

Eine Untersuchung von Paludikultur und einer möglichen
Verbindung mit Agri-Photovoltaik sowie der damit
verbundenen Verwertungs- bzw. Wertschöpfungskette

Bachelorarbeit

Vorgelegt von: Leon Bruno Hoffmann

Matrikelnummer: 120 072 084

Erstbetreuer: Prof. Dr. W. Schwerdtner

Zweitbetreuer: Prof. Dr. Kerstin Wydra

Erfurt, 07.09.2023

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	i
Abkürzungsverzeichnis.....	iii
Tabellenverzeichnis.....	iv
1. Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung.....	2
1.2 Zielstellung.....	2
1.3 Vorgehensweise.....	2
2. Forschungsstand Kulturen der Paludikultur.....	3
2.1 Definition APV und Paludikultur.....	3
2.2 Kulturen der Paludikultur.....	4
3. Forschungsstand Maschinen und Technik.....	15
3.1 Moorboden: Problem für Maschinen und Technik.....	15
3.3 Beispiele maschinelle Anpassung der Ernte bei ausgewählten Kulturen.....	20
4. Forschungsstand Agri-Photovoltaik.....	22
4.1 Netzagentur zu APV und Paludikultur.....	22
4.2 Anforderungen an APV-Systeme auf Moorböden in Bezug auf die Paludikultur.....	22
4.3 Möglichkeiten für die Kombination von Paludikultur und APV.....	25
4.4 Anwendungsbeispiel Solarpark Lottorf.....	28
5. Forschungsstand Verarbeitung/ Wertschöpfungskette/Markt Situation.....	31
5.1 Verwertungsmöglichkeiten, Wertschöpfungskette und Wertschöpfung.....	31
5.2 Märkte und Etablierungs-sowie betriebswirtschaftliche Beispiele.....	39
5.3 Wertschöpfung APV.....	41
5.4 Fördermöglichkeiten.....	43
6. Methodik und Interview.....	45
6.1 Methodik.....	45
6.2 Interview mit Herrn Maximilian Weiland.....	45
6.3 Auswertung:.....	47
7. Diskussion und Fazit.....	48
7.1 Diskussion und Ergebnisse.....	48
7.2 Diskussion Methodik und Interview.....	51
7.3 Fazit und Empfehlung.....	52
8. Zusammenfassung.....	53
Quellen und Literatur Verzeichnis.....	a
Selbstständigkeitserklärung.....	h

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Erläuterung Wasserstufe bzw. Torfzehrende und Torferhaltende Wasserstände (GMC 2023).....	4
Abbildung 2 Rohrkolben MsG 2021.....	5
Abbildung 3 GMC 2016 a Eckdaten Rohrkolben	5
Abbildung 4 Rohrglanzgras Sergej Usta´k 2012	7
Abbildung 5 GMC 2016b Eckdaten Rohrglanzgras	7
Abbildung 6 Schilf Delver koog 2007	9
Abbildung 7 GMC 2016c Eckdaten Schilf.....	9
Abbildung 8 links Blaugrüne Segge, rechts Nasswiese eiszeitlandschaften	11
Abbildung 9 GMC 2016d Eckdaten Nasswiesen	11
Abbildung 10 Torfmoos Gifhorn e.V	13
Abbildung 11 GMC 2016e Eckdaten Torfmoos.....	13
Abbildung 12 Entstehen von Fahrrinnen nach nur einmaliger Befahrung einer Rohrkolben Anbaufläche des Projekts Paludi-PRIMA (Neubert 2022)	16
Abbildung 13 Kleingerät/ Kleine Ernte Maschinen.....	17
Abbildung 14 Groß- und Spezial Maschinen	17
Abbildung 15 Groß- und Spezial Maschinen	19
Abbildung 17 Beladung eines Anhängers mit Torfmoos	21
Abbildung 16 Torfmoos Ernte per Bagger	21
Abbildung 18 Pflege- und Erntefahrzeugkonzept der Firma Mera Rabeler GmbH & Co. KG	21
Abbildung 19 hochgeständertes APV-System.....	23
Abbildung 20 vertikales APV-System	23
Abbildung 21 PV- System mit tiefen Verankerungen im Torfboden vgl. ISE Frauenhofer 2022	26
Abbildung 22 FPV Konzept mit Grundankern Vgl. ISE Frauenhofer 2022.....	27
Abbildung 23 FPV-Konzept mit schwimmenden aufgeständerten PV Modulen vgl. ISE Frauenhofer 2022.....	27
Abbildung 24 Skizze der am Standort Lottorf verbauten PV-Module.	29
Abbildung 25 Hier ist die PV-Anlage auf dem Standort bei Lottorf zu sehen.....	29
Abbildung 26 Erstellt anhand von Daten von GMC 2022, GMC 2017, LM M-V 2017 sowie weiteren im Rahmen dieser Arbeit gesichteten Literatur.....	31
Abbildung 27 Mobile Pelletierungsmaschine.....	32
Abbildung 28 Kosten pro MWh verglichen mit verschiedenen nachwachsenden Rohstoffen, Vgl. Dahms et al. 2017, GMC 2017	32
Abbildung 29 Pellets aus Paludikultur Faserstoffen Abbildung 30 Einweggeschirr aus Schilf und Rohrkolben	34
Abbildung 31 Schilf-Dämmplatten.....	35
Abbildung 32 Schilf Bunde zur Verwendung als Dach Reet.....	35
Abbildung 33 Einblasdämmung aus Typha.....	36
Abbildung 34 Gramitherm Dämmplatten.....	36
Abbildung 35 Typha Boards.....	36
Abbildung 36 Einblasdämmung wird per schlauch in eine Wand geblasen.....	36
Abbildung 37 Vergleich des Carbon footprint von Dämmstoffen aus Nachwachsenden Rohstoffen und Herkömmlichen fossilen.	36
Abbildung 38 Anforderungen des RAL an Blumenerde und Kultursubstrate aus der Paludikultur.....	38
Abbildung 39 Parameter hochaufgeständerte APV-Anlage auf einem Hektar Fläche Vgl. Vollmer 2022	42

Abbildung 40 Vergleich von 5 Ausgewählten APV-Technologien bezüglich ihrer Kosten,
anlagenspezifischen Vorteilen und Vorteilen der unter ihnen wachsenden Kulturen..... 43

Abkürzungsverzeichnis

APV	Agri-Photovoltaik
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
Cl	Chlor
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ -Äq.	Kohlendioxid-Äquivalent
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFRE	Europäischer Förderfonds für Regionale Entwicklung
FM	Feuchtmasse
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GMC	Greifswald Moor Centrum
ha	Hektar
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kg	Kilogramm
kW	Kilowatt
M	Meter
MJ	Megajoule
N	Stickstoff
NEL	Nennleistung
N ₂ O	Lachgas
PV	Photovoltaik
S	Schwefel
TM	Trockenmasse

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Etablierte Märkte für die Behandelte Paludikulturen sowie Verwertungen aus Testanwendungen und Prototypen GWC 2022, Nordt et al. 2022	39
Tabelle 2 Aufstellung Von Betriebskosten und Erlösen aus der Kultivierung von Typha Vgl. BfN-Skript 616, 2021	40
Tabelle 3 Aufstellung Von Betriebskosten und Erlösen aus der Kultivierung von Schilf Vgl. BfN-Skript 616, 2021	41

1. Einleitung

Es ist eine unumstößliche Tatsache, dass sich seit der industriellen Revolution der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre durch anthropogene Aktivitäten massiv erhöht hat (IPCC, 2023). Dieser Anstieg an CO₂ ist in seiner Geschwindigkeit und Intensität unvergleichlich und sorgt zusammen mit anderen menschlichen Aktivitäten für ein Massensterben an Tier- und Pflanzenarten (WWF, 2022). Von 1960 bis 2022 haben sich die globalen CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen von 9,3 Milliarden Tonnen auf 40,6 Milliarden Tonnen erhöht (GEF, 2022). Dies hat zu einem Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre geführt: von 280 ppm vor der Industrialisierung auf 421 ppm im Juni 2022 (NOAA 2022).

In Deutschland verursacht die Landwirtschaft im Jahr mit 53 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten ca. 7 % der totalen CO₂-Emissionen (Umwelt Bundesamt 2022), 37 % davon werden von trockengelegten Mooren in CO₂ Äquivalenten ausgestoßen, obwohl diese nur ca. 5% der deutschen Fläche einnehmen (Klimaschutzbericht 2022). 95% der deutschen Moore sind trockengelegt und stoßen so N₂O und CO₂ aus (Nordt et al. 2022). Dies kann nur durch eine Wiedervernässung dieser Gebiete gestoppt werden (GMC 2016,2017,2022, Nordt et al. 2022). Die Bundesregierung will bis 2030 durch eine Wiedervernässung von Hoch- und Niedermoorflächen eine Einsparung von bis zu 5 Millionen Tonnen CO₂ Äquivalent erwirken (BMEL 2022).

Um dieses Ziel zu erreichen, ist schnelles Handeln erforderlich.

Die erfolgreiche Wiedervernässung von Mooren erfordert ein ökonomisch tragfähiges Konzept. Ein Ansatz für ein derartiges Konzept bieten Paludikulturen. Unter Paludikultur versteht man eine torferhaltende Nutzung bzw. Bewirtschaftung von wiedervernässten Hoch- und Niedermoor Standorten (Nordt et al. 2022). Je höher der Wasserstand ist, der auf diesen wiedervernässten Flächen erreicht werden kann, umso größer ist das Einsparungspotential von klimaschädlichen Emissionen wie CO₂ oder N₂O (Nordt et al. 2022). Das oberste Ziel der Paludikultur ist es, zwecks Verhinderung von Emissionen diese Moorflächen so zu bewirtschaften, dass die angebauten pflanzlichen Kulturen einen gütlichen Beitrag zur Torferhaltung sicherstellen.

Ein weiteres Mittel gegen den Anstieg der CO₂ Emissionen ist außerdem der Verzicht auf nicht erneuerbare Energiequellen wie Kohle, Öl oder Erdgas (IPCC, 2023).

Dies kann unter anderem durch Photovoltaik-Systeme (PV-Systeme) gewährleistet werden. Eine spezielle Anwendung von Photovoltaik ist die Kombination mit der Landwirtschaft, die sogenannte Agri-Photovoltaik (APV). Hierbei werden auf bzw. über landwirtschaftlichen Flächen PV-Systeme aufgebaut, auf denen weiterhin Landwirtschaft betrieben wird. Diese Verbindung bietet neben dem ökonomischen Anreiz der Energieproduktion Vorteile für die landwirtschaftlichen Kulturen, zum Beispiel durch den Schutz vor Starkwetterereignissen durch „Überdachung“ und übermäßiger Verdunstung des Bodenwassers bzw. übermäßiger Transpiration. Zudem bietet es Vorteile für den Ausbau von erneuerbaren Energien in Form von Solarpaneelen, ohne mögliche landwirtschaftlich nutzbare Flächen für diese unzugänglich zu machen. (Wydra et al. 2023)

So scheint es nur natürlich, diese beiden Technologien zu verbinden, um eine Wiedervernässung von Moorböden voranzutreiben und einen Beitrag zur Energiewende zu leisten.

Die Bundesregierung bzw. die Bundesnetzagentur hat dies ebenso erkannt und neue Förderrichtlinien für PV-Anlagen auf wiedervernässten Moorböden herausgegeben (Bundesnetzagentur Konsultation 2023). In diesen werden die Bedingungen für die Förderfähigkeit von PV-Systemen zwecks Wiedervernässung von degradierten Moorboden-Standorten

beschrieben. Dies schafft - neben den vielseitig nutzbaren Produkten der Paludikultur - einen weiteren ökonomischen Anreiz für die Wiedervernässung deutscher Moore.

1.1 Problemstellung

Durch die Stellungnahme der Netzagentur im Februar diesen Jahres, bezüglich der Förderung von PV-Systemen auf wiedervernässten Moorböden, ist ein erhöhtes Interesse an Paludikulturen bzw. ihrer Kombinierbarkeit mit APV Systemen aufgekommen (GMC 2023). In den letzten 20 Jahren wurden viele Projekte zur Erforschung dieser beiden Technologien angefertigt. Beide gelten als praxisreif. (Nordt et al. 2022, Wydra et al. 2023)

Aber wie ist der momentane technologische Stand bezogen auf die Kombination von Paludikultur und APV? Es fehlt an einer Übersicht an der sich orientiert werden kann, um mögliche Kombinationen der beiden Technologien zu verwirklichen und herauszufinden, welche spezifischen Varianten eine gute Synergie aufweisen können.

1.2 Zielstellung

Das Ziel dieser Arbeit ist, eine möglichst umfangreiche Übersicht über die verschiedenen technischen Regime in der Paludikultur zu ermöglichen, damit verbundene ökonomische Chancen sowie Probleme und die mögliche Vereinbarkeit mit Agri-Photovoltaik zu untersuchen. Ein weiteres Ziel ist es, einige mit dieser Thematik verbundenen Projekte darzustellen.

1.3 Vorgehensweise

Die Untersuchung erfolgt mithilfe von umfangreicher Literaturrecherche in den Kapitel 2 bis 5. Die Literaturrecherche bezieht sich vor allem auf Veröffentlichungen aus dem Zeitraum von 2016 bis 2023, teils werden aber auch ältere Quellen genutzt. Im darauffolgenden Eigenforschungsteil dieser Arbeit (Kapitel 6) wird ein Experteninterview durchgeführt. Dieses Interview erfolgt durch die Befragung eines Experten und Innovators auf dem Gebiet, Herrn Maximilian Weiland.

Gliederung

Zu Beginn dieser Arbeit wird in Kapitel 2 erklärt, was Paludikultur und APV eigentlich sind. Infolgedessen wird eine Bestandsaufnahme der existierenden Technik im Bereich Paludikultur in Kapitel 3 erstellt. Im Kapitel 3 werden außerdem die zur Bewirtschaftung genutzten Spezialmaschinen und Geräte untersucht, sowie ein Ausblick auf etwaige Innovationen in diesem Bereich gegeben. Im folgenden Kapitel 4 wird untersucht, welche APV-Technologien besonders für Ihren Einsatz im Rahmen der Kombination von Paludikultur und APV geeignet sind. Mit der Untersuchung der betriebswirtschaftlichen Thematik und der mit diesen Technologien verbundenen Wertschöpfungsketten wird sich in Kapitel 5 befasst. Hier erfolgt eine Betrachtung der, mit den jeweiligen Kulturen sowie APV verbundenen, Verwertungskette und ihrer Stellung auf dem deutschen Markt. Danach wird in Kapitel 6 die Methodik bezogen auf die Führung des Interviews mit einem Experten auf dem Gebiet APV erläutert. Im Anschluss werden die Erkenntnisse in Kapitel 7 diskutiert. In Kapitel 7 wird auch das Fazit sowie die damit verbundenen Handlungsempfehlungen gegeben. Außerdem wird vorgestellt, welche spezifischen technischen Regime der Verbindung Paludikultur und APV eine besonders hohe Synergie aufweisen. Abschließend wird in der Zusammenfassung zusammengetragen, welche Chancen, Probleme und etwaige Innovationsmöglichkeiten für diese Technologie bestehen.

2. Forschungsstand Kulturen der Paludikultur

2.1 Definition APV und Paludikultur

Im folgenden Abschnitt werden die Begrifflichkeiten APV und Paludikultur hergeleitet und erklärt.

Definition APV

Agri-Photovoltaik (Agri-PV oder APV) ist ein Verfahren, bei dem Flächen sowohl für die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion als auch für die Stromerzeugung durch Photovoltaik genutzt werden. Es bietet eine Vielzahl von Möglichkeiten, je nachdem, wie intensiv die landwirtschaftliche Nutzung ist und wie viel zusätzlicher Aufwand für den Bau der PV-Anlagen betrieben wird. Diese Bandbreite reicht von speziellen PV-Montagesystemen für den Anbau von Sonderkulturen und intensiven Ackerkulturen, bis hin zur extensiven Beweidung mit nur geringfügigen Anpassungen auf der PV-Seite. Agri-PV trägt dazu bei, die Flächeneffizienz zu steigern und ermöglicht gleichzeitig den Ausbau der PV-Leistung, während fruchtbare Ackerflächen für die Landwirtschaft erhalten bleiben oder artenreiche Biotop geschaffen werden können.

(Vgl.: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/integrierte-photovoltaik/agri-photovoltaik-agri-pv.html>)

Definition Paludikultur

Paludikultur, aus dem Lateinischen „Palus“ für Sumpf bzw. Morast, bezieht sich auf die land- und forstwirtschaftliche Nutzung von feuchten Hoch- und Niedermooren. Ein bekanntes Beispiel dafür ist der Anbau von Schilf zur Gewinnung von Dachreed. Es gibt jedoch auch neue innovative und nachhaltige Nutzungen, wie zum Beispiel die energetische Nutzung von Biomasse aus Niedermooren, die Verwendung von Rohrkolben oder Schilf für die Herstellung neuer Baustoffe, oder die Kultivierung von Torfmoosen als Ersatz für Torf in Gartenbausubstraten. Diese Ansätze können eine effiziente Nutzung der Moore ermöglichen und tragen zu einer erhöhten Nachhaltigkeit in der Land- und Forstwirtschaft bei.

Durch die feuchte Bewirtschaftung von Moorböden werden verschiedene positive Effekte erzielt. Zum einen trägt sie zum Klimaschutz bei, indem sie den CO₂-Ausstoß reduziert oder durch Verdunstungskühlung zur Abkühlung der Region beiträgt. Gleichzeitig bietet sie Alternativen zur Nutzung fossiler Rohstoffe, ohne dabei mit der Nahrungsmittelproduktion um Flächen konkurrieren zu müssen. Daneben stellt die Regeneration von degradierten Moorstandorten durch Neubildung von Torf eine enorme Reduktion von Treibhausgas-Emissionen und damit eines der Hauptziele der Paludikultur dar. Paludikultur fördert zudem die Biodiversität und weitere Ökosystemdienstleistungen von Mooren. Sie eröffnet Perspektiven für die Landwirtschaft und den Tourismus in sonst schwach entwickelten Regionen. Insgesamt bietet die feuchte Bewirtschaftung von Moorböden eine Vielzahl von Vorteilen für Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. (Vgl.: <https://www.moorwissen.de/paludikultur.html>)

2.2 Kulturen der Paludikultur

In der Paludikultur gibt es viele verschiedene Ansätze für die Bewirtschaftung von Moorflächen. Neben der Bewirtschaftung dieser Standorte mittels Pflanzen ist auch eine Bewirtschaftung durch Tiere wie Wasserbüffel möglich (Nordt et al. 2022, GMC 2022). Diese Arbeit entstand allerdings im Rahmen des Bachelorstudiengangs Gärtnerischer Pflanzenbau, daher beschäftigt sich die Arbeit nicht mit der Bewirtschaftung durch Tiere. Weiter hilft die pflanzliche Bewirtschaftung mit im deutschen Moor heimischen Pflanzen dabei, einen Lebensraum für bedrohte Arten zu schaffen. Außerdem wird die Paludikultur der Schwarzerle in diesem Rahmen nicht untersucht da eine Kombination mit APV nicht realisierbar ist.

Im Folgenden werden daher fünf Kulturen der Paludikultur beleuchtet. Dabei handelt es sich um die in der Literatur am häufigsten erwähnten, am besten untersuchten und am wirtschaftlich relevantesten Kulturen. In diesem Teil werden Eckdaten dieser Kulturen zunächst in einer Art Steckbrief zusammengefasst. Dabei wird der Begriff „Wasserstufe“ verwendet, der hier kurz definiert wird:

Definition Wasserstufe

Die Wasserstufe beschreibt den Wasserstand im Moor. Je nach dieser Wasserstufe wird mehr oder weniger CO₂-Äquivalent in die Atmosphäre abgegeben. In der folgenden Abbildung 1 des GMCs wird dies genauer erläutert

Bewirtschaftung		Wasserstand im Moor (Wasserstufe)	Emissionspanne
Torfzehend	stark	Tiefentwässertes Moor; sommerlicher Wasserstand tiefer als 45 cm unter Flur (WS 2+ und trockener)	20-50 t CO ₂ -Äq. ha ⁻¹ a ⁻¹
	schwach	Sommerlicher Wasserstand 10 bis 45 cm unter Flur (WS 3+, 4+)	5-20 t CO ₂ -Äq. ha ⁻¹ a ⁻¹
Torferhaltend		Geringer Grundwasser-Flurabstand, leichte Wasserstandsschwankungen und Überstau möglich; sommerlicher Wasserstand max. 10 cm unter Flur (WS 5+, 6+)	0-5 t CO ₂ -Äq. ha ⁻¹ a ⁻¹




Abbildung 1 Erläuterung Wasserstufe bzw. Torfzehrende und Torferhaltende Wasserstände (GMC 2023)

Nach der kurzen Vorstellung der Kulturen im Steckbrief wird tiefer auf ihre Anbauweise/Kulturführung, Ertrag, der dafür verwendeten Technik und zuletzt auf Ihre Wirkung zur Regeneration von Mooren eingegangen. Zusätzlich werden noch kulturspezifische Probleme hervorgehoben. Die hier untersuchten Kulturen sind Rohrkolben, Rohrglanzgrass, Schilf, Nasswiesen/Seggen und Torfmoos (Sphagum).

Rohrkolben

Unter dem Namen Rohrkolben werden in dieser Arbeit, genauso wie in der Literatur, verschiedene heimische *Typha* Arten zusammengefasst. Beispiele sind der schmalblättrige Rohrkolben (*Typha angustifolia*), breitblättriger Rohrkolben (*Typha latifolia*) und deren Hybrid (*Typha x glauca*) [Vgl PALUDI KULTUR Greifswald, Rohrkolben]. Der Rohrkolben, der aus der Ordnung *Poales*, den Süßgrasartigen stammt, wird und wurde in Europa für viele verschiedene Zwecke genutzt (Siehe

Kapitel 5). Dabei zeichnet sich der Rohrkolben als Kultur vor allem durch sein starkes und schnelles Wachstum aus (GMC 2016 a). Im Folgenden werden einige Eckdaten der Kultur aufgeführt.

Kultur Steckbrief

Box Rohrkolben	
Wasserstand:	0 – 40 cm über Flur (Wasserstufe: 5+/6+)
Etablierung:	Saat oder Pflanzung
Ertrag:	5 – 20 t Trockenmasse je Hektar und Jahr
Ernte:	jährlich; erste Ernte nach 1 – 2 Jahren
Verwertung:	ökologische Baustoffe, Bioenergie
Emissionsminderung:	ca. 18 t CO ₂ -Äq. je Hektar und Jahr (im Vergleich zu nährstoffreichem, entwässerten Niedermoor; ohne Emissionsminderung durch den Ersatz fossiler Rohstoffe)



Abbildung 3 GMC 2016 a Eckdaten Rohrkolben

Abbildung 2 Rohrkolben MsG 2021

Rohrkolben sind mehrjährige Pflanzen, die in kontinuierlichen Anbauflächen wachsen. Die Pflanze verfügt über ein robustes Rhizom, das reich an Stärke ist, sowie steif aufwachsende Blätter, die eine Höhe von 1,5 - 4 m erreichen können (GMC 2016a). In der Regel werden diese im Anbau allerdings selten höher als 2,5 - 3 m. Als Standort eignen sich besonders dem direkten Sonnenlicht ausgesetzte degradierte Niedermoore, die eine hohe Nährstoffverfügbarkeit aufweisen (GMC 2016a, Nordt et al. 2022). Sie können entweder durch Pflanzung und Rhizom-Stecklinge oder durch Aussaat etabliert werden. Auch wenn die jeweiligen Kolben über 100.000 Samen mit einer Keimrate von über 80% enthalten (GMC 2022), wird in der Praxis meist die Pflanzung gewählt. Diese ermöglicht eine sichere und schnelle Etablierung der Kultur, ist jedoch kostspieliger (GMC 2016a).

Auf der genutzten Fläche sollten gleichmäßige Wasserstände gewährleistet werden (Geurts & Fritz 2018). Es ist wichtig, dass die Höhenunterschiede auf der Fläche nicht mehr als 20 cm betragen. Um dies zu erreichen, sollte die Fläche gemäht werden, mit Abtransport des Grasschnitts und folgender Vertikulierung. Diese Fläche sollte dann flach überstaut werden (Wasserstand ca. 5cm). Dies schützt den Torf vor Oxidation und ermöglicht ideale Wachstumsbedingungen für die Rohrkolbenstecklinge (Geurts & Fritz 2018).

Eine Möglichkeit, gleichmäßige Wasserstände zu erreichen, besteht darin, die Fläche in Teilbereiche aufzuteilen, in denen die Wasserstände unabhängig voneinander reguliert werden können. Es ist ratsam, dass diese Teilbereiche eine Größe von weniger als 10 Hektar haben (Geuters & Fritz 2018). Für eine erfolgreiche Aussaat bzw. Bepflanzung sind Wasserstände auf oder knapp über dem Boden optimal. Diese Wasserstände sollten 0-40 cm über Flur betragen (Theuerkorn 2014, GMC 2016a, LM M-V 2017, Geurts & Fritz 2018) (Wasserstufe: 5+/6+). Dies bedeutet, dass diese Kultur bei richtigem Wasserstand torferhaltend wirkt. Die Eigenschaft torfbildend zu wirken, konnte noch nicht nachgewiesen werden, sollte aber bei einer Wasserstufe von 5+/6+ prinzipiell möglich sein (GMC 2016a).

Es wird empfohlen, im Zeitraum von Mai bis Juni die Jungpflanzen bzw. Stecklinge einzupflanzen (LM M-V 2017). Falls Lücken im Bestand auftreten, können vorgezogene Setzlinge verwendet werden, um diese zu füllen. Aufgrund des schnellen vegetativen Wachstums reichen Pflanzdichten

von weniger als zwei Pflanzen pro Quadratmeter aus (GMC 2016a). Die Pflege der Kultur wird durch die hohen Wasserstände vereinfacht, da hierdurch nicht viele Begleitpflanzen auftreten (LM M-V 2017). Die Pflege der Kultur ist nicht in hohem Maße notwendig, da die Kultur eine hohe Dominanz an ihrem Standort aufweist (LM M-V 2017). Die hauptsächliche Pflege muss an den Pumpen der Zu- und Abläufe durchgeführt werden, damit der hohe Wasserstand gewährleistet bleibt.

Es gibt bisher keine langfristigen Erfahrungen mit dem Anbau von Rohrkolben. Es wird jedoch angenommen, dass die Bestände als Dauerkultur für mindestens 10 Jahre genutzt werden können (GMC 2016a). Die Ernte kann bereits im ersten Jahr nach der Etablierung beginnen. Ein voller Ertrag ist jedoch erst ab dem zweiten bis dritten Jahr zu erwarten (GMC 2016a). Pro Jahr kann einmal geerntet werden, je nach Zeitpunkt der Ernte und Nährstoffverfügbarkeit liegt der Ertrag zwischen 4,3 bis 22,1 t Trockenmasse pro Hektar und Jahr. (GMC 2016a).

Die Ernte erfolgt meist spät im Jahr von November bis Januar. Je nach Art der Verwertung erfolgt die Ernte früher oder später im Jahr. Für die Verwendung als Futtermittel sowie für Biogasanlagen sollte die Ernte im Sommer von Juli bis August geschehen.

Durch eine frühe Ernte wird außerdem eine zweite Ernte im Winter ermöglicht (GMC 2016a, Dahms et al. 2017 bzw. GMC 2017). Dies führt jedoch zu einer großen Entnahme von Nährstoffen aus dem Boden bzw. der Pflanze. Die Ernte im Winter sorgt für eine geringere Nährstoffentnahme und ist somit bodenschonender. Die Winterernte wird für die energetische sowie stoffliche Verwertung (zum Beispiel als Dämmmaterial) genutzt (Siehe Kapitel 5).

Geräte und Feldtechnik

Das GMC hat von Juni 2019 bis August 2022 im Rahmen des Projektes Paludi-PRIMA (Neubert et al. 2022) eine Anbaustudie für Rohrkolben durchgeführt. Im Rahmen dieser Studie wurde die Beerntung mit der Seiga und Kleingeräten (Siehe Abbildung 14, 15 und Kapitel 3) durchgeführt. Auch wenn diese Maschinen, wie in Kapitel 3 beschrieben, möglichst wenig Gewicht pro cm² auf den Boden bringen, entstand nach mehrmaligem Befahren eine sichtbare Verdichtung des Bodens, was unter allen Umständen vermieden werden sollte. Die bodenschonendste maschinelle Ernte erfolgt am besten auf gefrorenem Moorboden, da dies die Rhizome, die sich im Boden befinden, schützt (LM M-V 2017).

Regenerationspotenzial Torfschicht/Ökologischer Faktor Torf

Durch die hohen Wasserstände von 0-40 cm über Flur wird die Wasserstufe: 5+/6+ gewährleistet. Dieser Fakt macht die Kultur zumindest torferhaltend. Die Eigenschaft torfbildend zu wirken konnte, wie schon erwähnt, noch nicht nachgewiesen werden, sollte aber bei einer Wasserstufe von 5+/6+ prinzipiell möglich sein. Weiter bilden Rohrkolben artengerechte Lebensräume für viele im Moor heimischen Tierarten von Vögeln über Insekten, Reptilien bis hin zu kleinen Säugetieren (Theuerkorn 2014). Wenn die Ernte dazu noch im Winter erfolgt, ist die Störung der Fauna auf ein Minimum begrenzt, so dass Rohrkolben auch hier eine hohe ökologische Produktivität aufweisen. Da *Typha* stärke- und selenhaltig ist, könnte es einen Ersatz für Grünlandmahd als Nahrungsmittel in der tierischen Landwirtschaft darstellen. Diese Applikation ist jedoch noch nicht vollständig erforscht (Siehe Kapitel 5).

Probleme für die Kultivierung

Da der Rohrkolben noch nicht als landwirtschaftliche Kultur anerkannt ist, ist diese Kultur derzeit nicht komplett förderfähig (Siehe Kapitel 5). Dies muss vom Rechtsgeber nachgebessert werden, damit der Anbau dieser sehr produktiven Kultur attraktiver wird.

Rohrglanzgras

Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) ist genauso wie Rohrkolben aus der Ordnung der süßgrasartigen *Poales*, gehört aber zur Familie der echten Süßgräser *Poaceae*. Diese Kultur wurde bis Mitte des 19. Jahrhunderts als Futtergras für Vieh und speziell für Pferde genutzt (Wichtmann et al. 2016). Sie wird vor allem in Skandinavien zur Energieproduktion auf ca. 20 000 Ha in abgetorften Hochmoorstandorten kultiviert (Dahms et al. 2017). Diese Standorte sind allerdings oft zu trocken und damit torfzehrend. Das Rohrglanzgras ist eine Pflanze, die, ähnlich wie der Rohrkolben, ein starkes widerstandsfähiges Wachstum aufweist. Äußerlich kann es leicht mit Schilf verwechselt werden, ist allerdings nicht so feuchtigkeitsliebend (GMC 2016b). Es bildet eher Dominanzbestände auf wechselfeuchten Standorten. Durch natürliche Sukzession können so auf wiedervernässten Standorten Dominanzbestände gebildet werden. Im Folgenden werden die Eckdaten zusammenfassend beschrieben.

Kultur Steckbrief

Box Rohrglanzgras	
Wasserstand:	0–20 cm unter Flur, im Winter auch Überstau (Wasserstufe: 4+/5+)
Etablierung:	Saat oder natürliche Ausbreitung nach Anhebung der Wasserstände
Ertrag:	4–10 t Trockenmasse je Hektar und Jahr
Ernte:	jährlich ein- bis zweimal
Verwertung:	Energiebiomasse (Brennstoff, Substrat für Biogasanlagen), Futter, Einstreu
Emissionsminderung:	ca. 19 t CO ₂ -Äq. je Hektar und Jahr (im Vergleich zu nährstoffreichem entwässerten Niedermoor, ohne Emissionsminderung durch den Ersatz fossiler Rohstoffe)



Abbildung 4 Rohrglanzgras Sergej Usta'k 2012

Abbildung 5 GMC 2016b Eckdaten Rohrglanzgras

Anbau/ Kulturführung:

Rohrglanzgras erreicht eine Höhe von 0,5-2m und bevorzugt wechsellasse Niedermoorstandorte mit einer guten Sauerstoff- und Nährstoffversorgung. Im Winter sollten die Flächen maximal 2-3 Monate überflutet werden. Diese zyklische Überschwemmung sorgt für eine verbesserte Sauerstoff- und Nährstoffverfügbarkeit. Unter solchen Bedingungen ist Rohrglanzgras besonders konkurrenzstark.

Abgesehen von der winterlichen Überflutung bevorzugt Rohrglanzgras Wasserstände von 0-20 cm unter Flur (Wasserstufe 4+/5+). Bei anhaltenden überstauten Verhältnissen ist diese Kultur nicht konkurrenzstark gegenüber Schilf oder Seggen (BfN 2021). Die Etablierung erfolgt durch das Ausbringen von 15-25 kg Saatgut pro ha (Kaltschmitt et al. 2009) bei einem Reihenabstand von 12,5 cm in 1-2 cm Tiefe (Kaltschmitt et al. 2009). Es ist von großer Bedeutung, dass die Flächen dabei nicht überflutet sind. Durch Sukzession können nach der Wiedervernässung auch spontan Dominanzbestände entstehen (GMC 2016 b).

Die Tatsache, dass Rohrglanzgras keine andauernde Überschwemmung bzw. nur einen Wasserstand von 0-20cm toleriert, sorgt dafür, dass diese Kultur bestenfalls torferhaltend ist, aber nicht bei der Regenerierung von Torfflächen helfen kann. Bei anhaltender Überschwemmung wird Rohrglanzgras durch Schilf, Sauergräser oder den Wasserschaden in der Sukzession ersetzt (Oehmke & Abel 2016 in Wichtmann et al. 2016). Wenn eine andauernde Überschwemmung vermieden werden kann, ist Rohrglanzgras eine ausdauernde Kultur (Oehmke & Abel 2016 in Wichtmann et al. 2016), die für beste Ernteergebnisse einmal pro Jahr beerntet werden kann, auch wenn sich der volle Ertrag erst nach bis zu 3 Jahren einstellt. Für den bestmöglichen Ertrag ist eine regelmäßige Pflege der Kultur durch Verwendung von Walzen und Schleppen (Narbenpflege) notwendig, da dies die dichte der Grasnarbe erhöht (Oehmke & Abel 2016 in Wichtmann et al. 2016).

Bei der Ernte sollte darauf geachtet werden, dass die Schnitthöhe mindestens 10 cm über dem Rhizom liegt (Wichmann & Wichtmann 2009). Auch sollte die Kultur, wie bereits erwähnt, nur einmal im Jahr geerntet werden, da die Kultur druckempfindlich ist und häufiges Befahren einen negativen Einfluss auf ihr Wachstum hat. Je nach Art der Verwendung der Kultur wird auch hier entweder im Sommer oder Winter geerntet. Bei der Ernte im Sommer sind die Erträge mit 5-10 t TM pro ha (Timmermann 2009 in Wichtmann, Schröder, Joosten 2016) größer als die Erträge im Winter 4,4-7,7t TM pro ha (Dahms et al. 2017).

Die Sommerernte von Juli bis August vor dem Rispenaustritt kann aufgrund des hohen Energiegehalts des Rohrglanzgrases von 4,5-7,1 MJ NEL pro kg (BfN 2021) hervorragend als Futtergras genutzt werden. Eine weitere Nutzungsmöglichkeit der Sommerernte hier im Juni bzw. Juli (möglichst früh) ist die Verwendung als Co-Substrat in der Biogasanlage. Umso früher hier geerntet wird, desto höher ist der Wasser und Nährstoffgehalt und damit die aus Rohrglanzgras gewonnene Gasausbeute (GMC 2022). Zur Verwendung als Brennstoff eignet sich besonders die Winterernte, da neben der Abnahme des Wassergehaltes auch Inhaltsstoffe wie Schwefel (S), Stickstoff (N) und Chlor (Cl) abnehmen, die bei der Verbrennung ungewünschte Nebenprodukte erzeugen können (Dahms et al. 2017). Ein weiterer Vorteil der Ernte im Winter ist die bessere Befahrbarkeit der Flächen. Der Anbau von Rohrglanz ist förderfähig und wird zusätzlich auch durch das GAP oder EFRE vergütet.

Geräte und Feldtechnik

Die Beerntung erfolgt mit Seiga, kann aber auch mit konventionellen Erntemaschinen durchgeführt werden. Diese Maschinen, die auch in Kapitel 3 beschrieben sind, bringen möglichst wenig Gewicht pro cm² auf den Boden.

Regenerationspotenzial Torfschicht/Ökologischer Faktor Torf

Durch den niedrigen Wasserstand wird nur eine Wasserstufe von 4+/5+ erhalten. Dies wäre torferhaltend. Es zeigt sich aber in der Praxis, dass viele der bewirtschafteten Flächen zu trocken sind, um dies zu gewährleisten (siehe Definition Wasserstand). Rohrglanzgras hat als heimische Art einen hohen ökologischen Wert als Lebensraum (BfN 2021). Bei einer Ernte im Winter wird die Bedeutung dieses Faktors sogar noch erhöht.

Probleme für die Kultivierung

Bei der Winterernte besteht das Risiko, dass die Bestände flach liegen, was die Ernte erheblich erschwert.

Schilf

Schilf bzw. Schilfrohr (*Phragmites australis*) gehört innerhalb der Ordnung der süßgrasartigen *Poales* zur Familie der echten Süßgräser *Poaceae*. Die Kultur hat aufgrund ihrer baustofflichen Eigenschaften eine lange Geschichte. Von der Steinzeit ca. 4000 vor Christus an bis heute werden Gebäude im Norden Europas bis in den Fernen Osten mit dieser Kultur überdacht (Firma Hiss Reet 2023). Die Kultur ist weltweit verbreitet und hat viele verschiedene Genotypen mit einer großen genetischen Variabilität. In Europa sind die meisten Arten diploid oder tri- bzw. tetraploid, wohingegen sie in Asien sowie in Nordamerika meist eine höhere Plodie, bis hin zu oktaploid aufweisen (Haslam 2010 in Wichtmann et al. 2016). Dies führt innerhalb der Art zu einem sehr unterschiedlichen Aussehen und verschiedenen Bezeichnungen, wie zum Beispiel „Chinaschilf“ (*Miscanthus*) für die aus China stammenden Genotypen. Die Kultur ist torfbildend und stellt deshalb eine große Chance für die Paludikultur dar.

Kultur Steckbrief

Box Schilf	
Wasserstand:	0 – 20 (40) cm über Flur (Wasserstufe: 5+/6+)
Etablierung:	Pflanzung, Rhizomstecklinge oder Leghalme
Ertrag:	5 – 20 t Trockenmasse je Hektar und Jahr
Ernte:	jährlich, erste Ernte nach 1–2 (3) Jahren
Verwertung:	ökologische Baustoffe, Bioenergie
Emissionsminderung:	ca. 18 t CO ₂ -Äq. je Hektar und Jahr (im Vergleich zu nährstoffreichem, entwässerten Niedermoor; ohne Emissionsminderung durch den Ersatz fossiler Rohstoffe)



Abbildung 7 GMC 2016c Eckdaten Schilf

Abbildung 6 Schilf Delver koog 2007

Anbau/ Kulturführung:

Schilf kann je nach Nährstoffverfügbarkeit und Art eine Wuchshöhe von 2-3,5 bis 4 Metern erreichen (GMC 2016 c, LM M-V 2017). Die Kultur bildet, ähnlich wie Rohrkolben, einen unterirdischen Wurzelstock, das sogenannte Rhizom, aus, in dem die Pflanze Nährstoffe speichert (GMC 2016 c). Dies macht Schilf sehr konkurrenzfähig und dominant auf ihrem Standort (GMC 2016 c). Außer Seggen hat die Kultur nur wenige Begleitpflanzen. Schilf hat ein optimales Wachstum auf degradierten, wiedervernässten Niedermoorstandorten, die eine gute Nährstoffversorgung bereitstellen (GMC 2016 c).

Der Wasserstand sollte 0-20 bis zu 40 cm über Flur betragen (Wasserstufe 5+/6+). Die Kultur gedeiht bei ganzjähriger Überflutung und ist dabei besonders standortdominant (Tschoeltsch 2008 in Wichtmann et al. 2016). Ein pH-Wert über 4 sollte genauso wie eine gute Stickstoffversorgung gewährleistet werden. Ein Überangebot von Ammonium hingegen, genauso wie organische Säuren (also generelle organische Abbauprodukte) kann jedoch das Wachstum hemmen (Geurts & Fritz 2018).

Vor der Etablierung sollte die Fläche gemäht und vertikuliert werden. Infolgedessen kann die Bepflanzung entweder über Samen, Setzlinge und Halm- oder Rhizom Stecklinge erfolgen. In der Regel erfolgt die Bepflanzung mit Jungpflanzen, die im vorherigen Winter aus Samen einer nahe dem Standort entnommenen Population herangezogen wurden (Tschoeltsch 2008 in Wichtmann et al. 2016). In den ersten beiden Jahren dieser Kultur sollte darauf geachtet werden, dass eine Überstauung von mehr als 5cm vermieden wird, da die Kultur erst die bereits erwähnten Rhizombestände ausbilden muss (GMC 2016 c). Für eine Direktaussaat muss der Standort im Frühjahr vegetationsfrei gemacht werden, mit Wasserständen auf Flurhöhe. Aufgrund eines langsameren Wachstums und der Empfindlichkeit der Samen gegenüber Umweltfaktoren wie Trockenheit und Überflutung, ist dies allerdings nicht zu empfehlen (BfN 2021, Wichtmann et al. 2016). Weiter sollte, um einen Schaden an der Kultur zu vermeiden, die Schnitthöhe auf mindestens 30 cm über der Flur bzw. 10cm über dem Wasserstand gesetzt werden (GMC 2016 c). Niedrigere Schnitthöhen können zum Faulen und damit zum Absterben der Pflanze führen. Wenn der Schilfbestand einmal etabliert ist, ist Schilf eine sehr langlebige und ausdauernde Kultur, die als Dauerkultur bewirtschaftet werden kann (GMC 2016 c). Die erste Ernte kann nach 2-3 Jahren erfolgen und danach jährlich (GMC 2016 c). Eine wirkliche Pflege der Kultur ist, abgesehen von der regelmäßigen Überprüfung der Pumpen, sowie der Ab- und Zuläufe, nicht notwendig.

Die Ernte ist in § 39 (5) des Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) geregelt und wird nur mit speziellen Genehmigungen im Winter zwischen Januar bis Mitte März durchgeführt (BfN 2021). Die Ernte im Winter ist ideal für die stoffliche und energetische Nutzung des Schilfs, da der Wasser- und Nährstoffgehalt zum Winter hin sinkt (LM M-V 2017). Dies ist von Vorteil, weil dadurch die Lagerfähigkeit sowie der Brennwert erhöht werden. Außerdem sorgt eine Ernte auf gefrorenem Boden im Winter für einen geringeren Schaden am Boden bzw. eine geringere Verdichtung des Bodens.

Hier ist allerdings auch zu beachten, dass, wie bei den schon oben beschriebenen Kulturen, der Erntezeitpunkt für eine etwaige Verwertung einen großen Unterschied macht. Auch hier ist eine Ernte im Sommer vor allem für die Verwertung in Biogasanlagen sinnvoll (Siehe Kapitel 5). Durch eine Sommerernte alle 3-5 Jahre verliert das Schilf zwar an Dominanz am Standort, aber durch die Sukzession durch andere Arten wird die Biodiversität gefördert (BfN 2021). Eine Beerntung im Sommer entzieht allerdings viele Nährstoffe, die, wenn sie nicht ersetzt werden, zu einem Rückgang der Produktivität des Schilfes am Standort und eine Sukzession durch Beipflanzen führen (Schröder et al. 2015). Je nach Zeitpunkt der Ernte kann der Ertrag für eine Ernte im Sommer 6,5-23,8 t Tm pro ha (BfN 2021) oder im Winter 3,6-15t Tm pro ha (Dahms et al. 2017) betragen.

Geräte und Feldtechnik

Prinzipiell kann die Ernte mit Maschinen wie Seiga durchgeführt werden, bedingt durch die hier möglichen sehr hohen Wasserstände kann sich dies allerdings schwieriger gestalten als bei anderen hier erwähnten Kulturen. Es wird teils Spezialtechnik genutzt, die noch experimentell und nicht in Serie produziert ist. Ein gutes Beispiel ist die in Abbildung 15 c & d dargestellte Spezialmaschine Softrak der Firma Loglogic.

Regenerationspotenzial Torfschicht/Ökologischer Faktor Torf

Dadurch, dass Schilf bei Wasserständen von bis zu 40cm über Flur ein gutes Wachstum aufweist, bietet sich auch eine Kulturführung mit einer Wasserstufe von 6+ an. Bei einer ganzjährigen Überflutung sind Schilfkulturen so torfbildend. Die Kultur kann bei fortgeschrittenem Wachstum sogar Wasserstände bis 140 cm im Sommer und 150 cm im Winter akzeptieren (BfN 2021). Schilf ist

als heimische Kultur bei schonender Bewirtschaftung, sowie Beerntung im Winter, auch Lebensraum für bedrohte und gefährdete Arten wie zum Beispiel den Vogel die Rohrdommel (BfN 2021). Die Schilfkultur hat deshalb einen sehr hohen ökologischen Nutzen.

Probleme für die Kultivierung

Ein großes Problem bei der Kultivierung ist neben den verwendeten Spezialmaschinen die rechtliche Lage. Im BNatschG ist die Rechtsprechung nicht an die Realität von wiedervernässten Standorten angepasst, auf denen Paludikultur betrieben werden kann. Wenn auf solchen Standorten spontan Schilf wächst, ist dies eher Fluch als Segen (BfN 2021). Für diese Standorte müsste eine Änderung im Gesetz erfolgen, damit Landwirten eine bessere Planungssicherheit gegeben werden kann.

Nasswiesen / Seggen

Seggen ist eine zur Ordnung der süßgrasartigen *Poales* gehörende und zur Familie der Sauergrasgewächse zählende Kultur, die mit vielen verschiedenen Arten in Europa heimisch ist. Historisch wurde Seggen sowie andere Biomasse von Nasswiesen als Futterpflanzen für Vieh verwendet. Diese Verwendungsform hat bis heute Bestand, wobei ihr Einsatz als möglicher biologischer Energieträger an Bedeutung gewinnt (Dams et al. 2017). Ähnlich wie die vorhergegangenen Kulturen sind Seggen auf Nasswiesen standortdominant. Diese weit verbreitete Pflanze hat über 2200 Arten weltweit. In Deutschland allein gibt es über 100 verschiedene Arten, die grob durch die Anzahl ihrer Ähren voneinander unterschieden werden. Durch ihr schnelles dominantes Wachstum und die große Artenvielfalt könnte sie als Nasswiesenkultur eine gute zukünftige Paludikultur darstellen (Dams et al. 2017). Der Anbau von Großseggen mit Arten wie die Sumpf-Segge (*Carex acutiformis*), Ufer-Segge (*Carex riparia*) oder Schlank-Segge (*Carex acuta*) ist durch die hohe Produktivität der Arten geeignet (Dahms et al. 2017).

Kultur Steckbrief

Box Nasswiesen	
Wasserstand:	im Sommer 0 – 20 cm unter Flur, im Winter Überstau (Wasserstufe: 4+/5+)
Etablierung:	meist durch natürliche Änderung der Artenzusammensetzung nach Anhebung der Wasserstände; Ansaat auch möglich
Ertrag:	2–12 t Trockenmasse je Hektar und Jahr
Ernte:	jährlich, 1–2 Schnitte
Verwertung:	Energiebiomasse (Brennstoff, Substrat für Biogasanlagen), Futter, Einstreu
Emissionsminderung:	ca. 18 t CO ₂ -Äq. je Hektar und Jahr (im Vergleich zu nährstoffreichem entwässerten Niedermoor; ohne Emissionsminderung durch den Ersatz fossiler Rohstoffe)



Abbildung 9 GMC 2016d Eckdaten Nasswiesen

Abbildung 8 links Blaugrüne Segge, rechts Nasswiese eiszeitlandschaften

Anbau/ Kulturführung:

Als Standort eignen sich besonders ehemals intensiv bewirtschaftete Grünlandflächen mit guter Nährstoffversorgung (GMC 2016 d). Weiter eignen sich Brachen und zuvor ackerbaulich genutzte Moorstandorte besonders gut für die Nutzung von sehr feuchten und nassen Großseggenrieden. Ein stabiler Wasserstand ist essenziell.

Dieser sollte im Sommer einen Wasserstand von nicht weniger als 10-20 cm unter Flur und im Winter 5-15cm unter Flur gewährleisten (Wasserstufe 4+). Sind diese Bedingungen erfüllt, bietet dies optimale Wachstumsbedingungen für hochproduktive Nasswiesen, die dann hauptsächlich von Großseggen dominiert werden (BfN 2021). Bei einem Wasserstand von im Sommer -10 bis 0 cm über Flur und im Winter -5 bis 15 cm über Flur sichern diese dann nicht nur die Torfschicht, sondern können möglicherweise auch zu ihrer Regeneration beitragen. Wobei dies sehr von der Schwankung des Wasserstands abhängt und bei höheren Wasserständen, Seggen durch andere Arten ersetzt werden (BfN 2021).

Für die Etablierung muss nach der Wiedervernässung in der Regel nicht viel getan werden, außer einer guten Kontrolle des Wasserstandes. Da Seggen an die sauerstoffarmen Moorböden angepasst sind und sich sehr schnell ausbreiten, etabliert sich über Sukzession meist nach ca. 3 Jahren eine stabile Nasswiese (GMC 2016 d). Eine Etablierung durch Pflanzung oder Aussaat wurde bisher nicht in der Praxis bzw. im Rahmen eines Projekts getestet (LM M-V 2017). Nach Etablierung kann der Standort als Dauerkultur bewirtschaftet werden, wobei der Zeitpunkt der Ernte ein bis zu 2 mal pro Jahr, sowie die Wartezeit zwischen den Ernten einen Einfluss auf den Ertrag bzw. die Vitalität der Nasswiese hat (LM M-V 2017). Für eine Maximierung der Produktivität sollte der Überstau im Sommer möglichst geringgehalten werden.

Die Ernte kann, je nach Art der Verwendung, bis zu zweimal im Jahr im Sommer oder Winter durchgeführt werden. Die Sommerernte gibt wegen ihres hohen Kieselsäuregehalts besonders gutes Pferdefutter ab (GMC 2022). Weiter werden früh im Sommer geerntete Seggenschnitte in der Biogasanlage genutzt, wohingegen die Winterernte aufgrund ihres geringeren Wassergehalts zu Pellets verarbeitet als Energieträger verwendet wird (Dams et al. 2017).

Der Ertrag beträgt für die Sommerernte bis zu 12 t TM pro ha (GMC 2016 d). Für die Winterernte wurden Erträge von 7t TM pro ha angegeben (Wichtmann et al. 2014 in BfN 2021).

Geräte und Feldtechnik

Je nach Grad der Vernässung kann die Befahrung bzw. Ernte mit herkömmlichen Maschinen erfolgen. Bei höheren Wasserständen sind dann Maschinen mit Zwillingsreifen, Ketten oder Breitreifen wie der Seiga zu bevorzugen. Da die Landwirtschaft schon erfahren bezüglich dieser Kultur im Bereich außerhalb der Paludikultur ist, gibt es schon viele Erntemaschinen, die für eine hohe Produktion und Anwendung geeignet sind.

Regenerationspotenzial Torfschicht/Ökologischer Faktor Torf

Aufgrund des geringen Wasserstands und nur einer Wasserstufe von 4+/5+ ist die Kultur im Sinne der Torfregenerierung wenig vielversprechend. Allerdings bieten Nasswiesen vor allem bei nur einmaliger Beerntung im Sommer oder sogar im Winter einen guten Lebensraum für viele heimische Tier- und Pflanzenarten. Diese Beipflanzen können sich meist ohne wirklichen Dominanzverlust der Segge zwischen ihnen ansiedeln, was die Biodiversität des Standortes erhöht (BfN 2021).

Probleme für die Kultivierung

Durch die hohen Kosten der Bewirtschaftung von wiedervernässten Moorstandorten haben Seggen von Nasswiesen aus der Paludikultur einen wirtschaftlichen Nachteil gegenüber Nasswiesenmahd aus dem konventionellen Anbau.

Torfmoos

Torfmoos (*Sphagnum spp.*) ist eine natürlich besonders in Hochmooren, aber auch in sauren Niedermooren vorkommende Pflanze. Die Bezeichnung Torfmoos beschreibt meist viele verschiedene Arten. Im Zusammenhang mit dieser Arbeit werden besonders *Sphagnum papillosum* sowie *Sphagnum palustre* untersucht, da diese Forschungsgegenstand von vielen Kultivierungsversuchen in ganz Deutschland sind. Für die Paludikultur sind diese Pflanzen besonders interessant, da sie einen Ersatz zu umweltschädlichem Torf und Torfabbau im Allgemeinen bilden können. Wie im folgenden Kapitel 5 besonders hervorgehoben, hat Torfmoos als Beimischung zu Substraten sehr ähnliche bzw. gleiche Stoffeigenschaft wie Weißtorf. Das Potential für den Torfmoosanbau ist sehr groß. Allein in Niedersachsen gibt es über 100.000 ha Hochmoorgrünland, das sich für eine Torfmooskultivierung eignen würde (Graf et al. 2017). Noch wird die Kultur nur in kleinem Maße auf Testflächen angebaut (Verbundprojekt MOOSWEIT 2018), allerdings ist Torfmoos aufgrund der Möglichkeiten zur Torferhaltung eine sehr vielversprechende Kultur im Sinne der Paludikultur.

Kultur Steckbrief

Box Torfmoos	
Wasserstand:	2–10 cm unter Torfmoosoberfläche
Etablierung:	Ausbringen von Torfmoosfragmenten, Etablierungsdauer: 1,5–3 Jahre
Ertrag:	2–8 t Trockenmasse je Hektar und Jahr
Ernte:	alle 3–5 Jahre
Verwertung:	Rohstoff für gartenbauliche Substrate u.v.m.
Emissionsminderung:	15–25 t CO ₂ -Äq. je Hektar und Jahr (im Vergleich zum entwässerten Hochmoorgrünland; ohne Emissionsminderung durch Torfersatz)



Abbildung 11 GMC 2016e Eckdaten Torfmoos

Abbildung 10 Torfmoos Gifhorn e.V

Anbau/ Kulturführung:

Als Standort bevorzugen Torfmoose, im Gegensatz zu den vorherigen in diesem Kapitel erwähnten Kulturen, degradierte, wiedervernässte Hochmoorflächen (GMC 2016e). Diese Flächen wurden oft vor Ihrer Vernässung zum Torfabbau oder als Hochmoorgrünland genutzt. Die Pflanzen sind je nach Art bis zu 20cm hoch und bilden zusammen mit moortypischen Arten einen von Sphagnum dominierten Nassrasen. Auf, nach Ende des Torf Abbaus überfluteten, Flächen können Torfmoose in Form von Schwimmmatten ebenso gedeihen (Wichtmann et al. 2016).

Die Kultur benötigt einen Wasserstand wenige Zentimeter (2-10 cm) unter der Mooroberfläche (Wasserstufe 5+) (Wichtmann2016). Für die Gewährleistung dieses Wasserstands gibt es verschiedene Verfahren. Eine dieser Methoden wurden seit 2011 in einer Projektfläche im Hankhauser Moor erprobt (Verbundprojekt MOOSWEIT 2018). Hierfür wurden in einem Abstand von 10 m Bewässerungsgräben ausgehoben. In Kombination mit einer Pumpe kann so der korrekte Wasserstand gewährleistet werden und überschüssiges Wasser abgepumpt, sowie bei geringem

Wasserstand herangeschafft werden. Hierfür wird jedoch auch hervorgehoben, dass die Abstände der Gräben abhängig von der Wasserdurchlässigkeit der unterliegenden Schichten sind (Verbundprojekt MOOSWEIT 2018).

Zur Etablierung der Kultur wird die teils stark degradierte Oberbodenschicht abgetragen und der Abhub zur Erstellung von Dämmen verwendet (Wichmann et al. 2017). Für die Saat werden von einer mit Torfmoos etablierten Spenderfläche zerkleinerte Torfmoos-Pflanzen ausgebracht und mit Stroh überdeckt (Wichmann et al. 2016). Eine Produktion von besonders produktiven Samen oder Stecklingen ist noch in Arbeit und wird im Rahmen des MOOSzucht Projekts des Greifswalder Moorzentrums durchgeführt. Die mit Stroh überdeckte Torfmooschicht kann, je nach Anbau verfahren, noch mit Hilfe einer Walze angedrückt werden, wobei der Nutzen dessen noch nicht eindeutig bewiesen wurde (Wichmann et al. 2017). Hingegen ist bewiesen, dass eine Komprimierung des Bodens generell eher negative Auswirkungen auf die Bodenvitalität sowie das Wachstum von Pflanzen hat (Wichmann et al. 2017). Nach etwa 1,5 Jahren hat dieser Rasen dann eine Torfmoosbedeckung von 95% erreicht und eine erste Ernte der Biomasse ist nach 3-4 Jahren möglich (Verbundprojekt MOOSWEIT 2018, Wichmann et al. 2017). Um hier eine Dominanz von größeren moorheimischen Arten durch Sukzession zu vermeiden, sind Pflegemaßnahmen wie eine regelmäßige Mahd von großer Bedeutung. Bei guter Pflege wird vermutet, dass die Kultur als Dauerkultur bis zu 30 Jahre bewirtschaftet werden kann (LM M-V 2017).

Die Ernte kann alle 3-5 Jahre ganzjährig erfolgen und sieht die Entfernung der oberen Torfmooschicht vor. Diese wird so entfernt, dass noch eine genügend dicke Torfmooschicht mit Torfmoosstängeln zurückbleibt, um eine Regeneration der Mooschicht zu gewährleisten (Verbundprojekt MOOSWEIT 2018). Der Ertrag beträgt pro Jahr ca. 3 bis 6 t TM pro ha also nach 3 Jahren 9 bis 18 t TM pro ha (Wichmann et al. 2017).

Geräte und Feldtechnik

Zur Ernte wird ein Bagger mit Mähkorb Abbildung 16 & 17 genutzt dieser fährt auf einem Fahrdamm, um eine direkte Befahrung der Kulturfläche zu vermeiden. Die Wasserpumpen könnten bei Kombination mit APV durch Solarstrom vor Ort betrieben werden.

Regenerationspotenzial Torfschicht/Ökologischer Faktor Torf

Wasserstände von 2-10 cm unter Flur sind bei einer Wasserstufe von 5+ eher torferhaltend als regenerierend. Dies ist allerdings keine Problematik für die sehr positive ökologische Bilanz bezüglich der möglichen Ersetzung von Weißtorfabbau. Unabhängig davon bieten die wiedervernässten und mit Torfmoos bepflanzten Flächen einen hervorragenden Lebensraum für viele bedrohte Arten. Beispiele reichen von Spinnen und Insekten bis hin zu Vögeln und Reptilien (Graf et al. 2017).

Probleme für die Kultivierung

Die noch experimentelle, noch nicht ganz serienreife Kultivierung von Torfmoos, stellt noch ein Problem dar. Auch die lange Wartezeit zwischen den Ernten ist als problematisch anzusehen. Das größte Problem ist jedoch, wie viel billiger umweltschädlicher Weißtorf im Vergleich zu ökologisch verträglichem Torfmoos ist. Dies muss sich ändern, damit die großflächige Kultivierung von Torfmoos eine Zukunft hat.

3. Forschungsstand Maschinen und Technik

Im Folgenden werden die verschiedenen technischen und maschinellen Regime, die zur Bestellung von Paludikulturen verwendet werden, untersucht. Die Techniken, die die Wiedervernässung der Standorte selbst betreffen bzw. die Wasserstände kontrollieren sind jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit, da dies ein sehr komplexes Thema ist und den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Wichtig ist in diesem Kontext nur zu wissen, dass für eine Wiedervernässung Drainage und wasserabführende Maßnahmen unterbrochen werden müssen, um eine Wiedervernässung der Standorte einzuleiten.

3.1 Moorboden: Problem für Maschinen und Technik

Die Bewirtschaftung von wiedervernässten Moorböden stellt die Erntetechnik vor besondere Herausforderungen. Die weichen Böden weisen eine geringe Tragfähigkeit und niedrigen Einbringungswiderstand auf. Im Folgenden werden einige wichtige Begriffe erklärt:

Scherfestigkeit / Scherkraft

Die Scherkraft ist die Kraft, die den Widerstand angibt, den ein Körper bzw. Boden auf den auf ihn einwirkenden Kräften entgegenbringt (Kraschinski 2001 in Wichtmann et al. 2016). Diese Kräfte können mit Hilfe eines sogenannten Scherflügels angezeigt werden. Die maximale Scherfestigkeit wird durch ein Überdrehen des Scherflügels angezeigt. In der Praxis heißt dies, dass durch eine zu hohe Belastung der Bodenfläche durch zu hohen Druck bzw. Gewicht der Zusammenhalt der Bodenstruktur überschritten wird und es zu einem Zusammenbruch - also einer Komprimierung dieser Struktur - kommt. Dies wird allgemein auch als Bodenverdichtung bezeichnet. Eine enge Vernetzung von Wurzeln, also eine gesunde Grasnarbe, erhöht durch ihren starken Zusammenhalt die Scherfestigkeit. Dieser Wert gibt Auskunft über die Belastbarkeit des Bodens bzw. seiner Oberfläche (Wiedow et al. 2016 in Wichtmann et al. 2016).

(Vgl. Wichtmann et al. 2016)

Eindringungswiderstand

Als Eindringungswiderstand wird der Widerstand bezeichnet, den der Boden gegen eine Belastung entgegenbringt (Krahmer 1997 in Wichtmann et al. 2016). Dieser Widerstand hängt von bodenphysikalischen Eigenschaften ab, wie der Dichte der Lagerung, dem Wassergehalt, der Verteilung der Porengrößen und der Struktur der organischen Substanz (Horn 1984, Dürr et al. 1995 in Wichtmann et al. 2016). Zur Bestimmung dieses Faktors wird ein Penetrometer benutzt, da seine gleichmäßige Applikation von Druck auf den Boden bis zum Eindringen ausübt. Dieser Wert gibt Auskunft über die Festigkeit des Bodens bzw. des Untergrundes (Wiedow et al. 2016 in Wichtmann et al. 2016) (Vgl. Wichtmann et al. 2016 S.59)

Eine Kombination der beiden Faktoren gibt dann Auskunft über die maximale Menge an Gewicht bzw. des Drucks, der auf eine Fläche einwirken kann, bevor diese durch Einbrechen unter die Oberfläche beschädigt wird. (BfN 2021)

Um die Scherkraft und den Eindringungswiderstand der bewirtschafteten Flächen zu erhöhen, ist vor allem bei der Bewirtschaftung von einigen Kulturen (z. Bsp. Nasswiesen) der Paludikultur eine gute Narbenpflege essenziell. Narbenpflege umfasst die Vermeidung von Beschädigung sich noch in der Etablierung befindlicher Kulturen durch zu hohes aufbringen von Gewicht und die damit einhergehende Beschädigung von Wurzelfilz (Verdichtung und Verbindung der Wurzeln von

Kulturen) (GMC 2022). Umso dichter diese Vernetzung (Durchwurzelung) in den ersten 10 cm ist, desto höher ist der Eindringungswiderstand und somit verringert sich auch das Potenzial einer Beschädigung der Fläche (Schmidt 1995 in Wichtmann et al. 2016). Die Tragfähigkeit ist auf wiedervernässten Flächen aufgrund der Änderung des Bodengefüges besonders gering (Wichtmann et al. 2016). Bei Etablierung von Paludikulturen steigt diese wieder an. Die Tragfähigkeit wird auch von der Art der etablierten Kultur beeinflusst. Sie ist bei Nass- bzw. Flutrasen am geringsten, Rohrglanzgras und Schilfgras bilden eine mittlere Verbesserung, wohingegen Seggen Ried die größte Erhöhung der Tragfähigkeit herbeiführt (Kraschinski 2001 in Wichtmann et al. 2016, Brux et al. 2006).

Auch die die Beerntungsform der Kulturen kann hier Probleme verursachen. Die Ernte von nassen bzw. frischen Kulturen für Biogas, Tierfutter usw. bringt ein zusätzlich hohes Gewicht in Kombination mit den Erntegeräten auf den Boden, sodass diese eine verringerte Kapazität für diese Erntegüter haben (Dahms et al. 2017). Bei der Ernte von trockenen Kulturen wie bei der Beerntung im Winter, von zum Beispiel Schilf, ist dies weniger problematisch. So müssen neben der Anpassung der Erntemaschinen mehr innovative Modelle für möglichst effiziente Einbringung von frischer bzw. nasser Ernte entwickelt werden. Dies ist unabdinglich, um eine Beschädigung der Fläche durch häufiges Befahren, wie in Beispiel Abbildung 12 gezeigt, zu vermeiden.



Abbildung 12 Entstehen von Fahrspuren nach nur einmaliger Befahrung einer Rohrkolben Anbaufläche des Projekts Paludi-PRIMA (Neubert 2022)

3.2 Flächenbearbeitung und Maschinen-Beispiele

Durch die oben ausgeführte Problematik ist es wichtig, dass auf die Fläche des Moorbodens eine möglichst geringe Gewichtsmenge pro Fläche einwirkt. Um dies zu gewährleisten, gibt es zwei Ansätze:

1. Die Verringerung des Gesamtgewichtes: eine Applikation von sehr leichten Maschinen, die durch ihr geringes Gewicht mit wenig Druck auf den Boden einwirken, und so auch ein geringeres Schadpotenzial aufweisen. Diese Maschinen werden allgemein als Kleintechnik bezeichnet und umfassen handgeführte Technik, Einachstraktoren und Kleintraktoren (Siehe Abbildung auf Seite 17).



Abbildung 13 a

(Wichtmann et al. 2016)

Ein Kleintraktor mit Doppelreifen und Balkenmäher bei der Mahd



Abbildung 13 b

(Wattmanufactur 2023)

Sickle bar mower der Firma Motormäher GmbH mit Ballenpresse im Einsatz im Solarpark Lottorf.



Abbildung 13 c

(EcoInnovation Kongress 2019)

Im Vordergrund Sickle bar mower

Im Hintergrund BERKY NEREUS 240 AMPHI ein Amphibisches Mähboot der Firma BERKY das auch nasse Standorte befahren kann.

2. Die Vergrößerung der Auflagefläche: Es müssen Fahrunterlagen gewählt werden, die das Gewicht der Maschinen auf den Flächen möglichst groß verteilen. Hierfür wird in der Praxis eine große Bandbreite von verschiedenen Ansätzen gewählt. Diese umfassen unter anderem Doppelbereifung, Deltalaufwerke, Ballonreifen sowie Ketten (Beispiele folgende Abbildungen). Je nach Wahl dieser Anpassung unterscheiden sich die Fahrzeuge bzw. Maschinen selbst stark voneinander.



Abbildung 14 a (truck 1.1e)

Doppelbereifung bietet den Vorteil, dass diese einfach an schon bestehende Traktoren angebracht werden können. Dies macht die Anschaffung sowie Wartung günstiger, da es sich nicht um Spezialanfertigungen handelt.



Abbildung 14 b

(Wichtmann et al. 2016 Paludikultur)

Auch bei Deltalaufwerken bietet die Etablierung und Serienanfertigung dieser Technologie viele Vorteile bezüglich dem Punkt Kosten und der Einfachheit der Umsetzung.



Abbildung 14 c (Hiss Reet)

Eine Saiga Ernte Maschine mit Ballonreifen (in Abbildung 20 besser zu erkennen) ist ein etabliertes Erntesystem aus der Riet- sowie Schilfernte. Durch das geringe Gewicht und hohe Verteilung der Auflagefläche, bietet es sich ideal als Erntemaschine an, vor allem auf sehr nassen Standorten mit hohen Flurständen.



Abbildung 15 a

(Wichtmann et al. 2016
Paludikultur)

Eine bessere Betrachtung der Seiga. Die originalen dänischen Seiga-Maschinen werden nicht mehr produziert. Es gibt allerdings polnische sowie ukrainische Nachbauten (GMC 2022).



Abbildung 15 b

(Wichtmann et al. 2016
Paludikultur)

Eine umgebaute Pistenraupe mit breiten Kettenständen. Diese Fahrzeuge haben keine Straßenzulassung, was ihren Transport zu den benötigten Flächen erschwert. Als Kettenmaterial sollte Gummi gewählt werden, um eine Beschädigung des Bodens bei engen Kurvenfahrten zu vermeiden (Wichmann et al. 2017)



Abbildung 15c (Dahms et al. 2017)

Eine mit Ketten ausgestattete Spezialmaschine der Firma Loglogic (Vorlauf Feldhäcksler) mit breiten, eng beisammen liegenden, Ketten. Dies erhöht die Auflagefläche im Sinne der oben beschriebenen Problematik.



Abbildung 15d (Dahms et al. 2017)

Erntetechnik für Häckselgut auf einem Softrak von Loglogic

3.3 Beispiele maschinelle Anpassung der Ernte bei ausgewählten Kulturen

Um einen Überblick anschaulicher darzustellen, werden im Folgenden die bei der Beerentung der in Kapitel 2 aufgeführten Kulturen verwendeten Maschinen, sowie technischen Regime zusammenfassend dargestellt.

Rohrkolben Ernte

Die Ernte von Rohrkolben mit rad- und kettenbasierten Erntemaschinen ist in Europa bereits im Sommer und Winter erfolgreich erprobt (Neubert et al. 2022, Dahms 2017). Da die Kultur im frühen Entwicklungsstadium ist, gibt es noch viel Innovationspotential für Erntemaschinen. Das Projekt PaludiPRIMA hat von 2019-2022 Versuche zur Optimierung sowie Verfügbarkeit dieser Technik durchgeführt. Für eine Verwendung als Baustoff (Dämmmaterial) gibt es eine steigende Nachfrage an blätter- und kolbenfreien Stängeln der Kultur (Neubert et al. 2022). Es besteht für die Blätter sowie Stängel trotzdem auch für andere Anwendungen eine Nachfrage (Siehe Kapitel 5). Dieser Teil der differenzierten Beerentung bietet noch viele Innovationschancen. Bei der Ernte wird, ähnlich wie beim Schilf, mit einem Messerbalken-Mähwerk gearbeitet. Die Stängel werden im Winter trocken abgeschnitten und die Halme werden per Spindel zu Bündeln gepackt und zur Ladefläche befördert, ähnlich wie in Abbildung 15c.

Schilf Ernte

Die Ernte von Schilf erfolgt vor allem mit Seiga- sowie umgebauten Pistenraupen- bzw. Raupen-Maschinen (Abbildung 14c bis 15d) (GMC 2022). Messerbalken schneiden das Schilf trocken ab und die Halme werden per Spindel zu Bündeln gepackt und zur Ladefläche befördert (Abbildung 14c und 15d). Schilf wird in Form von Bündeln für die Verwendung als Dachschilf oder zur generellen Nutzung als Baustoff (siehe Kapitel 5 Verwertungskette) geerntet. Schilf kann auch als Häcksel zur Verwendung als Energiestoff für die Biogasanlage und in geringerem Maße als Dämmstoff geerntet werden. Für diese Verwendung könnte eine Maschine wie in Abbildung 15c verwendet werden. Diese wäre dann mit einem Feldhäcksler ausgestattet.

Nasswiesen Rohrglanzgras und Seggen-Ernte

Die Ernte wird hier mit Seiga, oder wie in Abbildung 15c zu sehen durchgeführt. Je nach Verwendung kann diese Ernte im Winter oder Sommer erfolgen. Besonders bei hohem Wasserstand ist das geringe Gewicht bzw. eine große Verteilung des Gewichts sehr wichtig. Wie zuvor erwähnt, hat vor allem nasse Mahd ein hohes Gewicht. Aus diesem Grund sollte hier bei der Ernte eine Trennung von Ernte und Transportfahrzeugen vorgenommen werden (Dahms et al. 2017). Das mithilfe eines Feldhäckslers gehäckselte Material kann dann direkt in das nebenherfahrende Fahrzeug überführt werden. Es ist zu bemerken, dass die meisten kettenbasierten Maschinen trotzdem zu schwer sind und den Boden beschädigen (Dahms et al. 2017, Wichmann et al. 2017). Ein Lösungsansatz hierfür ist die Nutzung von doppelbereiften, möglichst leichten Traktoren mit doppelbereiften Ballpressen (Abbildung 13b) (Dahms et al. 2017).

Torfmoos Ernte

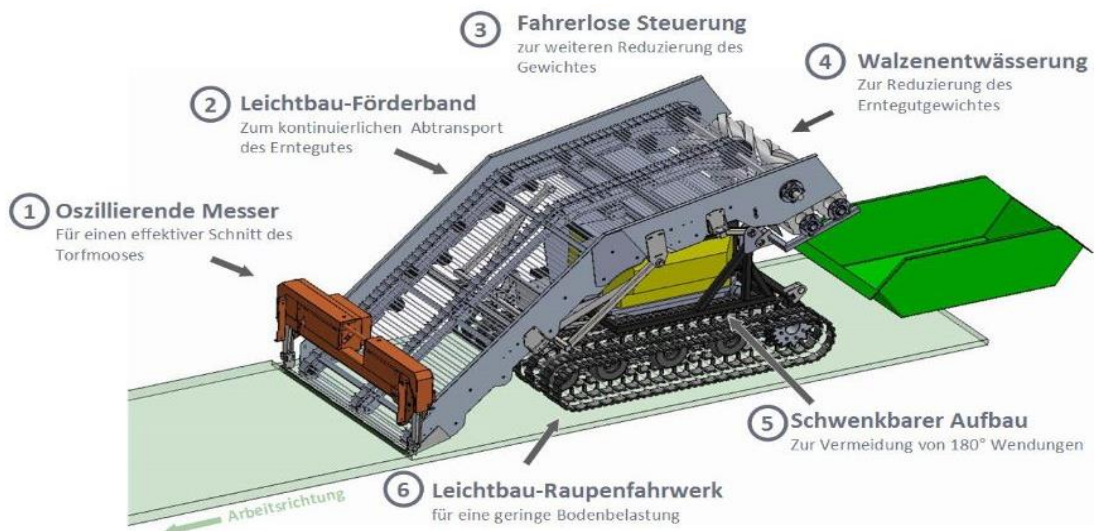
Die Torfmoosernte wurde 2016 das erste Mal erprobt (MOOSWEIT 2018, 2019). Dabei wurde, wie in Abbildung 16 gezeigt, mit einem Bagger mit langem Greifarm und wasserdurchlässiger Schaufel (Abbildung 18) ausgerüstet, die oberste Torfmoossschicht abgetragen. Der Bagger befindet sich dabei auf einem Fahrdamm und nicht auf der Fläche (das hohe Gewicht würde den Boden zerstören). Auf dem Fahrdamm steht dann ein Ladehänger bereit, in dem das Torfmoos gesammelt werden kann. 2021 wurde dann die Beerntung mithilfe einer Softrack Maschine durchgeführt (siehe Abbildung 15c). Diese häckselt die oberste Torfmoossschicht ab und befördert diese durch Nutzung einer Schnecke in den hinten aufliegenden Bunker (pers. Mitteilung G. Gaudig, 2022). Hier gibt es noch viele Innovationsmöglichkeiten sowie einen hohen Innovationsbedarf. Im Zuge dieser Innovationsnot gibt es viele interessante Ansätze, wie zum Beispiel das, durch das Projekt TeSpEr von Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte (IASP Berlin) gemeinsam mit dem niedersächsischen Fahrzeugkonstrukteur Mera Rabeler GmbH & Co. KG entwickelte, „terrestrische Sphagnum-Erntefahrzeug“ (Abbildung 18). Auch wenn Projekte wie diese noch nicht ausgereift sind, zeigt sich so doch die Größe an möglichen Innovationen im Bereich der Torfmoosernte bzw. Kultivierung.



Abbildung 17 Beladung eines Anhängers mit Torfmoos



Abbildung 16 Torfmoos Ernte per Bagger



Pflege- und Erntefahrzeugkonzept für terrestrisches Sphagnum Farming

Abbildung 18 Pflege- und Erntefahrzeugkonzept der Firma Mera Rabeler GmbH & Co. KG

4. Forschungsstand Agri-Photovoltaik

Generell bietet APV die Möglichkeit der doppelten Nutzung von landwirtschaftlichen Standorten, oder in diesem Fall Moor-Standorten. Die Hauptvorteile sind neben der Energieproduktion auf diesen Standorten, auch der durch die Überdachung entstehende Schutz vor den Auswirkungen von Starkwetterereignissen, wie z.B. Hagel, die zusätzliche Beschattung und somit Schutz vor übermäßiger Verdunstung und Transpiration und damit Stress des Bodens bzw. der Kultur (Wydra et al. 2023) Die Wichtigkeit dieser Vorteile wurden in Verbindung mit Paludikultur noch nicht untersucht. Im Folgenden wird ein Überblick über möglich APV-Systeme sowie deren Applikation auf Moorbodenstandorten gegeben.

4.1 Netzentwurf zu APV und Paludikultur

Im Februar dieses Jahres hat die Bundesnetzagentur eine Konsultation zur Änderung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes herausgegeben. Dies regelt, welche Anforderungen an Anlagen gestellt werden und welche Installationsorte und Errichtungs- und Betriebsweise sowie Nachweise zu erbringen sind, um förderfähig zu sein. Diese Anforderungen gelten nach § 85c Absatz 3 EEG auf Moorböden, die entwässert und landwirtschaftlich genutzt worden sind und im Zuge der Errichtung von Solaranlagen auf diesen Flächen wieder vernässt werden. Weiter muss die Wiedervernässung nach Punkt 2. Anlage c) Mindestwasserstände von maximal 10 cm unter Flur im Winter und maximal 30 cm unter Flur im Sommer erreichen. Diese Wasserstände müssen dann durch die Wasserbehörde oder ein hydrologisches Gutachten gegenüber dem Netzbetreiber bestätigt werden. Nach Anlage g) ist es hier nicht wichtig, ob die auf diesen wiedervernässten Moorflächen errichteten PV-Anlagen fest im Boden verankert, hochgeständert oder schwimmend -also als Floating PV - errichtet werden. Von großer Bedeutung ist außerdem, dass die Bundesnetzagentur nicht voraussetzt, dass die Flächen bei Baubeginn schon wiedervernässt sind. Dies erleichtert den Aufbau etwaiger Anlagen durch eine einfachere Befahrung und den Transport von Baumaterial sehr. Es ist lediglich vorausgesetzt, dass bei Inbetriebnahme der PV-Anlagen eine Wiedervernässung erfolgt ist. Für eine Förderung ist es auch nicht nötig, dass sich Wechselrichter bzw. weitere technische Einrichtungen auf der wiedervernässten Fläche befinden. (EEG Stand 2023, Bundesnetzagentur Konsultation 2023)

Besonders wichtig für eine mögliche Kombination von APV und Paludikultur ist, dass eine Förderung weiter gewährleistet ist, solange eine landwirtschaftliche Nutzung der wiedervernässten Moorböden den Konditionen nach § 12 GAP-Konditionalitäten-Verordnung nachkommt (Verordnung zur Durchführung der GAP-Direktzahlungen Stand 2023). Dies öffnet die Türen für eine förderfähige Applikation von APV auf wiedervernässten Moorböden und bietet eine große Chance für APV und damit verbundenen gütlichen Auswirkungen für Landnutzung und Landwirtschaft.

Das momentane Problem ist, dass noch keine ganzheitlichen Konzepte zur Kombination von APV und Paludikulturen vorhanden sind. Außerdem gibt es auch noch keine Versuche oder Projekte zu diesem Thema, die einen Gesamtblick dieser Thematik wiedergeben. Im Folgenden wird versucht, einen ersten Ausblick auf den momentanen technologischen Stand sowie die an APV in Paludikultur gestellten Anforderungen zu geben (im folgenden Paludi PV genannt).

4.2 Anforderungen an APV-Systeme auf Moorböden in Bezug auf die Paludikultur

Im Rahmen der Wiedervernässung werden die Montagegestelle für PV Module vor viele unterschiedliche Herausforderungen gestellt. Außerdem müssen sich die verwendeten APV-Systeme auch für die Kombination mit den in Kapitel 2 genannten Kulturen eignen, damit diese

voneinander - im Sinne der Doppelnutzung - profitieren können. Im Folgenden werden einige wichtige Anforderungen auf die möglichst beste Wahl von APV-Systemen dargestellt.

Wuchshöhe:

Die meisten in der Paludikultur angebauten Kulturen haben eine hohe Wuchshöhe, die oft 2,1 Meter übersteigt bzw. übersteigen kann (Siehe Kapitel 2). Dies stellt niedriggeständerte Anlagen bzw. bodennahe Anlagen (Anlagen mit einer Standhöhe unter 2,1 Meter (Wydra et al. 2023)) vor die Problematik, dass diese ohne häufige Mahd überwuchert werden. Einer der Hauptvorteile der Paludikultur sollte jedoch der geringe Aufwand und die Beerntung nur einmal im Jahr sein. Außerdem wird der Boden durch häufiges Befahren beschädigt und die Leistungsfähigkeit der angebauten Kulturen sinkt (Siehe Kapitel 2 und 3 ersetzen).

Die einzige Ausnahme bildet hier das Torfmoos. Torfmoos erreicht nie eine Höhe von mehr als 2,1 Meter (Vgl. Kapitel 2). Für diese Kultur bieten bodennahe bzw. niedriggeständerte Anlagen, wie zum Beispiel vertikale PV-Anlagen, viele Vorteile. Vertikal aufgeständerte Anlagen werden parallel zu den Kulturen aufgestellt (nach DIN-SPEC91434:2021). Sie sind sehr leicht und wegen der geringen Aufständigung auch relativ günstig (vgl. Abbildung 20). Als PV-Module werden bei ihnen meist bifaziale Module verbaut, die auf beiden Seiten PV Module haben, um zusätzlich das vom Boden zurückgestrahlte Licht zu nutzen (Wydra et al. 2023). Dies betrifft insbesondere die Einfachheit der Bewirtschaftung sowie die Zugänglichkeit von Sonnenlicht, wenn diese mit großzügigen Reihenabständen gebaut werden.

Bei allen anderen in Kapitel 2 erwähnten Kulturen empfiehlt sich die Verwendung von hochgeständerten Anlagen, die eine Mindesthöhe von ca. 4,1 Metern aufweisen bzw. eine lichte Höhe von 2,1 meter zum Boden übersteigen (Abbildung 19). Diese Anlagentypen sind erprobt und die genauen Charakteristiken sind in DIN-SPEC91434:2021-05 genormt. Diese Art der APV-Anlagen erleichtert die Befahrung durch herkömmliche Erntemaschinen mit Doppelbereifung und sorgt so für eine einfachere Verbindung von APV und Paludikultur.



Abbildung 20 hochgeständertes APV-System



Abbildung 19 vertikales APV-System

Bewirtschaftungsfähigkeit:

Wie schon im vorherigen Punkt erwähnt, ist die Höhe bzw. die Anordnung der PV-Module von großer Bedeutung in Bezug auf die Bewirtschaftbarkeit. Je nach Art der Bewirtschaftung und vor allem Ernte der Fläche können manche Systeme ausgeschlossen werden (siehe Kapitel 3 Geräte und Maschinen). Zu niedrig geständerte bzw. bodennahe Systeme mit fest installierten PV-Modulen unter 2,1 Metern machen die Bewirtschaftung sehr schwierig, da die meisten Maschinen zu hoch sind, um unter diesen Modulen durchfahren zu können. Weiter verhindern niedrige Modulhöhen die in Kapitel 3 beschriebene Beerntung mit Spezialmaschinen. Auch hier sind für die Nutzung auf großen Flächen hochgeständerte APV-Systeme am besten geeignet.

Lichtanforderungen:

Wie im Kapitel Kultur hervorgehoben sind die meisten Kulturen der Paludikultur lichtliebend. Es wurden auch noch keine Untersuchungen bezüglich der Auswirkung von Beschattung auf die in Kapitel 2 erwähnten Kulturen durchgeführt. Bei APV ist es auch wichtig, die richtige Balance zwischen Pflanzenwachstum und Stromertrag zu gewährleisten (Wydra et al. 2023). So gibt es zwei Optionen oder auch Stellschrauben zur Erreichung dieser Balance:

1. durch den Abstand der Module bzw. Anlagen zueinander oder
2. die Benutzung von lichtdurchlässigen bzw. photonenselektiven PV-Paneelen.

Option 1 kann durch eine gute Verteilung der Anlagen wie im Beispiel Lottorf erreicht werden, das im folgenden Kapitel noch im Detail vorgestellt wird. Solange die umliegende Fläche hier nie im kompletten Schatten liegt, sollte ein akzeptables Level an Pflanzenwachstum gewährleistet werden können. Diese Menge an Licht ist allerdings vielleicht nicht für jede Kultur genügend (Siehe Kapitel 3.1). Bei großen Zwischenräumen zwischen den PV-Modulen bieten sich sogenannte bifaziale Module an, da diese das am Modul vorbei gehende Licht bei seiner Zurückstrahlung vom Boden mit der „Rückseite“ aufnehmen können (Wydra et al. 2023).

Option 2 kann eine größere Fläche mit diesen speziellen Solarpanelen bedecken. Dies wäre grundsätzlich im Sinne der APV sehr sinnvoll, da diese Überdeckung die Kulturen auch vor Starkwetterereignissen schützen würde. Allerdings sind die hier erwähnten, und auch am häufigsten angewandten, Kulturen der Paludikultur höchstwahrscheinlich nicht sonderlich anfällig gegenüber den meisten Wetterphänomenen (keine Nennung von Problematik mit Wetter in der Literatur). So ist dieser Vorteil wahrscheinlich nicht so groß, wie bei „Standard“ APV-Kulturen. Allerdings sollte durch die durchgängige höhere Verfügbarkeit von Solarstrahlung das Wachstum im Gegensatz zu der partiellen Beschattung durch Option 1 erhöht sein, was wiederum einen Vorteil darstellt. Der wohl größte Nachteil von lichtdurchlässigen sowie photonenselektiven Solarpaneelen sind zurzeit noch ihre hohen Kosten (Siehe Kapitel 5). Sie sind einfach noch zu teuer im Vergleich zu herkömmlichen PV-Modulen, wie z.B. bifaziale Module.

Bodenverdichtung:

Wie in Kapitel 3 erwähnt, entstehen bei der Befahrung sowie Bearbeitung der genutzten Flächen, Verdichtungen im Boden (Scherung Siehe Kapitel 3). Diese Verdichtung entsteht besonders bei der Einrammung von Stützpfeilern. Diese Verdichtung ist irreversibel, aber möglicherweise

unvermeidlich. Umso größer die Last ist, die auf den Pfeilern lastet, desto stärker ist die Verdichtung. Ökologisch verträglichere Möglichkeiten, wie zum Beispiel Floating PV, werden im Folgenden Unterkapitel erklärt. Wie schon in Punkt Bewirtschaftungsfähigkeit beschrieben, sollten zu niedrige und bodennahe Anlagen mit Kulturen, die eine Pflege durch regelmäßige Mahd benötigen, vermieden werden. Wie bereits oben beschrieben, schädigt eine zu häufige Mahd die Kulturen durch die häufige Befahrung und verursacht die damit einhergehende Verdichtung des Bodens.

Material Anforderungen:

Der weiche und saure, torfhaltige Moorboden setzt alle Baumaterialien besonderem Stress aus. Niedermoore haben einen pH-Wert von ca. 4,5 und Hochmoore einen pH-Wert von unter 3,5. (Uni Oldenburg 2006). Die große Verfügbarkeit von H⁺ Ionen bei einem pH-Wert von unter 5 sorgt bei unbehandeltem Stahl für eine verringerte Lebenszeit (Gommlich 2017). Aus diesem Grund sollten die in den Boden getriebenen Pfeiler bzw. Stützen oder die auf dem Wasser schwimmenden „Pontons“ aus Edelstahl oder verzinktem/feuerverzinktem Stahl bestehen. Durch die höhere Beimischung von Kohlenstoff erhält Edelstahl eine höhere Stabilität bei Korrosionsstress (Gommlich 2017). Ein ähnlicher Mechanismus hilft auch bei der Verzinkung, indem eine dünne Zinkschicht auf den Stahl aufgetragen wird (Gommlich 2017). Auf diese Weise behandelte Materialien haben aufgrund ihrer geringeren Reaktivität mit den im Moor befindlichen freien H⁺ Ionen, eine höhere Lebenserwartung (Gommlich 2017). Die oberirdischen, nicht mit dem Moorwasser in Verbindung tretenden, Strukturen, können weiterhin aus Aluminium gebaut werden. Diese sind zwar durch Spritzwasser sowie in geringem Maße in der Luft über den Mooren gelösten H⁺ Ionen auch von den korrosiven Bedingungen betroffen, aber lange nicht im selben Maße wie die unter der Wasserlinie befindlichen Strukturen. Außerdem ist aufgrund der Materialkosten sowie des Gewichts Aluminium als Baustoff für die PV-Modul-Gestelle zu bevorzugen.

4.3 Möglichkeiten für die Kombination von Paludikultur und APV

Die Kombination von Paludikultur und APV ist noch nicht wirklich erforscht. Die hauptsächliche Benutzung von PV auf Moorböden liegt in der Nutzung von sogenannten Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA) und Floating Photovoltaics (FPV) (KNE 2022). Diese Techniken sowie ausgewählte Projekte, in denen diese Systeme im Rahmen von Moor PV (Photovoltaik auf Moorböden) erprobt werden, werden im Folgenden zusammenfassend vorgestellt. Zunächst werden einige wichtige Begriffe erläutert.

PV FFA

Hierunter werden PV-Freiflächenanlagen, die nicht auf baulichen Anlagen, sprich Gebäuden errichtet wurden, sondern nur zum Zweck der Nutzung für die Produktion von Solarenergie auf einer freien Fläche errichtet wurden (vgl. D Dezernat 32 Regionalentwicklung 2020)

FPV

Schwimmende Photovoltaik (FPV), auch bekannt als Floating Photovoltaics, bezieht sich auf PV-Kraftwerke, bei denen die Module auf Schwimmkörpern angebracht sind und die Anlage am Gewässergrund, am Ufer oder an angrenzenden Strukturen verankert ist. Durch die Kühlung der Module durch das umgebende Gewässer erzielen FPV-Anlagen im Vergleich zu herkömmlichen Freiflächenanlagen erhöhte Erträge. Während im asiatischen Raum bereits einige Anlagen mit einer

installierten Leistung im zweistelligen Megawattbereich existieren, sind die Anlagen in Deutschland aufgrund bisheriger Förderhindernisse auf maximal 750 kWp begrenzt. Die größte FPV-Anlage in Europa befindet sich derzeit in den Niederlanden und hat eine installierte Nennleistung von 41,1 MWp (Stand Juli 2021). FPV hat in den letzten Jahren ein sehr dynamisches Wachstum verzeichnet, mit einer weltweit installierten Leistung von über 2,6 GWp bis Anfang 2021. (ISE Frauenhofer 2021)

Moor-PV Beispiele

Wie bereits erwähnt, gibt es einige Konzepte wie das nötige „Fundament“ für APV Anlagen geschaffen werden kann. Im Folgenden werden anhand von Skizzen des Frauenhofer ISE einige dieser Konzepte dargestellt:

PV- System mit tiefen Verankerungen im Torfboden

Verankerung mit Rammfundamenten bei geringer Torfmächtigkeit.

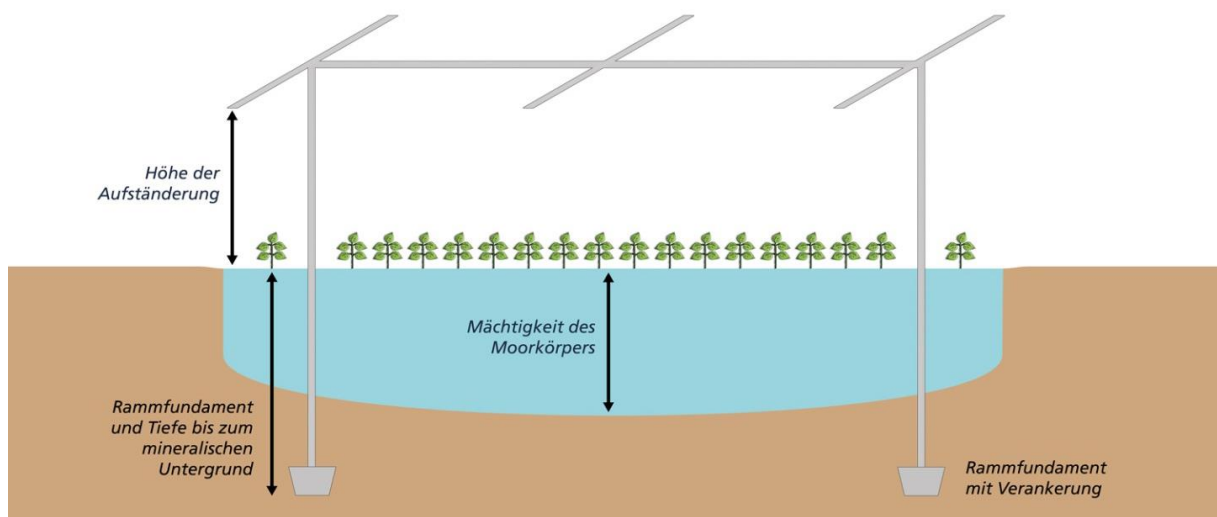


Abbildung 21 PV- System mit tiefen Verankerungen im Torfboden vgl. ISE Frauenhofer 2022

Dieses Konzept ist stark abhängig von der Mächtigkeit des Moorkörpers. Die Fundamenttiefe bzw. die Rammtiefe der Fundamentstangen ist so direkt abhängig von der Torfmächtigkeit. Je nachdem wie mächtig diese Schicht ist, ist dieses Verfahren günstiger oder teurer bzw. einfach oder schwerer zu realisieren. Bei dieser Form der Verankerung der Stützpfeiler bieten sich vertikale APV-Systeme an (vertikale APV-Systeme besitzen eine lichte Höhe von unter 2,1 Metern und haben vertikal angeordnete unbewegliche, meist bifaziale PV-Module (Vollmer 2022)). Die mögliche Höhe der Aufständerung ist auch abhängig von der Stabilität bzw. Tiefe des Fundaments. Bei einer angemessenen Tiefe des Fundaments könnte die Statische Stabilität ausreichen, um hochgeständerte APV-Anlagen zu ermöglichen. Dies würde eine Bewirtschaftung durch schon bestehende Standard Großtraktoren wie z.B. den Fent 1050 Vario Traktor mit einer Höhe von ca. 3,6 Meter ermöglichen (je nach Bereifung).

FPV-Konzept mit Grundankern

Das Konzept dieser Moor-PV-Anlage basiert auf dem Prinzip der FPV-Technologie. Dabei werden die Solarmodule auf einer schwimmfähigen Unterkonstruktion installiert, die kontinuierlich überflutet wird. Das Moor, auf dem die Anlage errichtet wird bzw. seine Torfschicht, ist besonders dick und umfangreich.

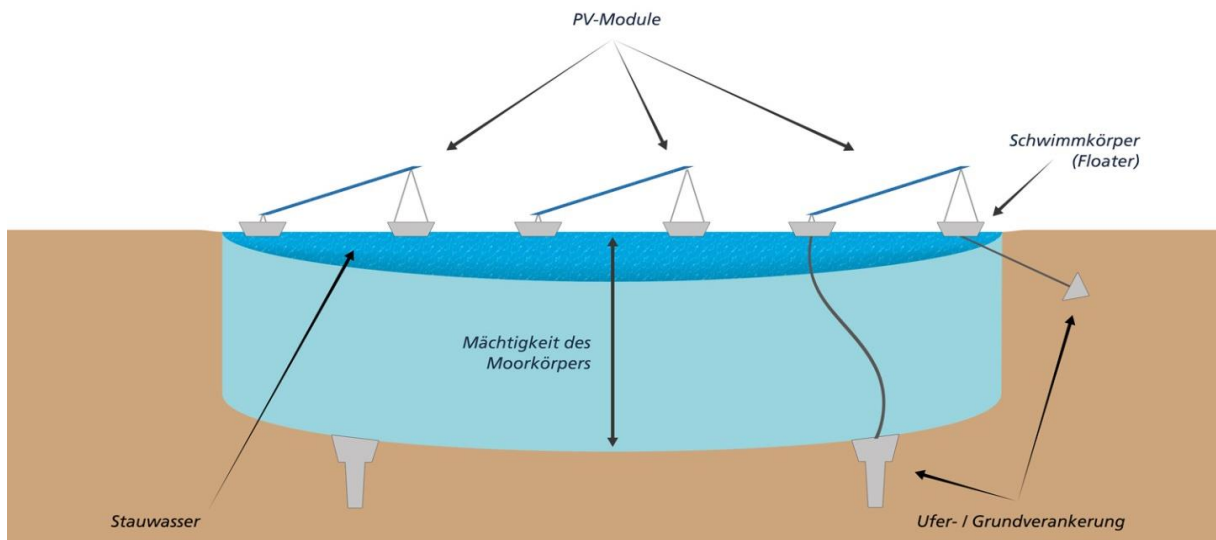


Abbildung 22 FPV Konzept mit Grundankern Vgl. ISE Frauenhofer 2022

Dieses Konzept ist abhängig von einer starken Wiedervernässung des Moorbodens auf einen Wasserstand von mindestens 1 m Wasserstand über Flur über das ganze Jahr. Dieses Konzept eignet sich aufgrund der Überschattung bzw. der Belegung von Flächen durch die PV-Module wenig für APV.

FPV-Konzept mit schwimmenden aufgeständerten PV Modulen

Das Konzept dieser Moor-PV-Anlage basiert auch wieder auf der Idee der schwimmenden Photovoltaik (FPV). Dabei werden die PV-Module auf einer schwimmfähigen Unterkonstruktion installiert, die periodisch mehr oder weniger stark überflutet wird. Dieses Anlagenkonzept eignet sich für Moore, die eine beträchtliche Tiefe haben und sich so schlecht für einen Fundamentaufbau durch das Einrammen von Stützpfeilern eignen.

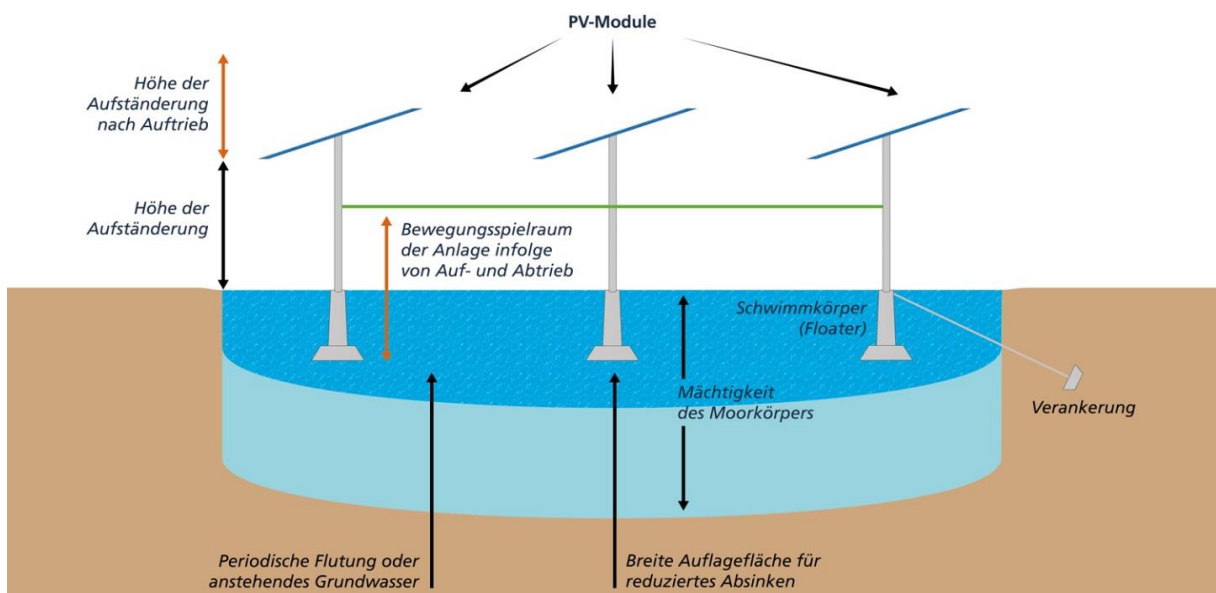


Abbildung 23 FPV-Konzept mit schwimmenden aufgeständerten PV Modulen vgl. ISE Frauenhofer 2022

Auch dieses Konzept ist stark abhängig von einer erheblichen Wiedervernässung des Moorbodens. Es bietet aber einen, je nach Höhe der Module sowie der Verbindungselemente, bessere

Möglichkeiten der Verbindung mit APV als schwimmende PV-Module mit niedriggeständerten Anlagen. Hier könnten auch vertikale PV-Systeme gut funktionieren. Abhängig von diesen genannten Faktoren (Abstand der Schwimmkörper, Höhe der Gestelle und Verbindungselemente) bietet sich hier eine Kombination mit Paludikulturen an, die hohe Wasserstände lieben (so wie Schilf und *Typha*, siehe Kapitel 2).

Ballastierung

Eine weitere Möglichkeit zu den oben genannten Verfahren ist die Ballastierung von PV-Anlagen. Diese Art der Bodenbefestigung verbindet das APV-System mit einer für die Applikation im Moor möglichst schweren, aber breiten Belastung, oft in Form von Betonplatten, mit dem Boden (siehe Verringerung Scherkräfte Kapitel 3) (S:flex 2022). Dies hat den Vorteil, dass kein schweres Gerät auf den Moorflächen zur Einrammung der Fundamente genutzt werden muss. Weiter kann vermieden werden, dass sich durch nicht genau bekannte Torfmächtigkeit bzw. Zusammensetzung des Bodens die Fundamentpfiler verschieben.

4.4 Anwendungsbeispiel Solarpark Lottorf

Die aufgeführten theoretischen Konzepte haben ohne viel Bezug auf Wiedervernässung von Mooren nur eine eingeschränkte Aussagekraft. Daher wird im Folgenden ein Anwendungsbeispiel für das erste dieser genannten Konzepte dargestellt:

Moorflächen, auf denen PV-FFA-Anlagen verbaut sind, finden sich in Lottorf Schleswig-Holstein sowie in Bayern im Solarpark Schornhof. Beide Solarparkflächen wurden nicht mit dem Fokus auf Wiedervernässung errichtet, allerdings wurden die Drainage-Systeme bei beiden unterbrochen (KNE 2022). Eine natürliche und kontinuierliche Wiedervernässung findet nachweislich am Standort Lottorf statt (Pressemitteilung NDR 2023, Wattmanufactur 2023).

Der Solarpark in Lottorf, der von der Firma Wattmanufactur betrieben wird, wird nun kurz beleuchtet, da er ein gutes Beispiel für eine doppelgenutzte Fläche im Sinne der Paludikultur geben kann.

Die Anlage Lottorf hat mit über 36.151 Installierten PV-Modulen eine Leistung von 17,1 MWp und einen Jahresertrag von ca. 20 Mio kWh (Wattmanufactur 2023). Wattmanufactur verwendet ein Ost-West-Nachführsystem (Tracking-System) mit bifazialen PV-Modulen (PV-Module, die auf beiden Seiten PV-Zellen installiert haben). Diese Module haben eine Höhe von ca. 2,22m und rotieren einachsiger bis max 40° in Ost-West Richtung (Abbildung 24).

Eine Stützreibe aus Aluminium bzw. Stahl wird in einem Abstand zwischen 4 und 7 Metern in den Untergrund gerammt. (Gemeinde Lottorf 2020).

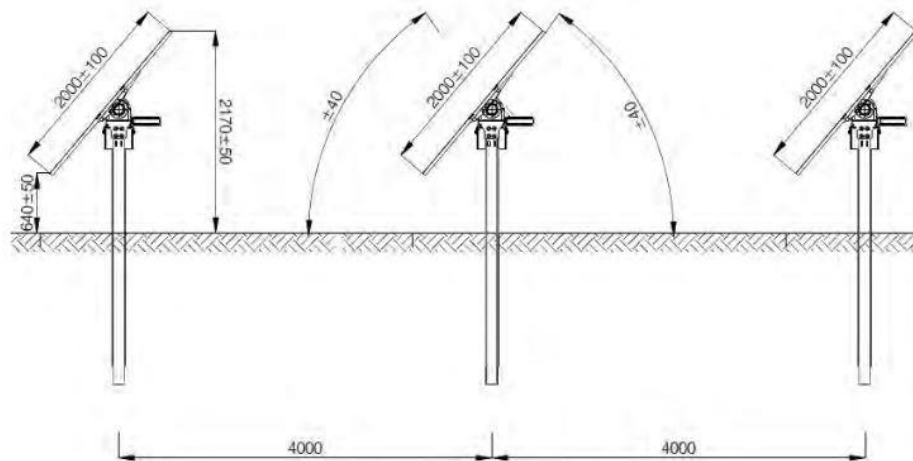


Abbildung 24 Skizze der am Standort Lottorf verbauten PV-Module.



Abbildung 25 Hier ist die PV-Anlage auf dem Standort bei Lottorf zu sehen

Eine Tiefe der in den Boden gerammten Stützstreben wird leider nicht angegeben. Die Firma MKG-Göbel nennt im Rahmen des Solarpark Schornhof Fundamenttiefen von 40-80cm (MKG-Göbel 2023). Da der Solarpark Schornhof ebenfalls auf entwässertem Moorboden, wenn auch Hochmoor und nicht Niedermoor wie in Lottorf, liegt, ist diese Zahl wahrscheinlich auch für das Projekt in Lottorf realistisch. Die Dicke der Torfschicht an diesem Standort, zwischen 0,1 und 2,2m (Gemeinde Lottorf 2020), trägt zu der benötigten Tiefe der Stahlstützen bei. Diese Stützstreben werden nicht mithilfe eines Fundaments, sondern lediglich durch das Einrammen und den damit verbundenen Reibungs- und Verdichtungskräften gehalten (MKG-Göbel 2023). Sie stellen durch die Verdichtung des Bodens an dieser Stelle die einzige Versiegelung der Fläche dar (Gemeinde Lottorf 2020).

Diese sogenannten Singeltracking-Gestelle mit großen Reihenabständen gewährleisten zudem eine gute Lichtversorgung des Bodens unter den PV-Modulen (Wattmanufactur 2023). Durch diese gute Lichtversorgung kann auf den Flächen unter den PV-Modulen sogar Landwirtschaft betrieben werden, wobei im Solarpark Lottorf die landwirtschaftliche Nutzung im Sinne der Paludikultur nicht im Vordergrund steht.

Hauptnutzung der Fläche ist auch nach der Wiedervernässung weiterhin die Erzeugung von Solarstrom. Jedoch ist zu beachten, dass der Anbau der Nasswiesenprodukte, die unter dem Solarpark gewonnen werden, gemäß der EG- G-Öko-Verordnung (2018/848) zertifiziert ist und jährlich kontrolliert wird. Hervorzuheben ist, dass die Firma Wattmanufactur für das Mähen der Fläche „geschobene“ Rasenmäher nutzt (Abbildung 13b), die durch ihr geringes Gewicht kaum Bodenverdichtung hervorrufen. Wattmanufactur hat sich laut eigener Aussage dem Ziel verpflichtet, die genutzte Fläche kontinuierlich zu vernässen, um in der Zukunft auf dem Standort Moorschutz betreiben zu können (Wattmanufactur 2023).

Zusammengefasst bietet der Solarpark Lottorf ein gutes und in die Zukunft weisendes Beispiel, wie Energieproduktion, begrenzte Paludikultur und Moorschutz auf *einem* Standort Erfolg haben können.

5. Forschungsstand Verarbeitung/ Wertschöpfungskette/Markt Situation

5.1 Verwertungsmöglichkeiten, Verwertungskette und Wertschöpfung

Einer der wichtigsten Aspekte bei dem Anbau jeder Kultur ist die Verwertungskette bzw. die mit der Kultur verbundene Wertschöpfung. Dies beschreibt den Weg, dem eine Kultur vom Anbau über die Ernte, der danach erfolgenden Verwertung und am Ende dem Verkauf auf dem Markt folgt. Im folgenden Teil wird besonderer Fokus auf die Produkte gelegt, die aus den, in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen, Kulturen hergestellt werden können. Darauf folgend wird weiterhin dargestellt, welche Kosten und mögliche Erlöse für Beispielprodukte aus diesen Ketten entstehen können. Im zweiten Teil dieses Kapitels wird diese Thematik dann auch in Bezug auf ausgewählte APV-Systeme angewendet (siehe Kapitel APV). Am Ende werden noch mögliche Wege der Förderung ausgeführt.

Generell kann die Wertschöpfungskette der in Kapitel 2 genannten Kulturen wie in Abbildung 26 gezeigt zusammengefasst werden:

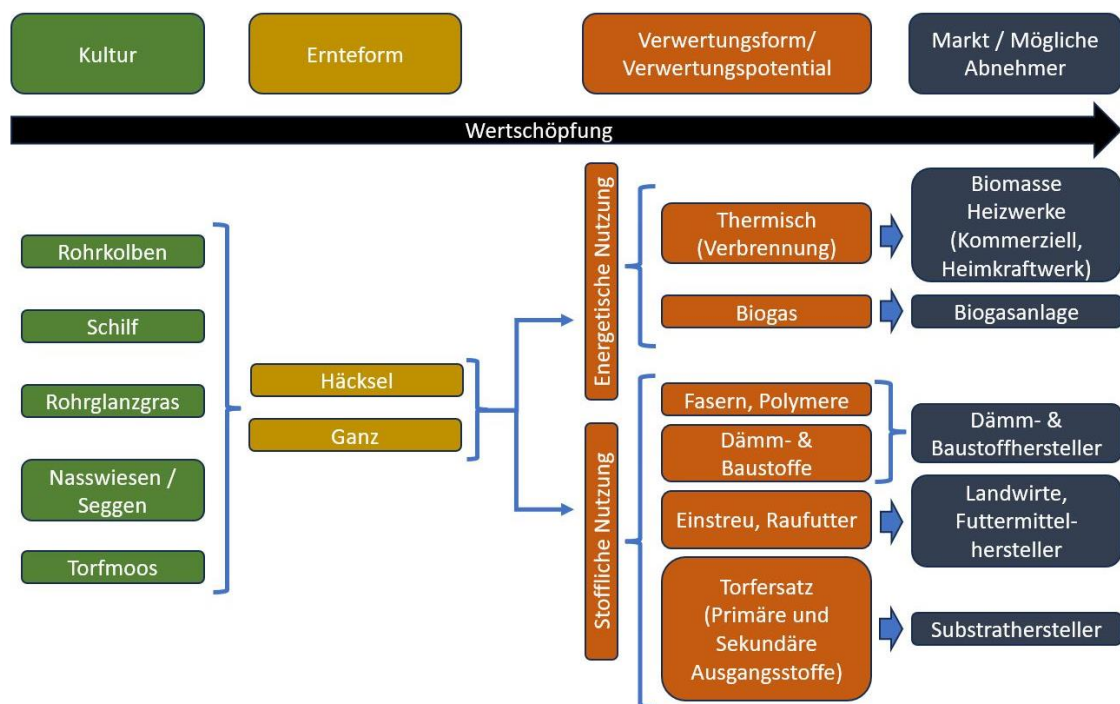


Abbildung 26 Erstellt anhand von Daten von GMC 2022, GMC 2017, LM M-V 2017 sowie weiteren im Rahmen dieser Arbeit gesichteten Literatur.

Thermische Verwertung:

Dieser Aspekt wurde im Zuge der Projekte des Institut DUENE, Vorpommern Initiative Paludikultur (VIP) sowie im Rahmen von Informationssammlungen des GMCs bearbeitet. Die aus den Paludikulturen gewonnene Biomasse kann entweder lose oder als Pellets oder Briketts verfeuert werden (GMC 2017, 2022, LM M-V 2017, Wichtmann et al. 2016). Für diese Applikation sind vor allem Nasswiesen / Seggen, Rohrglanzgras sowie Schilfkulturen geeignet (GMC 2017, 2022, VIP 2013). Wobei bei Rohrglanzgrass noch Nachbesserungsbedarf bezüglich der technischen Anpassung besteht (GMC 2022). Umso höher die Homogenität und Dichte der als Brennstoffe verwendeten Kulturen sind, desto besser eignen sie sich auch als solche (Wichmann et al. 2011 in Wichtmann et al. 2016). Um dies zu gewährleisten, ist eine gute Zerkleinerung und Pressung zu Pellets oder

Briketts unabdingbar. Hierfür könnten teils mobile Pelletierungsmaschinen eingesetzt werden, die eine Verarbeitung direkt vor Ort ermöglichen (BfN 2021) (Abbildung 35). Zudem ist es wichtig, dass diese Kulturen vor ihrer Verarbeitung einen möglichst geringen Wassergehalt aufweisen (GMC 2017). Daher spielt der Zeitpunkt der Ernte bei der Produktion von Kulturen für die thermische Nutzung eine große Rolle (siehe Kapitel 2). Je nach Erntezeitpunkt ist die Biomasse geringer bzw. größer, der Gehalt an Chlor (Cl), Stickstoff (N) und Schwefel (S) unterschiedlich und der Wassergehalt

Abbildung 27 Mobile Pelletierungsmaschine



zum Winter hin immer niedriger. Ein hoher Cl, N oder S Gehalt kann die Verbrennungseigenschaften beeinflussen (Dahms et al. 2017 aus GMC 2017) und zu Schlackbildung beitragen, was den Wartungsaufwand erhöht. Damit möglichst viel Biomasse mit niedrigem Wasser sowie Cl, N und S Gehalt geerntet werden kann, muss der richtige Zeitpunkt (Ende Herbst/ Anfang Winter) abgepasst werden (GMC 2017). In Abbildung 28 werden Brennstoffe aus der Paludikultur bezogen auf ihre Kosten sowie Ihren thermischen Eigenschaften

mit anderen Produkten aus der Biostoffenergieerzeugung verglichen. Hier schneiden die meisten Paludi-Produkte gut ab.

Brennstoff	Verfahren	Aufbereitung	€/t TM	€/MWh
Kosten				
Seggenheu-Ballen	1	Rundballen	71,00	15,05
Seggenheu-Pellets	1	Rundballen → Pellets ¹	252,00	49,80
Schilf-Häcksel	2	Häckselgut	173,00	36,70
Schilf-Häcksel (Hohe Auslastung)	2	Häckselgut	119,00	25,25
Dachschielfausputz-Pellets	3	Koppelprodukt → Pellets	235,00	46,45
Dachschielfausputz-Ballen	3	Koppelprodukt → Rundballen	99,00	21,00
Dachschielfausputz-Briketts	3	Koppelprodukt → Briketts	124,00	26,30
Schilf (natürlicher Bestand) [35, 42]		Rundballen	69,00	13,80
Schilf (Anbau) [35, 42]		Rundballen	97,00	19,40
Miscanthus (Anbau, 20 ha) [35, 42]		Quaderballen	76,00	15,50
Preise (Vergleich)²				
Stroh [42]		Quaderballen	65,00	13,50
Holzpellets [43]		Liefermenge 5 t, 2015	255,48	46,93
Holzbricketts [43]		Liefermenge 1 t, 2014	273,34	50,21
Holzhacksnitzel [43]		w 20 %, 2015	164,60	33,20
Holzhacksnitzel [43]		w 35 %, 2015	140,83	29,49

fett Brennstoffform, grün = Basis für weitere Berechnungen, 1 Kosten der Pelletierung bei einem Durchsatz von 1 t/h, 2 Hierbei handelt es sich um Marktpreise, deren Höhe durch Angebot und Nachfrage bestimmt ist

Abbildung 28 Kosten pro MWh verglichen mit verschiedenen nachwachsenden Rohstoffen, Vgl. Dahms et al. 2017, GMC 2017

Trotz des Verbrennens und der vorherigen Bearbeitung der Biomasse ist die ökologische Bilanz positiv. Damit ist gemeint, dass diese Art der Verwendung, verglichen mit herkömmlichen fossilen Energieproduktionsverfahren, immer noch CO₂ sparend ist (GMC 2017, LM M-V 2017). Dies ist der Fall, da durch diese Kulturen aktive Moorregeneration betrieben wird, was verhindert, dass enorme Mengen an CO₂ in die Atmosphäre gelangen (Siehe 1.1). Beim Verbrennen selbst geben die Pflanzen dann wieder genau so viel CO₂ ab, wie sie beim Wachstum gespeichert haben. In der Broschüre des GMCs von 2017 wird weiter aufgeführt, dass bei einer Bedeckung von 20% der Mecklenburgischen Moorfläche „mehrere tausend Liter“ Heizöl gespart werden könnten. Laut Wenzel et al. 2022 ist ein weiterer Vorteil auch die geringe Marktvolatilität von Produkten aus der Paludikultur. Die Preise sind also nicht, wie bei Gas oder Öl, großen Preisschwankungen unterworfen. Die guten Verbrennungseigenschaften sprechen für eine gutes Zukunftspotential dieser Verwendungsart. Es ist allerdings noch Innovation nötig, um die hohen Anbau-, Produktions- und vor allem Erntekosten (GMC 2022) durch serienreife Maschinen und Logistikwege zu optimieren und günstiger zu machen.

Biogas

Bei der Produktion von Biogas kann prinzipiell jede Kultur der Paludikultur verwendet werden. Für die Applikation in Biogasanlagen ist im Gegensatz zur thermischen Verwertung die Dichte nicht maßgeblich. Bei der Produktion von Biogas, also der Zersetzung von biologischem Material durch Mikroorganismen (Vergärung) zu Gasproduktion, ist von größerer Bedeutung, wie hoch der Nährstoffgehalt ist bzw. wie hoch der Wassergehalt ist (GMC 2022). Auch *wann* frische Biomasse geerntet wird, ist von großer Bedeutung, da bei zunehmendem Alter des Bestands der unvergärbare Teil der Pflanze - der Ligninanteil - zunimmt (Czubaszek et al. 2021 in GMC 2022). Weiter unterscheidet sich dadurch auch die generelle Biogasausbeute der verschiedenen Kulturen. So kann hierfür entweder frisches Erntegut von Nasswiesen genutzt werden oder Sekundärstoffe. Hier empfiehlt sich aufgrund des geringen wirtschaftlichen Ertrags für den Primärproduzenten (GMC 2022), die Nutzung der Sekundärstoffe, sprich Abfallprodukte aus der Verwertung anderer Paludikulturen. Verwendete Einstreu, Faserreste aus der Papier- sowie Abfallprodukte aus der Baustoffproduktion eignen sich hierfür gut (GMC 2022). Die nach der Produktion von Biogas übriggebliebene Biomasse eignet sich zur Weiterverwendung gut für die Untermischung von Kompost und somit gut für die Verwendung als ökologisch verträglichen Dünger (GMC 2022). Als Praxis Beispiel stellt Biogas heute schon an ca. 63% (497 von 781 CNG Tankstellen) der CNG-Gas Tankstellen 100% des als CNG-Gas von Autos verwendeten Treibstoffs (Gasbilanz 2022). So ist ein Markt für Produkte, die mit der Biogasproduktion in Verbindung stehen, existent und etabliert.

Fasern & Plattformchemikalien aus Polymeren

Für die Produktion von Fasern eignen sich besonders Schilf, Rohrkolben, Rohrglanzgras sowie Nasswiesen / Seggen Kulturen (GMC 2022). Die Ernte hierfür ist im Spätsommer /Anfang Herbst ideal. Aus Nasswiesen-Biomasse (pelletiert) kann Papier, Pappe sowie Karton zur Anwendung im Bereich Transport und Verpackung gewonnen werden. Die Herstellung dieser Materialien erfordert die Zerkleinerung und anschließende Aufschließung der Biomasse zur Extraktion der Zellulose. In der Praxis wird meist Zellulose aus Holz genutzt. In Tests von 2020 zeigen sich die erstellten Karton-Materialien mit einem Faserstoffanteil von ca. 30 % als vielversprechend (pers. Mitteilung M. Croheck in Nordt et al. 2020 aus GMC 2022). Zur Herstellung von Papier eignen sich vor allem die Fasern von Schilf sowie Rohrglanzgras. Laut Daten des FNR von 2020 wurden in Deutschland 2019 5,2 Mio. t Frischfasergewinnung zu 90 % aus Holz für die Papier, Pappe sowie Karton-Produktion verwendet. Dies ergibt ein großes Marktpotential für Produkte aus der Paludikultr.

Eine weitere Nutzungsform von Faserstoffen ist die Erstellung von Formteilen durch Faserguss (GMC 2022, LM M-V 2017). Beispiel hierfür sind Eierkartons, die mittlerweile schon einen Grasfaseranteil von 50 % haben (GMC 2022). Wenn diese Grasfasern durch Faserprodukte aus der Paludikultur ersetzt werden könnten, würde dies den CO₂-Fußabdruck dieser Produkte noch weiter verringern. Abbildung 30 zeigt Einweggeschirr, das aus Schilf und Rohrkolben hergestellt wurde.



Abbildung 29 Pellets aus Paludikultur Faserstoffen



Abbildung 30 Einweggeschirr aus Schilf und Rohrkolben

Dämm & und Baustoffe

Für die Verwendung als Baustoffe sind die Kulturen Rohrkolben und Schilf besonders geeignet. Sie besitzen ein schnelles Wachstum und ihre Ernte und Verwertung ist gut, bei der Kultur Schilf sogar sehr gut erforscht (GMC 2022). Paludikulturen wie Nasswiesen/ Seggen können auch zur Produktion von Baustoffen verwendet werden (GMC 2022). Ihre Verwendung ist allerdings nicht auf dem gleichen Level verbreitet und erforscht wie die Verwendung von Schilf und Rohrkolben. Die Applikation von Schilf ist besonders gut erforscht für seinen Einsatz als Dachbedeckung (Abbildung 39). Generell machen die Eigenschaften, die die Paludikulturen so widerstandsfähig gegenüber ihrem feuchtem Zuhause machen, besonders prädestiniert zur Verwendung als Dämmstoffe. Sie haben ein hohes und gerades Wachstum und ihre Gewebestruktur ist luftig durch viele Zwischenräume innerhalb der Stängel (Abbildung 31). Diese luftige Struktur sorgt für eine geringe Wärmeübertragung der verarbeiteten Pflanzen. Diese könne entweder ganz, wie bei Schilfdächern und Schilfdämmplatten oder zerkleinert, wie zum Beispiel bei Typha boards aus Blättern und Stängeln, genutzt werden. Auch Einblasdämmung aus gehäckseltem und getrocknetem Rohrkolben oder Schilfmaterial ist möglich.

Diese Produkte besitzen einen Markt, für den allerdings über 80% der Rohstoffe derzeit aus dem Ausland importiert werden (Wichmann & Köbbing 2015; Becker et al. 2020 in GMC 2022). Aufgrund des Fehlens von Anbauflächen und schwierigen Genehmigungsverfahren für ihren Anbau (GMC 2019) ist das deutsche Produktionsvolumen zu gering. Becker et al 2020 schätzt, dass nur um allein die Nachfrage von ca. 3 Mio. Bundeln Schilf zu decken, in Deutschland eine Anbaufläche von ca. 10 000 ha entstehen müsste. Wie schon im Teil Kultur erwähnt, geschieht der Anbau von z.B. Rohrkolben in Deutschland auch erst in kleinem Rahmen auf Versuchs- und Testgeländen. Dies macht die Verarbeitung und Produktion von Produkten aus Rohrkolben teuer und schwierig, da die angebaute Menge die theoretische Nachfrage nicht abdecken kann. Dies schränkt die Marktchancen der Kultur enorm ein, obwohl es schon erprobte und produktionsbereite

Technologien, wie die vom Fraunhofer Institut entwickelten Typha boards gibt (Abbildung 35). Steinwolle weist eine Wärmeleitfähigkeit von 0,033-0,045 W/m*K auf, Typha boards eine Wärmeleitfähigkeit von 0,040 -0,060 W/m*K, Schilf von 0,055 – 0,065 W/m*K (GMC 2022, Flumroc 2023). Damit weisen Typha boards und Schilfdämmplatten eine etwas höhere, aber immer noch gute Wärmeleitfähigkeit, und damit gute Isoliereigenschaften, im Vergleich zur herkömmlichen Steinwolle auf. Andere biologische Dämmstoffe, wie beispielsweise Dämmplatten der Firma Gramitherm (Abbildung 34) aus der Verbindung von 90% Grasfasern und 10% Synthetikstoffen mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,041 W/m*K, übertreffen diese sogar. Die von Gramitherm entwickelten Dämmplatten benutzen noch keine Stoffe aus der Paludikultur, die genutzten Stoffe könnten aber problemlos durch Produkte der Paludikultur ausgetauscht werden. Ein weiterer Vorteil von Typha boards und Gramitherm Dämmplatten ist, dass diese nicht wirklich brennen (Gramitherm 2022, ISE Fraunhofer 2022b).

Einblasdämmung (Abbildung 33) kann eine noch geringere Wärmeleitfähigkeit als Typha boards und Schilfdämmplatten aufweisen. Diese kann zum Beispiel aus stark zerfaserten Rohrkolben oder Schilf hergestellt werden und wird per Schlauch (siehe Abbildung 34) in Wände eingeblasen. Diese Technologie wird bereits mit nicht nachwachsenden Rohstoffen eingesetzt, sodass hier schon bestehende Verfahren für Paludikultur-Produkte genutzt werden könnten.

Momentan entspricht der Marktanteil von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen 9 % mit steigender Tendenz (GMC 2022). Im Gegensatz dazu wurden 2019 18,5 Mio m³ Dämmstoffe aus fossilen Rohstoffen und 16,5 Mio m³ Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen unter großem Ausstoß von CO₂ produziert (GMC 2022). Würden nur 10 % Marktanteil diese Dämmstoffe aus der Paludikultur kommen, würde eine Anbaufläche von 640 000 ha benötigt werden (GMC 2022). Ein Weiterer wichtiger Faktor von Dämmstoffen aus der Paludikultur ist ihr geringer bzw. je nach Wasserstufe und Verarbeitung sogar negativer, CO₂-Footprint. Würde dies bei der Auswahl von Dämmmaterial eine vorrangige Rolle spielen, würde dies die Nachfrage vervielfachen (Nordt & Dahms 2021 aus GMC 2022). Aus Abbildung 37 der Grafik aus dem Leitfaden des GMCs ist weiter zu entnehmen, was für einen unglaublichen Einsparungsfaktor, bezogen auf die emittierte CO₂-Menge, Dämmstoffe aus der Paludikultur ausmachen können. Diese Einsparungen sind von enormer Bedeutung, wenn Deutschland seine Klimaschutzziele für 2030 oder eher 2050 einhalten will. Bei einer Ersetzung von Steinwolle mit vergleichbaren Produkten aus der Paludikultur könnten ca. 8,5 Kg CO₂ pro m² verbaute Dämmplatten gespart werden. Damit Dämmplatten und Baustoffe aus der Paludikultur attraktiver werden, muss Planungssicherheit für Eigenheimbauer, Architekten- und Planungsbüros geschaffen werden. Dies kann nur über eine Ausweitung des Anbaus sowie der weitergehenden Forschung und Serienreife von Produkten gewährleistet werden.



Abbildung 32 Schilf Bunde zur Verwendung als Dach Reet



Abbildung 31 Schilf-Dämmplatten

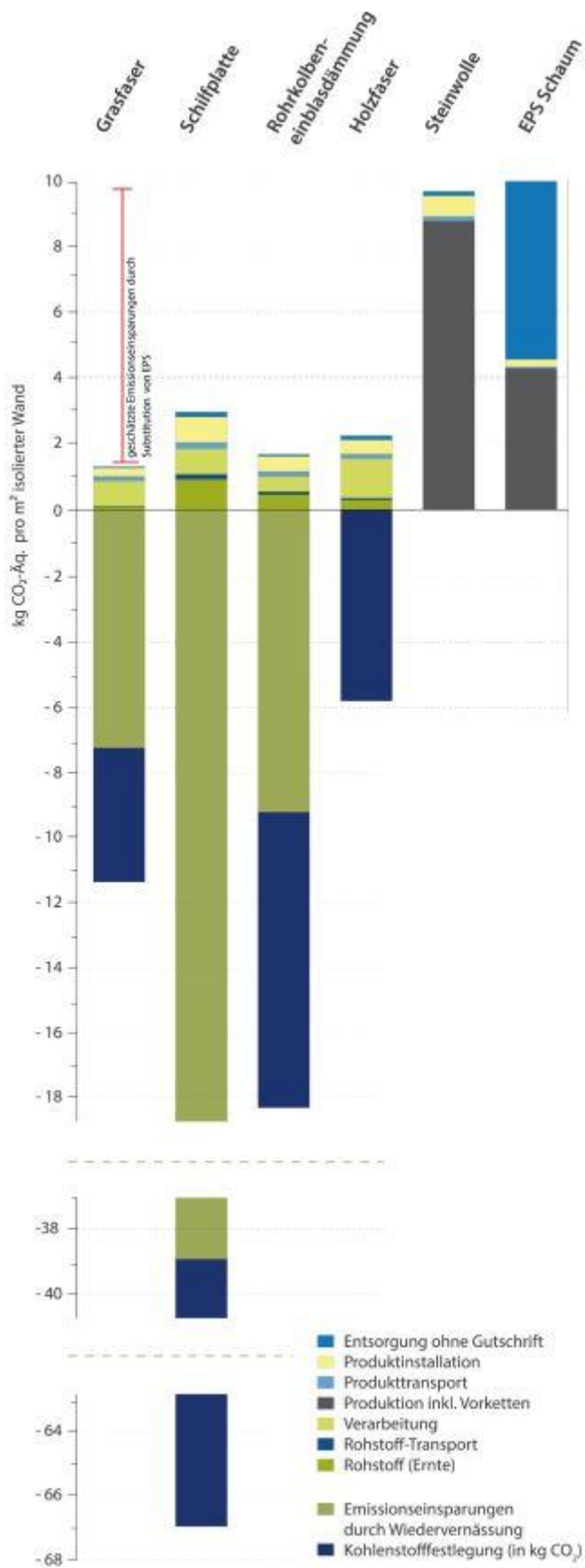


Abbildung 35 Typha Boards



Abbildung 34 Gramitherm Dämmplatten



Abbildung 33 Einblasdämmung aus Typha



Abbildung 36 Einblasdämmung wird per schlauch in eine Wand geblasen.

Abbildung 37 Vergleich des Carbon footprint von Dämmstoffen aus Nachwachsenden Rohstoffen und Herkömmlichen fossilen.

Einstreu, Raufutter

Im Zuge der Produktion von Futter und Einstreu eignen sich Produkte aus der Nasswiesen / Seggen-Bewirtschaftung. Einstreu aus Nasswiesen ist in Form von Heu durch seine Pilzanfälligkeit bei der Feldtrocknung eher unpraktisch (GMC 2022). Als Einstreu in Form von Pellets, die bei ihrer Produktion durch Erhitzung sterilisiert werden, gibt es noch keine Erfahrung in der Praxis (GMC 2022). Rohrkolben sowie Schilf nehmen außerdem nicht gut Flüssigkeit auf, was sie als Baustoff attraktiv, zur Nutzung als Einlage aber eher unattraktiv macht (siehe Teil Kulturen). Wie schon in Kapitel 2 erwähnt, spielt der Erntezeitpunkt vor allem bei der Qualität der Futtermittel eine große Rolle. Je nach Qualität eignet sich diese dann zur Fütterung an Mutterkühe. Spät geerntetes Rohrglanzgras eignet sich aufgrund des Fruchtgehaltes besonders für den Verkauf als Pferde-Heu (GMC 2022). Generell ist die Ernte von Heu auf Nasswiesen mit hohen Wasserständen auf Grund der nicht auf dem Feld möglichen Trocknung problematisch. Bei der Fütterung von Typha an Milchvieh wurde neben dem geringen Futterwert auch beobachtet, dass Milchvieh Gras bevorzugt (Pijlmann et al. 2019). Auch wenn der Selengehalt in Rohrkolben einen Vorteil darstellt, da dies nicht extra zugefüttert werden muss, sind die Verluste von Milchleistung um 8- 10 % zu groß, um eine Verfütterung zu realisieren (GMC 2022).

Eine weitere Möglichkeit bietet die Aufbereitung der Paludi-Biomasse in Form von Proteinextraktion in Bioraffinerien. Im GMC Leitfaden von 2022 wurde angegeben, dass so bis zu 2,2 t TM Protein je Hektar Rohrglanzgras produziert werden können. Neben diesen können bei der Produktion auch Zellulose und andere Plattformchemikalien gewonnen werden (siehe Teil „Fasern und Plattformchemikalien“). Es gibt bereits erste Produktionsanlagen in Dänemark und Deutschland, die allerdings nicht auf die Verwendung von Paludikulturen in nennenswerten Mengen zurückgreifen (GMC 2022). Ein besserer Ausbau dieser Kapazitäten könnte jedoch helfen, die Menge an importiertem Soja-Eiweiß für die Fleischtiermast zu reduzieren.

Torfersatz

Die Ersetzung von Torf in der Substrat- und Blumenerde Herstellung hat aufgrund der extremen Schädlichkeit des Torfabbaus eine sehr hohe Bedeutung. Auf 10.000 ha werden in Deutschland jedes Jahr ca. 8 Mio m³ Torf abgebaut. Insgesamt werden 7,7 Millionen m³ für Kultursubstrate und Blumenerde verwendet (BMEL 2022a). Hochmoortorf ist dabei die meistgenutzte Quelle. Bis 2030 soll Torf durch Alternativen im Hobby- sowie Erwerbsgartenbau ersetzt werden. Laut BMEL 2022 sind im Heimwerker und Hobbybereich ca. 30% schon durch Torfalternativen ersetzt. Im Erwerbsgartenbau beträgt dies nur ca. 10%. Die Hauptersatzstoffe sind Kompost, Holzhäcksel, Rindenhumus und Kokosfasern. Vor allem Kokosfasern sind aufgrund ihres langen Transportweges besonders umweltschädlich.

Als Torfalternative bieten sich Torfmoose an. Vor allem zur Ersetzung von Weißtorf ist Torfmoos besonders geeignet, da Torfmoos im Grunde nur frischer Weißtorf ist bzw. die Eigenschaften von schwach zersetztem Torf eg Weißtorf hat (GMC 2022). Gartenbauliche Kulturen, die in Substraten mit Volumen Anteilen von 50 bis zu 90 % Torfmoos gezogen werden, haben keinen merklichen Qualitätsverlust (GMC 2022). Die Verwendung von Torfmoos ist bei Kulturen wie fleischfressenden Pflanzen sowie Orchideen sehr beliebt, da Torfmoos nicht viele Nährstoffe enthält und gute Wasseraufnahme sowie Struktureigenschaften hat (GMC 2022). Noch steckt die Kultivierung von Torfmoos in den Kinderschuhen und es wurde noch keine wirkliche kommerzielle Produktion von Torfmoos in Deutschland durchgeführt. Dies liegt an der noch unzureichenden Produktion von

Saatgut bzw. Etablierungs-Biomasse für die Etablierung auf neuen Standorten. Zum anderen liegt es aber auch an dem schlechten Ruf, den Torfmoos durch seine lange Kulturdauer trägt (Wegener 2023).

Die RAL-Gütesicherung hat im Juni diesen Jahres Richtlinien für Substrate aus der Paludikultur vorgestellt (Abbildung 38).

Kultursubstrate	Blumenerden
pH-Wert: 5,0 – 6,5; Moorbeet 3,4 – 4,6	5,0 – 6,5
Salzgehalt: < 3,0 g/l; Moorbeet usw. < 1,0 g/l	< 3,0 g/l
Lösliche Nährelemente (Deklaration der Sollwerte)	
Stickstoff (NH ₄ -N + NO ₃ -N)	Stickstoff (NH ₄ -N + NO ₃ -N) > 100 mg/l
Phosphor (P ₂ O ₅)	Phosphor (P ₂ O ₅) > 100 mg/l
Kalium (K ₂ O)	Kalium (K ₂ O) > 100 mg/l
Überprüfung deklarerter Sollwerte. Toleranzbereiche müssen eingehalten werden.	
Untersuchung bei Bedarf:	
Natrium (Na) < 100 mg/l, Moorbeet usw. < 35 mg/l)	< 100 mg/l
Chlorid (Cl) (< 200 mg/l, Moorbeet usw. < 100 mg/l)	< 200 mg/l

Abbildung 38 Anforderungen des RAL an Blumenerde und Kultursubstrate aus der Paludikultur

Weitere Kriterien sind die Unkrautfreiheit sowie eine gesicherte N-Stabilisierung (Wegener 2023).

Zur Verwendung als Torfersatz können auch andere Kulturen aus der Paludikultur genutzt werden. Ein Bericht der FH Weihenstephan 2023 hat diesbezüglich die Erstellung von Kultursubstraten in einem Forschungsprojekt von 2016 bis 2022 am 19.06.23 verglichen (Lohr 2023). Es wurden Schilf, Rohrkolben, Rohrglanzgras und Seggen untersucht. Im Zuge dieses Versuchs wurden die stofflichen Eigenschaften wie das C:N Verhältnis, der Phosphat- und Stickstoffgehalt, sowie der pH-Wert miteinander verglichen und Wachstumsexperimente an Basilikum durchgeführt. Das Ergebnis dieser Studie hat gute Ergebnisse für die Ersetzung des Substrats durch bis zu 40% zerkleinerten und kompostierten Seggen und bis zu 20% Rohrkolben gezeigt (Lohr 2023). Verglichen mit einem Torfsubstrat ist das Wachstum der Testpflanzen deutlich geringer ausgefallen. Jedoch versprechen sich die Autoren durch Zugabe von Stickstoff während der Kompostierung eine Optimierung dieser Torfersatzstoffe (Lohr 2023). Die Hauptproblematik ist hier vor allem die noch nicht serienfähige Ernte, vor allem bei Torfmoos. Diese Planungsunsicherheit behindert die Etablierung auf dem Markt. Auch dass Torf noch um einiges günstiger ist als Alternativprodukte sorgt für Probleme (GMC 2022). Das GMC führt im Leitfaden von 2022 an, dass ein Preisaufschlag von 10% auf Torf, Torfmoos sowie andere, Torfalternativen konkurrenzfähig machen könnte. Generell werden in diesem Bereich große Fortschritte gemacht, sodaß das Ziel der kompletten Entfernung von Torf aus Kultursubstraten bis 2030 erreichbar ist (GMC 2022).

5.2 Märkte und Etablierungs-sowie betriebswirtschaftliche Beispiele

Wie bereits in den vorausgegangenen Kapiteln erwähnt, gibt es für einige Kulturen bzw. in einigen Sektoren schon etablierte Märkte. Die Daten hierfür wurden dem Leitfaden für die Umsetzung von Paludikultur entnommen (GMC 2022). Der folgende untere Tabellenteil befasst sich mit der Verwertung von Paludikultur-Produkten, die noch in der Testanwendung sind bzw. nur als Prototypen existieren.

Tabelle 1: Etablierte Märkte für die behandelte Paludikulturen sowie Verwertungen aus Testanwendungen und Prototypen vgl. GWC 2022, Nordt et al. 2022

Etablierte Märkte für die Behandelte Paludikulturen			
Kultur Verwendung	Ertrag je ha	Rohstoffpreis	Erlös je ha und Jahr
<u>Schilf</u> - Dachschilf - Ausputz/schlechtere Qualität - Schilfdämmplatten/Putzträger	Ø 500 Bunde	450 EUR je t 30 EUR je t ~ 450 EUR je t	Ø 1.000 EUR
<u>Torfmoos</u> - als Weißtorfersatz in Kultursubstraten - für Orchideenkultur - als Saatgut	~ 50 bis 200 m ³ je Jahr	25 EUR je m ³ 165 EUR je m ³ 750 EUR je m ³	1.250 – 5.000 EUR 8.250 – 33.000 EUR 37.500 – 150.000 EUR
<u>Brennstoff für Heizwerk</u> - Nasswiesenheu - Stroh (Vergleich)	2 – 4 t TM	50 – 70 EUR je t 80 – 100 EUR je t	100 – 280 EUR
<u>(Co-)Substrat für Biogasanlagen</u> - Nassvergärung - Feststoffvergärung	3 – 8 t TM 3 – 8 t TM	10 – 35 EUR je t FM k.A.	Ø 100/max. 600 EUR
<u>Einstreu</u> - für Sauenhaltung - Stroh (Opportunitätskosten) - Strohpellets (Pferde, Geflügel etc.)	3 – 8 t TM	< 65 EUR je t 80 – 100 EUR je /t rd. 0,3 EUR je kg	max. 195 – 520 EUR
<u>Raufutter aus Feucht/Nassgrünland</u> - Pferdeheu	3 – 8 t TM	100 – 130 EUR	300 – 1040 EUR
Verwertungen aus Testanwendungen und Prototypen			
Rohrkolben-Dämmplatte	10 – 25 t	150 – 300 EUR je t	1.500 – 4.500 EUR
Rohrkolben-Einblasdämmung	10 – 25 t	k.A.	k.A.
Rohrkolben, Schilf, Nasswiesenbiomasse: Einweggeschirr	5 – 25 t	~50 EUR je t	250 – 1.250 EUR
Nassgrünland: Dämmmaterialien Gras	3- 8 t	gering	k.A.
Nassgrünland, Schilf: Papier aus Gras	3 – 15 t	~ 80 – 150 EUR je t	240 – 2.250 EUR
Nassgrünland: (voraufbereitete) Fasern für Verpackungsmaterial	3 – 8 t	~ 150 – 210 EUR je t	450 – 1.680 EUR
Nassgrünland: Proteinkonzentrat als Futter	Bis zu 2,2 t TM	k.A.	k.A.

Die regionale Rohstoffnachfrage und Verfügbarkeit ist bei den Erlösen und Preisen ein zusätzlicher Faktor. Je nachdem, wie gut die lokalen Verwertungsketten aufgestellt sind, können höhere Rohstoffpreise erzielt werden (GMC 2022). Auch bei dem Zusammenschluss von lokal ansässigen Landwirten kann der Preis der Bewirtschaftung durch das Teilen von Kosten für Spezialmaschinen verringert werden. Es muss mehr Angebot geschaffen werden, damit sich die Nachfrage erhöht und umgekehrt. Diese Problematik muss durch gezielte Förderung zum Aufbau von Verwertungsunternehmen sowie der Kooperation entlang der Wertschöpfungskette dieser Produkte gelöst werden (GMC 2022). Wenn durch Kooperation von verwertenden Unternehmen mit Landwirten größere Gewissheit für den wirtschaftlichen Erfolg für beide Parteien entsteht, kann dies die Etablierung von Rohstoffen und Produkten aus der Paludikultur voranbringen.

Ein weiterer, in dieser Arbeit nicht mit berücksichtigter Faktor, sind die Preise für Arbeitskräfte. Diese steigen stetig an, sind schwer zu prognostizieren und auch eine Verfügbarkeit von Arbeitskräften ist selbst bei angemessener Bezahlung nicht immer gewährleistet. Dies wurde von der Landwirtschaft vor allem im Corona Zeitraum, aber auch danach nicht genügend beachtet. Dieser Problematik der fehlenden Arbeitskräfte könnte zum Teil durch eine Verbesserung von Erntelogistik und durch einen höheren Automatisierungsgrad der Bewirtschaftung von Flächen entgegengewirkt werden. Dazu wird im Experteninterview im folgenden Kapitel 6 hingewiesen.

Betriebswirtschaftliche Realbeispiele anhand von zwei Kulturbeispielen

Hier werden für zwei Kulturen die Kosten sowie Erlöse aufgrund von Daten aus dem BfN-Skript 616 2021 zusammenfassend aufgestellt, um einen Überblick bezüglich der betriebswirtschaftlichen Realität zu geben.

Beispiel Rohrkolben

Hier wird die Kultur auf einen Zeitraum von 10 Jahren betrachtet. Bedingt dadurch, dass der Rohrkolben erst im 2. Jahr geerntet werden kann, wurde hier mit 8,6 Ernten gerechnet. Für den ungünstigsten Fall wurden 4,7 ha und im günstigsten 20 ha angebaut. Weiter wurde, bezogen auf die Erträge für den ungünstigen Fall mit Erträgen von 4,8 t TM/ha und im günstigen Fall mit Erträgen von 22,1 t TM/ha gerechnet. Der Erlös wird für den Verkauf von Dämmstoff mit einem Höchstlerlös von 330 € pro Tonne angenommen. (Vgl. BfN-Skript 616, 2021). So belaufen sich die Kosten und Erlöse eines Jahres auf (Vgl. BfN-Skript 616, 2021):

Tabelle 2 Aufstellung Von Betriebskosten und Erlösen aus der Kultivierung von Typha Vgl. BfN-Skript 616, 2021

		Ungünstiger Fall	Mittlerer Fall	Günstiger Fall
Kosten	Abschreibung Anlage	- 1.120,00 €	- 680,00 €	- 80,00 €
	Abschreibung Pflanzkosten	- 570,00 €	- 570,00 €	- 570,00 €
	Ernte	- 1.600,00 €	- 1.450,00 €	- 1.200,00 €
	Pflege	- 1.040,00 €	- 930,00 €	- 810,00 €
	Gesamt	- 4.330,00 €	- 3.630,00 €	- 2.760,00 €
Erlös	Ertrag	1.296,00 €	3.942,00 €	5.967,00 €
	Förderung	- €	- €	418,00 €
Gewinn		- 1.464,00 €	312,00 €	2.055,00 €

Beispiel Schilf

Hier wird die Kultur auf einen Zeitraum von 30 Jahren betrachtet. Bedingt dadurch, dass der Rohrkolben erst im 4. Jahr geerntet werden kann, wurde hier mit 26 Ernten gerechnet. Die Kosten für den Anbau des Schilfs werden auf 2.760€/ha gesetzt. Dies ergibt sich aus den Arbeitskosten + 5000 Pflanzen * 0,44€ pro Pflanze ergeben, kombiniert mit der Laufzeit, 224 € Kosten pro Jahr.

Weiter wurde, bezogen auf die Erträge, für den ungünstigen Fall mit Erträgen von 6 t TM/ha und im günstigen Fall mit Erträgen von 12 t TM/ha gerechnet. Der Erlös wird für den Verkauf von Dachschiif mit einem Ertrag von 500 Bündeln pro ha bei 2 € pro Bündel und der Verkauf für die energetische Verwendung bei 65€ / t TM angenommen. (Vgl. BfN-Skript 616, 2021). So belaufen sich die Kosten und Erlöse eines Jahres auf (Vgl. BfN-Skript 616, 2021):

Tabelle 3 Aufstellung von Betriebskosten und Erlösen aus der Kultivierung von Schilf Vgl. BfN-Skript 616, 2021

		Ungünstiger Fall	Mittlerer Fall	Günstiger Fall
Kosten	Pflanzung	- 224,00 €	- 224,00 €	- 224,00 €
	Mahd	- 220,00 €	- 260,00 €	- 340,00 €
	Pressen	- 144,00 €	- 192,00 €	- 288,00 €
	Transport	- 55,00 €	- 74,00 €	- 110,00 €
	Gesamt	- 643,00 €	- 750,00 €	- 962,00 €
Erlös	Ertrag energetisch	225,00 €	520,00 €	1.650,00 €
	Ertrag stofflich (Dachschiif)	570,00 €	1.000,00 €	2.500,00 €
Gewinn	Energetisch	- 418,00 €	- 230,00 €	688,00 €
	stofflich	- 73,00 €	250,00 €	1.538,00 €

5.3 Wertschöpfung APV

Wie schon im Kapitel 4 ausgeführt, wird durch die Förderfähigkeit von APV-Anlagen auf wiedervernässten Flächen ein großer Anreiz für die Errichtung solcher geschaffen. Aufgrund des Fehlens von Realbeispielen im Sinne der Kombination von APV und Paludikultur ist hier eine Evaluation der möglichen betriebswirtschaftlichen Aspekte nicht valide möglich. In Kapitel 4 wurden drei Anlagentypen begutachtet, die im Sinne von Paludi-PV angewandt werden könnten. Diese umfassen hochgeständerte Anlagen mit einer Höhe über 4 Meter, vertikale PV-Anlagen und Axial Tracking Systeme.

In einer Masterarbeit (Vollmer 2022) wurden bezüglich der möglichen Kosten verschiedener APV-Anlagen eine Modellrechnung der Kosten pro kWh Stunde vorgenommen. Diese waren für hochaufgeständerte Anlagen minimal 7,3 ct/kWh und maximal 9,3 ct / kWh, Vertikalanlagen minimal 5,35 ct/kWh und maximal 6,88 ct / kWh sowie Tracking Systeme minimal 6,84 ct/kWh und maximal 9,22 ct / kWh. Inwiefern diese Erhebungen auf die Applikation im Rahmen der Paludikultur zutreffen, ist nicht valide zu sagen, können aber Anhaltspunkte geben. Weiter wurde berechnet, dass für einen Hektar hochaufgeständerte PV-Anlagen mit Reihenabständen von 18 m und einer Flächenleistung von 600 kWp/ha und bifazialen PV-Modulen, Investitionskosten von ca. 663.000 € pro ha mit einem Jahreserlös von ca. 37.840 € anfallen. So würde zum Beispiel eine hochaufgeständerte Anlage nach ca. 17 Jahren abgeschrieben werden können. Dies hängt selbstverständlich stark vom gegebenen Strompreis ab. Sollte dieser sich in den nächsten Jahren erhöhen, würde sich dieser Zeitraum selbstverständlich verringern. Auch der Faktor der Economics of scale sind hier zu beachten (Wydra et al. 2022). Umso größer die Anlage gebaut werden würde,

desto größer wären die möglichen Einsparungen und relativen Erlöse. Zusammengefasst wurde dies von Vollmer 2022 in einer Tabelle aufgeführt, die hier als Abbildung 39 zu sehen ist.

1. PV-Anlagendimensionierung		
Anlagenleistung	600	kWp
Ertrag	660.000	kWh/a
spezifische Stromerzeugung	1.100	kWh/kWp
Anlagenfläche	1	ha
2. Investitionskosten		
spezifische Investitionskosten	1.105	€/kWp
Investitionssumme	663.171	€
Kalkulationszins	5	%
Preissteigerung / Jahr	2	%
korrigierter Zinsfaktor	0,02941	%
Annuitätenfaktor	0,05705	%/a
Nutzungsdauer	25	a
Annuität & Kapitaldienst	37.835,33	€/a

Abbildung 39 Parameter hochaufgeständerte APV-Anlage auf einem Hektar Fläche Vgl. Vollmer 2022

Für dieses Beispiel wurde von Vollmer 2022 eine Berechnung mit Bezug auf bifaziale Glasmodule erstellt. Die Wahl der PV-Module selbst spielt bei der Kostenberechnung selbstverständlich auch eine große Rolle. Bifaziale Module eignen sich wegen ihrer relativen Kostengünstigkeit besonders, sind aber nicht unbedingt die von der Bauart her besten Module, um eine gute Beleuchtung der Kulturen zu gewährleisten.

Wie im Teil APV schon beschrieben, könnten die lichtliebenden Kulturen der Paludikultur von lichtdurchlässigen oder photonenselektiven Paneelen profitieren, um nur zwei Beispiele zu nennen. In einem kürzlich veröffentlichten Buch von Wydra et al (2022) wird diese Thematik aufgegriffen. Leider gibt es für diese Paneele noch keine genauen Daten, da diese sich noch in der Forschung befinden. Für semitransparente Module wurden Kosten von 500 €/kwp und bifaziale mit 250 €/kwp angesetzt. In diesem Buch wird auch eine grobe Kostenstruktur für die unterschiedlichen APV-Systemtypen erstellt (Abbildung 31):

technology	function	costs [€/kwp]	special feature / advantages / innovative salary	function serving agriculture									
				in application	protection from hail	protection from snow	protection from late frost	protection from heavy rain	protection from sunburn	fewer diseases	improved microclimate	windbreak	
high elevated	<ul style="list-style-type: none"> horizontal installation clear height ≥ 5 m management under the modules 	400	<ul style="list-style-type: none"> suitable for large agricultural machinery hardly any restrictions on cultivation max. loss of area of approx. 10 % 	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	(✓)	
low elevated	<ul style="list-style-type: none"> horizontal installation clearance height ≥ 2.1m management under modules 	220	<ul style="list-style-type: none"> less material required protective effect (roof) max. loss of area of approx. 10 % 	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	(✓)	
vertical systems	<ul style="list-style-type: none"> clearance height ≤ 2.1m management between the modules 	200	<ul style="list-style-type: none"> no height restriction plants receive very high light incidence max. area loss of approx. 15 % 	✓								(✓)	✓
tracking systems	<ul style="list-style-type: none"> power / par control management under modules 	550	<ul style="list-style-type: none"> optimised light management optimal power generation or par control option system tracking enables 30-45 % higher electricity yields possible max. area loss of approx. 15 % 	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Abbildung 40 Vergleich von 5 Ausgewählten APV-Technologien bezüglich ihrer Kosten, anlagenspezifischen Vorteilen und Vorteilen der unter ihnen wachsenden Kulturen.

Hier werden nochmal die spezifischen Funktionen, Vor- und Nachteile sowie Kosten dargestellt. Erkennbar ist, dass Vertikalsysteme hier die kostengünstigsten sind. Sie sollten auch im Sinne der Paludikultur, die am besten einsetzbaren sein (siehe Teil APV). Bei einer gebührenden Entfernung zueinander sollte die Beschattung der Paludikulturen auch möglichst geringgehalten werden können.

Als Realbeispiel kann hierfür die PV-Anlage bzw. der Solarpark Lottorf herangezogen werden.

In der konventionellen APV hat sich schon bewiesen, dass eine Kombination von PV und Landwirtschaft sinnvoll ist. Die Chancen für CO₂ Einsparung und Erreichen der Energiewende sind einfach zu groß, als dass sie nicht auch auf Paludikulturen übertragen werden können.

Als Zwischenfazit lässt sich hier sagen, dass weitere Forschung nötig ist, um konkretere Aussagen und zuverlässige Prognosen zu stellen.

5.4 Fördermöglichkeiten

Die finanzielle Förderung der Paludikultur erweist sich als schwierig, da Kulturen wie Schilf und Rohrkolben nicht als landwirtschaftliche Kulturen anerkannt sind (BfN-Skript 616 2021). Weiter gibt es für diese beiden Kulturen keine EU-Direktzahlungen. Eine Förderung besteht ggf. für den Rückhalt von Wasser, was auf die Paludikulturen zutrifft. In Brandenburg (MLUL Brandenburg 2018, LfU Brandenburg 2019 in BfN 2021) sowie Niedersachsen (ML Niedersachsen 2016 in BfN 2021) gibt es pro Hektar für die Rückhaltung von Wasser bei maximal zweimaliger jährlicher Mahd im Jahr 387€ bzw. 418 € Förderung. Für die generelle, kulturunspezifische Mahd auf Moorstandorten (nicht Schilf und Rohrkolben) ohne Düngung, gibt es je nach Bundesland pro Hektar zwischen 105€ und 375 € Förderung pro Jahr. Dies ist nicht ausreichend, um den Mehraufwand bei Nutzung von

bodenschonenden Spezialmaschinen zu bodenschonenden Erntezeiten finanziell zu kompensieren. Laut Dahms et al. 2017 belaufen sich die Kosten der Ernte mit Seiga-Maschinen im Winter für die Schilfrohernte auf ca. 554 €/ha, hingegen ist die Ernte im Sommer mit herkömmlicher Technik, die ein größeres Potential hat, den Boden zu beschädigen, auf 212 €/ha. Dieser Differenz von 315€ stehen in den meisten Bundesländern keine Kompensationen entgegen. Nur in Bayern sind Förderzahlungen von 190€ möglich (STMELF Bayern 2017, 2018 in BfN 2021). Diese Diskrepanz schafft falsche Anreize und sollte vom Gesetzgeber möglichst schnell behoben werden, um ökologisch verträgliche Anreize zur Moorbewirtschaftung zu schaffen.

Was eine Änderung des Gesetzes zur Erreichung ökologischer Anreize angeht, wurde Anfang diesen Jahres eine Förderung von PV-Systemen im Zuge der Wiedervernässung von Moorböden beschlossen (Siehe Kapitel APV). Diese Rechtsprechung gewährleistet eine Förderung nach § 85c Absatz 3 EEG auf Moorböden, die entwässert und landwirtschaftlich genutzt worden sind und im Zuge der Errichtung von Solaranlagen auf diesen Flächen wieder vernässt werden. Die Wasserstände müssen für die Wiedervernässung maximal 10 cm unter Flur im Winter und maximal 30 cm unter Flur im Sommer erreichen. Nach § 12 GAP-Konditionalitäten-Verordnung sind wiedervernässte Flächen, die landwirtschaftlich genutzt werden, auch förderfähig. Allerdings fehlt hier die genaue Definition, welche Kulturen auf diesen Standorten wie gefördert werden können.

So kann abschließend gesagt werden, dass es noch unausgeschöpftes Potential in Bezug auf finanzielle Förderung in der Paludikultur gibt, um eine sinnvolle ganzheitliche Weiterentwicklung von Paludikultur in Kombination mit APV zu gewährleisten.

6. Methodik und Interview

6.1 Methodik

Das Ziel dieser Arbeit ist, eine möglichst umfangreiche Übersicht über die verschiedenen technischen Regime in der Paludikultur zu ermöglichen, damit verbundene ökonomische Chancen sowie Probleme und die mögliche Vereinbarkeit mit Agri Photovoltaik zu untersuchen.

Die Untersuchung erfolgte in den Kapitel 2-5 mithilfe von umfangreicher Literaturrecherche. In dem Folgenden, Kapitel 7 wird ein Interview mit einem Experten und Innovator auf dem Gebiet der APV bzw. Moor-PV, Herrn Maximilian Weiland durchgeführt.

Maximilian Weiland ist Pionier und Innovator im Feld Moor- & APV. In den nächsten Jahren soll mit Hilfe seiner Konsultation bei der Firma Zimmerman auf einer 360 ha großen teils Nieder- und Hochmoorfläche eine APV-Anlage installiert werden.

Ziel dieses Interviews ist es, mit einem Experten aus dem Gebiet zu sprechen, der möglicherweise mehr über die genauen Möglichkeiten der Errichtung von PV-Anlagen auf Moorböden hat. Weiter sollte ergründet werden welche neuen Ansätze seiner Meinung nach auf diesem Gebiet bestehen bzw. entstehen können.

Die Literaturrecherche bezieht sich vor allem auf Veröffentlichungen aus dem Zeitraum von 2016 bis 2023.

6.2 Interview mit Herrn Maximilian Weiland

Maximilian Weiland ist Pionier und Innovator im Feld Moor- & Paludi- PV. In den nächsten Jahren soll mit Hilfe seiner Konsultation bei der Firma Zimmerman auf einer 360 ha großen teils Nieder- und Hochmoorfläche eine APV-Anlage installiert werden.

Ziel dieses Interviews war es, mit einem Experten aus dem Gebiet zu sprechen, der möglicherweise mehr über die genauen Möglichkeiten der Errichtung von PV-Anlagen auf Moorböden hat. Weiter sollte ergründet werden welche neuen Ansätze seiner Meinung nach auf diesem Gebiet bestehen.

Das Interview wurde über WEBEX geführt und aufgezeichnet. Die gestellten Fragen sind hier kurz aufgeführt.

Zu APV-Anlagen auf Moorböden wurde gefragt:

Was ist Ihrer Meinung nach das Beste APV Anlagenkonzept für Paludikultur ?

Was könnte der Gesetzgeber tun, um die Etablierung dieser Anlagen zu unterstützen ?

Herr Weiland entwickelt momentan ein Beerntungssystem bzw. eine Maschine zur Kombination mit APV.

Wie funktioniert diese? (Wurde am 31.08.2023 schon Telefonisch kommuniziert)

Was wären hier der größte Vorteil ?

Was wäre hier der größte Nachteil ?

Im Folgenden sind die Antworten von Hr. Weiland aus dem bereits erwähnten Interview und mehreren persönlichen Telefonaten zusammengefasst.

Was ist Ihrer Meinung nach das Beste APV Anlagenkonzept für Paludikultur?

Axial Montierte bifaziale PV-Module die sich mit dem Lauf der Sonne neigen können und durch Ballastierung auf dem Boden gehalten werden. Diese Art der Bodenbefestigung verbindet das APV-System mit einer, für die Applikation im Moor möglichst schweren, aber breiten Ballastierung in Form von Betonplatten mit dem Boden. Dies lässt eine reversible Entfernung der Anlagen zu und verhindert eine Beschädigung des Bodens durch zu große Verdichtung in den tiefen Bodenschichten wie es bei Einrammfundamenten der Fall wäre.

Der Vorteil, der von Herrn Weiland beschriebenen Anlage ist, dass diese aufgrund technischer Innovationen toleranter gegenüber Wind und Sturm sind.

Bei vorhergegangenen und ebenfalls von der Firma Wattmanufactur benutzten Modulen war eine Winkelstellung von 0 Grad (PV-Modul ist Horizontal) aufgrund von starken Vibrationen und damit einhergehender Selbsterstörung nicht möglich (Weiland 2023). Diese Stellung ist jedoch nötig, um bei Sturm nicht beschädigt zu werden. Herkömmliche Axial-Systeme können bei Sturm nur auf eine Neigung von ca. 5° gestellt werden, was die Module immer noch enormen Windlasten aussetzte (Weiland 2023). Die von der Firma Zimmerman entwickelten Axial-Systeme können durch Dämpfung diese Kräfte jedoch minimieren und halten so bei einer Stellung von 0° stärkere Stürme aus. (Weiland 2023)

Was könnte der Gesetzgeber tun, um die Etablierung dieser Anlagen zu unterstützen?

Für eine gewisse Startzeit, bis man über Skalierung und vielleicht tatsächlich Vereinbarung noch wirklich konkurrenzfähiger betreiben kann, bräuchte es eine Startfinanzierung. Zum Beispiel müssten die ersten Anlagen einen Cent oder anderthalb mehr für den produzierten Strom bekommen. Damit dieses Risiko eingegangen werden kann.

Da Solaranlagen selbst schwierige Rahmenbedingungen haben, sind sie nur begrenzt finanziell belastbar. Wenn noch Kosten für die Vernässung hinzukommen, können diese nur schwer gestemmt werden. Also, es müssen im Grunde die Kosten für die Naturschutzthematik bzw. die Wiedervernässung von dem Solarprojekt abgekoppelt bleiben damit das Risiko nicht zu groß wird.

Herr Weiland entwickelt momentan ein Beerntungssystem bzw. eine Maschine zur Kombination mit APV.

Wie funktioniert diese? (Wurde am 31.08.2023 schon telefonisch kommuniziert)

An den auf bzw. im Boden installierten Gestellen der PV-Anlagen werden Schienen montiert. Diese dienen als Führung für eine leichte doppelbereifte Maschine, die, ausgestattet mit beliebiger Erntetechnik (Mähkorb usw.), über die Fläche fährt. Diese Technik bzw. Maschine ist elektrisch und soll auch direkt über den Solarstrom, der von den PV-Modulen generiert, wird gespeist werden.

Was wäre hier der Größte Vorteil?

Eine Beerntung und Befahrung des Standorts 365 Tage 24 Stunden am Tag bei beliebigen Wasserständen. Am besten soll dies auch automatisch passieren. Das Konzept der Maschine beinhaltet die Installation von Schienen an den Stützelementen der APV-Anlage. Diese könnten in beliebiger Höhe angebracht werden und so auch dem Wasserstand angepasst werden.

Was wäre hier der größte Nachteil?

Das Gerät kann voraussichtlich nur ca. 2 t Erntegut transportieren und es ist noch nicht ganz geklärt, wie die Logistik ablaufen wird. Also wie das ernte gut vom Feld gebracht werden kann. Dies stellt aber eine generelle Problematik in der Paludikultur dar.

Weiter wird sich diese Technik nur in großem Rahmen lohnen, wo dann zum Beispiel 6 dieser Erntemaschinen nebeneinander zwischen den PV-Modulen durchfahren.

6.3 Auswertung:

Die Antworten auf die Fragen des Interviews sind nicht überraschend, sondern unterstützen die Erkenntnisse, die im Literaturteil dieser Arbeit gesammelt wurden. Die Ausführung und Beschreibung der sich noch in Entwicklung befindlichen Erntemaschine, war sehr interessant und zeigt, was für ein enormes Innovations- und Entwicklungspotential der Technologie in diesem Bereich existiert. Es ist weiterhin ein guter Beleg dafür, die Erkenntnisse von Forschung im Bereich der Paludikultur mit der Entwicklung von APV-Systemen zu verknüpfen und zügig in neue Praxiskonzepte umzusetzen. Vor allem Forschungs- und Praxisansätze, die verschiedene Gebiete wie Ingenieurwissenschaften mit Naturwissenschaften wie Pflanzenbau, Biologie- (Technik) und Bodenkunde verbinden, zeigen neue Wege für zukünftige Entwicklungen auf. Auch ist das Vorantreiben von Automatisierung im Zeitalter von Fachkräftemangel eine notwendige Innovation mit viel Potential für den Gartenbau und die Landwirtschaft. Der Klimawandel und damit zusammenhängende Notwendigkeiten z.B. den CO₂-Ausstoss zu verringern, im Zusammenhang mit aktuellen sozialökonomischen Herausforderungen wie dem zunehmenden Fachkräfte- und Arbeitskräftemangel, verlangt nach Beschleunigung und neuem Denken und neuen Wegen, um diesen Herausforderungen zu begegnen.

7. Diskussion und Fazit

7.1 Diskussion und Ergebnisse

Am Anfang dieser Arbeit wurde das Ziel gesetzt, einen möglichst guten Überblick über die existierenden technologischen Regime der Paludikultur und der APV sowie ihrer Kombinierbarkeit zu geben. Auch sollte untersucht werden, welche mögliche Wertschöpfung in Produkten aus der Paludikultur steckt.

Im Folgenden wird diskutiert, welche Erkenntnisse gewonnen werden konnten. Im Rahmen dessen wird auch eine Empfehlung für die Kombination von ausgewählten Paludikulturen und APV-Systemen gegeben.

Vorweg lässt sich feststellen, dass die Paludikultur einen generellen Mehrwert für die Bewirtschaftung von Nieder und Hochmoorstandorten darstellt, im Gegensatz zu ihrer Nutzung als Grünland (GMC 2022). Vor allem für die Einsparung von CO₂ stellt die Paludikultur ein riesiges Potenzial dar. Fast alle betrachteten Kulturen haben eine Wasserstufe von über 4+. Dies ist nach der im Kapitel 2 aufgeführten Abbildung 1 zumindest torferhaltend oder bremst zumindest die weitere Freisetzung von CO₂ in einem signifikanten Maße ab.

Beim Anbau der meisten Kulturen fehlt es mit Ausnahme von Schilf und Nasswiesen-Biomasse noch an Praxis (GMC 2022). Die für die Kultivierung genutzten Maschinen und Verfahren müssen noch optimiert werden, damit eine umfangreiche Etablierung möglich wird (Siehe Kapitel 3). Aufgrund der noch unklaren Planbarkeit durch das Fehlen von großflächigen Praxisbeispielen für ihre Etablierung und Ernte, sind diese Kulturen oft noch zu „exotisch“ für viele Landwirte (BfN 2021). Der Ertrag der meisten Kulturen unterliegt auch noch großen Schwankungen, was auch für Planungsunsicherheit sorgt (GMC 2022). Auch dies basiert auf der noch nicht praxistestigen Erprobung dieser Kulturen (Siehe Kapitel 2).

Bezogen auf ihre Verwertungskette und Wertschöpfung gibt es schon viele Möglichkeiten und auch eine, je nach Anwendung, gute Nachfrage am Markt (GMC 2022, BfN 2021, Wichtmann et al. 2016). Vor allem die Nachfrage nach Dämmmaterial aus nachwachsenden Rohstoffen sowie die Ersetzung von Torf in Substraten bietet große Marktchancen. Wie in Kapitel 5 beschrieben, wächst der Markt für erneuerbare Dämmstoffe stetig an. Die Verwertung zur Produktion von Energie in Form von Pellets/ Briketts und Biogas hat aufgrund der derzeitigen sehr turbulenten Preislage von fossilen Rohstoffen auch gute Chancen auf eine Etablierung (GMC 2017, 2022). Die Preise für Energieproduktion aus diesen Kulturen kann ohne Probleme mit etablierten Energiequellen aus nachwachsenden Rohstoffen, wie Holz, mithalten (Siehe Kapitel 5). Auch hier werden diese Produkte noch, wie in Kapitel 5 ausgeführt, durch ihren experimentellen und unerprobten Stand, am Markt zurückgehalten. Auch die im Vergleich relative Kostengünstigkeit von fossilen Energieträgern hemmt die Etablierung sehr. Würden die CO₂-Kosten, die durch die Verwendung dieser fossilen Energieträger entstehen, in ihrem Preis mit abgebildet werden, würden Produkte aus der Paludikultur mit ihren zum großen Teil negativen CO₂ Footprints klar gegen diese triumphieren (LM M-V 2017, GMC 2017, 2022). Generell sorgt der geringe CO₂ Footprint für eine gute Stellung am Markt, wenn in den nächsten Jahren höhere CO₂ Steuern erhoben würden.

Eines der Haupthindernisse von vielen Paludikulturen bleibt allerdings die fehlende oder unzureichende finanzielle Förderung, um Anreize zu setzen (BfN 2021). Nach der Neuerung des EEG 2023 und damit verbundenen Förderfähigkeit von PV-Systemen auf Moorböden, können jetzt zwar diese Anlagen, aber noch nicht die möglichen darunter anbaubaren Kulturen, gefördert werden. Dies muss durch die Politik umgehend nachgebessert werden.

Durch diese Förderung entsteht die Ermöglichung der Installation von APV-Anlagen auf Moorböden. Diese Thematik ist, wie in Kapitel 4 sowie (GMC 2022) dargestellt, noch wenig erforscht und es gibt nicht mal eine handvoll Projekte oder Testaufbauten dieser Technologie auf Moorböden. Anlagen, wie die des Standortes Lottorf, wurden noch mit dem Fokus auf Energieproduktion erbaut und erst später eine mögliche Nutzung der Moorbodenkulturen erprobt.

Trotz dieser Problematik wurden Konzepte der Etablierung von APV-Systemen auf Moorstandorten untersucht. Die Beschaffenheiten von Moorstandorten sorgen für Schwierigkeiten bei der Verankerung im Boden bzw. Stabilisierung, was mit FPV-Anlagen im Falle sehr mächtiger Torfkörper gelöst werden könnte. Diese bieten allerdings keine guten Möglichkeiten für eine Befahrung und damit verbundenen Kultivierung der Fläche (Siehe Kapitel 4). Weiter, können wie auf dem Standort Lottorf, Stahlstützelemente in den Boden gerammt werden, was sich allerdings nur auf Standorten mit geringer Moormächtigkeit eignet. Die Wahl der APV-Systeme gestaltet sich so auch als schwierig, da eine nötige Stabilität, vor allem für hochaufgeständerte Anlagen, nicht immer gegeben werden kann (Siehe Kapitel 4). Diese hochgeständerten Anlagen sind allerdings bei Kulturhöhen einiger Paludikulturen von bis zu vier Metern nötig. Außerdem ist für eine akzeptable Befahrbarkeit solcher Standorte mit modifizierter herkömmlicher Technik, wie doppelbereiften Traktoren, eine Mindesthöhe dieser Module von ca. vier Metern unabdingbar. Diese Problematik könnte, wie in Kapitel 3 erwähnt, durch leichte bzw. vertikale PV-Anlagen gelöst werden. Hier besteht allerdings noch ein großer Innovationsbedarf seitens der APV-Systeme, der Kulturzüchtung sowie der Erntemaschinen. Diese innovativen Technologien sind zum Teil schon in Konzepten vorhanden, müssen aber noch erprobt werden (Siehe Kapitel 4 Standort Lottorf).

Ein weiterer problematischer Punkt bezüglich der Kombinierbarkeit von APV und Paludikultur ist, dass es noch keine umfangreichen Forschungsdaten über Beschattung und die damit verbundenen Auswirkungen auf das Wachstum der Paludikulturen gibt (GMC 2023). Dies muss noch geschehen, um den Einfluss auf die Kultivierung von Paludikulturen zu bestimmen. Weiter muss auch untersucht werden, inwiefern die anderen Vorteile von APV - Schutz vor Starkwetter, Wasserhaushaltsverbesserung durch Beschattung usw. - bei Paludikulturen von Bedeutung sind.

Aussagen über die Wirtschaftlichkeit lassen sich aufgrund der geringen Datenlage noch nicht wirklich treffen (GMC 2023). Nur, dass es keinen Grund gibt anzunehmen, dass der Ertrag von Solarpaneelen auf Moorstandorten bedeutend geringer sein sollte. Es müssen zwar große Abstände zwischen den Modulen eingehalten werden, damit die darunterliegenden Kulturen genug Sonne bekommen, aber dies ist im Rahmen der APV keine ungelöste Problematik (Wydra et al. 2023). Diese Problematik könnte außerdem mit technischen Innovationen wie z.B. semitransparenten Solarpaneelen gelöst werden (Siehe Kapitel 4). Es ist allerdings anzunehmen, dass die Aufbaukosten von APV-Anlagen auf Moorstandorten durch die obengenannten Faktoren erhöht sein könnten. Auch sind diese Systeme auf Moorböden noch nicht erprobt, was die Kosten weiter in die Höhe treibt. Die Tatsache, dass die finanzielle Förderung dieser Anlagen erst eine Wiedervernässung bei Inbetriebnahme der Anlage fordert, erleichtert hier zumindest den Aufbau und die damit verbundenen Kosten (Bundesnetzagentur Konsultation 2023).

Die Vorteile in Bezug auf die Produktion von CO₂ sparender Energie mit Solarstrom ist für die Umsetzung der Energiewende nicht von der Hand zu weisen. Durch die Förderung von Wiedervernässung und PV wird außerdem ein zusätzlicher Anreiz für die Etablierung von Paludikulturen geschaffen (GMC 2023).

Bei der Untersuchung zu dieser Arbeit hat sich die Kombination von zwei Kulturen und von zwei APV-Systemen ergeben. Diese sind zum einen Schilfanbau und hochgeständerte Anlagen und zum anderen Torfmoosanbau in Kombination mit Vertikal-PV Anlagen.

Schilfanbau ist torferhaltend und möglicherweise sogar torfregenerierend bei einer Wasserstufe von 5+ bzw. 6+ (Siehe Kapitel 2). Es bestehen schon gut untersuchte technische Regime für Anbau und Ernte (Siehe Kapitel 2 und 3). Beim Anbau ist die Kultur sehr ausdauernd, schnellwachsend und widerstandsfähig (Siehe Kapitel 2). Die Maschinen, die zur Ernte genutzt werden, sind auch schon erforscht, auch wenn hier trotzdem noch Innovation geschehen kann (Siehe Kapitel 3). In Nachbarländern wird Schilf bereits kommerziell angebaut (GMC 2022), weshalb Expertisen von dort importiert werden können. Es existiert ein etablierter Markt für Produkte aus dem Schilfanbau (Siehe Kapitel 5). Dies umfasst selbstverständlich die baustoffliche Nutzung als Dach-Reet, aber auch Dämmstoffe aus Schilf sind bekannt und getestet. Die Verwendung in der Energieerzeugung ist erprobt in Form von Heu, Pellets und Briketts mit guten Preis zu Energie-Verhältnissen (Siehe Kapitel 5). Die Verwendung in der Biogasanlage ist möglich, zumal hier auch Abfallprodukte aus der Wertungskette verwendet werden können, wie altes Dach Reet oder Reste aus der Baustoff- und Verpackungsfertigung (Siehe Kapitel 5). Aus Schilf können Faserstoffe und Biopolymere für den Einsatz als Papier bzw. Verpackungsmaterial gewonnen werden (Siehe Kapitel 5). Schilf eignet sich sogar in geringerem Maße als Beimischung zur Ersetzung von Torf in Kultursubstraten. Die Hauptnachteile sind noch die problematische Gesetzeslage (Siehe Kapitel 2) rund um den Schilf Anbau, sowie das Schilf nicht als landwirtschaftliche Kultur anerkannt ist. Wird diese Problematik gelöst, ist Schilf der Meinung des Autors nach sehr gut geeignet, um die Etablierung von Paludikultur voranzutreiben.

Bei Wuchshöhen von bis zu vier Metern bietet sich hier die Kombination mit hochgeständerten APV-Systemen an. Da Schilf keine Flutgräben benötigt und auch stark degradierte Niedermoorstandorte mit geringer Torfschicht akzeptiert, könnten hier hochgeständerte Anlagen genutzt werden (Siehe Kapitel 2 und 4). Diese könnten auf Pfeilern, die vor der Wiedervernässung reversibel in den Boden gerammt wurden, aufgeständert werden (Kapitel 4). Die großen Abstände von diesen Pfeilern zueinander von ca. 18 Metern, ergeben hier eine gute Befahrbarkeit. Die Abstände der jeweiligen Reihen sollten möglichst groß gewählt werden, damit noch eine große Menge Licht auf die Schilfkulturen fällt.

Aufgrund dieser Faktoren könnten die degradierten Niedermoorstandorte durch Etablierung von Schilf wieder torferhaltend werden. Zudem hätten die hochgeständerten Systeme eine stabile Unterlage. Hier ist jedoch zu beachten, dass durch die Wiedervernässung eine Veränderung des Bodengefüges entstehen kann (Siehe Kapitel 4). Diesbezüglich müsste noch Forschung betrieben werden. Hier bietet die Toleranz von etablierten Schilfkulturen in Bezug auf Wasserstände von <1 Meter (Siehe Kapitel 2) die Chance, FPV-Systeme einzusetzen, falls eine Verankerung im Boden nicht gewährleistet werden kann.

Diese Kombination würde durch Einsparung von CO₂ Emissionen aus den Moorflächen und aus der Produktion von Solarstrom profitieren. Dies ist der Meinung des Autors nach eine logische und sinnvolle Kombination im Sinne der Paludikultur und der Umsetzung der Energiewende.

Auch Torfmoosanbau ist torferhaltend mit einer Wasserstufe von 5+. Der Torfmoosanbau ist in Deutschland noch nicht gänzlich erprobt (Siehe Kapitel 2). Allerdings wurden im Rahmen des Projekts PaludiPRIMA schon erste Regime bezüglich des Anbaus und der Ernte erstellt (Siehe Kapitel 2). Die maschinelle Ernte mittels Bagger ist auch noch recht experimentell, allerdings gibt es hier viele Konzepte mit Ansätzen für eine bessere Ernte (Siehe Kapitel 3 und 6). Trotz all dieser

Unbekannt ist der Grund, warum diese Kultur gewählt wurde, im Gegensatz zur Auswahl von Schilf, begründet auf den Chancen, die sie darstellt. Torfmoose haben fast die gleichen stofflichen Eigenschaften wie Weißtorf und bilden so das größte Potential, diesen in Substraten bei gleichbleibender Qualität zu ersetzen (Siehe Kapitel 5). Zudem fördern die langen Zeiträume zwischen den Ernten die Biodiversität und bieten Lebensräume für viele geschützte Arten. So werden hier die Vorteile vom Verfasser dieser Arbeit eher aus ökologischer als aus ökonomischer Sicht gesehen. Die Einsparung von CO₂ durch die Ersetzung von Torf in Kultursubstraten wäre bei einer erfolgreichen Umsetzung von Torf in der Paludikultur enorm (Siehe Kapitel 5).

Ein weiterer Vorteil von Torfmoos ist seine Kombinierbarkeit mit APV durch seine geringe Wuchshöhe. Diese erreicht nur maximal 20 cm, wodurch das Errichten von hochaufgeständerten Anlagen nicht nötig ist (im Gegensatz zu fast allen anderen Paludikulturen die eine Wuchshöhen von < 2 Meter haben).

Hier bietet sich die Kombination mit vertikal aufgeständerten APV-Systemen an. Diese sind sehr kostengünstig, leicht und erfordern keinen hohen Wartungsaufwand (Siehe Kapitel 4). Weiter sind sie aufgrund ihres vertikalen Aufbaus auch nicht im Weg, wenn das Torfmoos per Bagger geerntet wird. Außerdem tragen sie dazu bei, die hohen Kosten durch lange Etablierungszeiten abzdämpfen. So profitiert hier die Torfmoos-Paludikultur durch einen Offset der Kosten und die vertikale APV-Anlage durch ein garantiertes freies PV-Modul.

Durch die Nutzung von Paludikultur auf Hochmooren werden diese Flächen nicht weiter der entwässerten Grünlandnutzung überlassen, sondern können neben der Verwendung zur Stromproduktion auch weiter landwirtschaftlich genutzt werden. Es bestehen allerdings noch Probleme aufgrund der experimentellen und nicht ganz ausgereiften Kulturführung. Werden diese gelöst und noch durch eine Verteuerung von Torf (z.B. durch eine Erhöhung der CO₂ Steuer) zusätzliche Anreize geschaffen, ist diese Kombination der Meinung des Autors nach eine logische und sinnvolle Applikation von APV in der Paludikultur.

7.2 Diskussion Methodik und Interview

Im Ersten Teil der Arbeit, Kapitel 2-5, wurde anhand von Literaturquellen eine Aufstellung der relevanten Informationen und Daten in Bezug auf Paludikultur und APV sowie den damit verbundenen technischen Regimen erstellt. Die genutzten Quellen haben eine gute Grundlage für die Bewertung ihrer Kombination im vorangegangenen Teil gegeben.

Das mit Herrn Weiland geführte Interview war informativ für die Fragestellung dieser Bachelorarbeit, aber zu kurz, um das Thema weitergehend zu beleuchten. Es hätten mehr Fragen gestellt werden können und auch eine größere Bandbreite von Experten wäre möglicherweise von Vorteil gewesen. Im Umfang dieser Arbeit, deren Hauptziel die Sammlung von Informationen war, hätte dies möglicherweise weitere Erkenntnisse liefern können. Durch die Sichtung der Informationen im Literaturteil in Kombination mit einem Experteninterview wurde der Versuch eines ersten Überblickes über die noch am Beginn der Forschung und Praxisumsetzung stehenden Thematik Paludikultur und APV gegeben. Dies müsste weiter fortgesetzt werden, um noch mehr Erkenntnisse zu generieren.

7.3 Fazit und Empfehlung

Wie in 7.1 zusammenfassend ausgeführt, eignen sich die Kombination von Paludikultur und APV für die Kultur Schilf mit einer hochgeständerten APV Anlage. Auch eine Kombination von Torfmoosanbau mit vertikalen APV-Systemen könnte viele Vorteile bringen. Um dies zu überprüfen, wäre es von Vorteil diese Anlagen in *einem* Projekt aufzubauen, um zu erforschen, welche gütlichen oder negativen Effekte ihre Kombination aufeinander hat. Es ist nicht bekannt, welchen Verschattungsgrad Torfmoos toleriert, oder ob der Aufbau von hochgeständerten APV-Systemen im Moor überhaupt gewinnbringend sein kann. All dies müsste getestet und erforscht werden, damit durch die Erlangung von neuen Erkenntnissen, Landwirte und Verwerter Planungssicherheit für zukünftige Umsetzungsprojekte haben können. Es braucht mehr Praxisprojekte, Innovation und Forschung auf diesem Gebiet.

Abschließend lässt sich sagen, dass eine Kombination von Paludikultur und APV trotz vieler unbekannter Faktoren gute Chancen hat, bei der Energiewende sowie der Wiedervernässung von Mooren ihren Beitrag zu leisten. Es gibt noch viele Forschungslücken, besonders was genaue Kosten und Erlöse durch die Kombination dieser beiden Technologien angeht. Auch ist wie schon erwähnt noch weiter zu erforschen, welche Synergien bei Ihrer Kombination auftreten können. Der Gesetzgeber sollte auch versuchen, durch gezieltere finanzielle Förderung und Gesetzesänderungen Anreize für die Umsetzung von Paludikulturen zu schaffen.

Zu unterstreichen ist, dass uns durch diese Verbindung zweier CO₂ sparender Technologien Deutschland ein weiteres Mittel an die Hand gegeben wird, das den anthropogenen Klimawandel bekämpfen kann. Es ist zu hoffen, dass wir auf eine Zukunft zusteuern, in der diese Technologie, ausgestattet mit guten Fördermitteln und stabilen Absatzmöglichkeiten am Markt, die Energiewende unterstützen kann und dazu beiträgt, dass Deutschland seine Klimaziele für 2030 erreichen kann.

8.Zusammenfassung

Ziel der Arbeit ist es, einen möglichst guten Überblick über die existierenden technologischen Regime der Paludikultur und der APV, sowie ihrer Kombinierbarkeit zu geben. Auch soll untersucht werden, welche mögliche Wertschöpfung in Produkten aus der Paludikultur steckt.

Dazu wurde im Rahmen einer umfangreichen Literaturrecherche zunächst der aktuelle Forschungsstand im Bereich Paludikultur erarbeitet. Dabei wurde der Fokus auf die fünf am besten erforschten Kulturen der Paludikultur gelegt, das sind Rohrkolben, Seggen, Torfmoos, Rohrglanzgras und Schilf. Die Eigenschaften dieser Kulturen und der aktuelle Forschungsstand zu deren Anbau werden im ersten Teil dieser Arbeit dargelegt. Im Anschluss wird dargestellt, welche Maschinen bzw. Technik zur Bewirtschaftung und Beerntung von landwirtschaftlich genutzten Moorflächen nötig sind. Dabei wird nochmals auf die einzelnen Kulturen eingegangen. Die Befahrung von wiedervernässten Moorflächen ist durch ihre geringe Tragfähigkeit und ihren niedrigen Eindringungswiderstand eine Herausforderung. Daher handelt es sich bei der benötigten Technik in der Regel um Spezialmaschinen und Sonderlösungen, die noch nicht in Serie produziert werden und daher sehr kostenaufwändig sind.

Im zweiten Teil der Arbeit wird eine mögliche Verbindung von Agri-Photovoltaik und Paludikultur untersucht. Dazu wird zunächst auf die Förderfähigkeit dieser Kombination im Sinne des § 85c Absatz 3 EEG eingegangen, die diese Kombination in Zukunft attraktiver macht. Anschließend werden anhand der bereits genannten Eigenschaften der Paludikulturen und den generellen Eigenschaften der wiedervernässten Moorstandorte Anforderungen erarbeitet, die an eine Photovoltaikanlage unter diesen Bedingungen gestellt werden. Die Wuchshöhe der Kulturen und die Bewirtschaftung der Fläche durch Maschinen limitieren die minimale Höhe der Anlage, wodurch bei allen Kulturen außer Torfmoos lediglich hochgeständerte Anlagen in Frage kommen. Die Bedeckung der Flächen durch die Anlage, und damit das Abschirmen von Licht und Starkwetter, ist eine weitere Herausforderung für die Paludikultur. Allerdings existiert zu dieser Fragestellung noch nicht genug Forschung, um eine definitive Aussage zu treffen, inwiefern die APV-Anlage den Kulturen in dieser Hinsicht nutzt oder schadet. Eine weitere Anforderung an die APV-Anlage ist eine möglichst geringe Verdichtung des Bodens, Floating PV oder das Einrammen von Stützpfählen in den Boden könnten hier eine Lösung sein. Zuletzt stellt der Säuregehalt des Bodens eine Herausforderung für die Materialität der Anlage dar, was durch die Verwendung bestimmter Materialien gelöst werden kann.

Um darzustellen, wie diese Anforderungen umgesetzt werden könnten, wird der aktuelle Forschungsstand zur Kombination von APV und Paludikultur anhand einer weiteren umfangreichen Literaturrecherche dargestellt. Dabei wird auf Forschungsbeispiele aus dem Bereich Moor-PV zurückgegriffen, also der Nutzung von Photovoltaikanlagen auf wiedervernässten Moorflächen, die nicht landwirtschaftlich genutzt werden. Einige Aufbaumöglichkeiten von PV-Anlagen werden kurz dargestellt, dabei dient der Solarpark Lottorf in Schleswig-Holstein als Anwendungsbeispiel. Auch hier wird klar, dass die nötige Technik derzeit noch nicht vollständig erprobt ist oder serienmäßig zur Verfügung steht.

Im dritten Teil der Arbeit wird sich mit der Verarbeitung und der damit verbundenen Wertschöpfungskette der fünf genannten Paludikulturen befasst. Dabei werden sechs verschiedene Verwertungsmöglichkeiten und deren Vor- und Nachteile beleuchtet. Vor allem die Verwendung als Dämm- und Baustoff, als auch die Verwendung als Torfersatz scheint vielversprechend für die Zukunft der Paludikultur, da diese eine hohe mögliche Etablierung und

Wertschöpfung aufweisen. Anhand von zwei Kulturbeispielen wird die betriebswirtschaftliche Realität beleuchtet. Auch die Kombination von APV und Paludikultur wird im Sinne ihrer Wirtschaftlichkeit kurz untersucht.

Einige Fragen zu möglichen Innovationen im Bereich APV und Paludikultur werden in einem Experteninterview mit Hr. Weiland geklärt. Dabei wird unter anderem auf sein innovatives Erntesystem eingegangen.

Die Recherchen dieser Arbeit kommen zu dem Ergebnis, dass eine Verbindung von APV und Paludikultur möglich, im Sinne von Energiewende und Klimaschutz vorteilhaft, und durch gesetzliche Neuerungen sogar förderfähig ist. Um eine wirtschaftliche Umsetzung möglich zu machen sind aber sowohl technische Innovationen, als auch Gesetzesänderungen notwendig.

Quellen und Literatur Verzeichnis

Literatur Quellen:

Becker 2020, Becker, Lea & Wichmann, Sabine & Beckmann, Volker. (2020). Common Reed for Thatching in Northern Germany: Estimating the Market Potential of Reed of Regional Origin. Resources. 9. 10.3390/resources9120146.

BfN 2021 Felix Närmann, Friedrich Birr, Moritz Kaiser, Monique Nerger, Vera Luthardt, Jutta Zeitz und Franziska Tanneberger (Hrsg.) Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden 2021 BfN Skripten 616. Bonn - Bad Godesberg 2021, ISBN 978-3-89624-377-5, DOI 10.19217/skr616

BMEL 2022, Torfverwendung reduzieren - Klima schützen, Zugriff: 07.09.2023

<https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/gartenbau/torf.html>

Dr. Dieter Lohr 2023 FH Weihenstephan 2023 Biomasse aus der nassen Bewirtschaftung von Niedermooren als Ausgangsstoff für Kultursubstrate Zugriff: 07.09.2023

<https://veranstaltungen.fnr.de/statusseminar-torfersatz-aus-paludikulturen/rueckblick>

Geurts 2018, Jeroen & Fritz, Christian. (2018). Paludiculture pilots and experiments with focus on cattail and reed in the Netherlands. 10.13140/RG.2.2.12916.24966.

GMC 2016 a Greifswald Moor Centrum , Rohrkolben (*Typha* ssp.) - Landwirtschaft auf nassen Mooren.

https://www.moorwissen.de/files/doc/paludikultur/imdetail/steckbriefe_pflanzenarten/Flyer%20Rohrkolben.pdf Zugriff: 07.09.2023

GMC 2016 b - Greifswald Moor Centrum, Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) -Landwirtschaft auf nassen Mooren.

https://www.moorwissen.de/files/doc/paludikultur/imdetail/steckbriefe_pflanzenarten/Flyer%20Rohrglanzgras.pdf Zugriff: 07.09.2023

GMC 2016 c - Greifswald Moor Centrum, Schilf (*Phragmites australis*) - Landwirtschaft auf nassen Mooren.

https://www.moorwissen.de/files/doc/paludikultur/imdetail/steckbriefe_pflanzenarten/Flyer%20Schilf.pdf Zugriff: 07.09.2023

GMC 2016 d - Greifswald Moor Centrum, Nasswiesen (*Carex* ssp.) - Landwirtschaft auf nassen Mooren.

https://www.moorwissen.de/files/doc/paludikultur/imdetail/steckbriefe_pflanzenarten/Flyer%20Nasswiese.pdf Zugriff: 07.09.2023

GMC 2016 e - Greifswald Moor Centrum, Torfmoos (*Sphagnum* spp.) -Landwirtschaft auf nassen Mooren.

https://www.moorwissen.de/files/doc/paludikultur/imdetail/steckbriefe_pflanzenarten/Flyer%20Torfmoos.pdf Zugriff: 07.09.2023

GMC 2017 Tobias Dahms, Claudia Oehmke, Astrid Kowatsch, Susanne Abel, Sabine Wichmann, Wendelin Wichtmann & Christian Schröder (2022): Bioenergie aus Mooren. Thermische Verwertung von halmgutartiger Biomasse aus Paludikultur. Universität Greifswald, 58 S.

GMC 2022 Nordt, A., Abel, S., Hirschelmann, S., Lechtape, C. & Neubert, J. (2022): Leitfaden für die Umsetzung von Paludikultur. Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe 05/2022 (Selbstverlag, ISSN 2627–910X), 144 S.

GMC 2023 Informationspapier des Greifswald Moor Centrum zu Photovoltaik-Anlagen auf Moorböden
https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/Infopapiere_Briefings/Positionspapier_PV-auf-Moor_fin.pdf Zugriff: 07.09.2023

IPCC, 2023: Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

ISE Fraunhofer 2021 Schwimmende Photovoltaik (FPV) Zugriff: 07.09.2023
<https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/integrierte-photovoltaik/schwimmende-photovoltaik-fpv.html>

ISE Fraunhofer 2022a Photovoltaik auf wiedervernässten Moor-Böden Zugriff: 07.09.2023
<https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/integrierte-photovoltaik/moor-pv.html>

ISE Fraunhofer 2022c Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende. Ein Leitfaden für Deutschland | Stand April 2022 Zugriff: 07.09.2023
<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/APV-Leitfaden.pdf>

ISE Fraunhofer 2022 b Typha Boards Innovativer und nachhaltiger Baustoff Zugriff: 07.09.2023
<https://www.bau.fraunhofer.de/de/forschungsbereiche/Baustoffe/typhaboard.html>

Kaltschmitt 2009, Kaltschmitt, M., Hartmann, H. & Hofbauer, H. (Hrsg.) (2009) Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Auflage. 1030 S. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer.

Kerstin Wydra 2023, Kerstin Wydra, Vera Vollmer, Christin Busch and Susann Prichta 2023
Agrivoltaic: Solar Radiation for Clean Energy and Sustainable Agriculture with Positive Impact on Nature Submitted: January 23rd, 2023 Reviewed: May 2nd, 2023 Published: June 30th, 2023 DOI: 10.5772/intechopen.111728

Klimaschutzbericht 2022 Klimaschutzbericht der Bundesregierung nach § 10 Absatz 1 des Bundes-Klimaschutzgesetzes

KNE (2022): Photovoltaik auf wiedervernässten Moorböden - Eine neue Flächenkulisse im EEG 2023. 18 S.

LM M-V (2017) Umsetzung von Paludikultur auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Mecklenburg-Vorpommern. Fachstrategie zur Umsetzung der nutzungsbezogenen Vorschläge des Moorschutzkonzeptes. 98 S. Schwerin: Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern.

Graf 2017, Martha Darling Graf, Birte Bredemeier, Amanda Grobe, Jan Felix Köbbing, Meike Lemmer, Jan Oestmann, Dorothea Rammes, Michael Reich, Gerald Schmilewski, Bärbel Tiemeyer, Lotta Zoch 2017 Torfmooskultivierung auf Schwarztorf: ein neues Forschungsprojekt in Niedersachsen.

MOOSWEIT 2019 Abschlussbericht Verbundvorhaben: Torfmooskultivierung zur klimaschonenden Moorentwicklung: Anbau und Ernte von kultivierten Torfmoosen (MOOSWEIT)

Neubert 2022, Neubert J., Köhn, N., Haldan, K., Kuprina, K., Wichmann, S. (2022): Paludikultur in die Praxis bringen: Integration – Management – Anbau. Schlussbericht zum Projekt Paludi-PRIMA. Förderkennzeichen: 22026017. Universität Greifswald. 82 S.

Pijlmann 2019, Pijlmann J., Geurts, J.J.M., Vroom, R.J.E., Bestman, M., Fritz, C. & Eekeren, N. Van (2019): The effects of harvest date and frequency on the yield, nutritional value and mineral content of the paludiculture crop cattail in the first year after planting. *Mires and Peat*, 25(04).

Sabine Wichmann 2009, Sabine Wichmann & Wendelin Wichtmann (Hrsg.) 2009 Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt Energiebiomasse aus Niedermooren(ENIM)

Schröder 2015, Schröder, Christian & Dahms, Tobias & Paulitz, J & Wichtmann, Wendelin & Wichmann, Sabine. (2015). Towards large-scale paludiculture: Addressing the challenges of biomass harvesting in wet and rewetted peatlands. *Mires and Peat*. 16. 1-18.

Sergej Usta'k 2012 Anbau von Rohrglanzgras *Phalaris arundinacea* L. für die Biogaserzeugung ISBN 978-80-7427

Theuerkorn 2014, Theuerkorn, W. (2014) Neuer Baustoff aus Rohrkolben. In: Neuer Baustoff für umweltfreundliche und bautechnische Sanierung in der Denkmalpflege (hrsg. von Deutsche Bundesstiftung Umwelt), S. 20–27. Osnabrück: DBU.

Gommlich 2017, Tim Gommlich Masterarbeit 2017 Zur Vermeidung von Wasserstoffschäden am höchstfesten Stahl 300M bei der galvanischen Abscheidung von Zink-Nickel-Überzügen RWTH Aachen. ISBN 978-3-8440-5717-1

Vollmer 2022, Vera Lynn Vollmer Masterarbeit 2022 Agri-Photovoltaik aktueller Forschungs- und Technikstand, sowie fallspezifische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wenzel 2022, Wenzel, M., Kabengele, G., Dahms, T., Barz, M. & Wichtmann, W. (2022): Bioenergie aus Mooren. Thermische Verwertung von halmgutartiger Biomasse aus Paludikultur. Universität Greifswald, 58 S.

Wichmann 2017, Wichmann, Sabine & Prager, Anja & Gaudig, Greta. (2017). Establishing Sphagnum cultures on bog grassland, cut-over bogs, and floating mats: procedures, costs and area potential in Germany. *Mires and Peat*. 2017. 1-19. 10.19189/MaP.2016.OMB.235.

Wichtmann, Schröder, Joosten 2016, Wichtmann, Schröder, Joosten 2016 Paludikultur - Bewirtschaftung nasser Moore Klimaschutz - Biodiversität - regionale Wertschöpfung. Stuttgart 2016, Schweizerbart, ISBN 978-3-510-65282-2

Weitere Quellen:

Brux 2006, Brux, Hetter 2006 E+E-Vorhaben „Osterfeiner Moor“ Abschlussbericht 1996 - 2006 Abschlussbericht nach 5b.1.1 BNBest-P http://www.ibl-umweltplanung.de/wp-content/uploads/publikationen/2008_Abschlussbericht-EEVOM_1996-2006.pdf Zugriff: 07.09.2023

Bundesnetzagentur Konsultation 2023

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Ausschreibungen/Solar1/BesondereSolaranlagen/Festlegung.pdf?__blob=publicationFile&v=2 Zugriff: 07.09.2023

Hiss Reet 2023, Dach Reet Geschichte <https://www.hiss-reet.de/reetdach/wissenswertes-ueber-reet/geschichte/> Zugriff: 07.09.2023

EG- G-Öko-Verordnung (2018/848) <https://www.boelw.de/themen/eu-oeko-verordnung/> Zugriff: 07.09.2023

EEG 2023, Erneuerbare-Energien-Gesetz EEG stand 2023 <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Dossier/eeg.html> Zugriff: 07.09.2023

Flumroc 2023 Steinwolle Hersteller

[https://www.flumroc.ch/steinwolle/eigenschaften#:~:text=Steinwolle%20ist%20ein%20Naturprodukt%20mit,1\)\)](https://www.flumroc.ch/steinwolle/eigenschaften#:~:text=Steinwolle%20ist%20ein%20Naturprodukt%20mit,1))) Zugriff: 07.09.2023

Gasbilanz 2022 <https://gas.info/fileadmin/Public/PDF-Download/faktenblatt-gasbilanz-2022.pdf> Zugriff: 07.09.2023

Gemeinde Lottorf 2020, Gemeinde Lottorf 2020 Begründung zum vorhabenbezogenen Bebauungsplan Nr. 3 „Solarpark Lottorf“ für das Gebiet entlang der Bahn östlich und südlich des Boklunder Weges und westlich des Moorweges <https://docplayer.org/186972932-Begruendung-zum-vorhabenbezogenen-bebauungsplan-nr-3-solarpark-lottorf.html> Zugriff: 07.09.2023

Klimaschutz durch Moorbodenschutz stand 2022

<https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/klimaschutz/moorbodenschutz.html#:~:text=Wiedervern%C3%A4ssung%20von%20Mooren%20als%20gro%C3%9Fe%20Chance%20im%20Klimaschutz&text=Bis%20zum%20Jahr%202030%20sollen,Wiedervern%C3%A4ssung%20von%20zuvor%20Oertw%C3%A4sserten%20Moorb%C3%B6den> Zugriff: 07.09.2023

MHG Göbel 2023, MHG Göbel 2023, Bau und Planung PV-Systeme <https://www.mkg-goebel.de/de/solarparks/moorflaechen/> Zugriff: 07.09.2023

NDR 2023: <https://www.ndr.de/nachrichten/schleswig-holstein/Lottorf-Unter-dem-Solarpark-erholt-sich-das-Moor,solarpark244.html> Zugriff: 07.09.2023

NOAA 2022 National Oceanic and Atmospheric Administration, US Department of Commerce 2022 <https://www.noaa.gov/news-release/carbon-dioxide-now-more-than-50-higher-than-pre-industrial-levels> Zugriff: 07.09.2023

S:flex 2022 PV modul Hersteller <https://www.sflex.com/index.php/23-produkte/freiland> Zugriff: 07.09.2023

GEF 2022, The Global Risks Report 2022, 17th Edition, is published by the World Economic Forum, <https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2022/> Zugriff: 07.09.2023

GAP 2023, Verordnung zur Durchführung der GAP-Direktzahlungen stand 2023,
https://www.gesetze-im-internet.de/gapdzv/_12.html Zugriff: 07.09.2023

Wattmanufactur 2023, Wattmanufactur 2023 Solarpark Betreiber,
<https://wattmanufactur.de/moor-pv.html> Zugriff: 07.09.2023

WWF 2022, <https://www.wwf.de/living-planet-report> Zugriff: 07.09.2023

Ulrike Wegener RAL 2023, Ulrike Wegener RAL 2023 ,Anforderungen an Paludikultur-Biomasse aus der Perspektive der Gütesicherung Kultursubstrate
<https://www.youtube.com/watch?v=kFP3TZSIVpM> sowie
<https://veranstaltungen.fnr.de/statusseminar-torfersatz-aus-paludikulturen/rueckblick> Zugriff:
07.09.2023

Uni Oldenburg 2006 (<http://www.hydrologie.uni-oldenburg.de/ein-bit/11822.html>). Zugriff:
07.09.2023

VIP 2013, Endbericht VIP – Vorpommern Initiative Paludikultur, FKZ: 033L030 A-R
<https://www.moorwissen.de/files/doc/Projekte%20und%20Praxis/vip/endbericht/Endbericht%20%20BMBF%20Verbundprojekt%20VIP%20-%20Vorpommern%20Initiative%20Paludikultur.pdf>
Zugriff: 07.09.2023

Quellen, Abbildungen: Auf Alle Abbildungen erfolgte ein Zugriff am 07.09.23

Abbildung 1 GMC 2023

Abbildung 2 GMC 2016 a

Abbildung 3 Rohrkolben <https://www.mein-schoener-garten.de/pflanzen/rohrkolben>

Abbildung 4 http://www.biomasse-freiberg.de/fileadmin/downloads/Ziel3-Projektstatus/Publicationen/PHALARIS_entg%C3%BCltig.pdf

Abbildung 5 GMC 2016 b

Abbildung 6 Delver koog 2007
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/84/Delver_koog_schilf.jpg/1200px-Delver_koog_schilf.jpg

Abbildung 7 GMC 2016 c

Abbildung 8 Seggen https://www.baumschule-horstmann.de/blaugruene-segge-692_74145.html
Nasswiesen <https://schaetze-der-eiszeitlandschaft.de/projektbeispiel/nasswiesen-bei-rudering-edling/>

Abbildung 9 GMC 2016d

Abbildung 10 Torfmoos: <https://www.moorlehrpfad.de/CMS/index.php/das-moor/wissenswertes-ueber-moore/43-torfmoose>

Abbildung 11 GMC 2016e

Abbildung 12 Paldui-PRIMA 2022

Abbildung 13a Wichtmann, Schröder, Joosten 2016

Abbildung 13b <https://wattmanufactur.de/moor-pv.html>

Abbildung 13c <https://paludikultur-niedersachsen.de/kultivierung/erntetechnik.html>

Abbildung 14a <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTo5cL0QU Eup272Ly9oX9Yi5dtSdJWoDs7QaMrpUC63a4Xk6JDO>

Abbildung 14b Wichtmann, Schröder, Joosten 2016 Paludikultur

Abbildung 14c https://www.hiss-reet.de/fileadmin/user_upload/reetdach/erntemaschine.jpg

Abbildung 15a Wichtmann, Schröder, Joosten 2016 Paludikultur

Abbildung 15b Wichtmann, Schröder, Joosten 2016 Paludikultur

Abbildung 15c <https://www.loglogic.co.uk/index.php/video-downloads>

Abbildung 15d <https://www.openaccessgovernment.org/peat-soils-climate-killer-or-climate-saver/97442/>

Abbildung 16 MOOSWEIT 2019

Abbildung 17 MOOSWEIT 2019

Abbildung 18 <https://www.iasp-berlin.de/abstract/kooperationsprojekt-entwicklung-eines-terrestrischen-sphagnum-erntefahrzeugs>

Abbildung 19 https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/integrierte-photovoltaik/agri-photovoltaik-agri-pv/jcr:content/contentPar/sectioncomponent_1987169672/sectionParsys/imagerow/imageComponent1/image.img.jpg/1659096846344/2022-05-13-Agri-PV-Kressbronn-ISE-001-qu.jpg

Abbildung 20

https://flm.topagrar.com/flm/upload/w_1024,g_Center,q_60/https://www.topagrar.com/imgs/3/8/3/7/1/6/4/190226_hz_apv-anlage_saarland_045-4d8f7373f73f16ba.jpg

Abbildung 21 ISE Frauenhofer 2022 <https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/integrierte-photovoltaik/moor-pv.html>

Abbildung 22 ISE Frauenhofer 2022 <https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/integrierte-photovoltaik/moor-pv.html>

Abbildung 23 ISE Frauenhofer 2022 <https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/integrierte-photovoltaik/moor-pv.html>

Abbildung 24 <https://docplayer.org/186972932-Begruendung-zum-vorhabenbezogenen-bebauungsplan-nr-3-solarpark-lottorf.html>

Abbildung 25 <https://wattmanufactur.de/image/best-practice/lottorf/solarpark-moor-lottorf.jpg>

Abbildung 26 Erstellt vom Autor dieser Arbeit Leon Bruno Hoffmann

Abbildung 27

https://www.moorwissen.de/files/doc/publikationen/paludi_pellets_broschuere/downloads/Dahms%20et%20al.%20%282017%29%20Paludi-Pellets-Brosch%C3%BCre.pdf

Abbildung 28

https://www.moorwissen.de/files/doc/publikationen/paludi_pellets_broschuere/downloads/Dahms%20et%20al.%20%282017%29%20Paludi-Pellets-Brosch%C3%BCre.pdf

Abbildung 29 https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/2022-05_Nordt%20et%20al_Paludikultur%20Leitfaden.pdf

Abbildung 30 https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/2022-05_Nordt%20et%20al_Paludikultur%20Leitfaden.pdf

Abbildung 31 <https://www.oekoplus.com/hiss-reet-schilf-daemmplatte/11318>

Abbildung 32 <https://www.hiss-reet.de/reetdach/wissenswertes-ueber-reet/geschichte/>

Abbildung 33 GMC 2022

Abbildung 34 <https://gramitherm.eu/?lang=de>

Abbildung 35 GMC 2022

Abbildung 36 GMC 2022

Abbildung 37 GMC 2022 Carbon footprint von Dämmstoffen aus Paludikultur (nach Nordt & Dahms 2021)

Abbildung 38 RAL 2023 <https://www.youtube.com/watch?v=kFP3TZSIVpM>

Abbildung 39 Vera Lynn Vollmer Masterarbeit 2022 Agri-Photovoltaik aktueller Forschungs- und Technikstand, sowie fallspezifische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Abbildung 40 <https://www.intechopen.com/online-first/87330>

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die Prüfung selbständig und nur unter Verwendung der erlaubten Hilfsmittel bearbeitet habe. Insbesondere versichere ich, keine Hilfe anderer Personen bei der Anfertigung in Anspruch genommen zu habe.

Wurden Teile der Prüfung mit Unterstützung von künstlicher Intelligenz erstellt, sind diese entsprechend zu kennzeichnen. Mir ist bekannt, dass eine unwahre Erklärung rechtliche Folgen hat und insbesondere dazu führen kann, dass die Prüfung als nicht bestanden bewertet wird. Darüber hinaus ist mir bekannt, dass ich im Wiederholungsfalle oder in schwerwiegenden Fällen, von der Erbringung von weiteren Prüfungsleistungen ausgeschlossen werden kann (§ 20 RPO).

Erfurt den 07.09.2023

Unterschrift: