeutschlands. – Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung **39** (4): 162-168.
- WICHTMANN, W. & JOOSTEN, H. (2007): Paludiculture: peat formation and renewable resources from rewetted peatlands. – IMCG-Newsletter 3/2007: 24-28. (www.imcg.net)
- WICHTMANN, W. & TANNEBERGER, F. (2009): Feasibility of the use of biomass from re-wetted peatlands for climate and biodiversity protection in Belarus. Report to the Project: „Restoring Peatlands and applying Concepts for Sustainable Management in Belarus – Climate Change Mitigation with Economic and Biodiversity Benefits“. – 112 S.; Greifswald (Michael Succow Stiftung zum Schutz der Natur).
- WICHTMANN, W., WICHMANN, S. & TANNEBERGER, F. (2010a): Paludikultur – Nutzung nasser Moore: Perspektiven der energetischen Verwertung von Niedermoorbiomasse. – Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg **19** (3, 4): 211-218.
- WICHTMANN, W., TANNEBERGER, F., WICHMANN, S. & JOOSTEN, H. (2010b): Paludiculture is paludifuture: Climate, biodiversity and economic benefits from agriculture and forestry on rewetted peatland. Peatlands International **1/2010**: 48-51.
- WILD, U., KAMP, T., LENZ, A., HEINZ, S. & PFADENHAUER, J. (2001): Cultivation of *Thypha spp.* in constructed wetlands for peatland restoration. – Ecological engineering **17**: 49-54.
- WWF (2011): Energie im großen Sti(e)l, Auswirkungen des Biogas-Booms auf Umwelt, Artenvielfalt und Landwirtschaft. – 42 S. Berlin (WWF Deutschland). http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf_neu/Studie%20_Biogas_Energie%20im%20gro%C3%9Fen%20Stiel.pdf (letzter Aufruf: 17.03.2011)

234

ZAK, D. & GELBRECHT, J. (2007): The mobilisation of phosphorus, organic carbon and ammonium in the initial stage of rewetting (a case study from NE Germany). - *Biogeochemistry* **85**: 141-151.

Anschrift der Verfasser:

S. Wichmann

DUENE e.V.

Institut für Dauerhaft Umweltgerechte Entwicklung von Naturräumen der Erde e.V.

c/o Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Universität Greifswald

Grimmer Straße 88

D-17487 Greifswald

E-Mail: wichmann@duene-greifswald.de

Dr. W. Wichtmann

Michael Succow-Stiftung zum Schutz der Natur

Ellernholzstraße 1/3

D-17489 Greifswald

E-Mail: wendelin.wichtmann@succow-stiftung.de

Manuskript eingegangen am 18. März 2011