
Aktivierung der Klimaschutzfunktion von Niedermoorflächen in der Landeshauptstadt Potsdam

Handlungsleitfaden „Paludikultur“



Handlungsleitfaden „Paludikultur“

Auftraggeber:

Stadtverwaltung Potsdam
Koordinierungsstelle Klimaschutz
Friedrich-Ebert-Straße 79-81
14476 Potsdam



Fachliche Betreuung und Redaktion:

Wendelin Wichtmann
Andreas Haberl

Michael Succow Stiftung zum Schutz der Natur
Ellerholzstr. 1/3
17489 Greifswald
Tel.: 03834/83542-10
Internet: www.succow-stiftung.de



MICHAEL SUCCOW STIFTUNG
zum Schutz der Natur

Auftragnehmer:

LUP – LUFTBILD UMWELT PLANUNG GmbH
Große Weinmeisterstraße 3a
14469 Potsdam



Gefördert durch:

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03KS2821 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



Potsdam, 21.12.2012

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	3
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
TABELLENVERZEICHNIS	4
EINLEITUNG	5
1 MÖGLICHKEITEN DER STANDORTGERECHTEN NIEDERMOORBEWIRTSCHAFTUNG (PALUDIKULTUR)	6
1.1 MÖGLICHE FORMEN DER PALUDIKULTUR	6
1.2 STANDÖRTLICHE VORAUSSETZUNGEN FÜR PALUDIKULTUR	7
1.3 TECHNISCHE VORAUSSETZUNGEN FÜR PALUDIKULTUR	8
1.3.1 <i>Wiedervernässbarkeit</i>	8
1.3.2 <i>Erzielung von Einkommen</i>	9
1.3.3 <i>Sonstige Voraussetzungen</i>	9
2 AUSWIRKUNGEN VON PALUDIKULTUR AUF NATUR UND UMWELT	21
2.1 NIEDERMOORBEWIRTSCHAFTUNG UND KLIMARELEVANTE EMISSIONEN	21
2.2 AUSWIRKUNGEN VON PALUDIKULTUREN AUF DEN LANDSCHAFTSWASSERHAUSHALT	23
2.3 NIEDERMOORBEWIRTSCHAFTUNG UND NATURSCHUTZ	24
2.3.1 <i>Darstellung des GEST Modells</i>	25
3 ÖKONOMIE DER NUTZUNGSUMSTELLUNG	30
3.1 PRODUKTIONSVERFAHREN FÜR HOLZBIOMASSE UND HALMGUTARTIGE BIOMASSEN IN PALUDIKULTUREN	30
3.2 VERWERTUNGSMÖGLICHKEITEN VON PALUDI-BIOMASSE	30
3.3 KOSTEN BEI NUTZUNGSUMSTELLUNG	30
3.4 KOSTEN FÜR DIE BESTANDESETABLIERUNG	31
3.4.1 <i>Kosten während der Zeit der Bestandes-Etablierung</i>	31
3.5 WIRTSCHAFTLICHKEIT VON PALUDIKULTUREN	32
3.6 VORSCHLÄGE FÜR INVESTITIONEN UND FÖRDERUNGEN DER LHP	37
3.6.1 <i>Direktzahlungen</i>	37
3.6.2 <i>Moorfutures</i>	37
3.6.3 <i>Sonstige Förderungen von Investitionen zur Moorwiedervernässung</i>	37
3.6.4 <i>Förderung von Investitionen in angepasste Landtechnik</i>	38
3.6.5 <i>Klimaschutzprogramme</i>	38
4 PERSPEKTIVEN	39
QUELLEN- UND LITERATURVERZEICHNIS	41

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Paludikultur - Schilfmahd (Foto: S. Wichmann)	1
Abbildung 2: Verwertungsmöglichkeiten von Biomasse aus wiedervernässten Niedermooren	6
Abbildung 3: Technisches Blatt: Loglogic Wetland Harvester.....	12
Abbildung 4: Technisches Blatt: Meyer-Luhdorf PB 240.....	13
Abbildung 5: Technisches Blatt: modifizierte Pistenraupe – Ratrak.....	14
Abbildung 6: Technisches Blatt: modifizierte Pistenraupe – Sumo Quaxi	15
Abbildung 7: Technisches Blatt: modifizierter Schilfernter – Seiga III.....	16
Abbildung 8: Technisches Blatt: Konventionelle Grünlandtechnik – Claas Ares 557 und Krone Round Pack 1250 MultiCut	17
Abbildung 9: Technisches Blatt: Leichte Konventionelle Grünlandtechnik – Kubota B2410 und Gaspardo Mäher	18
Abbildung 10: Technische Blatt: Entwicklungskonzept Terra tyres – Kranemann.....	19
Abbildung 11: Technische Blatt: Entwicklungskonzept A. Grasmück, Kunst Akademie Berlin Weissensee.....	20
Abbildung 12: Treibhausgaspotenzial (GWP; Summe aus Kohlendioxid und Methan, ohne Lachgas), pro Hektar Moorfläche und Jahr in Abhängigkeit vom mittleren Wasserstand und Zuordnung verschiedener Nutzungsformen (schriftliche Mitteilung COUWENBERG 2012).	22
Abbildung 13: Im vormals dichten Schilfröhricht in den Murchiner Wiesen (Peenetal) breiten sich nach dreijähriger Sommermahd Seggen (<i>Carex elata</i>), Sumpffarn (<i>Thelypteris palustris</i>) sowie Fluss-Ampfer (<i>Rumex hydrolapathum</i>) und mit diesem der Große Feuerfalter (<i>Lycaena dispar</i>) aus (Foto: F. Tanneberger).....	25

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Produktivität von Röhrichten und Feuchtgebieten in Mitteleuropa ($t\ TM\ ha^{-1}\ a^{-1}$; nach einer Literatursauswertung von TIMMERMANN 2003)	7
Tabelle 2: Übersicht standörtlicher Voraussetzungen.....	8
Tabelle 3: Übersicht infrastruktureller Voraussetzungen	9
Tabelle 4: Übersicht infrastruktureller Voraussetzungen	9
Tabelle 5: Haupt Standortfaktor-Klassen des Vegetationsformen-Ansatzes (verändert nach Koska 2001). WLw: langzeitiger Median des Wasserstandes in der nassen Saison; WLs: langzeitiger Median des Wasserstandes in der trockenen Saison; WD: Wasserdefizit; C/N: Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis im Oberboden nach Kjeldahl bestimmt; pH_{Kts} : pH des Oberbodens in KCl-Lösung gemessen.	26
Tabelle 6: Format der THG-Emissions-Standort-Typen der Tabelle 7	27
Tabelle 7: GESTs mit Schätzungen zu CH_4 - und CO_2 -Emissionen sowie GWP in $tCO_2\ \cdot\ ha^{-1}\ \cdot\ a^{-1}$ für Niedermoorstandorte (Auszug aus COUWENBERG et al. 2008)	28
Tabelle 8: Kosten für die Bestandesetablierung (Dahms 2009).....	32
Tabelle 9: Biomassebereitstellungskosten von Schilf, Stroh und <i>Miscanthus</i> frei Heizwerk und vor Prämien (nach Wichmann & Wichtmann 2009)	33
Tabelle 10: Beispielrechnungen für Kostenermittlung Mahd bei unterschiedlichem Zeitbedarf für die Ernte, z.B. aufgrund höheren Biomasseaufkommens	34
Tabelle 11: Wirtschaftlichkeit der Biomassebereitstellung Erntetermin Winter (W) oder Sommer (S) .	36
Tabelle 12: Mögliches Entwicklungsszenario für die Entwicklung der Niedermoore im Stadtgebiet Potsdam. Prozentangaben als Beispiel	39

EINLEITUNG

Paludikultur, abgeleitet von lateinisch „**Palus**“ der Sumpf oder Morast, ist die Wiedervernässung von gedränten und degradierten Moorstandorten mit einer anschließenden standortgerechten Bewirtschaftung. Standortgerecht meint hier eine dauerhaft umweltgerechte und nachhaltige Nutzung von wiedervernässten Mooren. Dabei werden die natürlichen Funktionen des Standortes wie z.B. Regulationen im Landschafts-, Klima- und Wasserhaushalt, Lebensraumfunktion etc., wieder hergestellt (JOOSTEN et al. 2012). Probleme von Stoffausträgern aus konventionell genutzten entwässerten Moorstandorten, die zu einer Belastung von Grundwasser und Atmosphäre führen werden so gemindert. Auf lange Sicht lassen sich Erlöse für die geerntete Biomasse erzielen, die größer sind als der Einsatz von Arbeits- oder Betriebsmitteln.

Heute sind ca. 90 % der Moore in Westeuropa für Land- und Forstwirtschaft sowie Torfabbau entwässert. Diese Entwässerung von Mooren führt zu Bodendegradierung, Moorsackung, Verlust von standorttypischer Biodiversität, Verlust der Wasserfilter und -rückhaltfunktion, Belastung von Grund- und Oberflächenwasser und zur CO₂- Freisetzung und somit einer stark negativen Klimabilanz der Standorte. Somit kann die konventionelle Moornutzung als nicht standortgerecht bezeichnet werden. Der sozioökonomische Wandel in Nordostdeutschland seit den 1990er Jahren, die unangepasste Bewirtschaftung und damit verbundene weitere Verschlechterung der Standorte führte zum Auflösen großer Moorflächen. Gleichzeitig ist aufgrund des sinkenden Futterbedarfs insbesondere durch starken Abbau der Viehbestände sowie die Verlagerung der Milchproduktion auf den Acker die Bewirtschaftung von Grünland stark zurückgegangen. Viele Grünland-Flächen werden derzeit nur mit Hilfe von Förderungen bewirtschaftet oder bereits bei weiterhin wirksamen Entwässerungsmaßnahmen nicht mehr genutzt (Grünlandüberschuss) diese Entwicklungen führen unter fortwährender Bodendegradierung zum Verlust von Einkommen und Perspektiven im ländlichen Raum. Der Trend hin zum Anbau von „Bio-Energieträgern“ auf stark entwässerten Mooren zur Produktion von Mais- und Gras-Silage für Biogas in Deutschland oder dem Import von Palmöl aus Indonesien, das über Kraft-Wärmekopplung in Deutschland zu Ökostrom veredelt wird ist vor allem aus Sicht der Klimabilanz als schädlich zu betrachten da die Energieerzeugung dabei ein 10-faches der CO₂ Emissionen, im Vergleich zum direkten Einsatz von fossilen Brennstoffträgern, frei setzt. Dies wird zudem kontraproduktiv gefördert, seitdem die entwässerten Moorflächen über die Betriebsprämie nicht mehr an die Art der Bewirtschaftung (z.B. Kopfprämien bei Mutterkühen) gebunden sind.

Paludikultur bietet somit die Möglichkeit zur landwirtschaftlichen Produktion von regenerativen, klimaneutralen, Rohstoffen. Die wiederhergestellten nassen Bedingungen gewährleisten dabei den Bestandschutz des im Torfkörper gespeicherten Kohlenstoffs, im Idealfall wird sich auf lange Sicht wieder ein wachsendes torfbildendes, also Kohlenstoff festlegendes, Moor entwickeln. Auf Grund der oben genannten Probleme bei der Moorbewirtschaftung lässt sich eine Biomasseproduktion unter Konkurrenzfreiheit zur Nahrungsmittelproduktion realisieren. Dieser Leitfaden soll eine Übersicht zum Thema Paludikultur geben und deren Umsetzungspotential im Bereich der Stadt Potsdam darlegen.

1 MÖGLICHKEITEN DER STANDORTGERECHTEN NIEDERMOORBEWIRTSCHAFTUNG (PALUDIKULTUR)

Die entwässerungsbasierte Bewirtschaftung von Mooren ist aus vielerlei Sicht problematisch: Sie ist ressourcenverbrauchend, weil der organische Boden durch die Entwässerung belüftet wird und dadurch mineralisiert. Dadurch entsteht ein „Niveauperlust“ von jährlich bis zu 2 cm (-4 cm unter Intensivbewirtschaftung). Damit verbunden sind Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid und Lachgas) und Austräge an gelösten Nährstoffen ins Grundwasser. Insofern kann die auf Dränung beruhende Landwirtschaft nicht als standortgerecht bezeichnet werden. Als Ausweg wird bisher die **Wiedervernässung** der Moore gesehen. Wurde diese vor allem zur Wiederherstellung „neuer Wildnisse“ bzw. zur Stärkung einer moortypischen Biodiversität eingesetzt, gewinnt heute auf den wiedervernässten Flächen die Entwicklung von Paludikulturen, nassen Formen von Land- und Forstwirtschaft, zunehmend Aufmerksamkeit (WICHTMANN et al. 2010a).

1.1 Mögliche Formen der Paludikultur

Paludikulturen nutzen jenen Teil der Nettoprimärproduktion, der nicht in die Torfbildung eingeht. In hochproduktiven Mooren, die von Seggenrieden, Röhrichten und Bruchwäldern dominiert werden, können die **oberirdische Biomasse** geerntet werden ohne die Torfbildung zu beeinträchtigen, weil die Torfe unterirdisch von einwachsenden Wurzeln, Radizellen und Rhizomen gebildet werden. Paludikulturen unterscheiden sich somit grundsätzlich von der herkömmlichen Moorbodennutzung, die auf Entwässerung beruht und durch Torfverzehr letztlich ihre eigene Grundlage vernichtet. Paludikulturen können die Akzeptanz der Wiedervernässung von herkömmlich bewirtschafteten Mooren erheblich erhöhen, weil durch sie Arbeitsplätze im ländlichen Raum geschaffen und erhalten werden. Derzeit sind erste Kulturverfahren in der Erprobungsphase. Auf nährstoffreichen Niedermoorstandorten geht es dabei um die Produktion von halmgutartiger Biomasse aus Röhrichten, Rieden und Nassbrachen sowie um die Erzeugung von Erlenholz

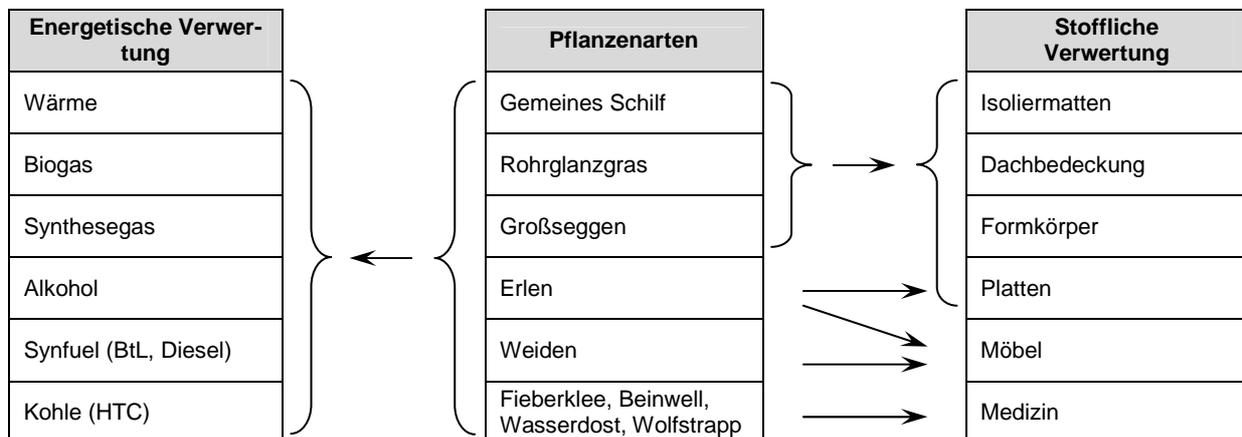


Abbildung 2: Verwertungsmöglichkeiten von Biomasse aus wiedervernässten Niedermooren

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 Tab. 1 (TIMMERMANN 2003). Für Schilfröhrichte wird im Weiteren bei eigenen Berechnungen konservativ von einem

Ertrag von 8 t Trockenmasse (TM) je Hektar und Jahr ausgegangen. Die Ernte von Qualitätsschilf erfolgt traditionell im Winter für eine stoffliche Verwertung. Geringwertige bzw. unspezifische Biomasse aus der Wintermahd ist für eine Verbrennung geeignet (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, wenn eine entsprechende Ausrichtung der Anlagentechnik (z. B. geeignete Rührtechnik) und Aufbereitung der Halmgüter (z. B. kurze Häckselgrößen < 1cm, Zerfaserung 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 derzeit in einem Forschungsverbundprojekt an der Universität Greifswald anhand von Wasserbüffeln untersucht, welche von Natur aus an Leben und Nahrung in Feuchtgebieten angepasst sind

Tabelle 1: Produktivität von Röhrichten und Feuchtgebieten in Mitteleuropa (t TM ha⁻¹ a⁻¹; nach einer Literaturlauswertung von 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
Sumpfssegge (<i>Carex riparia</i>)	3,3 .. 12,0
Zum Vergleich: aufgelassenes Feuchtgrünland	6,4 7,4
Intensivgrasland	8,8 .. 10,4

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 ist der Einsatz von Seilkrantechnik eine Option (SCHRÖDER & RÖHE 2010).

1.2 Standörtliche Voraussetzungen für Paludikultur

Als typische Standorte für Paludikultur sind entwässerte, **degradierte organische Böden** anzusehen, die für diese nasse Bewirtschaftung, ggfs. nach Anpflanzung der Zielvegetation, wiedervernässt werden. Auch Standorte, die durch Vernachlässigung der Meliorationsanlagen im Laufe der Zeit wiedervernässt sind und Vegetationsformen der Wasserstufen zwischen 4+ und 6+ aufweisen (-20cm unter Flur bis permanenter Überstau: Rohrglanzgrasröhrichte, Seggenriede, Schilfröhrichte) können durch regelmäßige Abschöpfung der Biomasse wieder in Kultur genommen werden, wenn nicht naturschutzfachliche Gründe dagegen sprechen.

Tabelle 2: Übersicht standörtlicher Voraussetzungen

Kriterium	Voraussetzungen	Geeignet/Begünstigend	Bemerkung/Widerstände
Bodenart	organische Böden entwässert, degradiertes Moorstandort	Niedermoor/Anmoor, 20cm Torfmächtigkeit	Mineralische Böden (nur als Synergie- und Randeffekte)
Boden (Nährstoffverfügbarkeit)	Nährstoffversorgung muss korrespondieren mit der gewünschten Biomassequantität/-qualität, und zudem langfristig stabil unter Paludikultur sein	Für dauerhaft hohe Erträge von den Flächen sind eutroph-nährstoffreiche Standorte begünstigend.	Nährstoffarme Standorte (mesotroph – nährstoffarm) mit Naturschutzfachlichem Wert sind minder geeignet für hohe Erträge unter Paludikultur
hydrogenetischer Moortyp	Der Moortyp muss geeignet für die gewünschte Paludikultur sein (Flächengröße, Nährstoffversorgung, Wasserstoffversorgung, Relief)	Ehemalige Verlandungs- und Versumpfungsmoore, Durchströmungsmoore (nicht zu stark geneigt) Überflutungsmoore	Kesselmoore, Quellmoore, Durchströmungsmoore (bei stärkerer Neigung)
Wasserhaushalt		Vernässte Standorte ehemaliger Meliorationsflächen und zur Vernässung neigende Standorte	Naturnahe, nicht entwässerte Standorte / Vernässte Standorte mit besonderer naturschutzfachlicher Zielsetzung (z.B. Wiesenbrüter)
Vernässbarkeit	Genug Wasser in der benötigten Qualität verfügbar für eine dauerhafte Wiedervernässung (Wasserstand +40cm - -10cm über/unter Flur sind ideal für Paludikultur)	Lage am Gewässer 1. Ordnung / Lage im Überschwemmungsgebiet oder Polder	Nicht ausreichend Wasser verfügbar Gewünschte Wasserstände sind nicht ohne hohen technischen Aufwand erreichbar – ausgeprägtes Relief, Hangneigung Externe Effekte (Interessenkonflikte, Nährstoffausträge) ggfs. Beeinträchtigungen von Infrastruktur und Gebäuden möglich

1.3 Technische Voraussetzungen für Paludikultur

Verschiedene Voraussetzungen sollten erfüllt sein, um eine Moorbewirtschaftung als Paludikultur ansprechen zu können.

1.3.1 Wiedervernässbarkeit

Grundvoraussetzung der Paludikultur ist die ausreichende Verfügbarkeit von Wasser für eine **ganzzährige** Wiedervernässung des Standortes. Ausschlaggebend für die Vernässbarkeit sind der Zustand und die Struktur der Graben- & Drainagesysteme im Umsetzungsgebiet und in der weiteren Umgebung. Vor der Vernässung sind hydrologische Gutachten notwendig, die zum einen das oberirdische Wasserangebot betrachten und zum anderen auch die Grundwassereigenschaften (Strömung, Flurabstand) des Standortes berücksichtigen. Anhand von Höhenmodellen sind Wasserspiegelberechnungen für verschiedene Stauhöhen zur Abschätzung der Vernässungsmaßnahmen auch auf die angrenzenden Gebiete möglich.

1.3.2 Erzielung von Einkommen

Paludikultur sollte über die durch sie erbrachten Leistungen **wirtschaftlich** zu gestalten sein. Erlöse können auf unterschiedliche Art erwirtschaftet werden: Bei aktiv für die Paludikultur durchgeführter Wiedervernässung können neben dem Verkauf der produzierten Biomasse Einkünfte aus dem Verkauf von Kohlenstoffdioxid-Zertifikaten (z.B. Moorfutures®, <http://www.moorfutures.de/>) Agrarklimaprogramme) erzielt werden. Außerdem ist es möglich, für eventuelle Einschränkungen der Paludikultur zusätzliche Einnahmen aus Verträgen zur naturschutzgerechten Pflügenutzung und/oder Agrarumwelt- und Artenschutzprogrammen zu erwirtschaften.

1.3.3 Sonstige Voraussetzungen

Infrastruktur: Die in Paludikultur zu bewirtschaftenden Moore müssen für die einzusetzende Technik erreichbar sein. Daher ist eine entsprechende Infrastruktur erforderlich, die auch einen Abtransport der Biomasse ermöglicht. Die einzelnen Flächen sollten so zugeschnitten sein, dass lange Transportfahrten in der Fläche möglichst unnötig sind und die Erntemaschinen vorwiegend für die Mahd eingesetzt werden können.

Tabelle 3: Übersicht infrastruktureller Voraussetzungen

Kriterium	Voraussetzung	Geeignet/Begünstigend	Bemerkung/Widerstände
Flächenverfügbarkeit	Es handelt sich um einen tief entwässerten und/oder aus der Nutzung gegangenen entwässerten Moorstandort	Gegenwärtige Nutzung ist nicht mehr Kostendeckend	Vorhandene Direktzahlungen und Prämien für z.B. Anbau von „Biotreibstoffpflanzen“ wie Mais
Flächengröße	Groß genug und möglichst Zusammenhängende Flächen um Kosteneffizienz zu erreichen	Richtwerte: Maschineneinsatz: 500-900ha /Raupe Flächen: >=15ha und <=10 km auseinander liegend	Zu kleine Schlaggrößen (<15ha, auch wenn durch Wiedervernässungsmaßnahmen bedingt, z.B. Staufstufen) Einzelschläge zu weit verteilt >10km
Infrastruktur	Effiziente Transport- und Verarbeitungsinfrastruktur muss vorhanden sein oder kosteneffizient aufgebaut werden können	Anbindung an Straßen bzw. Land und Forstwirtschaftliche Verkehrsnetze, Binnenschifffahrt, Zug Biomasse Abnehmer Verarbeitungsfazilitäten in Nähe	Schlechte Anbindung, große Entfernungen zu Abnehmern/Verarbeitern
Prämienfähigkeit	Keine unabdingbare Voraussetzung aber u.U. agrarstruktureller Rahmen	nur Flächen, für die 2008 Grünlandprämie in Anspruch genommen wurde	langjährige Brachen Bei vorliegenden Prämienrechten ist die Paludikultur ggf. nicht konkurrenzfähig, wenn die Rechte nicht zu vertretbaren Kosten erworben werden können

Markt: Ein regionaler Markt für Biomasse (Strohmarkt, Heizkraftwerke, Rohrwebereien) sollte vorhanden sein. Paludi-Biomasse ist aufgrund seines hohen Volumens und geringen Gewichtes transportfähig. Weitere Transportentfernungen für Massengüter wie z.B. Energiebiomasse lassen die Paludikultur schnell unrentabel werden.

Gute fachliche Praxis: für die Bewirtschaftung von Moorstandorten unter dauerhaft nassen Bedingungen sind im Sinne der Nachhaltigkeit andere Standards als für Mineralböden zu beachten.

Tabelle 4: Übersicht infrastruktureller Voraussetzungen

Kriterium	Voraussetzung	Geeignet/Begünstigend	Bemerkung/Widerstände
Treibhausgas-Bilanz	Die Treibhausgas-Bilanz von Produktion und Verwendung der Biomasse muss positiv sein und wenn möglich die CO ₂ -Senkenfunktion wiederherstellen	Dauerhafte Wassersättigung der Torfschichten Wasserstände(+40cm -10cm über/unter Flur)	Stark schwankende Wasserstände Wasserstände >10cm unter Flur
Konkurrenzausschluss	Die Produktion von Biomasse für Energie darf nicht das Nahrungsmittel-Angebot und den lokalen Biomasse-Einsatz (z.B. für: Energie, Medizin, Baustoffe, Futter) gefährden	Beschränkung der Flächenauswahl auf organische Böden Mineralböden nur als Grenzeffekte mit einbeziehen	Mineralbodenstandorte die für landwirtschaftliche Produktion geeignet sind
Naturschutzverträglichkeit	Biomasse-Produktion darf nicht geschützte oder gefährdete Arten beeinträchtigen und muss, wo möglich, die Biodiversität stärken	Naturschutzziele können durch angepasste Mahdregime Berücksichtigung finden (Ziel und Status der Paludikultur muss vorab klar definiert sein: Landwirtschaftliche Nutzung)	Naturschutzfachliche Standortverbesserung könnte zu einer Wiederansiedlung geschützter Arten führen und eine weitere Nutzung gefährden
„Gute fachliche Praxis“	In der Produktion und der Verarbeitung muss die Qualität des Bodens, des Grund- und Oberflächenwassers und der Luft erhalten oder sogar verbessert werden	Erhalt von Torf unter Wassersättigung Verbesserung des Mikroklimas (Kühlung, Befeuchtung) Filterung von Wasser bei durchströmten Flächen Nährstoffregulation durch gezielte Erntetermine (Sommer-/Winter-Mahd)	Düngung von Flächen zur Ertragssteigerung Nährstoffaustrag bei hoher Phosphatbelastung der zu vernässenden Fläche

Angepasste Maschinentchnik: 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 CO₂-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 Einzellösungen dar (vgl. RECHBERGER 2003, WICHTMANN & TANNEBERGER 2009). Fahrzeuge, die mit Raupenkettensystemen 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 Zugangstellen 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 langhalmigen Schilf für die 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 Vorbunde 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 Rohbunde 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 und TANNEBERGER 2011). Als Mähwerkzeuge werden hier entweder modifizierte Schneefräsen, Mulchgeräte oder Balkenmäher in Kombination mit einem Feldhäcksler verwendet. Hersteller von Raupenfahrzeugen sind z.B. Kässbohrer, 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.

Existierende Technische Lösungen im Überblick

Typ	Raupenfahrzeug – Loglogic Wetland Harvester
	
Foto: Loglogic	
Leistung (PS)	100
Breite der Mahdeinheit (m)	2,25 m
Mahdtechnik	Gummigelagertes Doppelmessermähwerk mit Überlastungsschutz und Differentialsperre, Häckselgröße durchschnittlich 1-4 cm
Häckselgröße (cm)	1-4
Gewicht (t)	3,7
Bodendruck (g/cm ²)	26 g/cm ² auf einer Gesamtspurfläche von 4 m ²
Ladetyp und Größe	geschlossener Vorratsbunker, 8 m ³
Verdichtungstyp und Größe	Keine Verdichtung
Flächenleistung (ha/Tag)	
Preis (Euro)	
Hersteller Kontakt	Loglogic (http://www.loglogic.co.uk)
Bemerkung	Dieser Maschinentyp ist speziell für die Beerntung verschiedener Pflanzengesellschaften von Feuchtgebieten (in Norfolk Broads, GB) entwickelt worden. Durch den sehr geringen Bodendruck der flexiblen Gummibänder werden Schäden gering gehalten. Der 2,25 m breite Mähbalken ist mit einer automatischen Sperre ausgestattet, um Schäden durch z.B. Baumstümpfe zu vermeiden. Der Häcksler kürzt das Erntegut auf 10-40 mm mittlere Länge. Das Häckselgut wird in einen aufgebauten Vorratsbunker (8 m ³) geblasen. Von der Firma Loglogic werden noch weitere Spezialmaschinen (Softtrack, Wetland Blower) für die Bewirtschaftung von Feuchtgebieten angeboten (RECHBERGER 2003)

Abbildung 3: Technisches Blatt: Loglogic Wetland Harvester

Typ	Raupenfahrzeug – Meyer-Luhdorf PB 240
	
Foto: Kees Vegelin	
Leistung (PS)	
Breite der Mahdeinheit (m)	1,8 m
Mahdtechnik	Wurfschlägelmäher
Häckselgröße (cm)	Bis zu 8
Gewicht (t)	
Bodendruck (g/cm ²)	
Ladetyp und Größe	Kippbehälter
Verdichtungstyp und Größe	Keine Verdichtung
Flächenleistung (ha/Tag)	
Preis (Euro)	
Hersteller Kontakt	Meyer-Luhdorf, Luhdorfer Twieten 5, 21423 Winsen/Luhe 04171/7830-0 www.meyer-luhdorf.de , www.naturdurchtechnik.de
Bemerkung	<p>Das Unternehmen konstruiert seine Maschinen seit mehr als zehn Jahren basierend und greift dabei auf Forschungsergebnisse von Niederländischen Biologen zurück. Die Maschinen sind in Deutschland sowie im Ausland zur Pflege von Naturschutzflächen im Einsatz.</p> <p>Die Maschine ist auch dazu geeignet, Sträucher und Jungaufwuchs von Bäumen mit einer Stammstärke von bis zu 8 cm, zu häckseln. Neben dem PB240, bietet das Unternehmen Modelle mit anderen Mahdeinheiten, Ladetypen und Antriebssystemen an.</p>

Abbildung 4: Technisches Blatt: Meyer-Luhdorf PB 240

Typ	Raupenfahrzeug – modifizierte Pistenraupe – Ratrak
	
Foto: L. Lachmann	
Leistung (PS)	200
Breite der Mahdeinheit (m)	4
Mahdtechnik	Rotierende Fronthäckselwalze
Häckselgröße (cm)	15-20
Gewicht (t)	
Bodendruck (g/cm ²)	30
Ladetyp und Größe	Hänger mit Eigenantrieb
Verdichtungstyp und Größe	No compaction
Flächenleistung (ha/Tag)	10 (8-15 in Abhängigkeit vom Wasserstand und Bodenrelief)
Preis (Euro)	100,000 Euro (gebrauchter Ratrak aus den 1990ern unter 5000 Betriebsstunden, mit neuen Ketten); billigere (= ältere) oder teurere (neuere) Maschinen verfügbar
Hersteller Kontakt	Mariusz Grunwald (Grun-Pal Sp.z.o.o.)
Bemerkung	Ratraks werden auf großen Flächen in Ost-Polen zur Naturschutzflächenpflege für den Seggenrohrsänger eingesetzt. Die Mahdtechnik ist nach wie vor in der Entwicklungsphase. Die Biomasse wird beim Mähen gehäckselt und über ein Gebläse auf einen selbstfahrenden Hänger befördert. Die Verwendung von Ratraks benötigt unter Umständen die Einrichtung von befestigten Zuwegungen und Umschlagplätzen, um ein „Schwarzfahren“ bei zu hoher Frequentierung zu vermeiden. Das direkte Häckseln und Verblässen auf den Hänger ist tödlich für die in der Vegetation lebenden Wirbellosen und Amphibien und somit sollte diese Mahd besser im Winter stattfinden, was zusätzlich den Vorteil eines geringeren Feuchtegehaltes des Ernteguts hat.

Abbildung 5: Technisches Blatt: modifizierte Pistenraupe – Ratrak

Type	Raupenfahrzeug – modifizierte Pistenraupe – Sumo Quaxi
Foto: S. Wichmann	
Leistung (PS)	142 kW (Motor: 6 Zylinder Deutz)
Breite der Mahdeinheit (m)	3
Mahdtechnik	Modifiziertes Mähdrescher-Schneidwerk
Häckselgröße (cm)	
Gewicht (t)	~10
Bodendruck (g/cm ²)	100 (Kontaktfläche 5 m * 1 m)
Ladetyp und Größe	Ladefläche (für 3 Ballen) und ein zusätzlicher in der Presse
Verdichtungstyp und Größe	Große Rundballen, Durchmesser 1,6 m, Gewicht 350 kg (= 300 kg TM), Schnittgut wird grob geschreddert vor dem Pressen
Flächenleistung (km/Tag)	5-6 (schneller im jungen Schilfbestand), 100-150 Ballen/Tag
Preis (Euro)	
Hersteller Kontakt	Erwin Sumalowitsch
Bemerkung	Diese Schilferntemaschine wurde in Zusammenarbeit der Landesregierung des Burgenlandes (Österreich) mit einem lokalen Rohwerber am Neusiedler See auf Basis einer Pistenraupe entwickelt. Um die Verlandung des Sees zu verlangsamen und die Habitatqualität des Schilfgürtels zu verbessern und zu erhalten, sollte die Dachschilf-Gewinnung auch auf die zunehmenden Bestände von Altschilf ausgeweitet werden. Das Maschinengewicht von ca. 10 t verteilt sich auf eine Auflagefläche von zweimal 5 m * 1 m (100 g/cm ²). Im Frontanbau befindet sich ein modifiziertes Mähdrescher-Schneidwerk mit einer Arbeitsbreite von 3 m. Die Biomasse wird zu einer aufgesetzten Rundballenpresse (ø 1,6 m) weiterbefördert. Gleichzeitig kann die Maschine vier fertige Ballen transportieren: drei auf der Ladefläche und einen in der Ballenpresse.

Abbildung 6: Technisches Blatt: modifizierte Pistenraupe – Sumo Quaxi

Typ	modifizierter Schilfernter – Seiga; für Sommermahd
	
Foto: W. Wichtmann	
Leistung (PS)	
Breite der Mahdeinheit (m)	
Mahdtechnik	Front-Feldhäcksler
Häckselgröße (cm)	
Gewicht (t)	
Bodendruck (g/cm ²)	
Ladetyp und Größe	Ladefläche, kann für größere Ladekapazitäten umgebaut werden in einen Ladebunker
Verdichtungstyp und Größe	Keine Verdichtung
Flächenleistung (ha/Tag)	
Preis (Euro)	~50.000 (gebrauchte Seiga vor Umbau)
Hersteller Kontakt	
Bemerkung	<p>Das originale Schilfschneidwerk der Seiga-Erntemaschine wurde hier durch einen Feldhäckslervorsatz erweitert. Die geerntete Biomasse fällt als loses Häckselgut an. Die Ladefläche kann mit Seitenwänden aufgebaut bzw. ein Container aufgesetzt werden, um ein größeres Transportvolumen zu ermöglichen.</p> <p>Ursprünglich sind Seiga Schilferntemaschinen zur Werbung von Dachdeckerschilf, die am weitesten Entwickelten und kommen verbreitet zum Einsatz. So z.B. auch in Frankreich in der Camargue, wo der hohe Auftrieb und die Schwimmfähigkeit der Maschinen sehr geschätzt werden, da bei der Ernte häufig kleinere Wasserkörper überquert werden müssen</p>

Abbildung 7: Technisches Blatt: modifizierter Schilfernter – Seiga III

Typ	Konventionelle Grünlandtechnik – Claas Ares 557 und Krone Round Pack 1250 MultiCut
	
Foto: S. Wichmann	
Leistung (PS)	
Breite der Mahdeinheit (m)	
Mahdtechnik	Kreisel- oder Scheibenmäherwerk
Häckselgröße (cm)	9
Gewicht (t)	
Bodendruck (g/cm ²)	
Ladetyp und Größe	Frontlader
Verdichtungstyp und Größe	Rund-Großballen (Ballenpresse mit Tandemachse und Breitreifen)
Flächenleistung (ha/Tag)	
Preis (Euro)	
Hersteller Kontakt	
Bemerkung	<p>Der Landwirtschaftsbetrieb Voigt in Neu Kalen in Mecklenburg-Vorpommern verwendet für die Sommermahd auf nassen Standorten werden zur Heu/Streugewinnung einen konventionellen Schlepper (Claas Ares 557)t. Dieser ist mit den breitesten Reifen ausgestattet, die ohne konstruktive Veränderung an diesem Traktor anbaubar sind (Bereifung vorn: 540/65 R 38, hinten 800/65 R 32). Daneben ist der Schlepper mit einer vom Fahrerhaus einstellbaren Reifendruckregulation ausgestattet. Der gleiche Schlepper wird auch für das Wenden und Schwaden verwendet. Für das Pressen steht eine Festkammer-Rundballenpresse (Krone Round Pack 1250 MultiCut) zur Verfügung, die mit einer Tandemachse und Breitreifen ausgestattet ist. Der Abtransport der Großballen ist unmittelbar nach dem Pressen erforderlich, um ein „Vollsaugen“ der Ballen mit Wasser zu vermeiden.</p>

Abbildung 8: Technisches Blatt: Konventionelle Grünlandtechnik – Claas Ares 557 und Krone Round Pack 1250 MultiCut

Typ	Leichte Konventionelle Grünlandtechnik – Kubota B2410 und Gaspardo Mäher
	
Foto: F. Tanneberger	
Leistung (PS)	25
Breite der Mahdeinheit (m)	1,75
Mahdtechnik	Balkenmäher
Häckselgröße (cm)	
Gewicht (t)	0,75 + 0,15 (Mahdeinheit)
Bodendruck (g/cm ²)	
Ladetyp und Größe	Kein Verladen
Verdichtungstyp und Größe	Keine Verdichtung
Flächenleistung (ha/Tag)	
Preis (Euro)	~ 20,000
Hersteller Kontakt	Kubota/Gaspardo
Bemerkung	<p>Für das EU-LIFE Projekt "Schutz des Seggenrohrsängers (<i>Acrocephalus paludicola</i>) in Polen und Deutschland", werden im unteren Peenetal circa 150 ha an Schilf- und Seggenbeständen über ein Sommermahdregime gepflegt. Für die Restauration geeigneter Seggenrohrsänger Habitate, werden die Flächen im Juli und teilweise erneut im September gemäht. Dazu werden sehr leichte Kleintraktoren mit Balkenmähwerk und Doppelbereifung verwendet. Im Sommer 2008 gab es einen erfolgreichen Versuch das Mahdgut mit leichter konventioneller Landtechnik aufzunehmen und in Ballen zu pressen.</p>

Abbildung 9: Technisches Blatt: Leichte Konventionelle Grünlandtechnik – Kubota B2410 und Gaspardo Mäher

Technische Lösungen in der Entwicklung

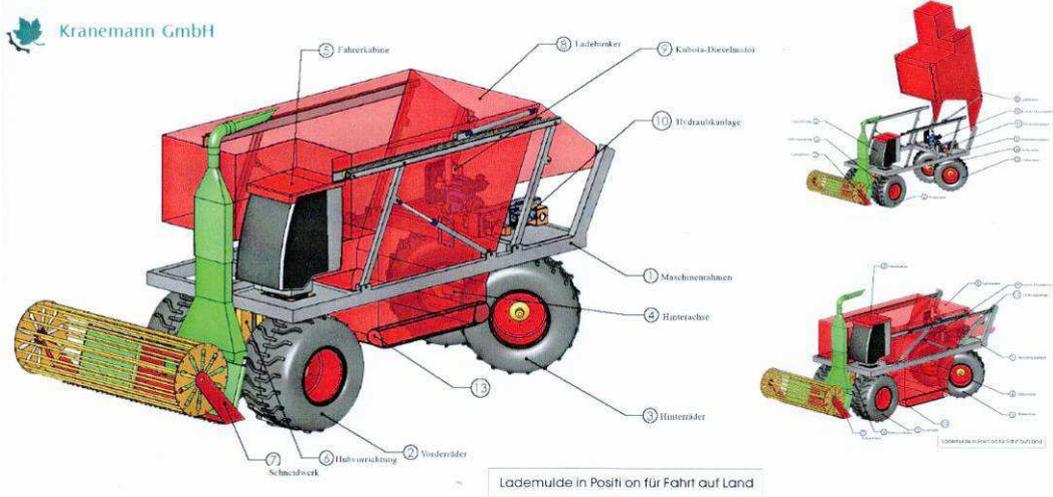
Typ		Terra tyres – Kranemann
		
Zeichnung: Palloks & Mainz 2009		
Leistung (PS)	(Hydraulischer Allradantrieb)	
Breite der Mahdeinheit (m)		
Mahdtechnik		
Häckselgröße (cm)		
Gewicht (t)		
Bodendruck (g/cm ²)		
Ladetyp und Größe	Bunker, Ladekapazität 3 t	
Verdichtungstyp und Größe	Keine Verdichtung	
Flächenleistung (ha/Tag)		
Preis (Euro)		
Hersteller Kontakt	Kranemann, Blücherhof 2, Tel.: 03993371908, Kranemann.Bluecherhof@t-online.de	
Bemerkung	Dieser Ernter ist von der Firma Kranemann, Blücherhof, Mecklenburg-Vorpommern, entwickelt worden. Dieser Betrieb ist auf die Entwicklung von Spezial-Landmaschinen ausgerichtet. Die Terra-reifen verursachen nur einen geringen Bodendruck. Die Maschine wird durch hydraulische Einzelradantriebe angetrieben. Ihre Ladekapazität beträgt 3 Tonnen. Der Nachteil dieser Maschine besteht, wie bei vielen der anderen vorgestellten Maschinentypen darin, dass die Biomasse lose im Bunker transportiert wird und die Maschine zum Entladen jeweils an den Moorrand fahren muss. Daher sind die zu fahrenden Wegstrecken deutlich länger als bei Erntemaschinen, die mit einer Verdichtungseinheit (Ballenpresse) kombiniert sind.	

Abbildung 10: Technische Blatt: Entwicklungskonzept Terra tyres – Kranemann

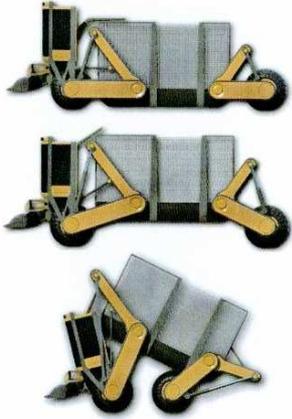
Typ	Terra tyres – A. Grasmück, Kunst Akademie Berlin Weissensee	
		<p data-bbox="1043 763 1418 786">Zeichnung: Palloks & Mainz 2009</p>
Leistung (PS)		
Breite der Mahdeinheit (m)	3,1	
Mahdtechnik		
Häckselgröße (cm)		
Gewicht (t)		
Bodendruck (g/cm ²)		
Ladetyp und Größe		
Verdichtungstyp und Größe		
Flächenleistung (ha/Tag)		
Preis (Euro)		
Hersteller Kontakt		
Bemerkung	<p data-bbox="612 1144 1418 1599">In dem in einem Projekt an der Kunsthochschule Berlin-Weißensee entwickelten Konzept fanden zahlreiche Ergebnisse und Erfahrungen aus Untersuchungen und Projekten zur Biomassegewinnung von wiedervernässten Niedermoorstandorten in Mecklenburg-Vorpommern und Weißrussland Eingang. Die von Andreas Grasmück entworfene neue Schilferntemaschinen soll für die großflächige Beerntung von Röhrichten und Rieden geeignet sein. Die Maschine wäre mit einem Schneidwerk mit 3,1 m Arbeitsbreite ausgestattet und 6,8 m lang. Sie kann schwimmen (rechte Seite der Abbildung, obere Darstellung), wenn durch Absenkung des Biomassebunkers Auftriebskräfte entstehen. Der Motor und der Treibstofftank sind unten im hinteren Bereich des Bunkers angebracht, um gut ausbalancierte Verhältnisse zu schaffen. Die Fahrsituation ist in der mittleren Abbildung rechts dargestellt, die Kipp-Position in der unteren Darstellung.</p>	

Abbildung 11: Technische Blatt: Entwicklungskonzept A. Grasmück, Kunst Akademie Berlin Weissensee

2 AUSWIRKUNGEN VON PALUDIKULTUR AUF NATUR UND UMWELT

Im Zuge der Wiedervernässungen von landwirtschaftlich genutzten Niedermooren entstehen aktuell großflächig Sümpfe mit zunächst (sehr) hohem Angebot an Nährstoffen und einem entsprechend hohen Austragsrisiko. Auf diesen Standorten unterstützt Paludikultur die Festlegung und den Entzug von Nährstoffen. Durch Paludikultur können hier durch die regelmäßige Ernte frühe, offene Sukzessionsstadien erhalten werden.

2.1 Niedermoorbewirtschaftung und klimarelevante Emissionen

Die Bewirtschaftung von Mooren ist immer klimarelevant. In Abhängigkeit der Intensität des Wassermanagements, der Wasserstandsdynamik, der Düngung des Standortes und der Bodenbearbeitung kommt es zu unterschiedlichen Emissionen von Gasen wie Lachgas, Kohlendioxid und Methan oder zur Aufnahme von Kohlendioxid durch die Vegetation und zur langfristigen Festlegung von Kohlenstoff unter anaeroben Bedingungen als Torf. Die Bilanz aller klimarelevanten Faktoren ergibt das tatsächliche Treibhausgaspotenzial eines Moorstandortes.

Für verschiedene Bewirtschaftungsformen sind unterschiedliche Wasserstände optimal (vgl. Abbildung 12).

Intensivgrasland und Ackerbau erfordern für eine Befahrung mit schwerem Gerät und üblicher Bereifung Wasserstände von mindestens 35 cm unter Flur (Blankenburg et al. 2001). Müssen diese bereits im zeitigen Frühjahr erreicht sein, kann im Sommer der Wasserspiegel bis deutlich unter 120 cm unter Flur fallen. Eine extensive Beweidung kann auch mit konventionellen Rassen ggf. bei mittleren Wasserständen von 30 cm unter Flur stattfinden, wird aber auch bei deutlich tieferen mittleren Wasserständen als 80 cm durchgeführt. Die Emissionen können hier, je nach tatsächlichem mittlerem Wasserstand, bei mehr als 25 Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente (CO₂-eq, siehe Box 1) je Hektar und Jahr liegen. Dagegen weisen standortverträgliche Produktionsverfahren ganzjährig Wasserstände höher als 20 cm unter Flur auf. Dies sind die Bewirtschaftung der nasseren Formen der Rohrglanzgrasröhrichte und des Erlenwaldes sowie der Schilfröhrichte und Seggenriede (Paludikulturen). Als tiergebundenes Verfahren ist die Beweidung mit Wasserbüffeln zu nennen. Im Vergleich zur intensiven Grünlandwirtschaft können durch Wiedervernässung und Neuorientierung der Bewirtschaftung Entlastungen der Atmosphäre durch eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von mindestens 15 t CO₂-eq. je Hektar und Jahr erreicht werden (KOWATSCH et al. 2009). Zusätzlich können durch den Ersatz fossiler Energieträger weitere Emissionen in etwa gleicher Größenordnung eingespart werden.

BOX 1: KOHLENDIOXID ÄQUIVALENTE

Am Treibhauspotential von Moorstandorten sind drei Gase maßgeblich beteiligt, Kohlendioxid, Methan und Lachgas. Diese Gase unterscheiden sich erheblich in ihrer „Klimawirksamkeit“ und Verweildauer in der Atmosphäre. Um allgemein verständliche und schnell erfassbare Zahlen zur Klimawirksamkeit von Maßnahmen geben zu können hat man sich bereits 1996 im Internationalen Klima Ausschuss (IPCC) darauf geeinigt Angaben in Form von Kohlendioxid-Äquivalenten, in der Regel für einen Zeithorizont von 100 Jahren zu machen.

	Kohlendioxid (CO ₂)	Methan (CH ₄)	Lachgas (N ₂ O)
GWP ₁₀₀ in CO ₂ Äquivalenten	1	25	310

Globales Erwärmungs Potential für einen 100 Jahre Zeithorizont (GWP₁₀₀) nach IPCC 1995 (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaveränderung) – Zweiter Zustandsbericht (TAR), Climate Change, 1996

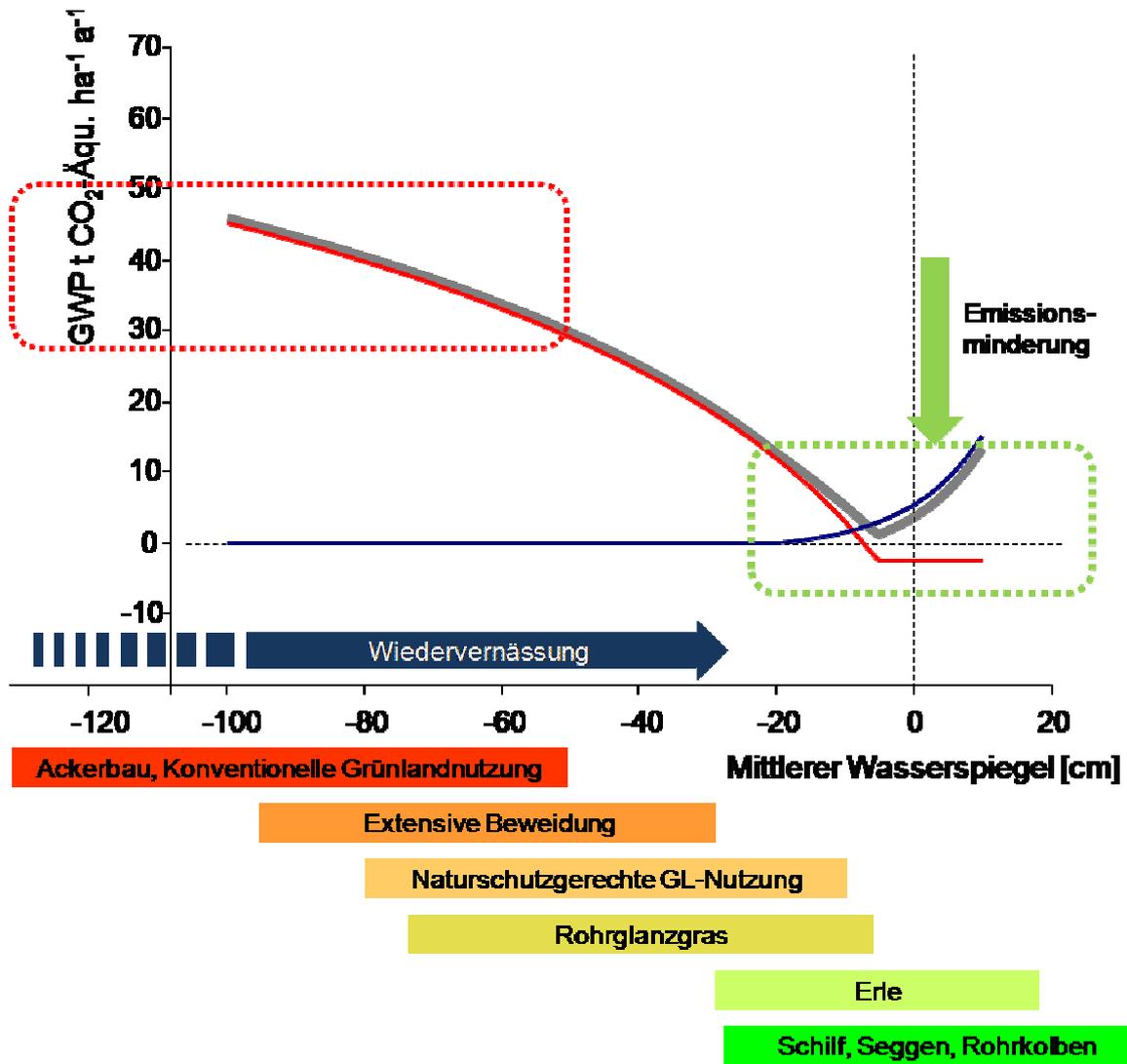


Abbildung 12: Treibhausgaspotenzial (GWP; Summe aus Kohlendioxid und Methan, ohne Lachgas), pro Hektar Moorfläche und Jahr in Abhängigkeit vom mittleren Wasserstand und Zuordnung verschiedener Nutzungsformen (schriftliche Mitteilung COUWENBERG 2012).

Besonders kritisch sind die neuen Entwicklungen des Anbaus von „Bio“-Energieträgern auf stark entwässerten Mooren zu sehen. Die Produktion von Mais- und Gras-Silage für Biogas und die Veredelung zu „Öko“-Strom wird in Deutschland über das EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz, <http://www.bmu.de/gesetze/verordnungen/doc/2676.php>) gefördert. Die erforderlichen Wasserstände sind jedoch mit Emissionen von mindestens 25 t CO₂-eq. je Hektar nach neueren Auswertungen sogar >40 t CO₂-eq. je Hektar und Jahr verbunden (schriftliche Mitteilung COUWENBERG 2012, siehe Abb. 13). Es ist daher davon auszugehen, dass in der Gesamtbilanz deutlich mehr klimarelevante Gase beim Anbau von Biomasse auf entwässerten Mooren zur Biogasproduktion in die Atmosphäre entlassen werden als durch den Ersatz fossiler Energieträger eingespart werden können (COUWENBERG 2007, WICHTMANN et al. 2009).

Die Rohrglanzgras-, Seggen- und Schilfbewirtschaftung ist aus ökologischer Sicht sowohl der bisherigen Grünlandnutzung als auch einem Brachfallen bei Beibehaltung der Entwässerungseinrichtungen vorzuziehen. Die positive Klimarelevanz ergibt sich in erster Linie durch den Torferhalt aufgrund hoher Wasserstände sowie den trotz Biomasse-Entnahme möglichen Torfaufbau durch Schilf-Rhizome und Radizellen (Feinwurzeln). Die mit der energetischen Verwertung von Biomasse verbundene Einsparung fossiler Brennstoffe stellt vor diesem Hintergrund einen zusätzlichen positiven Aspekt dar.

Positiv auf den Klimaschutz wirkt sich bei Paludikultur nicht nur die Wiedervernässung, sondern auch die Ernte von Biomasse aus, wenn die angebaute Biomasse dazu verwendet wird, fossile Roh- und Brennstoffe zu ersetzen. Paludikultur weist somit im Vergleich zu vielen anderen Klimaschutzmaßnahmen ein sehr günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis auf. Daher ist es wichtig, dass neben der natur-schutzorientierten Wiedervernässung auch Paludikultur in Klimaschutzprogramme eingebunden werden. Maßnahmen zum Moorschutz können also multifunktional wirken und bei der Umsetzung rechtlicher/politischer Vorgaben und Strategien (z.B. EG-Wasserrahmenrichtlinie, Nationale Strategie des Bundes zur Biodiversität, Klimaschutzziele, Bodenschutz) gute Dienste leisten.

BOX 2: IST EIN EXTREM HOHER METHAN AUSSTOß NACH WIEDERVERNÄSSUNG VERMEIDBAR?

Einige rezente Studien haben gezeigt, dass direkt nach der Flutung extrem hohe Methan Emissionen auftreten können (JOOSTEN et al. 2007, AUGUSTIN, mündl., DRÖSLER). Diese Emissionen sind auf die Anwesenheit großer Mengen leicht zersetzbarer Biomasse zurückzuführen. Landwirtschaftliche Futtergräser wie Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) sind hier die Hauptverantwortlichen. Zur Vermeidung von extremen Methan-Emissionen nach der Überflutung sollten folgende Kriterien zur Auswahl wiederzuvernässender Niedermoore befolgt werden:

1. Die oberste Torfschicht (ca. 30 cm) sollte nur wenige pflanzenverfügbare Nährstoffe enthalten (z.B. C/N >20, P_{tot} <20 µmol-g⁻¹ TM)
 2. Die oberste Torfschicht (ca. 30 cm) sollte einen niedrigen Zersetzungsgrad aufweisen (≤ H 4, v. Post)
 3. Die Fläche sollte keine landwirtschaftlichen Pflanzen wie Futtergräser, die nach der Überflutung absterben, aufweisen
 4. Eine Grundausstattung torfbildender Pflanzen (z.B. (Torf-)Moose, Seggen, Schilf) sollte vorhanden sein, um die Fläche nach der Vernässungsmaßnahme möglichst schnell und vollständig zu besiedeln.
Darüber hinaus,
 5. Der Wasserspiegel sollte das ganze Jahr in Flurhöhe (idealerweise knapp darunter) verbleiben, eine dauerhafte Überflutung, mit Totalabsterben der Vegetation, gilt es zu vermeiden
 6. Das für die Wiedervernässung verwendete Wasser sollte nur wenige mineralische und organische Anteile enthalten (möglichst sauberes Grund- oder Oberflächenwasser).
- Wenn diese Ratschläge befolgt werden, kann eine deutliche Reduktion des Treibhauspotenzials (GWP) bereits im ersten Jahr nach der Wiedervernässung erwartet werden.

2.2 Auswirkungen von Paludikulturen auf den Landschaftswasserhaushalt

Paludikulturen an sich haben nur geringen Einfluss auf den Landschaftswasserhaushalt. Allerdings erfordert die Paludikultur die Wiedervernässung der Moorstandorte. Dies ist eine Grundvoraussetzung. Entsprechend muss ausreichend Wasser aus dem Einzugsgebiet zur Verfügung stehen, da wiedervernässte, bewachsene Standorte deutlich höhere Evapotranspirationsraten aufweisen als entwässerte Standorte.

Der Wasserstand auf den in Paludikultur zu bewirtschaftenden Flächen sollte deutlich höher sein, als dieser vor der Umstellung zur Paludikultur gewesen ist. Somit sollte eine deutliche Minderung der Emissionen von Treibhausgasen allein durch die Wiedervernässungsmaßnahme erfolgt sein. Dies ist z.B. durch eine Anhebung der Wasserstände in einem Niedermoor von der Wasserstufe 3+ zu 5+ zu erreichen (Wasserstufen siehe 2.3.1. Tab.5). Um gleichmäßig günstige Wasserverhältnisse über das ganze Jahr zu gewährleisten und eine Belüftung des Oberbodens weitgehend zu vermeiden, kann dies eine Wasserrückhaltung mit Überstau über mehrere Dezimeter über Flur im Winter und ein Absinken der Grundwasserstände bis 20 cm unter Flur im Herbst bedeuten. D.h. dass durch das Zurückhalten der Winterniederschläge in der Fläche die Abflüsse aus dem Moorgebiet stark ver gleichmäßig werden. Außerdem werden durch die nun etablierte Sumpflvegetation die Verdunstungsmengen erhöht, sodass der Wasserabfluss zusätzlich reduziert wird. Die erhöhte Verdunstung ist mit einer erhöhten Verdunstungskühlung verbunden, was sich ggfs. kleinklimatisch auswirkt.

2.3 Niedermoorbewirtschaftung und Naturschutz

Ziele des Artenschutzes sind in den wiedervernässten noch über Jahrzehnte nährstoffreichen Mooren nur begrenzt realisierbar (eine wichtige Ausnahme bilden die Vögel, s. u.). Eine regelmäßige Bewirtschaftung bedeutet eine Verbesserung der Habitate für lichtliebende und konkurrenzschwache, seltene Moorarten. Gelungene Beispiele für die Verbindung von Artenschutz und Paludikultur sind die Vorkommen des global bedrohten Seggenrohrsängers (*Acrocephalus paludicola*) in kommerziell genutzten Schilfflächen Nordwest-Polens, sowie das spontane Massenvorkommen von Sonnentau (*Drosera rotundifolia* und *D. intermedia*), Moosbeere (*Vaccinium oxycoccos*) und Schnabelsimse (*Rhynchospora alba*) auf Versuchsflächen zum Torfmoosanbau in Niedersachsen (JOOSTEN et al. 2012).

Zahlreiche Pflanzen- und Tierarten haben in intakten oder durch extensive Mahd und Beweidung genutzten Mooren ihren Lebensraum. Mit dessen Zerstörung durch Entwässerung und Eutrophierung der Moore bzw. der Nutzungsauffassung sind etliche Arten selten geworden. Dadurch ergeben sich neue Erfordernisse im Schutz der Arten, beispielsweise des Seggenrohrsängers (*Acrocephalus paludicola*).

Auf wiedervernässten Niedermoorstandorten können sich abhängig vom Wasserstand und -regime sowie von Nährstoffverhältnissen, Samenbank und Torf-Zersetzungsgrad Schilfröhrichte oder Seggenriede entwickeln. In Paludikulturen wird spontan entwickelte Vegetation geerntet (z.B. Pflegemahd) oder das Wachstum bestimmter Arten gezielt gefördert. Struktur und Management der Flächen bestimmen deren Wert für den Naturschutz (vgl. Abbildung 13). Um diesen zu erhöhen, sollte der Entwicklung von Wildnis im Mosaik mit den Paludikultur-Flächen ausreichend Raum gegeben werden. Insbesondere in Schutzgebieten müssen Naturschutz-Mindeststandards wie z.B. Mahd außerhalb der Brutzeiten von Wiesenvögeln eingehalten werden.



Abbildung 13: Im vormals dichten Schilfröhricht in den Murchiner Wiesen (Peenetal) breiten sich nach dreijähriger Sommermahd Seggen (*Carex elata*), Sumpffarn (*Thelypteris palustris*) sowie Fluss-Ampfer (*Rumex hydrolapathum*) und mit diesem der Große Feuerfalter (*Lycaena dispar*) aus (Foto: F. Tanneberger).

Mit dem Übergang von herkömmlich landwirtschaftlich genutzten oder abgetorften Mooren zur Paludikultur wird unmittelbar eine grundsätzliche Verbesserung der Lebensraumfunktion gegenüber den Ausgangsbedingungen erreicht, insbesondere wenn Teilflächen ungenutzt bleiben und Nutzungstermine zeitlich gestaffelt sind. Langfristig sollte sich das Zusammenspiel zwischen Produktionsfunktion und Lebensraumfunktion, wie es ja in Zeiten der Feuchtwiesenwirtschaft zum Vorkommen heute extrem seltener Tier- und Pflanzenarten geführt hat, wieder einstellen. Gezielte, auf die Förderung bestimmter Arten abzielende Nutzungsregimes sollten bei Bedarf zwischen Flächennutzern und Naturschutz vereinbart werden (z.B.: Stehenlassen ungemähter Streifen, Bewirtschaftungstermine). Dafür sind insbesondere Anreizsysteme sinnvoll, wie z.B. die in Polen umgesetzten Agrarumweltprogramme, die spezielle „Seggenrohrsänger-Pakete“ enthalten oder Investitionsförderungsprogramme, die in Absprache mit dem Naturschutz gezielt die Anschaffung von Spezialtechnik fördern und private oder kommunale Investitionen in Verwertungsanlagen (Blockheizkraftwerke) erleichtern.

2.3.1 Darstellung des GEST Modells

Treibhaus-Gas-Emissions-Standort-Typen (GEST`s), nennt man Vegetationsformen mit ihren zugehörigen Standortklassen (nach KOSKA 2001, Tab.2) denen Emissionsbereiche von Treibhausgasen in CO₂-equivalenten zugeordnet werden. Somit lässt sich flächig eine Einschätzung von bestehenden Treibhausgasemissionen über die Vegetation angeben. Für Wiedervernässungsszenarien lassen sich mit Hilfe eines Vegetationsentwicklungsmodells, wahrscheinliche Emissionsentwicklungstrends darstellen. Im Folgenden sind auszugsweise (aus COUWENBERG et al. 2008) die GEST`s, für die im Bereich der Stadt Potsdam relevanten Niedermoorstandorte, wiedergegeben.

Tabelle 5: Haupt Standortfaktor-Klassen des Vegetationsformen-Ansatzes (verändert nach Koska 2001). WLw: langzeitiger Median des Wasserstandes in der nassen Saison; Wls: langzeitiger Median des Wasserstandes in der trockenen Saison; WD: Wasserdefizit; C/N: Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis im Oberboden nach Kjeldahl bestimmt; pH_{kts}: pH des Oberbodens in KCl-Lösung gemessen.

Faktor und Beschreibung	Wasserstufe	Eigenschaften
Wasserverfügbarkeit Wasserversorgung: +: feuchtegeprägte -: trockenheitsgeprägte Standorte	7+	oberes Sublitoral WLw/WLd: +250 to +140 cm
	6+	unteres Eulitoral WLw: +150 to +10 cm; Wls: +140 to +0 cm
	5+	naß (oberes Eulitoral) WLw: +10 to -5 cm; Wls: +0 to -10 cm
	4+	halbnaß (sehr feucht) WLw: -5 to -15 cm; Wls: -10 to -20 cm
	3+	feucht WLw: -15 to -35 cm; Wls: -20 to -45 cm
	2+	mäßig feucht WLw: -35 to -70 cm; Wls: -45 to -85 cm
	2-	mäßig trocken WD: < 60 l/m ²
	3-	trocken WD: 60 – 100 l/m ²
	4-	sehr trocken WD: 100 – 140 l/m ²
5-	dürr WD: > 140 l/m ²	
Saisonal wechselnde Feuchte wird angegeben mit einer Kombination verschiedener Wasserstufen, z.B. ein 5+/4+ Standort weist einen WLw von 5+ und einen Wls von 4+ auf. Starke Wechselnässe wird mit „~“ angegeben, z.B. weist ein 3~ Standort einen WLw von 4+ und einen Wls von 2+ auf.		
Nährstoffverfügbarkeit Verfügbarkeit wichtiger Nährstoffe (insbesondere N, P, K bzw. das jew. limitierende Element) für die Bioproduktion Verwendeter Indikator: C/N	o-sa	oligotroph – sehr arm Moore: C/N > 40 Wälder: C/N > 40
	o-a	oligotroph – arm Moore: C/N 33 - 40 Wälder: C/N 30 - 40
	m-za	mesotroph – ziemlich arm Moore: C/N 26- 33 Wälder: C/N 23 - 30
	m-m	mesotroph – mittel Moore: C/N 20 - 26 Wälder: C/N 18 - 23
	e-k	eutroph – kräftig Moore: C/N 13 - 20 Wälder: C/N 14.5 - 18
	e-r	eutroph – reich Moore: C/N 10 - 13 Wälder: C/N 11.5 - 14.5
	p-sr	polytroph – sehr reich Moore: C/N < 10 Wälder: keine Abgaben
Basenreichtum (pH) Verwendeter Indikator: pH _{KCl}	sau	sauer pH _{kts} < 4.8
	sub	subneutral pH _{kts} 4.8 - 6.4
	ka	alkalisch (kalkhaltig) pH _{kts} > 6.4

Dem Aufbau von Tab. 6 folgend gibt Tab. 7 einen Überblick über die bisher identifizierten THG-Emissions-Standort-Typen (GESTs). Tabelle 7 bietet eine detailliertere Beschreibung für Niedermoorstandorte mit den jeweiligen GESTs, indem Vegetationsformen und typische Artenzusammensetzungen aufgelistet sind. Die aufgeführten GESTs sind zu einem beachtlichen Ausmaß als vorläufig zu betrachten, weitere wissenschaftliche Untersuchungen sind notwendig. Vegetationsformen ohne direkt dazugehörige THG Untersuchungen wurden basierend auf Expertenwissen klassifiziert.

Tabelle 6: Format der THG-Emissions-Standort-Typen der Tabelle 7

Wasserstufe
GEST
Trophiestufe: EUtroph, MEsotroph, OLigotroph, s. Tab. 2
Basenreichtum SAUer, N-SAUer, SUBneutral, BASisch, s. Tab. 2
Nutzung: WEIde, WIEse, ACKer, BRache
CH₄ Emission in t CO₂-eq.·ha⁻¹·a⁻¹ (Bereich)
CO₂ Emission in t CO₂·ha⁻¹·a⁻¹ (Bereich)
GWP in t CO₂-eq.·ha⁻¹·a⁻¹

Tabelle 7: GESTs mit Schätzungen zu CH₄- und CO₂-Emissionen sowie GWP in tCO₂-ha⁻¹·a⁻¹ für Niedermoorstandorte (Auszug aus COUWENBERG et al. 2008)

2-, 2+, 2~	(3+/2+) 3+	4+/3+	4+	5+/4+	5+	6+
MOOR-GRÜNLAND	MOOR-GRÜNLAND	MOOR-GRÜNLAND	MOOR-GRÜNLAND		WIEDERVERN. MOOR-GRÜNLAND (NO SHUNTS)	ÜBERFLUTETE ERNTE
EU	EU	EU	EU		EU	EU
N-SAU	N-SAU	N-SAU	N-SAU		N-SAU	N-SAU
WEI, WIE, ACK	WEI, WIE, ACK	WEI, WIE, ACK	WEI, WIE, ACK		WEI, WIE, BR	WIE, ACK
0 (-0.03 – 0.04)	0 (-0.05 – 0.04)	0	0.5		1	up to 85
24 (20.5 – 25.5)	15 (14.5 – 15.5)	13 (8.5 – 16.5)	8		0	0
24	15	13	8.5		1	HOCH!

MÄßIG FEUCHTE HOCHSTAUDEN u. WIESEN	FEUCHTE HOCHSTAUDEN u. WIESEN	SEHR FEUCHTE WIESEN	SEHR FEUCHTE WIESEN, HOCHSTAUDEN u. RÖHRICHTE	SEHR FEUCHTE GROß-SEGGEN-RIEDE	NASSE GROß-SEGGEN-RIEDE	ÜBERFLUTETE RIEDE u. RÖHRICHTE
EU	ME/EU	ME	EU	EU	EU	ME/EU
SAU/SU	SAU/N-SAU	SAU	N-SAU	N-SAU	N-SAU	SAU/N-SAU
WEI, WIE, ACK	WIE/BR	WIE				
0	1.5 (1.3 – 2)	3.5 (2.5 – 6)	3	2.5 (2.4 – 2.6)	7 (5.0 – 9.5)	1 (0.3 – 1.7)
24	15	13 (8.5 – 16.5)	8	2.5	0	0
24	16.5	16.5	11	5	7	1

NASSE MOOS DOMINIERTES KLEINSEGGEN-RIEDE
ME
CA
(WIE)
4
0
4

NASSE KLEIN- u. GROß- RÖHRICHTE MIT MOOS- SCHICHT
ME/EU
SAU/N-SAU
(WIE)
12.5
0
12.5

NASSE GROß- RÖHRICHTE
ME/EU
SAU/N-SAU
10 (3.5 – 18)
0
10

2-, 2+, 2~	(3+/2+) 3+	4+/3+	4+	5+/4+	5+	6+
------------	------------	-------	----	-------	----	----

3 ÖKONOMIE DER NUTZUNGSUMSTELLUNG

Die bisherigen praktischen Erfahrungen reichen nicht aus, um eindeutige wirtschaftliche Analysen der Paludikultur vorstellen zu können. Bisherige Berechnungen beziehen sich eher auf kleinflächige Versuche und basieren zu größeren Teilen auf Daten, die aus konventionellen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren abgeleitet wurden und z. T. aus Datensammlungen übernommen wurden.

3.1 Produktionsverfahren für Holzbiomasse und halmgutartige Biomassen in Paludikulturen

Eine nasse Bewirtschaftung erfordert Pflanzen, die an nasse Bedingungen angepasst sind. Als halmgutartige kommen hierbei Schilf (*Phragmites australis*), Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*), Seggen (*Carex spec.*) oder Rohrkolben (*Typha spec.*) in Frage (WICHTMANN 2003). Daneben sind Erlen (*Alnus glutinosa*) und Grauweiden (*Salix cinerea*) Gehölzarten, die man unter nassen Bedingungen kultivieren kann. Dominanzbestände der genannten Pflanzenarten können künstlich begründet werden oder sich nach erfolgreicher Sukzession natürlich ansiedeln (WICHTMANN & WICHTMANN 2011). Die Verwertung der Biomasse erfordert gegenüber der herkömmlichen tiergebundenen Nutzung neue Verwertungskonzepte, da auf diesen nassen Standorten nur unter bestimmten Randbedingungen eine Beweidung, z.B. mit Wasserbüffeln, möglich ist. Grundsätzlich ergeben sich zwei Verwertungspfade. Für die stoffliche Verwertung können Schilf, Rohrkolben oder Erlen angebaut werden.

3.2 Verwertungsmöglichkeiten von Paludi-Biomasse

Neben der traditionellen Verarbeitung von Schilf zu Dachdeckung (Reet bzw. Rohr) können Schilf und Rohrkolben im ökologischen Bauen breit eingesetzt werden. Erlenholz ist in der Möbelindustrie und in der Parkettherstellung ein gefragter Rohstoff. Zurzeit werden neue Produkte wie z.B. Schilf-Lehmsteine, Brandschutzplatten mit Schilf, Rohrkolben-Dämmung oder auch Lehmputze mit Schilffasern entwickelt und für die Markteinführung getestet. Einen Absatzmarkt für größere und heterogene Biomassemengen aus Paludikultur bietet die Möglichkeit der energetischen Verwertung. Bei einer Ernte der Biomasse im Sommer ist es möglich, diese in Biogasanlagen zu verwerten. Hierbei ist allerdings mit einem Nährstoffentzug zu rechnen, welcher langfristig zu einer rückläufigen Produktivität führen kann. Die Gasausbeute der Biomasse wird zurzeit im BMBF Projekt VIP genauer analysiert wobei davon auszugehen ist, dass der Einsatz von Paludi-Biomasse nur im Rahmen der gesonderten Vergütung über das Erneuerbare Energien Gesetz durch den Landschaftspflegebonus attraktiv ist. Eine vielversprechende Möglichkeit bietet die direkte thermische Verwertung der Biomasse in Form von Ballen, Pellets oder Briketts (WICHTMANN & WICHTMANN 2009). Eine neue Verwertungsoption bietet zudem die Hydrothermale Carbonisierung (HTC) mit der Weiterverarbeitung der Biomasse zu Pflanzenkohle. Der Vorteil der thermischen Verwertung liegt vor allem im Erntezeitpunkt. Dieser kann in das in der Landwirtschaft arbeitsarme Winterhalbjahr gelegt werden. Da die Pflanzennährstoffe im Herbst in die Wurzel zurück verlagert werden, ist bei einer Winterernte von keinem großen Nährstoffentzug auszugehen.

3.3 Kosten bei Nutzungsumstellung

Die Änderung der Moorbewirtschaftung von einer entwässerungsbasierten Grünland- oder Ackerlandnutzung hin zu einer Bewirtschaftung eines nassen Moorstandortes sind im Wesentlichen mit zwei größeren Kostenpositionen verbunden, den Kosten für die technische Wiedervernässung des Standortes und die Bestandesbegründung (Anpflanzen der Zielvegetation als Dauerkultur), wenn eine Beschleunigung des gesamten Verfahrens gegenüber einer natürlichen Entwicklung erntbarer Bestände angestrebt wird.

Die Kosten der Wiedervernässung sollten, ähnlich wie ja ursprünglich die Entwässerungsmaßnahmen auch, von der Gesellschaft getragen werden. Mit dem Konzept der Moorfutures® in Mecklenburg Vor-

pommern, die bald auch in Brandenburg zu haben sind, wird eine Alternative zur Finanzierung der Wiedervernässung aufgezeigt (siehe Kap. MoorFutures).

Zur Einschätzung der Kosten einer Bestandesbegründung finden sich Angaben bei Wichmann & Wichmann 2009.

3.4 Kosten für die Bestandesetablierung

In Paludikultur können Sukzessionsbestände bewirtschaftet werden, die sich nach Wiedervernässung des Standortes natürlich entwickeln. Oft kommt es unter den eutrophen bis hypertrophen Bedingungen nach 3 bis 10 Jahren zur Ausbreitung von dominanten hochproduktiven Beständen von Schilf, Rohrglanzgras oder Großseggen, die beerntet werden können. Um die Zeit nach Wiedervernässung und erster Bewirtschaftung jedoch zu verkürzen und um ab dem 3. Jahr bereits erste sichere Erträge einfahren zu können, ist eine Anpflanzung von z.B. Schilf oder Rohrkolben erforderlich. Im Folgenden werden die Kosten für die Etablierung eines Schilfbestandes zur Gewinnung von Biomasse für Energiegewinnung dargelegt. Für repräsentative Angaben zu den Arbeitszeiten wurde auf Standarddaten aus der Literatur zurückgegriffen (KTBL 2009). Berechnet wird die zeitlich effizienteste Verfahrensvariante des Versuchs. Für die Etablierung des Bestandes ist ein Zeitraum von 3 Jahren angesetzt. Die Kostenberechnung der Pflanzung erfolgt modellhaft und auf der Ebene des landwirtschaftlichen Betriebes als Teilkostenrechnung. Für alle Verzinsungen wird ein Zinssatz von 4 % angenommen. Die Kosten für die Wiedervernässung werden bei der Kalkulation auf Betriebsebene nicht berücksichtigt. Da eine alternative, trockene zukünftige Nutzungsform der Flächen nicht angestrebt wird, werden diese Kosten für eine „Rückwandlung“ ebenfalls nicht berücksichtigt (WICHMANN & WICHTMANN 2009).

Kosten für die Bereitstellung des Pflanzgutes

Die für die Anzucht anfallenden Kosten werden von einem Standarddatenwerk zur Anzucht von Zierpflanzen in einen Betrieb mit mittlerem Rationalisierungsgrad abgeleitet (KTBL 2009). Die Daten zum Anzuchtverfahren und zur benötigten Fläche werden von den im Botanischen Garten der Universität Greifswald erhobenen Daten übernommen. Es wird davon ausgegangen, dass 100.000 Schilfpflanzen für 20 ha Pflanzfläche produziert werden. Zusätzlich zu den Vollkosten werden pauschal 15 % als Risikozuschlag und Unternehmerlohn berechnet. Die Kostenberechnung ist in Tabelle zusammengefasst (DAHMS 2009). Im Ergebnis der Berechnung betragen die Pflanzgutkosten 0,44 € pro Pflanze. Dies entspricht in etwa den Kosten, von denen in früheren Berechnungen von SCHÄFER (1999) ausgegangen wurde. Bei vermehrtem Einsatz der Schilfpflanzung und Paludikultur ist davon auszugehen, dass die Bereitstellung von Pflanzgut deutlich preisgünstiger zu bewerkstelligen sein wird.

Kosten für die Pflanzung

In das berechnete Pflanzverfahren gehen bei den Pflanzversuchen im Rahmen des ENIM Projektes gemachte Erfahrungen bereits in die Auswertung mit ein. Die Lohnkosten der benötigten Arbeitskräfte orientieren sich an den Angaben des KTBL (2008). Für die angenommene Tagesleistung von 2 ha werden dementsprechend Weg- und Rüstzeiten aufgeteilt (DAHMS in WICHMANN & WICHTMANN 2009). Die Gesamtkosten belaufen sich auf 2.780 Euro/ha.

BOX 3: KOSTEN FÜR DIE BEREITSTELLUNG DES PFLANZGUTES UND FÜR DIE PFLANZUNG

- Für 20 ha Pflanzfläche werden 100.000 Schilf-Pflanzen benötigt
Gesamtkosten inklusive Transport (50 km) 37.794 €
- Preise für Pflanzgut: 0,44 € pro Pflanze
hohes Kostenreduktionspotenzial bei vermehrter Nachfrage nach Pflanzgut und Rationalisierung bei der Produktion
- Die Pflanzung kostet ca. 2.760 €/ha

3.4.1 Kosten während der Zeit der Bestandes-Etablierung

Die ersten Erlöse fallen bei einem gepflanzten Bestand erst nach einer Etablierungszeit von frühesten 3 Jahren an. Daher muss das bei der Pflanzung gebundene Kapital sowie die in den Etablierungsjah-

ren fälligen Flächenkosten entsprechend verzinst und berücksichtigt werden (4 Jahre). Flächenkosten beinhalten Pacht und Beiträge für Berufsgenossenschaft, Wasser- und Bodenverband sowie die Grundsteuer. Grundlage der Kalkulationen bilden die Datensammlung des Landes Brandenburg (MLUV BB 2008) für Standorte mit geringer Produktivität sowie Auskunft des Wasser- und Bodenverbandes Welse zu WBV-Beiträgen und Grundsteuer. Der Barwert dieser Flächenkosten beträgt zum Zeitpunkt der Pflanzung 284,22 € aufgezinst und damit ergeben sich 332,50 € auf das Jahr 4. Der Gesamtwert der Pflanz- und Etablierungskosten ist als Barwert für das Jahr 4, zum Zeitpunkt der ersten Ernte und als Annuität dieses Barwertes über 26 Erntejahre berechnet. Dies ergibt sich aus dem vorausgesetzten Bewirtschaftungszeitraum über 30 Jahre. Die Annuität entspricht den Kosten, die für die Etablierung von den jährlichen Erlösen abgezogen werden müssen.

Tabelle 8: Kosten für die Bestandesetablierung (Dahms 2009)

Position	Kosten /Einheit	Variable Kosten [€/ha]	Fixe Kosten [€/ha]	Betrag [€/ha]
Pflanzkosten (Übertrag aus Tabelle 3.7-7)		2.475	305	2.780
Flächenkosten Σ			78,30	78,30
Pachtansatz	50,00 €/ha		50,00	50,00
Grundsteuer	7,67 €/ha		7,67	7,67
Beitrag LwBG	12,20 €/ha		12,20	12,20
Beitrag WBV	8,43 €/ha		8,43	8,43
Barwert zum Zeitpunkt t_4 Σ				3.585
Flächenkosten der Etablierungsjahre	332,50 €/ha		333	333
Pflanzkosten	3.252,21 €/ha	2.895	357	3.252
Gesamtkosten				
Barwert zum Zeitpunkt t_4		2.895	690	3.585
Annuität (T=26, i=0,04)		181	43	224

3.5 Wirtschaftlichkeit von Paludikulturen

Die Wirtschaftlichkeit der Produktion von Biomasse in nasser Bewirtschaftung ist, wie bei allen anderen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren, von den mit der Produktion verbundenen Kosten und den im Rahmen des Verfahrens erzielbaren Erlösen abhängig. Aufgrund der schwierigen Befahrbarkeit der nassen Moorstandorte fallen die Kosten für die Mahd und den Abtransport der Biomasse deutlich höher aus als bei vergleichbaren Verfahren auf „trockenem“ Grünland.

Für eine überschlägliche Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Biomassebereitstellung aus Paludikultur ist zunächst die zugrunde gelegte Prozesskette relevant. Diese wird unter anderem durch die angestrebte Verwertung der Biomasse bestimmt. Im Folgenden wird die energetische Verwertung von unspezifischer Biomasse in einem Heizkraftwerk als Stroheratz betrachtet.

Die Erlöse für die Bewirtschaftung setzen sich aus dem erzielbaren Einnahmen je Tonne Trockenmasse und ggfs. flächengebundenen Förderungen zusammen (Direktzahlungen und Prämien im Rahmen des KULAP, Vertragsnaturschutz).

Als Beispiel für die „aufnehmende Hand“ soll hier ein Biomasse (Stroh) Heizkraftwerk betrachtet werden. Z.B. hat gerade die Emslandstärke für ein Strohkraftwerk langfristige Verträge für den Erwerb von Stroh in Großballen für 65 € (frei Kraftwerk) abgeschlossen (mündl. Mitteilung DIETZE LFA MV vom 4.5.2012). Diese Firma baut zurzeit ein vergleichbares Kraftwerk in Kyritz/Brandenburg. Die Erntekosten setzen sich aus vier Komponenten zusammen:

- Fixe Maschinenkosten (€/h): abhängig von Anschaffungskosten, dem Einsatzumfang (Nutzungsdauer in Jahren, Einsatzstunden pro Jahr), etc.
- Abgaben, Beiträge und Steuern (flächengebunden, z.B. Beiträge zum Wasser- und Bodenverband, Grundsteuer, Pacht)
- Variable Maschinenkosten (€/h): abhängig vom Betriebs- und Schmiermittelverbrauch, Reparatur- und Wartungskosten

- Arbeitskosten (€/h): Lohnkosten, Sozialabgaben usw. für die Einsatzzeit auf der Fläche zzgl., Weg- und Rüstzeiten.

Für die Biomasse aus nassen Mooren gibt es keinen eigenen Markt und noch keine offizielle landwirtschaftliche Produktions- und Produktklasse. Allerdings ist diese Biomasse gut dazu geeignet, Stroh in verschiedenen Verwertungslinien zu substituieren. Auch Chinaschilf (*Miscanthus spec.*), das ausschließlich für die Gewinnung halmgutartiger Biomasse als Dauerkultur angebaut wird, kann durch Biomasse aus nassen Mooren ersetzt werden. Insbesondere ist ein Ersatz bei der energetischen Verwertung, z.B. als Brennstoff oder auch innerhalb der landwirtschaftlichen Verwertung zur Einstreu geeignet. Entsprechend können die hier erzielten Erlöse als Maßstab angesetzt werden.

Der Vollkostenansatz für das „Stroh pressen“ basiert auf den Kosten einer „normalen“ Quaderballenpresse inklusive des Lohnansatzes (hier: 16,50 €/AKh für 0,34 AKh/ha) und verteuert das Stroh um 58,35 €/ha bzw. ca. 13 €/t (Tabelle 1). Das Aufladen per Teleskoplader mit Ballenzange wird mit 0,45 AKh/ha veranschlagt und schlägt mit Vollkosten von 19,53 €/ha zu Buche. Dies bedeutet, dass für „Stroh gepresst und aufgeladen“ mindestens 180 €/ha fällig werden, um eine Kostendeckung zu erreichen.

Soll das Stroh dann auch noch zum Ort der Verwertung gebracht werden, so erhöht sich der Kostenansatz bei 5 km Transportentfernung um weitere 16,55 €/t bzw. 75 €/ha (32 €/ha + 43 €/ha für Schlepper und Anhänger in Parallelfahrt beim Aufladen bzw. für den eigentlichen Transport). Weitere Entfernungen sollten bei Schleppertransport mit ca. 0,84 €/t und zusätzlichem Entfernungskilometer in Ansatz gebracht werden. Für die Bereitstellung von Stroh sind nach Angaben in der Zeitschrift Land & Forst Kosten von mindestens 59 €/t anzusetzen. Inklusiv 20% Gewinnaufschlag also ~68 €/t. Dies sind dann bei durchschnittlich 4,5 t Stroh/ha mehr als 300 €/ha um die Kostendeckung zu erreichen (LAND & FORST 2009).

Da die Strohpreise in Norddeutschland vom Sommer 2010 von ~60 €/t auf >150 Euro im März 2012 gestiegen sind (Auswertung von Wichmann 2012), scheint ein angenommener Preis von 65 €/t für halmgutartige Niedermoorbiomasse für die energetische Verwertung als eine sichere Annahme. Der aktuelle Strohpreis liegt etwa bei 100 €/t Trockenmasse (September 2012). Insofern ist ein Preis von 65 €/t als sehr konservativ einzuschätzen, zumal die Biomasse aus nassen Mooren, zumindest bei später Wintermahd, deutlich bessere Brennstoffeigenschaften aufweist als Stroh.

Für energetisch zu verwertendes Chinaschilf wird z.B. 80€/t bei 10% Wassergehalt angenommen (<http://www.eifelacker.de/wp-content/uploads/2010/08/MiscanthusBroschuere1.pdf>).

Nach WICHMANN & WICHTMANN (2009) ergeben sich Kosten für die Bereitstellung von Biomasse aus nassen Mooren bei einem Ertragsniveau von 8 t TM und bei einer Arbeitszeit für die Ernte von 1h/ha 53 €/t TM. Bei einem Arbeitszeitbedarf von 2h/ha ergeben sich Kosten von 69 €/t TM (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Biomassebereitstellungskosten von Schilf, Stroh und *Miscanthus* frei Heizwert und vor Prämien (nach Wichmann & Wichtmann 2009)

Energieträger	Einheit	Schilf natürlicher Bestand		Stroh Koppelprodukt		Miscanthus Anbau	
		1 h/ha	2 h/ha	65€	100€	2ha	20ha
Varianten							
Biomasse-Ertrag	t TM/ha	8	8	5	5	10	15
Energie-Ertrag	MWh/ha	40	40	24	24	49	73
Kosten	€/ha	420	550	325	500	1.120	1.134
	€/t TM	53	69	65*	100*	112	76
	€/GJ	2,9	3,8	3,8	5,8	6,4	4,3
	€/MWh	10,5	13,8	13,5	20,8	22,9	15,5

In Tabelle 9 sind die sich aus den berechneten Verfahrenskosten, dem angenommenen Biomasseertrag (8t TM) und dem unteren Heizwert für Schilf (18 MJ/kg TM) ergebenden Biomassebereitstellungskosten dargestellt und ins Verhältnis zu anderen halmgutartigen Energieträgern (Stroh: 17,2 MJ/kg TM, *Miscanthus*: 17,6 MJ/kg TM) gesetzt. Die Umrechnung in Megawattstunden (1MWh=3,6 GJ) dient dem Vergleich mit holzartigen und fossilen Energieträgern. Der Vergleich mit Stroh (12,2€/MWh) und *Miscanthus* (13,8€/MWh) lässt Schilf (10,5€/MWh) nicht nur konkurrenzfähig, sondern bei Beerntung

bestehender Bestände als am kostengünstigsten erscheinen. Dies lässt sich z.B. daraus erklären, dass bei Stroh zusätzlich zu den Verfahrenskosten der Düngerwert den Preis mitbestimmt bzw. bei *Miscanthus* eine Bestandesetablierung incl. Pflanzung und Düngung erforderlich ist. Die Ernte eines angepflanzten Schilfbestandes bei ungünstigen Bedingungen (Zeitbedarf: 2h/ha, Ertrag: 8t TM/ha) liegt mit 19,4€/MWh im unteren Bereich der Preise bei hohen Strohkosten bzw. bei *Miscanthusanbau* unter ungünstigen Bedingungen (Flächengröße 2ha, Ertrag 10t TM/ha) (WICHMANN & WICHTMANN 2009).

Beispiel einer Berechnung der Wirtschaftlichkeit für das Stadtgebiet Potsdam

Als Kaufpreis für eine Erntemaschine wird ein Preis von ca. 180.000 Euro angenommen. Für diesen Preis sollte eine umgebaute Pistenraupe inklusive Mähwerk und aufgesattelter Ballenpresse zu haben sein (WICHMANN & WICHTMANN 2009). Es ist davon auszugehen, dass diese Maschine über 9 Jahre eingesetzt werden kann und abgeschrieben ist, wenn sie über diese 9 Jahre ca. 500 Stunden pro Jahr eingesetzt wird. Das heißt, dass sinnvoller Weise mindestens 500 Hektar in Paludikultur bewirtschaftet werden müssten, um die Erntemaschine auszulasten (bei angenommener Arbeitszeit von 1h/ha). Daraus ergeben sich Kosten pro Stunde von ca. 53 € (diskrete Annuität) bzw. 51 €/h (lineare Abschreibung). Es wird weiterhin angenommen, dass in einer Stunde etwa ein Hektar bewirtschaftet werden kann. Hier sind große Unsicherheiten und Abweichungen möglich, wenn z.B. die Transportentfernung aus dem Moor zum Feldrand groß ist und der Transport auch über die Erntemaschine erledigt werden muss. Bei der eher anzunehmenden Kleinflächigkeit der potenziellen Paludikulturflächen im Stadtgebiet Potsdam sind erhöhte Transportkosten auf der Fläche weniger anzunehmen (die kurzfristig in Paludikultur bewirtschafteten Flächen im Stadtgebiet LHP sind 35 bzw. 55 ha groß). Da sowohl die Flächenleistung pro Stunde als auch der Transport auf dem Feld vom Biomasseaufkommen (t/ha) abhängig ist, geht neben der Fläche auch die anzunehmende Biomassemenge pro Hektar kostenseitig in die Berechnungen ein.

Tabelle 10: Beispielrechnungen für Kostenermittlung Mahd bei unterschiedlichem Zeitbedarf für die Ernte, z.B. aufgrund höheren Biomasseaufkommens

		1h/ha	1,5h/ha	2h/ha	2,5h/ha
Arbeit	€/ha	20,00	30,00	40,00	50,00
Mahd fix (1h/ha)	€/ha	55,00	82,50	110,00	137,50
Mahd var 18 l sprit á 1,50 €	€/ha	27,00	40,50	54,00	67,50
Mahd var. Öl (Annahme)	€/ha	15,00	22,50	30,00	37,50
Sonsige	€/ha	10,00	15,00	20,00	25,00
Summe		127,00	190,50	254,00	317,50

Es wird angenommen, dass die Mahd mit einer Pistenraupe mit 4 m Arbeitsbreite erledigt wird. Durchschnittlich verbraucht diese Maschine etwa 18 L Diesel pro Stunde. Die Tab. 10 zeigt eine überschlägliche Berechnung der Mähkosten mit der Spezialmaschine, abhängig von der benötigten Arbeitszeit pro Hektar. Dies Arbeitszeit wiederum ist u. a. vom Biomasseaufkommen und den flächeninternen Transportstrecken abhängig. Da diese Werte nur schwer im Vorhinein abgeschätzt werden können, wird im Weiteren pauschal mit einem Wert von 20 €/t Bio-Trockenmasse plus 100 €/ha gerechnet. Damit liegt der jeweilige Wert immer etwas höher als die hier in Tab. 10 berechneten Werte und berücksichtigt das Biomasseaufkommen besser.

Die Biomasse wird direkt gepresst und jeweils vier Rundballen werden mit der Erntemaschine an den Feldrand zur Übergabestelle gefahren. Hier wird die Biomasse auf landwirtschaftliche Transporttechnik verladen, auf einen Lagerplatz gebracht und dort unter Folie in einer Miete eingelagert. Der weitere Abtransport wird mit landwirtschaftlicher Transporttechnik erledigt. Zur energetischen Verwertung ist ein bedarfsgerechter Abtransport über 10 km zum Heizkraftwerk eingerechnet.

Die auf der **Kostenseite** oben angegebenen Komponenten werden an dieser Stelle nicht einzeln berechnet, sondern aus den oben angesetzten Kosten werden Schätzwerte abgeleitet bzw. für einzelne Leistungen Kostenansätze aus Angeboten von Dienstleistern verwendet (z.B. Stute, Lutra). Die Kos-

ten für die Mahd werden auf die Fläche (120 €/ha) und die Erträge pro Hektar (20 €/t) bezogen, die Kosten für das Pressen berechnen sich nach der Menge (6 €/Ballen).

Pflegenutzung: Mit dem Projekt können die über KULAP gebundenen Flächen aufgrund der Verfügbarkeit standortangepasster Technik zur Gewinnung unspezifischer Biomasse jedes Jahr entsprechend der Anforderungen vollständig beerntet werden. Eine Auslastung der Spezialmaschine wird erreicht, indem in Dienstleistung für andere Landwirte Flächen gemäht werden. Ein durchschnittlicher Ertrag von 3 t TM wird angenommen, wobei ein Preis von 65 Euro pro Tonne angesetzt wird (siehe Tabelle 2, Spalte RGG, Feuchtwiese). Die Flächen haben Direktzahlungsansprüche, die mit 200 €/ha angesetzt werden. Für einige Beispiele wird angenommen, dass die Direktzahlungsansprüche nicht mehr verfügbar sind und entsprechend ohne diese gerechnet (Schilf mit Erträgen von 8, 10 und 12 t/ha). Über KULAP werden in einem Beispiel jährliche Zahlungen von 130 €/ha angenommen (RGG, Feuchtwiese). Es ergeben sich hier Einnahmen von insgesamt 525 Euro pro Hektar. Die Ausgaben summieren sich auf 271,60 Euro, als Gesamtergebnis ergeben sich somit 253,40 €/Hektar. Das heißt, dass bei den angenommenen Parametern die Kosten gedeckt sind und, zumindest bei KULAP Zahlungen und Direktzahlungsansprüchen, ein ausreichender Anreiz für die Bewirtschaftung besteht.

Die energetische Verwertung von Schilf ist bei Erträgen von 8 t Trockenmasse einmal dann nicht kostendeckend, wenn weder Direktzahlungsansprüche noch KULAP zur Verfügung stehen (- 35,60 €/ha), oder wenn zwar Direktzahlungen gezahlt werden, aber Kosten für die Bestandesbegründung angesetzt werden müssen. Bei höheren Erträgen und/oder höheren Biomassepreisen werden die Kosten jeweils immer gedeckt und ein Anreiz für Paludikultur ist gegeben. (vergleiche Tabelle 11).

Bei einer angenommenen **stofflichen Verwertung** könnte sicherlich mit deutlich höheren Biomassepreisen gerechnet werden, was immer eine Verbesserung des Ergebnisses ergibt.

Es ist jeweils zu berücksichtigen, dass die Biomasse aus nassen Mooren andere Halmgüter substituieren kann oder sogar für verschiedene Verwertungszwecke besser geeignet ist (stofflich: Qualitätsrohr für Dämmstoffe, Platten, Matten und Dachbedeckungsmaterial; energetisch: bessere Eigenschaften als Stroh bei den Parametern CL-, SO₄-, Aschegehalt).

Tabelle 11: Wirtschaftlichkeit der Biomassebereitstellung Erntetermin Winter (W) oder Sommer (S)

			E	RGG, Feuchtwiesen	RGG, Schilf	Schilf	Schilf	Schilf	Schilf	Schilf	Schilf
Erntetermin				S	W	W	W	W	W	W	W
Ertrag netto (Verluste bereits abgezogen)			t (TM)	3,00	6,00	8,00	8,00	8,00	8,00	10,00	12,00
Rundballen			à 250 kg	20,00	24,00	32,00	32,00	32,00	32,00	40,00	48,00
			€/t	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	100,00	100,00	100,00
Verkaufserlös/ha			€/ha	195,00	390,00	520,00	520,00	520,00	800,00	1.000,00	1.200,00
Prämien			€/ha	130,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Zahlungsansprüche			€/ha	200,00	200,00	200,00		200,00	200,00		
Summe Einnahmen			€/ha	525,00	590,00	720,00	520,00	720,00	1.000,00	1.000,00	1.200,00
Bestandesbegründung*			€/ha					-224,00	-224,00		
Mahd (20 €/t + 100€/ha)			€/ha	-160,00	-220,00	-200,00	-260,00	-260,00	-260,00	-300,00	-340,00
Pressen (6 €/Ballen)	€/t	24,00	€/ha	-72,00	-144,00	-192,00	-192,00	-192,00	-192,00	-240,00	-288,00
Pacht+Abgaben (WBV/Steuer)	€/ha	30,00	€/ha	-30,00	-30,00	-30,00	-30,00	-30,00	-30,00	-30,00	-30,00
Transport/Lager	€/t	3,20	€/ha	-9,60	-19,20	-25,60	-25,60	-25,60	-25,60	-32,00	-38,40
Transport Lager-Fabrik (10km)	€/t	6,00	€/ha		-36,00	-48,00	-48,00	-48,00	-48,00	-60,00	-72,00
Summe Kosten (Ernte)			€/ha	-271,60	-449,20	-555,60	-555,60	-779,60	-779,60	-662,00	-768,40
Ergebnis			€/ha	253,40	140,80	164,40	-35,60	-59,60	220,40	338,00	431,60

*Kosten Bestandesbegründung disk. Verzinsung 20 J., 5%, 2500 Pfl./0,5€/Pfl / Pflanzkosten 800 €

3.6 Vorschläge für Investitionen und Förderungen der LHP

Die Beispielkalkulationen wurden für eine voll ausgelastete Spezialerntemaschine gerechnet. Auch wurde davon ausgegangen, dass sich das Ernteverfahren bereits eingespielt hat, Ernte und Logistik funktionieren. Auf der anderen Seite wurden bei den Berechnungen auch kleine Sicherheiten eingebaut, um die Ergebnisse sicherer werden zu lassen.

3.6.1 Direktzahlungen

Nichtsdestotrotz sollte die Paludikultur, zumindest bei ihrer Einführung durch flankierende Maßnahmen abgesichert werden. Das können einerseits die Direktzahlungen sein, die in Tab 11 ja auch in den meisten Varianten schon mitberücksichtigt werden. Bei einer aktiven Wiedervernässung von Flächen, die Direktzahlungsansprüche aufweisen, zur Umstellung auf Paludikultur, dürfte dies in der Regel keine Probleme bereiten. Schwieriger könnte dies sein, wenn Flächen mit der Paludikultur neu in Bewirtschaftung genommen werden, die vorher keine Zahlungsansprüche hatten. Hier wäre man in Brandenburg voraussichtlich auf Härtefallregelungen oder Sonderprogramme angewiesen (Junglandwirtförderung). Lieben die Flächen innerhalb einer FFH oder Natura 2000 Gebietskulisse, bleiben die Direktzahlungsansprüche bei einer Wiedervernässung von entwässertem Grünland sogar bestehen, auch wenn keine Paludikultur (sondern Naturentwicklung) erfolgt.

3.6.2 Moorfutures

Bei den Moorfutures® handelt es sich um Emissionszertifikate, mit denen Unternehmen die Möglichkeit erhalten, künftig ihre Treibhausgasbilanz zu verbessern. Ein Moorfutures entspricht dabei dem Einsparungspotential von einer Tonne CO₂ pro Jahr. Bei der Wiedervernässung eines Moores können je nach Ausgangsbedingungen Emissionen in Höhe von mehr als 20 t CO₂ pro Hektar und Jahr eingespart werden. Wieviele Zertifikate sich für einen wiedervernässten Standort dann genau ergeben, wird nach dem GEST Ansatz berechnet (COUWENBERG et al 2011). Moorfutures werden derzeit nicht in dem geschlossenen Zertifikate-Pflichtmarkt gehandelt – sie sind ein freiwilliges Instrument und sind eine längerfristige Anlage. Sie können je nach Projektgebiet ein Angebot über volle 30 bzw. 50 Jahre der Anrechenbarkeit erhalten und haben so die Chance, Ihr nachhaltiges Engagement zu demonstrieren. Die Preise der MoorFutures richten sich nach den tatsächlichen Kosten für die Wiedervernässungsmaßnahme. Insofern ist es möglich, die Kosten für die Planfeststellung und technische Umsetzung der Maßnahmen über dieses Instrument zu finanzieren. Seit 2012 ist dieses Instrument auch in Brandenburg verfügbar und wird in Zusammenarbeit der Hochschule Eberswalde mit der Flächenagentur Brandenburg realisiert.

3.6.3 Sonstige Förderungen von Investitionen zur Moorwiedervernässung

Für die Wiedervernässung von Mooren sind investive Maßnahmen im Rahmen von wasserrechtlichen Genehmigungsverfahren erforderlich. Die Programme, die von jedem Bundesland individuell entwickelt und festgelegt werden sollen, benötigen Fördermöglichkeiten für Planung, wasserbauliche und infrastrukturelle Umgestaltungen und Anpassung sowie für das Verfügbarmachen von Flächen (JENSEN 2011). Bei der vollständigen Wiedervernässung von Mooren bleibt der Ankauf in den meisten Fällen das Mittel der Wahl, auch wenn inzwischen Modelle diskutiert werden, wonach die Flächen im Eigentum der Landwirte bleiben und die inzwischen gut bilanzierbaren CO₂ - Minderungspotentiale honoriert werden (JENSEN 2011).

3.6.4 Förderung von Investitionen in angepasste Landtechnik

Die Etablierung alternativer, moorschonender Nutzungsverfahren wird maßgeblich von der Verfügbarkeit geeigneter, an sehr hohe Wasserstände angepasster Landtechnik abhängen. Eine finanzielle Unterstützung bei der Anschaffung der erforderlichen Maschinen und Geräte für die Land- und Forstwirtschaft kann einen ausschlaggebenden Anreiz geben, diese Nutzungsverfahren in der Praxis durchzusetzen. In den moorreichen Bundesländern werden derzeit die Fördermöglichkeiten für Investitionen in angepasste Landtechnik im Zuge der Vorbereitung der kommenden EU-Förderperiode geprüft (Wichtmann et al. 2010b, Jensen 2011).

3.6.5 Klimaschutzprogramme

Vergleichbar mit Agrarumweltprogrammen können in Deutschland auf Bundeslandebene sogenannte Klimaschutzprogramme aufgelegt werden. Diese würden dann, entsprechend der Emissionsminderungen durch Wiedervernässung von Moorstandorten, Kompensationen für Ertragseinbußen bereitstellen. Moorschutzmaßnahmen, die im Vergleich zu vielen anderen Klimaschutzmaßnahmen (Dämmung von Gebäuden, Förderung von alternativen Energieträgern, Biosprit) ein sehr günstiges Kosten-Nutzen Verhältnis aufweisen, sind bisher nur selten berücksichtigt. Es ist deshalb wichtig, dass Moorschutzmaßnahmen in Klimaschutzprogramme eingebunden werden. (Wichtmann et al. 2010b, Jensen 2011).

4 PERSPEKTIVEN

Die gegenwärtige Situation der mitteleuropäischen Moore ist durch zwei gegen-läufige Entwicklungstendenzen gekennzeichnet. Einerseits werden seit etwa 20 Jahren großräumig Moore restauriert. Auf der anderen Seite dauern die Degradationsprozesse bei der Mehrzahl der Moorflächen an und verursachen stets wachsende Kosten und immense Umweltprobleme. Deshalb ist die Restaurierung sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht ohne Alternative.

Die traditionelle Restaurierung verfolgt vor allem Ziele des Naturschutzes. Durch Paludikulturen können – neben landwirtschaftlicher Produktion und Arbeitsplätzen im ländlichen Raum – gleichzeitig nennenswerte Leistungen in weiteren Bereichen der europäischen Agrarpolitik erzielt werden, wie in den Bereichen Klimaschutz, erneuerbare Energien, Wassermanagement und Erhaltung der biologischen Vielfalt. Neben der Fortführung und dem Ausbau bestehender Agrarumweltprogramme bietet die Ökologisierung („Greening“) der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) Möglichkeiten zur investiven Förderung von Moorwiedervernässungsmaßnahmen.

Tabelle 12: Mögliches Entwicklungsszenario für die Entwicklung der Niedermoore im Stadtgebiet Potsdam. Prozentangaben als Beispiel

Bewirtschaftung	Wiedervernässung	Förderung von		
		Landnutzung	Klimaschutz	Biodiversität
konventionelle Grünlandbewirtschaftung (30 %)	Gering	Kein Umbruch, kein Pflanzenschutz; keine Terminauflagen, Produktion von Silage und Heu	Optimierte Wasserretention (So: <60 cm unter Flur, Winter- Stauhaltung), →Reduktion CO ₂ -Emissionen	Erhalt Nahrungs-/ Rastgebiete (u.a. Goldregenpfeifer, Wiesenweihe)
Extensive Feuchwiesenbewirtschaftung (30 %)	Mittel	Feuchtgrünland, gestaffelte Mahdtermine/ angepasste Beweidung	Anhebung Wasserstände, →starke Reduzierung der CO ₂ -Emissionen	Entwicklung artenreicher Feuchtwiesen, Wiesenbrüterschutz (Wachtelkönig, Brachvogel)
Alternative Nutzung (40 %)	Stark	Paludikultur (regionale stoffliche/energetische Verwertung)	Maximale Emissions-Reduktion →vollständiger Stopp der Mineralisierung, Torfneubildung	Entwicklung von artenreichen Rieden, Röhrichte, Erlensümpfen, Ansiedlung Röhricht-Arten
Nutzungsaufgabe (10%)	Stark	Natürliche Sukzession	Maximale Reduktion von Emissionen	Naturentwicklung

Die Moorwiedervernässung und Umsetzung von Paludikulturen benötigen Fördermöglichkeiten für Planung, wasserbauliche und infrastrukturelle Umgestaltungen und Anpassung sowie für die Verfügbarmachung von Flächen. Die Etablierung nasser Nutzungsverfahren wird weiter maßgeblich von der Verfügbarkeit geeigneter, an sehr hohe Wasserstände angepasste Landtechnik abhängen. Mit einer finanziellen Unterstützung der Anschaffung der erforderlichen Maschinen und Geräte für die Land- und Waldwirtschaft kann ein entscheidender Anreiz geleistet werden, diese Verfahren in der Praxis durchzusetzen.

QUELLEN- UND LITERATURVERZEICHNIS

- AUTORENKOLLEKTIV GREIFSWALD (2009): Paludikultur – Perspektiven für Mensch und Moor. Universität Greifswald, Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Institut für Dauerhaft Umweltgerechte Entwicklung von Naturräumen der Erde (DUENE) e.V., Greifswald. 16 S.
(<http://paludiculture.botanik.uni-greifswald.de>)
- BLANKENBURG, J. HÖPER, H.H. & W. SCHMIDT (2001): Bodenphysikalische Eigenschaften und Wiedervernässung. In: KRATZ, R. & J. PFADENHAUER (Hrsg.): Ökosystemmanagement für Niedermoores – Strategien und Verfahren zur Renaturierung. Ulmer Stuttgart. S. 81 - 91
- COUWENBERG, J. (2007): Biomass energy crops on peatlands: on emissions and perversions IMCG newsletter, issue 2007/3: 12-14 (www.imcg.net)
- COUWENBERG, J., AUGUSTIN, J., MICHAELIS, D., WICHTMANN, W. & H. JOOSTEN (2008): Entwicklung von Grundsätzen für eine Bewertung von Niedermoores hinsichtlich ihrer Klimarelevanz. Studie im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Naturschutz M-V. DUENE e.V., Greifswald. 33 S. http://paludiculture.botanik.uni-greifswald.de/links_ger.html
- JENSEN, R. 2011: Potentiale und Ziele zum Moor- und Klimaschutz. Gemeinsame Position der Länderfachbehörden von Brandenburg, Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein; unterstützt und mitgetragen von den Länderfachbehörden Baden-Württemberg, Bremen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt, Saarland, Sachsen, Thüringen sowie dem Bundesamt für Naturschutz und dem Umweltbundesamt.
- JOOSTEN, H. 2009. The Global Peatland CO2 Picture. Peatland status and drainage associated emissions in all countries of the World. Wetlands International, Ede. 10 S. + Tabellen.
- JOOSTEN, H., COUWENBERG, J. SCHÄFER, A., WICHTMANN, S. & W. WICHTMANN (2012): Perspektiven der Regeneration und Nutzbarmachung von Mooren. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 24: 41–xxx (2012), 6 S., eingereicht
- JOOSTEN, H.; M.-L. TAPIO-BISTRÖM und S. TOL (Hsg.) 2012. Peatlands – guidance for climate change mitigation by conservation, rehabilitation and sustainable use. Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 5. FAO, Rome, L + 96 p.
- KOSKA, I. (2001): Ökohydrologische Kennzeichnung. In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde. 2. Auflage. Schweizerbart, Stuttgart. S. 92-111.
- KOWATSCH, A., SCHÄFER, A. & W. WICHTMANN (2009): Nutzungsmöglichkeiten auf Niedermoorstandorten, Umweltwirkungen, Klimarelevanz und Wirtschaftlichkeit. Endbericht des IfBL und DUENE e.V. Greifswald im Auftrag von: Land Mecklenburg-Vorpommern, Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz, 57 S. http://paludiculture.botanik.uni-greifswald.de/links_ger.html
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.) (2008): Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/09. KTBL, Darmstadt. 752 S.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.) (2009): Gartenbau – Produktionsverfahren planen und kalkulieren. KTBL, Darmstadt. 600 S.
- MLUV (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern) (2009): Konzept zum Schutz und zur Nutzung der Moore, Fortschreibung des Konzeptes zur Bestandssicherung und zur Entwicklung der Moore in Mecklenburg-Vorpommern (Moorschutzkonzept). Schwerin. 109 S. <http://www.regierung->

- [mv.de/cms2/Regierungsportal_prod/Regierungsportal/de/lm/_Service/Publikationen/index.jsp?&publikid=2351](http://www.mv.de/cms2/Regierungsportal_prod/Regierungsportal/de/lm/_Service/Publikationen/index.jsp?&publikid=2351)
- OEHMKE, C. & W. WICHTMANN (2011): Festbrennstoffe aus Paludikultur – Produktivität und Verbrennungseignung von Halmgut aus nassen und wiedervernässten Mooren. Forum 4.1: Konferenz Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial 01./02. März 2011 in Berlin, 11 S. <http://www.energetischebiomassenutzung.de/de/aktuelles/tagungen/landschaftspflegematerial/ergebnisse.html>
- IPIK (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. Projektbericht, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.
- PROCHNOW, A. & S. KRASCHINSKI (2001): Angepasstes Befahren von Niedermoorgrünland. Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) (Hrsg.), Merkblatt 323. 16 S. (http://www.dlg.org/uploads/media/dlg-merkblatt_323.pdf)
- RECHBERGER, Ch. (2003): Schilf (*Phragmites australis*), Analyse der Ernte- und Verwertungsmöglichkeiten unter besonderer Berücksichtigung des Neusiedler Sees. Diplomarbeit an der FH Wiener Neustadt für Wirtschaft und Technik, Studiengang Produkt- und Projektmanagement in Wieselburg, 131 S. + Anhang.
- SCHÄFER, A. (1999): Schilfrohrkultur auf Niedermoor - Rentabilität des Anbaus und der Ernte von *Phragmites australis*. Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung, 33, S.193-216.
- SCHRÖDER, J. & P. RÖHE 2010: Grundlagen und Empfehlungen für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Roterle in Mecklenburg-Vorpommern. Herausgeber: Waldbesitzerverband für Mecklenburg-Vorpommern e. V., Kastanienallee 9, 19243 Drönnowitz, Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern, Abteilung: Nachhaltige Entwicklung, Forsten und Naturschutz, Paulshöher Weg 1, 19061 Schwerin. 58 S. <http://www.wald-mv.de/lib/media.php?id=2169>
- SUCCOW, M. & H. JOOSTEN (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 622 S.
- TANNEBERGER, F. (2008) The Pomeranian population of the Aquatic Warbler - habitat selection and management. Dissertation, Universität Greifswald. 186 S.
- TANNEBERGER, F., TEGETMEYER, C., DYLAWEWSKI, M., FLADE, M. & H. JOOSTEN (2009): Slender, sparse, species-rich – winter cut reed as a new and alternative breeding habitat for the globally threatened Aquatic Warbler. Biodiversity and Conservation 18: 1475-1489.
- THIELE, A., TANNEBERGER, F., MINKE, M., COUWENBERG, J., WICHTMANN, W., KARPOWICZ, Z., FENCHUK, V., KOZULIN, A. & H. JOOSTEN (2009): Belarus boosts peatland restoration in Central Europe. Peatlands International 01/2009: 32-24.
- TIMMERMANN, T. (2003): Nutzungsmöglichkeiten der Röhrichte und Riede nährstoffreicher Moore Mecklenburg-Vorpommerns. Greifswalder Geographische Arbeiten 31: 31-42.
- Vetter, A. (2001): Qualitätsanforderungen an halmgutartige Bioenergieträger hinsichtlich der energetischen Verwertung. IN: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (2001): Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. Stand der Technik und Perspektiven für den ländlichen Raum. Gülzower Fachgespräche, Band17: 36-49.

- 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.
- WICHMANN, S. & W. WICHTMANN (2009): Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt Energiebiomasse aus Niedermooren (ENIM). Institut für Botanik und Landschaftsökologie. Universität Greifswald. 190 S. http://paludiculture.botanik.uni-greifswald.de/links_ger.html
- WICHTMANN, W. (1999): Nutzung von Schilf (*Phragmites australis*). Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung, 38: 217-232.
- WICHTMANN, W. (2003): Verwertung von Biomasse von Niederungsstandorten. Greifswalder Geographische Arbeiten, 31, S.43-54.
- WICHTMANN, W. & H. JOOSTEN (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' Michael Succow Stiftung zum Schutz der Natur. 112 S.
- WICHTMANN, W. & WICHMANN, S. (2011): Environmental, Social and Economic Aspects of a Sustainable Biomass Production. Journal of Sustainable Energy and Environment. Special Issue 2011. pp 77 - 83.
- WICHTMANN, W., COUWENBERG, J. & A. KOWATSCH (2009): Standortgerechte Landnutzung auf wieder-vernässten Niedermooren. Klimaschutz durch Schilfanbau. Ökologisches Wirtschaften 1/2009: 25-27.
- WICHTMANN, W.; F. TANNEBERGER; S. Wichmann und H. Joosten 2010a. Paludiculture is paludifuture. Climate, biodiversity and economic benefits from agriculture and forestry on rewetted peatland. Peatlands International 2010/1: 48-51.
- WICHTMANN, W.; WICHMANN, S. & TANNEBERGER, F. 2010b: Paludikultur – Nutzung nasser Moore: Perspektiven der energetischen Verwertung von Niedermoorbio-masse. Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg, 19 (3, 4) 2010, S. 211-218.