



Abschlussbericht

Machbarkeitsstudie CO2-regio

13.06.2023

Von: Prof. Dr. Matthias Drösler, Ella Papp, Meike Lemmer, Leonhard Wobbe,
Carolin Zinner, Jonas Galdirs, Salomon Falla, Dominik Dittrich, Peter Mießl,
Matthias Haile

Projekträger: Energie Effizient Einsetzen e.V., 1. Vorstand Thomas Wachinger



Gefördert durch das Bayerische
Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und
den Europäischen Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des ländlichen Raumes ELER).



LEADER-Projekt

Machbarkeitsstudie CO2-regio

13.06.2023, Jonas Galdirs

1. Danksagung

Das Team von CO2-regio bedankt sich herzlich für die konstruktive Zusammenarbeit und großzügige Unterstützung, welche wir im Verlauf unseres Projekts erfahren haben.

Besonderer Dank gilt unseren Kooperationspartnern und Förderern, ohne die diese Studie nicht zustande gekommen wäre:



LAG Altbayerisches Donaumoos



LAG Wittelsbacher Land



LAG Pfaffenhofen an der Ilm



Audi
Stiftung für Umwelt

Audi Stiftung für Umwelt



Landkreis Pfaffenhofen



Landkreis Neuburg-Schrobenhausen



Landkreis Aichach-Friedberg



Stadt Ingolstadt



Stadt Schrobenhausen



Markt Pöttmes



Gemeinde Königsmoos



Gemeinde Karlshuld



Gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER).



Gemeinde Todtenweis



Gemeinde Ehekirchen



Gemeinde Langenmosen



Gemeinde Rohrenfels

2. Projektübersicht

Projekttitel: CO2-Regio: Machbarkeitsstudie für einen regionalen und freiwilligen Ausgleichsmechanismus
Projektstart: 01.05.2021
Projektende: 30.04.2023
Projektträger: Energie Effizient Einsetzen e.V.
Asamstr. 18, 86529 Schrobenhausen
1. Vorstand Thomas Wachinger

Gesamtkosten:	329.246,54 € (netto)
LEADER-Förderung:	193.200,00 €
Audi Stiftung für Umwelt:	70.000,00 €
Landkreis Pfaffenhofen:	15.746,54 €
Landkreis Neuburg-Schrobenhausen:	15.000,00 €
Landkreis Aichach-Friedberg:	10.000,00 €
Stadt Ingolstadt:	7.000,00 €
Stadt Schrobenhausen:	5.000,00 €
Marktgemeinde Pöttmes:	3.000,00 €
Gemeinde Königsmoos:	2.000,00 €
Gemeinde Karlshuld:	2.000,00 €
Gemeinde Todtenweis:	1.800,00 €
Gemeinde Langenmosen:	1.500,00 €
Gemeinde Rohrenfels:	1.500,00 €
Gemeinde Ehekirchen:	1.500,00 €

Projektmanagement: Jonas Galdirs
Projektbearbeitung: Energie Effizient Einsetzen e.V.
Jonas Galdirs
Peter Mießl
Matthias Haile



Gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER).



Salomon Falla
Dominik Dittrich
Hochschule Weihenstephan Triesdorf
Prof. Dr. Matthias Drösler
Ella Papp
Meike Lemmer
Prolignis Unternehmensentwicklung GmbH
Leonhard Wobbe
Carolin Zinner
Werbeagentur Euringer und Klose GbR
Cornelia Euringer
Klaus Klose

Kurzdarstellung des Projekts:

Mit der Machbarkeitsstudie wurde eine öffentlich frei zugängliche Grundlage zur Etablierung eines regionalen CO₂-Ausgleichsmechanismus geschaffen. Untersucht und verglichen wurden Klimaschutzmaßnahmen zur Treibhausgaseinsparung und -vermeidung in den Bereichen Moorschutz, Pflanzenkohle, Humusaufbau, Aufforstung und Agroforst.

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie zeigen das Potenzial der Klimaschutzmaßnahmen in der Region auf. Im Rahmen des Untersuchungsgebiets wurden Karten erstellt, welche das Potenzial von Moorschutzmaßnahmen und Aufforstung räumlich einordnen. Es wurde ein Zertifizierungssystem dargestellt, welches die Finanzierung und Umsetzung der als machbar erachteten Klimaschutzmaßnahmen gewährleisten kann. Schließlich zeigt die technische Machbarkeit das Potenzial einer Pyrolyseanlage in der Region zur Herstellung von Pflanzenkohle auf.

Im Verlauf der Machbarkeitsstudie wurden drei Öffentlichkeitstermine abgehalten, zu welchen der Beginn, der Zwischenstand und die Ergebnisse präsentiert wurden. Zusätzlich wurde eine Moorexkursion und drei Runde Tische mit Experten und Akteuren aus der Region durchgeführt.

Alle Ergebnisse der Machbarkeitsstudie werden auf der Website www.co2-regio.de veröffentlicht.

3. Ausblick

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie haben deutlich ein enormes Klimaschutzpotenzial im Untersuchungsgebiet aufgezeigt. Insbesondere durch den Moorschutz und die Pflanzenkohle können enorme Mengen an Treibhausgasen vermieden bzw. gespeichert werden.

Dieses Potenzial gilt es nun zu bergen. Die Machbarkeitsstudie bildet die theoretischen Grundlagen. Damit die erfolgte Studie jedoch nicht nur auf dem Papier existiert, sondern auch in die Umsetzung kommt, wird aktuell das LEADER-Folgeprojekt „Klimabüro CO₂-regio“ ins Leben gerufen.



Gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER).



Das LEADER-Folgeprojekt soll es der gegründeten CO2-regio gUG (haftungsbeschränkt) ermöglichen, auf eigenen Beinen zu stehen. Das Klimabüro CO2-regio hat die Aufgabe, den dargestellten Zertifikatemechanismus in der Region zu etablieren und Klimaschutzmaßnahmen umzusetzen. In diesem Rahmen soll CO2-regio selbsttragend werden. Dies ermöglicht auch neue Wertschöpfungsketten in der Region und sorgt so langfristig über die bisherigen zwei Jahre Förderzeitraum hinaus für die Aufrechterhaltung der Öffentlichkeitsarbeit und Vernetzung, welche durch die Studie ins Leben gerufen wurde.

Die Fördermittel und finanzielle Unterstützung aus dem LEADER-Folgeprojekt „Klimabüro CO2-regio“ werden zur Sicherung des ersten Grundbedarfs des gemeinnützigen Klimabüros genutzt, um so den Start zu ermöglichen und selbsttragend zu werden.

Zum Zeitpunkt der Erstellung des Machbarkeitsberichts ist das LEADER-Folgeprojekt in Arbeit und die dafür erforderlichen Eigenmittel werden in der Hoffnung auf eine weitere gute Zusammenarbeit von Projektpartnern eingeworben.

4. Studienergebnisse

„CO₂-regio: Machbarkeitsstudie zu CO₂-Zertifikaten“

Seiten 7-136

Hochschule Weihenstephan Triesdorf

Von: Matthias Drösler, Ella Papp, Meike Lemmer

Prof. Dr. Matthias Drösler Professur für Vegetationsökologie
Forschungsprofessur für Klimawandel und Ökosysteme
Institut für Ökologie und Landschaft
Peatland Science Centre
Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Am Hofgarten 1
85354 Freising
Projektbearbeitung: Ella Papp



Gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER).



Machbarkeitsstudie des technischen Standes einer Pflanzenkohleproduktionsanlage in der Region Donaumoos

Seiten 137-226

Prolignis Unternehmensentwicklung GmbH
Ansprechpartner: Leonhard Wobbe
Friedrichshofener Str. 1
85049 Ingolstadt

Von: Leonhard Wobbe, Carolin Zinner



Gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER).

CO₂-regio: Machbarkeitsstudie zu CO₂-Zertifikaten

Matthias Drösler¹, Ella Papp¹, Meike Lemmer¹



Prof. Dr. Matthias Drösler
Professur für Vegetationsökologie
Forschungsprofessur für Klimawandel und Ökosysteme
Institut für Ökologie und Landschaft
Peatland Science Centre
Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Am Hofgarten 1
85354 Freising

Projektbearbeitung: Ella Papp

¹ = Peatland Science Centre, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

Inhalt

Abkürzungen	5
Kurzzusammenfassung	6
Abstract	7
Modul 1 Maßnahmenvergleich	9
1.1 Hintergrund	9
1.2 Einordnung Zertifikate, Freiwilliger Markt und das Projekt CO ₂ -regio.....	10
1.3 Vorgehen.....	11
1.4 Die Maßnahmentypen im Detail	12
1.4.1 Humusaufbau	12
1.4.2 Moorschutz.....	13
1.4.3 Pflanzenkohle.....	17
1.4.4 Aufforstung.....	18
1.4.5 Agroforst.....	21
1.5 Kriterien zur Zertifizierung nach internationalen Standards für den freiwilligen CO ₂ - Markt für verschiedene Maßnahmentypen	24
Prüfkriterien.....	24
1.5.1 Permanenz.....	24
1.5.2 Quantifizierung / Messbarkeit.....	28
1.5.3 Zusätzlichkeit	32
1.5.4 Doppelzählung	35
1.5.5 Emissionsverlagerung (Leakage)	38
1.5.6 Einbindung der Beteiligten (Stakeholder)	40
1.5.7 Nachhaltige Entwicklung	42
Ablaufkriterien	47
1.5.8 Puffer (Buffer Credits)	47
1.5.9 Baseline	49
1.5.9 Laufzeit	51
1.5.10 Konservatismus	53
1.5.11 Zertifizierung: Validierung, Monitoring und Verifizierung.....	55
1.5.12 Crediting	57
1.5.13 Sonstiges	58
1.6 Beurteilungen	60
1.6.1 Beurteilung Moor.....	60
1.6.2 Beurteilung Humus	63
1.6.3 Beurteilung Pflanzenkohle	65
1.6.4 Beurteilung Aufforstung.....	67
1.6.5 Beurteilung Agroforst	70
1.7 Zusammenfassung.....	75
Modul 2 Potentialanalyse	78
2.0 Einführung	78
2.1 Ausschlusskriterien für alle Maßnahmen.....	78

2.2 Weitere Ausschlusskriterien für einzelne Maßnahmen	80
Ausschluss für Aufforstung	80
Ausschluss für Agroforst.....	82
Ausschluss für alle Moorschutz-Maßnahmen.	82
Ausschluss für Moor Nassnutzung und Paludikultur	82
Ausschluss für Renaturierung.....	82
2.3 Einzelfallprüfung / mittlerer Raumwiderstand für alle Maßnahmen*.....	82
2.4 Mittlerer Raumwiderstand / Einzelfallprüfung für einzelne Maßnahmen	84
Mittlerer Raumwiderstand Moorschutz	84
Mittlerer Raumwiderstand Agroforst	84
2.5 Besondere Eignung / Pilotflächen	84
Eingeschränkte Abbildung der Realität	87
2.6 Ergebnisse: Flächenpotentiale	87
2.6.1 Flächenpotential Moor-Renaturierung.....	88
2.6.2 Flächenpotential Moor-Nassgrünland	90
2.6.3 Flächenpotential Moor-Paludikultur	92
2.6.4 Flächenpotential Aufforstung.....	94
2.6.5 Flächenpotential Agroforst.....	96
2.6.6 Zusammenfassung und Einordnung	98
2.7 Ergebnisse: Einsparpotentiale Moorschutz	99
Modul 3 Zertifizierungssystem	102
3.1 Darstellung des Standes und der Reichweite von Zertifikatslösungen.....	102
3.2 Zusammenstellung und kritische Betrachtung von Kriterien	102
3.3 Entwicklung eines Organisationsmodells für ein regionales Zertifikat.....	102
3.3.1 Organisationmodell und Akteure	102
3.3.2 Ablauf	106
3.4 Ausblick	107
4 Danksagung	109
5 Literaturverzeichnis	110
6 Anhang.....	121

Abkürzungen

BfN	Bundesamt für Naturschutz
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
C	Kohlenstoff
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -Äq	CO ₂ -Äquivalente
C _{org}	organischer Kohlenstoff
EBC	European Biochar
FVPF	Fachverband für Pflanzenkohle
GOK	Geländeoberkante
GS	Gold Standard
HTC	Hydrothermale Carbonisierung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KUP	Kurzumtriebsplantagen
LSG	Landschaftsschutzgebiet
N	Stickstoff
N ₂ O	Lachgas
NAWARO	Nachwachsende Rohstoffe
NET	Negativ-Emissions-Technologie
NSG	Naturschutzgebiet
THG	Treibhausgas(e)
P	Phosphor
PK	Pflanzenkohle
PV(A)	Photovoltaik(-anlage/n)
StMELF	Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
t	Tonne (Einheit)
TIER 3	höchste Qualitätsstufe der Berichterstattung mit differenzierten Eingangsdaten
TS	Trockensubstanz
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VCS	Verified Carbon Standard

Kurzzusammenfassung

In der Machbarkeitsstudie CO₂-regio wurde untersucht, welche Klimaschutzmaßnahmen wie in ein regionales Zertifikate-System aufgenommen werden könnten. Dazu musste zuerst geklärt werden, welche der fünf untersuchten Maßnahmen sich überhaupt für eine Zertifizierung eignen (Modul 1), welches Flächenpotential es im Untersuchungsgebiet für sie gibt (Modul 2) und wie ein regionales Zertifikatesystem organisatorisch aufgebaut sein müsste (Modul 3).

In **Modul 1** wurden die Maßnahmen Aufforstung, Humusaufbau, Agroforstwirtschaft, Pflanzenkohleproduktion und Moorschutz auf ihre Zertifizierungstauglichkeit hin untersucht. Innerhalb des Bereiches Moorschutz wurde differenziert zwischen Nassgrünlandbewirtschaftung, Renaturierung und Umwandlung zu Paludikultur. Auf Grundlage des ersten Entwurfs für Moorzertifikate, den *moorbenefits*, wurde eine Liste an Kriterien erstellt, die erfüllt werden müssen, damit integrale Kohlenstoffzertifikate generiert werden, die nachweislich zu einer Klimaschutzleistung beitragen. Die Kriterienliste wurde mit internationalen Standards, wie dem VCM und dem Gold Standard abgeglichen, auf den aktuellen Stand der politischen Diskussion gebracht und gleichzeitig auf den regionalen Charakter von CO₂-regio zugeschnitten. Anschließend wurden die fünf Maßnahmen hinsichtlich ihrer Zertifizierbarkeit bewertet. Die Generierung von CO₂-Emissionszertifikaten via Humusaufbau zur Kompensation von Treibhausgasemissionen wird nicht unterstützt. Hauptgründe sind die fehlende Permanenz, aufwändige und damit teure Quantifizierung und die geringe maximal mögliche Einsparmenge. Von Emissionszertifikaten als Förderinstrument für Agroforstsysteme ist ebenfalls abzuraten. Dies ist allerdings nicht mit qualitativen Mängeln, sondern mit der geringen zertifizierbaren Einsparmenge zu begründen. Die Anlage von Agroforstsystemen ist eher als Klimawandelanpassung zu sehen, denn als Klimaschutzmaßnahme. Mit ca. 10 t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹ zertifizierbarer Einsparleistung ist eine Zertifizierung von Aufforstungen nach möglich, aber weniger attraktiv als im Moorschutz. Das Instrument der CO₂-Zertifikate ist im Bereich des Moorschutzes als absolut vielversprechend und fachlich gut umsetzbar anzusehen. Die größte Einsparleistung wird hier bei der Einrichtung von Paludikulturen auf vorher hoch emittierenden Ackerflächen erreicht, da in Paludikulturen bei optimaler Vernässung sogar nicht nur CO₂-Emissionen vermieden, sondern aktiv Kohlenstoff im Wurzelsystem der Pflanzen eingebunden werden kann. So können bis zu 50 Tonnen CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹ Einsparleistung erzeugt werden. Pflanzenkohlezertifikate werden als machbar, attraktiv und bei richtiger Verwendung sinnvoll bewertet. Sie unterscheiden sich insofern von den anderen Maßnahmen, da es sich hier um einen Produktspeicher, und nicht um Klimaschutz auf der Fläche handelt.

Das Untersuchungsgebiet (UG) umfasst die Landkreise Aichach-Friedberg, Neuburg-Schrobenhausen, Pfaffenhofen an der Ilm und die Stadt Ingolstadt. Im Zuge des **Moduls 2** wurden nur Flächenpotentiale für die Maßnahmen erstellt, die im Flächenbezug dargestellt werden können und sich grundsätzlich für eine Zertifizierung eignen. Dafür wurde die Fläche in eine von 4 Kategorien (von *geeignet* bis *Ausschluss*) eingestuft. Grundlage sind raumplanerische, naturschutzfachliche und weitere Kriterien. Somit wurden Flächenpotentiale in Karten- und Tabellenform für die Maßnahmen Nassgrünland, Renaturierung, Paludikultur, Aufforstung und Agroforst ermittelt. Für jede dieser Maßnahmen wurden als *geeignet* eingestufte Flächen gefunden. Es gibt also Potential zur Umsetzung.

Da sich der Moorschutz als attraktivste Klimaschutzmaßnahme mit Flächenpotential im UG herausgestellt hat, wurde im **Modul 3** beispielhaft für Moorschutzmaßnahmen ein Organisationsmodell mit allen beteiligten Institutionen erstellt. Beteiligt sind neben dem zu

gründenden Klimabüro u.a. auch das Peatland Science Centre, das die wissenschaftliche Absicherung übernimmt.

Abstract

The feasibility study CO₂-regio investigated which climate protection measures could be included in a regional certificate system and how this would have to be implemented. To this end, it was first necessary to clarify which of the five measures investigated were suitable for certification in the first place (module 1), what land potential there was for them in the study area (module 2), and how a regional certificate system would have to be structured organizationally (module 3).

In module 1, the measures afforestation, humus build-up, agroforestry, biochar production and peatland protection were examined for their suitability for certification. Within the area of peatland protection, a differentiation was made between water level elevation in grassland, renaturation and conversion to paludiculture. Based on the first draft of peatland certificates, *moorbenefits*, a list of criteria was developed that must be met in order to generate carbon certificates with integrity that can be shown to contribute to climate change mitigation. The list of criteria was compared with international standards, such as the VCM and the Gold Standard, brought up to date with the current state of political discussion, and at the same time tailored to the regional character of CO₂-regio. Subsequently, the five measures were evaluated with regard to their certifiability. The generation of CO₂ emission certificates via humus growth to compensate greenhouse gas emissions is not supported. The main reasons are the lack of permanence, complex and thus expensive quantification, and the low maximum possible amount of savings. Emission certificates as a support instrument for agroforestry systems should also be discouraged. However, this is not due to qualitative deficiencies, but to the small amount of savings that can be certified. The establishment of agroforestry systems should rather be seen as climate change adaptation than as a climate protection measure. With about 10 t CO₂-eq ha⁻¹ a⁻¹ certifiable savings, certification of afforestation is after possible, but less attractive than in peatland protection. The instrument of CO₂-certificates can be seen as absolutely promising and technically well implementable in the field of peatland protection. The greatest savings are achieved here in the establishment of paludiculture on previously highly emitting arable land, since in paludiculture with optimal water level even not only CO₂ emissions can be avoided, but carbon can be actively incorporated in the root system of the plants. Thus, up to 50 tons of CO₂ eq ha⁻¹ a⁻¹ savings can be generated. Plant carbon credits are judged to be feasible, attractive, and meaningful if used properly. They differ from the other measures in that they are product storage, not climate mitigation on the land.

The study area comprises the districts of Aichach-Friedberg, Neuburg-Schrobenhausen, Pfaffenhofen an der Ilm and the city of Ingolstadt in Bavaria, Germany. In the course of module 2, only area potentials for the measures were created that can be represented in the area reference (no Biochar) and are basically suitable for certification (non humus built-up). For this purpose, the area was classified into one of 4 categories (from *suitable* to *exclusion*). The basis is spatial planning, nature conservation and other criteria. Thus, area potentials were determined in map and table form for the measures wet grassland, renaturation, paludiculture, afforestation and agroforestry. For each of these measures, areas were found to be suitable. Thus, there is potential for implementation.

Since peatland protection turned out to be the most attractive climate protection measure with land potential in the study area, an organizational model with all institutions involved was created in module 3 as an example for peatland protection measures. In addition to the

Klimabüro (“climate office”), which is to be founded, the Peatland Science Centre is also involved, which will provide scientific support.

Modul 1 Maßnahmenvergleich

1.1 Hintergrund

Der neueste IPCC Bericht aus dem Jahr 2022 zeigt erneut auf, dass die anthropogenen Treibhausgasemissionen signifikant zur Klimaerwärmung beitragen (IPCC 2022). Die Auswirkungen steigender Temperaturen sind weltweit spürbar und manifestieren sich seit Jahrzehnten unter anderem in messbaren Ergebnissen wie dem weltweiten Meeresspiegelanstieg bis hin zur Zunahme von Extremwetterereignissen (IPCC 2022). Die Klimakatastrophe bedroht Wirtschaftssysteme, Lebensräume – gleichermaßen von Menschen, Tieren und Pflanzen – und erfordert daher ambitionierte und vielseitige Klimaschutzmaßnahmen. (Reyer 2009, IPCC 2022)

Das bedeutet konkret: Treibhausgas(THG)-emissionen müssen drastisch reduziert werden (IPCC 2021). Die Europäische Union hat sich daher das Ziel gesteckt, bis zum Jahr 2050 klimaneutral zu werden, was im European Green Deal festgehalten wurde (EC 2019). Die Bundesrepublik strebt Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 an (BMUV 2022b). Neben diesen nationalen und internationalen Klimaschutzzielen hat der Freistaat seine Klimaziele verschärft und sich zur Klimaneutralität bis zum Jahr 2040 statt 2045 verpflichtet (Bayerische Staatsregierung 2022).

Um diese Ziele zu erreichen, müssen alle Sektoren (Verkehr, Landwirtschaft, Gebäudesektor etc.) in die Klimaschutzanstrengungen mit einbezogen und verschiedenste Wege zur Vermeidung und Reduktion von Emissionen gesucht werden. Jedoch wird es trotz aller Anstrengungen zur Emissionsreduktion zumindest in absehbarer Zeit eine Menge unvermeidbarer Emissionen geben. Diese müssen im dritten Schritt (nach Emissionen vermeiden und Emissionen reduzieren) durch Senken und Emissionsminderungen an anderer Stelle ausgeglichen werden.

Hierbei können CO₂-Zertifikate für den freiwilligen Markt ein Mittel darstellen, um zusätzliche Klimaschutzanstrengungen aus dem privaten Sektor zu finanzieren.

Anmerkung der Autorin:

In diesem Abschnitt ist von „Klimaneutralität“ die Rede, da dieser so in den zitierten Gesetzestexten verwendet wurde. Dies ist jedoch ein Begriff ohne genaue Definition. Im Folgenden wird daher stattdessen der Begriff „Treibhausgasneutralität“ verwendet. Dieser ist eindeutig definiert und daher weniger anfällig gegenüber Umgehung von Regelungen. Unter Treibhausgasneutralität versteht man einen Zustand, in dem die wärmende Wirkung der emittierten Treibhausgase durch eine entsprechend große Aufnahme von Treibhausgasen an anderer Stelle ausgeglichen wurde. Dabei sind alle Treibhausgase mit eingerechnet, also nicht nur Kohlenstoffdioxid (CO₂), sondern auch Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), Ozon (O₃) und einige synthetische Gase. (Titz 2022)

1.2 Einordnung Zertifikate, Freiwilliger Markt und das Projekt CO₂-regio

Neben dem aus Presse und Öffentlichkeit (z.B. <https://utopia.de/ratgeber/emissionshandel-so-funktioniert-der-handel-mit-den-co2-zertifikaten/> zuletzt abgerufen am 13.04.2023) bekannteren verpflichtenden Markt für CO₂-Zertifikate, also dem Markt, der sich aus den international getroffenen Vereinbarungen und daraus resultierenden Verpflichtungen zur CO₂-Einsparung und Kompensation ergibt, existiert der sog. Freiwillige Markt für CO₂-Zertifikate. Auf diesem können Privatleute oder Firmen freiwillig CO₂-Zertifikate erwerben und damit ihren Beitrag zum Klimaschutz leisten bzw. ihren eigenen CO₂-Fußabdruck verringern. Käufer solcher Zertifikate sind insbesondere Unternehmen, die der eigenen unternehmerischen Gesellschaftsverantwortung nachkommen und sich als umweltbewusstes Unternehmen präsentieren möchten. Die in CO₂-regio entwickelten Zertifikate sind für diesen freiwilligen Markt bestimmt. Damit diese Zertifikate tatsächlich auch einen Klimaschutz-Effekt haben, muss für eine hohe Qualität in Planung und Umsetzung gesorgt werden. Deshalb wurden aus privaten Initiativen heraus verschiedene Zertifizierungsmechanismen, die sog. **Standards**, entwickelt. Beispiele sind etwa der Verified Carbon Standard (VCS) oder der Gold Standard (GS). Sie machen Vorgaben für die Ausgestaltung von Klimaschutzprojekten und berücksichtigen dabei meist neben der Klimawirkung noch weitere Aspekte wie soziale und ökonomische Auswirkungen der Zertifikate (BMWK). Zertifikate aus Projekten mit besonders hohem sozialen und ökologischen Zusatznutzen (Synergien, Co-Benefits) sind dabei für den freiwilligen Markt besonders attraktiv. Aufgrund der Entwicklung der letzten Jahre und dem zunehmenden Wahrnehmen der Klimakatastrophe ist mit einer weiter steigenden Nachfrage nach Zertifikaten des Freiwilligen Markts zu rechnen. (Nägel 2020, BMWK)

Das Interesse an Kohlenstoffzertifikaten für den Freiwilligen Markt steigt (BMWK). Bisher gibt es aber keine geeigneten Lösungen oder Methodiken der weltweit etablierten Standards, die eins-zu-eins im Bereich der Landnutzung, wie z.B. der Agroforstwirtschaft oder dem Moorschutz, für Europa anwendbar sind. Die derzeitigen Anbieter europäischer bzw. regionaler (Humus-) Zertifikate haben ihre Methodiken daher selbst entwickelt. Diese sind zum Teil sehr vereinfacht und manipulationsanfällig. (Hübner 2022)

Auch existiert bis zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie kein bundes- oder bayernweiter staatlicher Standard, an den man sich halten könnte. Damit die Integrität der Zertifikate trotzdem gewährleistet werden kann, müssen diese mit international etablierten Grundsätzen bestehender Standards konform sein und darüber hinaus auch die Anforderungen internationaler Abkommen und politischer Entwicklungen berücksichtigen (z.B. Übereinkommen von Paris 2015, zukünftige EU Verordnung zur Zertifizierung von „carbon removals“). Dafür wurde die wissenschaftliche Diskussion anhand einer Vielzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen, Fachgesprächen und Tagungen sowie die aktuellen politischen Entwicklungen (von regional bis EU-Ebene) berücksichtigt.

Der freiwillige Kohlenstoffmarkt ist jedoch auch mit neuen Herausforderungen konfrontiert: Ausgleichszertifikate wurden in der Vergangenheit meist in Wirtschaftsbereichen erzeugt, die von keinem Minderungsziel aus internationalen Abkommen erfasst waren. Diese gelten daher als zusätzliches Engagement im Klimaschutz und erfüllen damit das Kriterium der Zusätzlichkeit, welches von den internationalen Standards gefordert wird. Durch die globale Reichweite des Paris Agreement schwindet der Anteil dieser Projekte nun und es wird für die Anbieter von Ausgleichszertifikaten zunehmend schwieriger, solche als zusätzlich geltenden Zertifikate zu erzeugen. Angesichts dieser Herausforderungen sind derzeit verschiedene Modelle im Gespräch, wie sich der freiwillige Markt weiterentwickeln muss, um den verpflichtenden Markt auch zukünftig ergänzen zu können. (BMWK)

CO₂-regio möchte mit hochqualitativen Zertifikaten, die alle nötigen Kriterien erfüllen, einen regionalen Beitrag zum globalen Klimaschutz leisten. Da bis zum jetzigen Zeitpunkt kein einheitlicher staatlicher, sondern nur verschiedene internationale Standards existieren, wurden mehrere dieser Standards miteinander kombiniert und auf die regionalen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet zugeschnitten. So können die regionalen Gegebenheiten (z.B. größtes Niedermoor Bayerns, das Bayerische Donaumoos liegt im Untersuchungsgebiet) gezielt miteingebunden werden.

Ziel dieser Machbarkeitsstudie ist es daher herauszufinden, ob und wenn ja wie regionale CO₂-Zertifikate, die aus klimafreundlicher Landnutzungen generiert werden, umgesetzt werden können und ob sie als Beitrag zur Lösung des Klimaproblems geeignet sind.

Wichtig: Es wird nicht die grundsätzliche Eignung der landnutzungsbasierten Maßnahmen als Klimaschutzmaßnahme untersucht, sondern ob die Finanzierung über ein Zertifikate-System das aus fachlicher und organisatorischer Sicht richtige Instrument sind. Es ist also möglich, dass eine Maßnahme zwar als Klimaschutzmaßnahme geeignet und daher auch grundsätzlich zu empfehlen ist, aber die Absicherung über das Instrument Zertifikate nicht möglich ist.

Angesichts des schier übermächtigen Problems der Klimakatastrophe scheint ein regionales Zertifikate-Projekt verschwindend klein. Dennoch gibt es viele gute Gründe für die Umsetzung solcher kleinen, regionalen Projekte:

Sogar das Pariser Abkommen – als ranghöchstes internationales Abkommen zum Klimaschutz – fordert ausdrücklich zu integrem, freiwilligem Emissionsausgleich auf, welcher beispielsweise durch gut umgesetzte, regionale Projekte geschehen kann.

Darüber hinaus haben regionale Projekte eine starke Vorbildfunktion und tragen auch zur Identifikation der Öffentlichkeit mit den Belangen des Klimaschutzes bei. Ein Wald- oder Moorprojekt „vor der eigenen Haustür“ kann besucht und erlebt werden und ist somit um ein Vielfaches plastischer als ein Klimaschutzprojekt im Ausland. Käufer von Zertifikaten können sich einerseits selbst vor Ort von der Wirksamkeit der Maßnahme und ihren Co-Benefits überzeugen, andererseits können sie sich vor Ort auch öffentlichkeitswirksam als diejenigen präsentieren, die die Umsetzung dieser Maßnahme ermöglicht haben. Somit tragen regionale Projekte auch zur Transformation bei – also zu genau dem, was zur Erreichung der langfristigen Reduktionsziele Deutschlands notwendig ist. (FutureCamp 2018)

So können regionale CO₂-Zertifikateprojekte für den freiwilligen Markt Gelder aus dem privaten Sektor für Klimaschutz vor der eigenen Haustür der Käufer generieren und so für Klimaschutz – zusätzlich zum staatlichen Engagement sorgen.

1.3 Vorgehen

Laut der EU ist eine nachhaltige Landnutzung absolut grundlegend für die Erreichung der EU-Klimaziele in 2050, da sie den Kohlenstoff, der in den Ökosystemen gebunden werden kann, behält und sogar vermehren kann (EC 2021). Diese Praktiken können unter dem Begriff Carbon Farming zusammengefasst werden. Darunter wird eine angepasste Landbewirtschaftung verstanden, die zu geringeren Emissionen oder einer Kohlenstoff-Festlegung in den bewirtschafteten Systemen führt. Dazu zählen Aufforstung, die

Wiedervernässung von Mooren, Aufbau von organischem Bodenkohlenstoff in Mineralböden, Agroforst und andere Formen von „mixed farming“. (EC 2021)

Basierend darauf werden die von der EU aufgeführten Maßnahmentypen und zusätzlich die Herstellung von Pflanzenkohle für den regionalen Kontext bei CO₂-regio untersucht.

Das Projekt ist in drei aufeinanderfolgende Module gegliedert. In Modul 1 wurde ein Maßnahmenvergleich zwischen verschiedenen Optionen der klimaschutzorientierten Nutzungen durchgeführt. Betrachtet wurden Moorschutz (in den Varianten Renaturierung, Paludikultur und Nassgrünlandbewirtschaftung), Humusaufbau, Aufforstung, der Einsatz von Pflanzenkohle und Agroforstsysteme. Ziel war dabei eine Bewertung der verschiedenen Maßnahmen hinsichtlich ausgewählter Kriterien. Der daraus resultierende Maßnahmenkatalog wurde mithilfe von Literaturrecherche, Vernetzung und Austausch mit Experten aus den jeweiligen Themenbereichen erstellt.

Im Modul 2 wurde das Potential der untersuchten Maßnahmen im räumlichen Bezug behandelt. Dafür wurde der Raumwiderstand für die Umsetzung der untersuchten Klimaschutzmaßnahmen im Untersuchungsgebiet in mehreren Kategorien eingeteilt. Unter Raumwiderstand wird die Gesamtheit aller Faktoren, die gegen die Umsetzung einer Maßnahme sprechen verstanden. Dafür wurden sowohl fachliche Ausschlusskriterien formuliert, als auch besondere Eignungen definiert. Daraus ergibt sich eine Gesamtübersicht über die unterschiedlichen Raumwiderstände im Untersuchungsgebiet. Diese Karten wurden jedoch nur für diejenigen Maßnahmen erstellt, bei denen eine fachliche Eignung für eine Zertifizierung festgestellt wurde. Ebenso wurde das Potential der Maßnahmen im Rahmen eines Zertifikate-Programms ermittelt, nicht die grundsätzliche Eignung des Untersuchungsgebiets für die Maßnahmen. So sind manche Flächen für die Umsetzung einer Maßnahme grundsätzlich gut geeignet, nur finden hier bereits durch andere Mittel finanzierte Maßnahmen statt. Dann werden sie aus der Kulisse für Zertifikate-Projekte ausgeschlossen. Nur so kann das Potential für ein regionales Klimaschutzzertifikat bestimmt werden. Auf der Grundlage der Flächenpotentiale wurden darüber hinaus Einsparzenarien skizziert, um die mögliche Klimaschutzwirkung des CO₂-regio Zertifikate-Programms abschätzen zu können.

Im Modul 3 wurde ein beispielhaftes Zertifizierungssystem für Moorzertifikate entwickelt, in welchem Zuständigkeiten und Abläufe skizziert wurden. Dieses wurde speziell für CO₂-regio als regionales Projekt entworfen. Der Ablauf kann auf andere regionale Projekte anderswo mit entsprechenden handelnden Institutionen übertragen werden.

1.4 Die Maßnahmentypen im Detail

1.4.1 Humusaufbau

Grundsätzliches

Humus ist unbelebte organische Substanz im Boden, deren Form von kleinen noch erkennbaren Pflanzenresten bis hin zu mikrobiell umgewandelten Bestandteilen mit einer langen Verweilzeit im Boden reicht. Humus besteht etwa zur Hälfte aus Kohlenstoff (C). Unter konstanten Umweltbedingungen nähert sich der Humusvorrat langfristig einem Fließgleichgewicht aus Kohlenstoffzufuhr durch Wurzelreste, Ernterückstände oder organische Düngung und Abbau der organischen Substanz im Boden an. Dieses Fließgleichgewicht kann durch unterschiedliche Maßnahmen und Prozesse, etwa durch Änderungen der Bewirtschaftung oder des Klimas, verändert werden. (Freibauer und Wiesmeier 2021; Wiesmeier et al. 2020)

Einige mögliche Maßnahmen zum Humuserhalt und –aufbau sind: Anbau von Zwischenfrüchten (möglichst tiefwurzelnd), Mischkultursysteme mit Untersaaten, Agroforstsysteme oder ein Landnutzungswechsel zu Grünland. (Wiesmeier et al. 2020)

Worin besteht der Klimaschutzeffekt durch Humusaufbau?

Damit eine Klimaschutzwirkung erreicht wird, muss sowohl der vorhandene C_{org} erhalten werden, als auch zusätzlich Kohlenstoff im Boden gebunden werden (sogenannte Sequestrierung). Der zusätzlich gebundene Kohlenstoff wird über pflanzliche Rückstände in den Boden eingetragen und teilweise in Form von Humus gebunden. (Wiesmeier et al. 2020, Olson 2013)

Erst eine zusätzliche, langfristige Festlegung von CO_2 aus der Atmosphäre im Boden kann CO_2 -Emissionen andernorts ausgleichen und damit einen positiven Effekt auf das Klima haben (Wiesmeier et al. 2020).

1.4.2 Moorschutz

Definition Moorschutz

Unter Moorschutz wird in dieser Studie der Erhalt eines vorhandenen Torfkörpers durch Wiedervernässung verstanden (in Anlehnung an Tiemeyer et al. 2017, S. 33). Dies kann durch eine Renaturierung mit Nutzungsaufgabe und Wiederherstellung einer moortypischen Biodiversität geschehen, oder aber durch die Etablierung von Paludikulturen, einer Nassbewirtschaftung oder in Verbindung mit einer Moor-Photovoltaikanlage. All diesen Nutzungskonzepten ist die Wiedervernässung gemein, die den Torfkörper vor Zersetzung schützt und so die Emission von Treibhausgasen vermeidet. Welche Nutzung „obendrauf“ angestrebt wird, ist in Abhängigkeit von Vornutzung, Zielwasserstand, Standort und Bewirtschaftungsoptionen zu entscheiden.

Worin besteht der Klimaschutzeffekt durch Moorschutz?

Moore sind die terrestrischen Ökosysteme mit dem höchsten Kohlenstoff-Pool pro Fläche (Drösler und Kraut 2020). Der Kohlenstoff (C) wird der Atmosphäre durch pflanzliche Fotosynthese dauerhaft entzogen und in Form von Torf (>30% organische Substanz im Boden, gebildet durch verringerte Zersetzung des Pflanzenmaterials unter Sauerstoffabschluss) gespeichert (Tiemeyer et al. 2017). Die Speicherung erfolgt aufgrund der nassen Verhältnisse im Moor mit einem typischen Wasserstand an der Geländeoberfläche. Unter natürlichen Bedingungen wird aufgrund der anaeroben Verhältnisse die Geschwindigkeit der Mikroorganismen, die für die Zersetzung der organischen Substanz zuständig sind, stark verringert und der Anteil der organischen Substanz wird stetig aufgebaut. Der Kohlenstoff wird also in den bis zu zehn Metern mächtigen Torfkörpern der Moore langfristig (bis zu Jahrtausenden) gespeichert. In der Vergangenheit wurde ein Großteil der Moore entwässert, viele davon für land- und forstwirtschaftliche Zwecke. Heute sind in Deutschland über 90% der Moorböden entwässert und degradiert (BMUV 2022a). Durch diese Entwässerung und anhaltende Landnutzungsänderung wird dieser Pool, insbesondere über das klimarelevante Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO_2) verstärkt freigesetzt meist begleitet durch Emissionen des sehr starken Treibhausgas Lachgas (N_2O). Damit wird die globale Erwärmung beschleunigt. (Drösler und Kraut 2020; Tiemeyer et al. 2017)

Je tiefer eine entwässernde Drainage liegt, desto höher sind dabei die CO_2 -Emissionen. Entwässerte Moore sind in Deutschland sogar die größte Einzelquelle für Treibhausgasemissionen außerhalb des Energiesektors. (Drösler et al. 2011) Vor dem Hintergrund der gesteckten THG-Neutralitätsziele der Politik müssen nicht nur sämtliche

vermeidbaren THG-Quellen ausgeschaltet, sondern auch sämtliche THG-Senken-Potentiale ausgeschöpft werden. Daher kommt den Mooren eine ganz besondere Bedeutung und Verantwortung zu.

Die THG-Emissionen aus entwässerten Moorböden können nur durch ihre Wiedervernässung und die Wiederherstellung der natürlichen Ökosystemdienstleistungen der Moore langfristig reduziert werden (GMC 2022). Moorschutz und Moorrenaturierung durch Wasserstandsanhhebung sind daher nicht nur aus naturschutzfachlicher Sicht sinnvoll, sondern leisten in erster Linie einen wertvollen Beitrag zum Klimaschutz (Drösler und Kraut 2020). Jedoch kann nur dann ein deutlicher Klimaschutzeffekt erzielt werden, wenn die Hydrologie wieder naturnah eingestellt wird (Drösler et al. 2011). Bei einer Wiedervernässung ist allerdings darauf zu achten, dass ein langfristiger Überstau vermieden wird. Dauerhaft über Geländeoberfläche angehobene Wasserstände führen zur Emission des überaus potenten Treibhausgases Methan (CH₄) und wirken daher ebenfalls als Treiber der globalen Erwärmung und würden im Zuge einer Klimaschutzmaßnahme die Effizienz reduzieren. Daher muss die Wasserstandsanhhebung mit einem Monitoring begleitet werden, um sicherzustellen, dass sie zu einem langfristigen Erfolg im Sinne des Klimaschutzes führt.

Daneben ist auch die Intensität der Bewirtschaftung ein Faktor, der die Höhe der THG-Emissionen beeinflusst.

Der größte Teil der Moore wurde für eine Nutzung entwässert. Um diese Moore nun aus ihrer Rolle der „Klimasünder“ herauszubekommen, müssen sie wiedervernässt werden. Allerdings ist es nicht realistisch, alle diese Flächen schnell aus ihrer bisherigen Nutzung zu nehmen und zu renaturieren. Daher werden verschiedene Moorschutzmaßnahmen vorgestellt, die im Einzelfall für das jeweilige Gebiet passend ausgewählt werden sollten. In der Folge wird zwischen den folgenden Moorschutz-Maßnahmen differenziert:

- Renaturierung: Anhebung auf naturnahe Wasserstände und Einstellung der Nutzung (in naturschutzfachlich wertvollen Flächen, kein Nutzungskonflikt)
- Nassnutzung: Derzeitige Nutzung nasser machen, z.B. von einer entwässerungsbasierten zu einer nassen Grünlandbewirtschaftung
- Umnutzung zu Paludikulturen: Wasserstandsanhhebung auf naturnahes Niveau und Einrichtung von Paludikulturen, anschließend stoffliche oder energetische Nutzung
 - Photovoltaikanlagen (PVA) auf Moorböden werden je nach Unternutzung behandelt wie Paludi (wenn unter den Paneelen eine Paludikultur gesät wird, empfohlen; oder wie Renaturierung wenn keine Unternutzung erfolgt)

Diese genannten Maßnahmen können auch als Kaskade, in Abstufung, und/oder miteinander kombinierbar angewendet werden. Beispielsweise wäre eine anfängliche Umwandlung von intensiver Landwirtschaft in extensiv genutztes Nassgrünland, mit darauffolgender Renaturierung oder Einrichtung einer Paludikultur möglich.

Eine reine Umwandlung von Acker in Grünland führt kaum zu verringerten THG-Emissionen, das konnte im Projekt KliMoBay nachgewiesen werden (Klatt et al. in prep.). Daher wird eine Umwandlung hier nicht als zertifizierbare Maßnahme betrachtet, sondern höchstens als vorbereitende Maßnahme, die eine spätere Wiedervernässung erleichtert.

Im Detail:

Renaturierung

Renaturierung bedeutet, einem degradierten, beeinträchtigten oder zerstörten Ökosystem zu helfen sich zu erholen (SER 2004). In diesem Sinne zielt die Renaturierung darauf ab, dass ein Ökosystem in relativ kurzer Zeit (innerhalb einiger Jahre) erneut selbstsuffizient wird und

die charakteristischen biotischen und abiotischen Faktoren ohne fortführende Unterstützung dieses Ökosystem erhalten und weiterentwickeln können. Bei der Moorrenaturierung wird als Referenzökosystem sowohl das ursprüngliche Ökosystem vor der Beeinträchtigung, als auch andere vergleichbare Moortypen derselben Region zu Grunde gelegt und entsprechend anzuwendende Maßnahmen angepasst.

Bei der Moorrenaturierung bedeutet dies zu einem großen Teil die Wiederherstellung der moortypischen hydrologischen Funktionalität zu gewährleisten. Die Hydrologie bedingt die moortypischen Bodeneigenschaften und die Entwicklung der charakteristischen Flora. Die Selbstsuffizienz manifestiert sich in der erneuten Torfbildung, welche für eine langfristige effektive Kohlenstoff-Speicherung von Nöten ist. Je nach Moortyp gibt es spezielle hydrologische Gegebenheiten. Unterschieden wird hauptsächlich zwischen ombrotrophem Hochmoor, welches ausschließlich durch Niederschlag gespeist wird, und minerotrophem Niedermoor, welches eine Anbindung an den Grundwasserfluss und so Zufuhr der Nährstoffe des unterliegenden mineralischen Gesteins hat. (Göttlich 1990) Beiden Moortypen gemein ist stets ein Wasserspiegel an der Geländeoberfläche (ca. 10 cm unter Flur), sodass der Großteil des Torfkörpers ununterbrochen wassergesättigt ist.

Die Renaturierung ist wohl die Maßnahme, die den größten naturschutzfachlichen Nutzen für den Erhalt des Ökosystems Moor in Deutschland und des Artenreichtums, insbesondere gefährdeter Arten, bringt. In den entsprechenden Regionen sind renaturierte Moorflächen ausgesprochen wichtig für sowohl den Schutz des Habitats Moor für die speziell angepasste Fauna und Flora, die Filterung des Wassers, den Ausgleich des regionalen Wasserhaushalts und Retention bei Hochwasser, als auch für kulturelle und historische Zwecke. Der Ertragsnutzen einer renaturierten Moorfläche beschränkt sich hingegen auf einige spezielle Nutzungen. Mögliche Nutzungsformen renaturierter Moore können Jagdreviere sein, Erntefläche (in kleinem Maßstab) für sowohl medizinisch wirkungsvolle Pflanzenarten (z.B. *Drosera rotundifolia*), als auch für Früchte (z.B. *Vaccinium oxycoccus*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium myrtillus*). Im Normalfall folgt einer Renaturierung jedoch keine Nutzung im wirtschaftlichen Sinne nach.

Nassnutzung

Unter Nassnutzung wird meist eine Art der Grünland-Bewirtschaftung verstanden, bei der eine Feuchtwiese mithilfe von regelbaren Wehren auf naturnahe Wasserstände gebracht wird. Wenige Tage vor einem Befahren der Fläche kann der Wasserstand mithilfe der regelbaren Wehre abgesenkt werden, sodass die Fläche ohne Probleme befahrbar ist. Nach der Mahd bzw. dem Arbeitsschritt, der mit Maschinen auf der Fläche durchgeführt wurde, wird der Wasserstand wieder auf das naturnahe Niveau gestaut, sodass die meiste Zeit des Jahres der Torfkörper geschützt vor Sauerstoffzufuhr unter Wasser bleibt. Diese Art der Nutzung stellt einen Kompromiss aus Klimaschutz und Bewirtschaftung dar, der sich vor allem für Moorböden unter landwirtschaftlicher Nutzung eignet.

Ebenfalls möglich ist die Einrichtung eines Weidesystems auf nassen Moorböden. Hierzu können nicht nur Wasserbüffel eingesetzt werden, sondern auch Rinderrassen wie Galloway, Highland-Rinder, Dexter oder Exmoor-Ponys. Die Beweidung mit solchen Robustrassen sorgt in einem guten Maß für Strukturvielfalt durch selektiven Fraß und Trittschäden und kann so positive Effekte für die moortypische Biodiversität haben (Stichwort Wiesenbrüter). Empfohlen wird eine Besatzdichte von ca. 0,6-1,4 GVE/ha, je nach Tierart. (GMC ohne Datum; Vortrag Anja Schumann 2022) Die Klimawirksamkeit von Beweidungssystemen auf Moor ist aber noch unzureichend untersucht. Daher starteten 2023 Treibhausgasmessungen von durch Wasserbüffel beweideten Moorflächen im Rahmen eines Forschungsprojektes am PSC.

Paludikultur

Die auf Entwässerung von Moorböden basierende Wirtschaftsweise führt zu einer Vielzahl von Herausforderungen (siehe oben). Paludikultur ist der gegenteilige Ansatz, eine Bewirtschaftungsweise von Moorböden, die unter nassen, moorschonenden Wasserständen funktioniert: Paludikultur ist die land- oder forstwirtschaftliche Nutzung von Moorböden, die nass oder wiedervernässt sind. Die aufwachsende Biomasse kann bei gleichzeitiger Torfbildung oder zumindest Torferhalt genutzt werden. Dabei werden die Treibhausgasemissionen aus zuvor entwässerten Standorten vermieden und u.U. sogar wieder die Senkenfunktion etabliert. Die angebauten Pflanzen unterscheiden sich grundsätzlich von herkömmlichen Kulturen, weil sie mit den nassen Bedingungen eines Moors zurechtkommen. So werden Pflanzen wie beispielsweise Schilf (*Phragmites australis*), Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) oder Großseggen (*Carex* sp.) angebaut. Diese Niedermoor-Arten haben in vielen Kulturen seit Jahrhunderten eine große Bedeutung bei der Herstellung von Baumaterialien, Dämmstoffen und Brennstoffen. Äquivalente Paludikultur auf Hochmooren wäre beispielsweise der Anbau von Torfmoosen (*Sphagnum* sp.) z.B. zur Herstellung von Torfersatzprodukten im Gartenbau. (Wichtmann et al. 2016)

Bei der Paludikultur wird die verbleibende Torfaufgabe wiedervernässt, d.h. Anhebung des Wasserstands permanent auf ein Niveau an die Geländeoberfläche. Diese Wiedervernässung hat zur Folge, dass das verbleibende organische Material, der Torf, nicht weiter mineralisiert und in der Folge der Bodenhorizont schwindet, sondern anaerobe Verhältnisse diesen Torf erhalten und eine Grundlage für den Anbau der moorspezifischen Ertragsarten bietet. Durch die Entwicklung eines starken Wurzelgeflechts, wie bei Schilf oder Seggen, wird neue organische Masse gebildet und leistet so einen wichtigen Beitrag zu der erneuten Bildung von Torfschichten in dem wassergesättigten Bereich. *Sphagnum* bildet zwar keine Wurzelmasse aus, bildet aber unterirdisch Weißtorf durch Absterben der unteren Pflanzenteile, bei stetigem oberirdischen Wachstum. *Sphagnum* bietet damit bei entsprechend vorsichtiger Ernte ausreichend Pflanzenmaterial, um sowohl einen Beitrag zur Torfbildung zu leisten, als auch entsprechend Gewinn bei der Vermarktung zu erzeugen.

Photovoltaik auf Moorböden

Die Frage, ob und wenn ja wie sich Photovoltaikanlagen (PVA) und Moorböden miteinander sinnvoll kombinieren lassen, wird zurzeit intensiv diskutiert. Einig sind sich Experten darin, dass intakte Moore und solche, die unter gesetzlichem Schutz stehen, der letzte Ort für PVA sein sollten und weiterhin der Schwerpunkt für den Ausbau von PVA in anthropogen überprägten Gebieten liegen sollte (Umweltausschuss 2022). Jedoch werden Chancen bei stark entwässerten und degradierten Mooren gesehen, bei denen die Errichtung von PVA der Überzeugungsfaktor für eine Wiedervernässung sein kann. Übereinstimmend wird daher immer wieder betont, dass PVA auf Moor nur unter bestimmten Bedingungen als Klima- und Moorschutzmaßnahme geeignet sind. Zu diesen zählen:

- Räumliche Eingrenzung: Schutzwürdige Flächen sind als Tabu-Standort auszuschließen, hierfür werden z.B. genannt: gesetzlich geschützte Gebiete (NSG, LSG, Natura2000-Gebiete, Naturdenkmäler, ...), Wiesenbrüterkulisse mit ausreichenden Pufferzonen, kartierte Biotope, Standorte mit besonderer Bedeutung, z.B. für europarechtlich geschützte Arten. (Drösler 2022, Umweltausschuss 2022, StMB 2021)

Zu den schutzwürdigen Flächen können ebenso extensive Grünländer gezählt werden, sodass nur intensiv genutztes Grünland und Äcker auf entwässertem Moorboden als mögliche Standorte für Moor-PV-Anlagen übrigbleiben.

- Eine vollständige Wiedervernässung (nach Installation der Anlage) ist zwingende Voraussetzung für Errichtung einer PVA. Hierfür sind alle nötigen Maßnahmen zu ergreifen. Beim Genehmigungsverfahren muss dabei die Zielerreichung zur Bedingung gemacht werden, nicht die Durchführung von Maßnahmen. (GMC 2022, Drösler 2022, Umweltausschuss 2022)
- Bodenschutz bei Bau und Betrieb der Anlage (Drösler 2022). Eine Verdichtung des Oberbodens führt dazu, dass Wasser kaum in den Boden eindringen und ihn wieder vernässen kann, es entsteht Staunässe oben drauf, statt Vernässung des Torfkörpers. Dies bringt Probleme bei der Etablierung von Kulturen unter den Paneelen mit sich. (Vortrag Lehmail 2021, Umweltausschuss 2022)
- Etablierung von nässeverträglichen Vegetationstypen (am besten Großseggenrieder, diese kommen natürlicherweise auf Niedermoorstandorten vor und werden typischerweise von monodominanten Seggen gebildet. Dieser Biotoptyp lässt sich daher gut „nachbauen“), auch möglich in Kombination mit Paludikulturnutzung. Geeignet sind beispielsweise Großseggen, die typischerweise Wuchshöhen von 80-100 cm aufweisen, sodass diese die Paneele nicht überwachsen und beschatten. (Drösler 2022) Eine Paludikultur sollte möglichst flächig, zumindest aber in den Gassen zwischen den Paneelen etabliert werden. Der Abstand zwischen den Paneel-Reihen sollte dann so gewählt werden, dass er für die landwirtschaftlichen Maschinen, die zur Bewirtschaftung der Paludikultur in den Gassen genutzt werden, ausreichend groß ist.
- Die Folgenutzung nach der PV-Anlage muss ebenfalls zum Klimaschutz beitragen, d.h. eine Beibehaltung einer Nassbewirtschaftung ist erforderlich. Denkbar ist beispielsweise eine Erweiterung der Paludikulturen auf die gesamte Fläche, die vorher schon zwischen den Paneelen als Unternutzung der PV-Anlage vorhanden waren.

Werden diese Voraussetzungen beachtet, bieten PVA auf Moorböden gewisse Chancen, wie zum Beispiel die Möglichkeit zur Wiedervernässung großer, zusammenhängender Flächen. Ebenfalls vorteilhaft ist die Etablierung einer an den Standorten natürlichen Vegetation, die in der Folge zu natürlicherweise dort vorkommenden Lebensgemeinschaften führt. Hier können also Synergien zwischen erneuerbaren Energien, Biodiversität und Torfkörperschutz geschaffen werden. (Vortrag Lehmail 2021)

An dieser Stelle ist anzumerken, dass es in Bayern noch keine Treibhausgasmessungen auf Moor-PV-Anlagen gab. Hier besteht dringender Forschungsbedarf.

Ebenso bieten PVA die Möglichkeit, technisch und damit monetär aufwändigere Flächen in eine Wiedervernässung zu bringen, da sie trotz höherer Investitionskosten in eine Wiedervernässung wirtschaftlich rentabel sind. So kann PVA auf Moorböden in gewissen Fällen einen relevanten Beitrag zur Moorerhaltung, zum Klimaschutz und als Ausgangspunkt für mögliche klimapositive Paludiprodukte sein. Allerdings wird eine Zertifizierung von Moor-PV Anlagen kritisch gesehen (Erläuterung in der Bewertung).

1.4.3 Pflanzenkohle

HTC oder Pyrolyse?

Pflanzkohle wird durch Pyrolyse von pflanzlicher Biomasse hergestellt. Kohlen, die durch hydrothermale Karbonisierung hergestellt werden, (HTC-Kohle oder Hydrokohle) werden hingegen nicht zu den Pflanzkohlen gezählt. (Schmidt et al. 2021, Austrian Standard Institute 2016) Denn Pyrolyse-Pflanzkohle und HTC-Kohle stellen zwei gänzlich unterschiedliche Substanzgruppen mit unterschiedlichen Eigenschaften dar. Pyrolysekohlen erweisen sich z.B. als deutlich stabiler als die HTC-Kohlen, da die HTC-Kohlen einen höheren Anteil an labilem C aufweisen. In der Forschung zeichnet sich ab, dass HTC-Kohlen zumindest im ersten Jahr rasch oder zumindest nachweisbar mineralisiert werden. Außerdem gibt es Anzeichen dafür, dass die schnelle Zersetzung bei Einbringung in Böden zu signifikant höheren CO₂-Emissionen führt, als ohne Einbringung von HTC-Kohle. (Kammann 2011)

Aus diesen Gründen werden HTC-Kohlen von einer näheren Betrachtung ausgeschlossen, da für die Anwendung von Pflanzkohlen zu Klimaschutz-Zwecken nur pyrogene Kohlen in Frage kommen. Im Folgenden ist daher mit dem Begriff „Pflanzkohle“ immer Pflanzkohle gemeint, die durch Pyrolyse hergestellt wurde.

Worin besteht der Klimaschutzeffekt durch Pflanzkohle?

Der Klimaschutzeffekt besteht in der Transformation atmosphärischen Kohlenstoffs in eine stabil lagerbare Form. Pflanzliche Biomasse besteht zu ca. 50% aus Kohlenstoff, den die Pflanze durch Photosynthese der Atmosphäre entzogen und in mehreren Schritten zu organischen Molekülen (z.B. Glukose, Zellulose, Lignin) umgebaut hat. Bei der Pyrolyse dieser Biomasse entweichen die leicht flüchtigen Kohlenstoffverbindungen als brennbare Gase, wohingegen die nichtflüchtigen Kohlenstoffe neue Verbindungen bilden. Diese in der Pyrolyse neu geschaffenen aromatischen Verbindungen sind äußerst stabil und werden nur sehr langsam abgebaut. Damit stellt Pflanzkohle eine terrestrische Kohlenstoffsene dar. Sofern sie nicht verbrannt wird, kann Pflanzkohle mehrere Jahrhunderte im terrestrischen System erhalten bleiben. (EBC 2020)

Daher reicht die Produktion und eine anschließende Lagerung der Pflanzkohle aus, um einen Klimaschutzeffekt zu erreichen. Sie muss dafür keineswegs in den Boden eingebracht werden. (Freibauer und Wiesmeier 2021)

1.4.4 Aufforstung

Grundsätzliches

Wälder sind in der öffentlichen Wahrnehmung der wohl bekannteste Kohlenstoffspeicher und „das Bäume pflanzen“ eine der gängigsten Klimaschutzmaßnahmen. In der Tat entziehen Bäume der Atmosphäre durch Photosynthese CO₂ und speichern dieses langfristig in ihrer Biomasse, im Totholz und im Mineralboden. Doch Wälder können je nach Bewirtschaftung, Alter und Umweltbedingungen sowohl eine CO₂-Senke, als auch eine CO₂-Quelle darstellen. Beispielsweise entstehen allein durch die Abholzung des tropischen Regenwaldes jedes Jahr 1,5 Gt C (zum Vergleich: Die jährlichen weltweiten Emissionen aus fossilen Brennstoffen betragen 8,4 Gt C). Es ist also nicht selbstverständlich, dass Wälder und ihr derzeitiges Management einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. (Reyer et al. 2009)

Die Kohlenstoffspeicherung und deren Kommerzialisierung gewinnt als Mittel zur Bekämpfung des Klimawandels immer mehr an Popularität. Dabei waren Wälder lange ein beliebter Maßnahmentyp von Kompensationsprojekten. Sie wurden nicht nur wegen ihrer Fähigkeit, Kohlenstoff zu binden und als Senken zu fungieren geschätzt, sondern auch wegen der häufig vorhandenen Co-Benefits, die sich aus den Projekten ergeben. Diese werden oft den Zertifikate-Käufern positiv angerechnet, sodass diese eine Werbe-Wirkung mit dem Kauf von Wald-CO₂-Gutschriften erreichen können (sog. „Charismatischer Kohlenstoff“) (Gifford 2020).

Bei Klimaschutz durch Wälder kann grundsätzlich zwischen Aufforstung (afforestation), Wiederaufforstung (reforestation) und vermiedener Entwaldung (deforestation avoidance) unterschieden werden (Reyer et al 2009). Letztere zählen zu den sog. REDD-Projekten (Reducing Emissions from Deforestation and Degradation) (Kollmuss et al 2008). An Zertifikate-Verkäufen aus vermiedener Entwaldung wurde international viel Kritik geübt, da hier durch Festlegung des Baseline Szenarios besonders leicht Betrug möglich ist und dies auf internationaler Ebene auch ausgenutzt wurde (Fischer und Knuth 2023). Dieser Typ wird aufgrund dieses Risikos für diese Machbarkeitsstudie nicht in ein Zertifikate-System mit aufgenommen. Ebenso wenig wie eine Wiederaufforstung, da hier nur der Kohlenstoff wieder eingebunden wird, der kurz zuvor - vor der Abholzung – noch auf der Fläche stand. Es findet damit kein neuer zusätzlicher Klimaschutz statt. Somit werden hier nur tatsächliche Aufforstungen betrachtet. In Anlehnung an den IPCC wird von Aufforstung gesprochen, wenn eine Fläche seit mindestens 50 Jahren nicht mehr bewaldet war (WBGU 2020 S 73). Was ebenfalls nicht als Klimaschutzmaßnahme in ein Zertifikate-Programm aufgenommen werden kann, ist eine angepasste Waldbewirtschaftung, die einen möglichst großen C-Speicher zum Ziel hat. Denn hier ist das Kriterium der Zusätzlichkeit nicht erfüllt. Die Waldbewirtschaftung wird sich wohl oder übel an die veränderten klimatischen Bedingungen anpassen müssen, damit ist ein zusätzlicher Klimaschutz-Nutzen über die Zertifikate nicht gegeben. Darüber hinaus wären die Zuwachsraten und damit die zertifizierbaren Mengen im Vergleich zu einer Erstaufforstung relativ gering und damit eine wirtschaftliche Rentabilität ebenfalls fragwürdig. Ob die Aufforstung als Wirtschaftswald genutzt wird oder als „Urwald“ ohne Nutzung angelegt wird, ist für die Klimaschutzwirkung nicht ausschlaggebend. Bei einem Wirtschaftswald muss geerntetes Holz jedoch als C-Export von der Fläche abgezogen werden, sodass sich die auf der Fläche gespeicherten Mengen C in den beiden Varianten nicht wesentlich unterscheiden dürften. Hier sollte im Einzelfall entschieden werden, welche Synergien, z.B. mit dem Naturschutz, wie am besten genutzt werden können.

Trotz der Probleme bei Baseline-Bestimmung und Quantifizierung der Klimaschutzleistung ist der Anteil von REDD-Projekten auf dem freiwilligen Markt – im Gegensatz zum verpflichtenden Markt – erheblich. Die bestehenden Anbieter von Zertifikaten aus Aufforstungsprojekten haben folgende Umgangsweisen für die speziellen Risiken dieser Klimaschutzmaßnahmen entwickelt: Entweder werden überhaupt keine oder nur eine limitierte Menge an Aufforstungszertifikaten in das Programm aufgenommen, Stärkung der Co-Benefits durch Auferlegung eines Zusatzstandards (z.B. Plan Vivo), Befristung der Gültigkeit der Zertifikate oder Einrichtung eines ausreichend großen Puffers. (Kollmuss et al 2008)

Worin besteht der Klimaschutzeffekt durch Aufforstung?

Die Klimaschutzwirkung durch Aufforstung kann in vier Aspekten ausgedrückt werden. Die ersten beiden Aspekte beschreiben die C-Bindung in verschiedenen Holzspeichern, die letzten beiden die Energie- und Materialsubstitution. Für eine vollständige Erfassung der Klimaschutzwirkung müssten alle diese Punkte bilanziert werden. (Rüter et al. 2016)

- Die Kohlenstoff-Bindung im Wald (lebende, ober- und unterirdische Biomasse, Totholz, Humusaufgabe und Mineralboden)
- Die verlängerte Kohlenstoff-Speicherung in Holzprodukten bei Nutzung des Holzes
- Die Vermeidung von Treibhausgas-Emissionen durch die Verwendung von Holz statt anderer energieintensiverer Materialien (Materialsubstitution) und
- Die Vermeidung von Treibhausgas-Emissionen durch die Verwendung von Holz statt anderer, fossiler Energieträger (Energiesubstitution).

Holzspeicher: Bäume entziehen der Atmosphäre durch Photosynthese CO₂ und speichern es langfristig (Entzug). Dabei gibt es drei verschiedene Kohlenstoffspeicher im Wald sowie einen

nachträglichen in den Holzprodukten: Die lebende Biomasse (sowohl ober- als auch unterirdisch), abgestorbenes Material (Totholz, Streuauflage) und den Waldboden. Die lebende Biomasse ist der Motor der CO₂-Bindung in all diesen Speichern, denn nur sie kann der Atmosphäre aktiv Kohlenstoff entziehen. Durch das Absterben der Biomasse geht der Kohlenstoff zuerst in den Speicher der toten Biomasse über, später durch Humusbildung in den Speicher Waldboden. Die Speicher abgestorbene Biomasse, Waldboden und später auch Holzprodukte sind keine Senke, da sie der Atmosphäre kein CO₂ entziehen, sondern lediglich seine Verweilzeit im gebundenen Zustand verlängern. Ein Beitrag zum Klimaschutz ist nur dann gewährleistet, wenn die CO₂-Aufnahme in die Speicher insgesamt größer ist, als die CO₂-Freisetzung aus den Speichern. (Schulz et al 2021)

Der zweite Mechanismus ist die Vermeidung von CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen (Kohle, Erdgas, Erdöl) oder CO₂-intensiven Baustoffen (Beton) durch den Einsatz von Holz (Substitution). (Schulz et al 2021; Schulze et al. 2016)

Jedoch ist hier wieder die Frage der Systemgrenze zu stellen, die ein Zertifikat mit ausreichender Sicherheit leisten kann. In einem anderen Projekt der HSWT wurde nur für den Punkt Klimaschutzleistung durch Forst- und Holzmanagement die Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft (LWF) als eigene Institution herangezogen, um dies zu berechnen. Dies zeigt, welcher enormer Arbeitsaufwand nötig ist, um diese Punkte wissenschaftlich abgesichert angeben zu können. Alternativ könnte ein Durchschnittswert für die Substitutionsleistungen angerechnet werden. Dies ist jedoch für eine zu zertifizierende Einsparleistung zu ungenau. Diese muss auf höchstem Niveau erfolgen, um möglichen Greenwashing-Vorwürfen und möglichen rechtlichen Verfahren vorzubeugen und tatsächlich eine Klimaschutzleistung garantieren zu können.

Daher wird hier empfohlen, sich auf die sicher bestimmbare Klimaschutzwirkung des Biomassezuwachses zu beschränken und die danach im besten Fall folgende Substitution (Verwendung des Holzes als Ersatzstoff für energieintensive Materialien oder fossile Brennstoffe) als Synergie zu betrachten. Ebenso kann dies den Punkt konservative Betrachtung stärken, da im Regelfall mehr eingespart wird, als die Menge, die als Zertifikat verkauft wird.

Ergänzung: In diesem Kapitel werden Aufforstungen auf mineralischen Böden behandelt. Aufforstung auf organischen Böden (= Moorböden) sind aus rein fachlicher Überlegung kein geeigneter Weg, Klimaschutz zu betreiben. Auch wenn die Aufforstung trockengelegter Moore im Vergleich zum Nichtstun einen kurzfristigen Vorteil fürs Klima bringen kann, ist eine Aufforstung von Moorböden keine praktikable Option für den Klimaschutz. (Jurasinski et al. 2023) Denn hierbei wird der raum-effektivste und langfristige Kohlenstoffspeicher Torf durch den kurzfristigen, weniger Platz-effektiven und verletzlichen C-Speicher Baumbiomasse ersetzt. Das ist langfristig nicht im Sinne von Nachhaltigkeit und Klimaschutz. (Jurasinski et al. 2023) Ähnliches zeigen auch die Erfahrungen aus dem Projekt „Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf organischen Böden“ an der HSWT. Daher werden die Möglichkeit einer Gehölznutzung auf Moorböden hier nur kurz beleuchtet, da es außerdem sehr wenige Daten dazu gibt. Im oben genannten Projekt wurden KUP auf Moorböden untersucht. Dabei wurden gleich mehrere systematische Probleme deutlich: Die enge Pflanzung der Bäume (spezielle Baumarten, müssen den nassen Bedingungen angepasst sein, z.B. Erlen) verhindert ausreichenden Lichteinfall bis auf den Boden. In der Folge kann sich unter den Bäumen kaum Vegetation etablieren und der offene Torfboden ist dort der Mineralisierung ausgesetzt. Zweitens werden Kurzumtriebsplantagen nach üblicherweise 3 bis 6 Jahren (gesetzlich vorgeschrieben nach spätestens 20 Jahren) geerntet. Nach dieser kurzen Wachstumsperiode kann das geerntete Holz nicht als Wert-, sondern nur als Energieholz genutzt werden. Damit muss dringend ein Klimaschutzeffekt im Boden stattfinden, da er im Holz nur bedingt über den

Substitutionseffekt (nach der Ernte anschließende Verbrennung) vorhanden ist. Hier liegt gleich das dritte und schwerwiegendste Problem: Eine Wiedervernässung einer mit derartig vielen Bäumen bestandenen Fläche ist sehr schwierig und sehr wahrscheinlich nicht durch den reinen Rückhalt von Wasser möglich. Dies ist in der sehr hohen Transpirationsleistung der Bäume begründet. Diese sorgt für vermehrte Verdunstung, was eine erfolgreiche Wiedervernässung von KUP bisher verhindert hat. Viertens kam es durch die Stickstoffeinlagerungen in den Wurzelknöllchen der Erlen teilweise zu sehr starken Lachgas-Emissionen, wenn der Wasserstand in einem mittleren Bereich (40-60 cm unter GOK) war. Das ist deshalb problematisch, weil Lachgas in der Atmosphäre laut IPCC Assessment Report 5 (2014) 265-mal klimaschädlicher als Kohlendioxid ist. Allein aus der bisherigen Erfahrung der HSWT heraus wird also von Kurzumtriebsplantagen in der derzeitigen Form auf Moorböden abgeraten. Potential könnte nur dann gegeben sein, wenn die Böden komplett wiedervernässt werden und ein weiterer Stand der Bäume einen Unterwuchs ermöglicht. Ziel müsste dann auch die Wertholznutzung und nicht die energetische Nutzung sein.

Eine nasse Agroforstwirtschaft auf Moorboden ist hingegen prinzipiell vorstellbar, da sie einige der bei KUP aufgetretenen Probleme mindert: Durch die breiteren Pflanzabstände als in KUP (eventuell sogar noch breiter als in Agroforst auf Mineralböden) fällt mehr Licht auf den Boden, sodass sich eine geschlossene Vegetationsdecke bilden kann. Außerdem wird durch die geringere Anzahl der Bäume auch die Transpiration reduziert. Zudem sind auch längerfristige Systeme als Kurzumtriebe denkbar. Dies sind jedoch nur theoretische Überlegungen, in der Praxis besteht hier noch großer Forschungsbedarf. (Abschlussbericht KUP 2020, unveröffentlicht).

Erste Erkenntnisse zu reinen Erlenaufforstung auf nassen Niedermoorstandorten konnten im Projekt „Umweltgerechte Bewirtschaftung der Erle auf Nassstandorten und Förderung der Erlenholzverwendung“ des Greifswald Moor Centrums gesammelt werden. Hierbei erwies sich zum Beispiel eine Seilkranktechnik zur Ernte als geeignet, sehr bodenschonend, aber kostenintensiv (siehe hierzu auch: DUENE e.V. (Hrsg.): Erlenaufforstung auf wiedervernässten Niedermooren. ALNUS-Leitfaden. 3. Auflage. Greifswald, 2019 und Schwarz-Erle. Forstwirtschaft auf nassen Mooren. Flyer des Greifswald Moor Centrums).

1.4.5 Agroforst

Grundsätzliches

Unter Agroforstwirtschaft versteht man die Kombination von Gehölzen mit Ackerbau- oder Tierhaltungssystemen auf ein und demselben Stück Land (EC 2021b). Die Gehölzbestandteile werden dabei in der Regel auf weniger als 25 % der Fläche angepflanzt und können von Sträuchern über Obst- oder Nussbäume bis hin zu Bäumen, die zur reinen Biomassegewinnung gepflanzt wurden, verschiedenste Gehölze umfassen. Der Flächenverlust durch die Agroforstgehölze kann hierbei auf vielen Standorten durch höhere Ackerfruchttrträge ausgeglichen werden. (Tsonkova und Böhm 2020)

Die Bandbreite von Agroforstsystemen ist sehr groß. Sie reicht von Agroforstsystemen mit kurzer Rotationszeit (z.B. zur Biomassegewinnung, Produktion von Energieholz) über Agroforstsysteme mit langer Rotationszeit (z.B. für Möbelholz, Produktion von Wertholz) bis hin zu silvopastoralen Systemen (z.B. beweidete Streuobstwiesen).

Agroforstsysteme stellen damit eine Landnutzungsalternative zur konventionellen Bewirtschaftung dar, bei der Ressourcen (Kraftstoff, Wasser...) eingespart werden können

und gleichzeitig ein Bioenergieträger erzeugt wird, ohne auf den Anbau von Ackerkulturen verzichten zu müssen. (Kanzler et al. 2020)

Bei Agroforstwirtschaft handelt es sich nicht um ein neuartiges landwirtschaftliches Produktionssystem. Besonders in Mittelmeerraum sind Agroforstsysteme seit langem etabliert und bieten bereits Vorteile beim Klimaschutz und bei der Anpassung an den Klimawandel (EC 2021b). Die traditionellen Agroforstsysteme sind sehr variabel, da sie stark an die örtlichen Gegebenheiten wie Böden und Klima angepasst sind. In jüngster Zeit wurden immer mehr neue Agroforstsysteme sowohl in Ackerbau- als auch in Grünlandbetrieben eingerichtet. Aber zum einen ist das Potenzial der Agroforstwirtschaft noch nicht ausgeschöpft und zum anderen sind die bestehenden, seit langem etablierten Systeme bedroht (EC 2021b, EC 2021c) und ihre zunehmende Intensivierung birgt die Gefahr, dass gleichzeitig die Treibhausgasemissionen aus diesen Systemen steigen. (EC 2021b).

Worin besteht der Klimaschutzeffekt durch Agroforstwirtschaft?

Der Klimaschutzbeitrag von Agroforstwirtschaft besteht zum einen im Erhalt und der Wiederherstellung von alten Agroforstsystemen mit bereits vorhandenen großen Kohlenstoffspeichern und zum anderen in der Einführung neuer Agroforstwirtschaft und dem Aufbau neuer Kohlenstoffspeicher. (EC 2021c)

Kohlenstoff (C) wird in der ober- und unterirdischen Biomasse der Bäume gespeichert (1.) und der Eintrag von organischem Material von den Bäumen auf den Boden kann organischen Kohlenstoff im Boden (SOC) erhöhen (2.). Außerdem können THG-Emissionseinsparungen durch ein extensiviertes Management in Agroforstsystemen und im nachgelagerten Bereich (durch Energie- und Materials substitution) erreicht werden (3.). (Hübner et al. 2021)

1. CO₂-Bindung in Biomasse

Die CO₂-Bindung findet primär in der **Biomasse** der Gehölze statt. Unter die oberirdische Biomasse fallen dabei Gehölzteile wie Stamm- und Kronenderholz sowie Äste und Zweige, während unter unterirdischer Biomasse die Grob- und Feinwurzeln verstanden werden. Diese Unterscheidung ist wichtig, da die oberirdische Biomasse bei einem Schnitt der Bäume als Export von der Einsparleistung auf der Fläche abgezogen werden muss.

2. CO₂-Bindung im Boden

Neben der C-Bindung in der Biomasse können Agroforstsysteme Kohlenstoff **im Boden** festlegen (Auflagehorizont und Bodenkohlenstoff). Allerdings können je nach Bodentyp, Klima und Gestaltung des Agroforstsystems bezüglich des Kohlenstoffspeicherpotentials enorme Schwankungen auftreten. (Hübner et al. 2021) Für die Festlegung von Kohlenstoff im Boden sind verschiedene Prozesse verantwortlich. Dazu zählt der erhöhte C_{org}-Eintrag durch Streufall und Wurzelumsatz der Bäume und ihres Unterwuchses, hauptsächlich im direkten Einflussbereich der Bäume (Cardinael et al. 2018, De Stefano et al. 2017, Kim et al. 2016). Dazu kommt eine Verbesserung des Mikroklimas (verminderte Winderosion etc.), was zu einem Anstieg von C_{org} auch außerhalb des Baumeinflussbereiches führt (Lorenz et al. 2014, Hübner et al. 2022). Die flächenhafte Hochrechnung der Anreicherung in den für die Hauptkultur genutzten Flächen zwischen den Gehölzen ist sehr komplex, da diese in Abhängigkeit der Entfernungen zu den Baumkomponenten variiert (Bambrick et al. 2010, Cardinael et al. 2017, Stavi et al. 2012). Deshalb ist eine repräsentative

Erhebungsmethode notwendig, was großen arbeitstechnischen und finanziellen Aufwand bedeutet. (Hübner et al. 2022)

Jedoch ist die Festlegung von Kohlenstoff im Boden zusätzlich vom Klima abhängig und damit vom Landwirt/der Landwirtin nicht gänzlich beeinflussbar (Feliciano 2018). Auch hier gilt somit, dass ein allgemeines Festlegungspotential für C im Boden unter Agroforstwirtschaft schwierig zu bestimmen ist. (Tsonkova und Böhm 2020)

Den eng verwandten Kurzumtriebsplantagen beispielsweise kann keine uneingeschränkte Sequestrierungsleistung zugeschrieben werden (Kern und Don 2018).

3. Vor- und nachgelagerter Bereich

In den Gehölzanteilen von Agroforstsystemen kann der Dünger- und Pestizideinsatz in der Regel stark reduziert oder sogar komplett vermieden werden. Als Folge des reduzierten Stickstoffeinsatzes sind die Lachgasemissionen aus Agrarholzpflanzungen geringer (Tsonkova und Böhm 2020, Kern und Don 2018). Da in den Gehölzanteilen weniger und seltener landwirtschaftliche Maschinen eingesetzt werden müssen als auf Ackerland, entsteht hierbei eine weitere Vermeidung von THG Emissionen aus dem reduzierten Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge (Tsonkova und Böhm 2020, Smith et al. 2014).

Energie- und Materialsstitution: Darunter wird die Substitution fossiler Energieträger durch Holz verstanden. Bei der Substitution liegt der Fokus also auf dem Emissionsvermeidungspotential und die C-Festlegung in Holzprodukten unterschiedlich langer Lebensdauer (Tsonkova und Böhm 2020). Bei einer vorgesehenen Nutzung des Holzes als Wertholz wachsen die Bäume mehrere Jahrzehnte und binden so erhebliche Mengen C, die nach der Fällung und Verarbeitung, z.B. zu Bauholz oder Möbeln, auch über lange Zeiträume erhalten bleiben. Hier steht also die C-Bindung im Mittelpunkt. Anders bei der Produktion von Energieholz, wo der Fokus auf dem CO₂-Vermeidungspotential liegt. Denn die Produktion von Energieholz durch Agroforstwirtschaft kann zur Substitution fossiler Energieträger beitragen. (Tsonkova und Böhm 2020) Das CO₂-Bindungspotential kann also je nach Art des Agroforstsystems erheblich variieren (EC 2021c).

1.5 Kriterien zur Zertifizierung nach internationalen Standards für den freiwilligen CO₂-Markt für verschiedene Maßnahmentypen

Klimaprojekte müssen spezifische Kriterien erfüllen, damit sie sicher durchgeführt und mit den Investitionen in die Maßnahmen zuverlässig berechnete Einsparungswerte erreicht werden können. (UBA 2018) Zur Absicherung der Klimaschutzprojekte können die folgenden Kriterien als Referenz für eine optimale Durchführung von Projekten herangezogen werden. Den Rahmen hierfür bilden verschiedene internationale Standards (VCS, Gold Standard), die auf die regional relevanten Verhältnisse übertragen und ergänzt wurden. Ausführungen der Kriterien auf der Basis der UBA Texte 05/2013 (Drösler et al. 2013, in Ausschnitten übernommen) und (UBA 2018) ergänzt durch weitere Quellen. Folgende Kriterien (schwarz) und entsprechende Erfüllung (blau/grau) werden dabei behandelt.

(schwarz = Erläuterung des Kriteriums; blau = Kriterienerfüllung durch die jeweilige Maßnahme)

Zuerst werden die spezifisch erfüllbaren Kriterien, die jede Maßnahme unterschiedlich gut erfüllen oder nicht erfüllen kann (Prüfkriterien) behandelt. Anschließend die Kriterien, die bei Maßnahmenumsetzung alle gleichermaßen im Ablauf beachtet werden müssen (Ablaufkriterien).

Prüfkriterien

1.5.1 Permanenz

Für die Einschätzung der Permanenz (Dauerhaftigkeit) der Emissionsreduktion ist eine Risiko-Abschätzung erforderlich. (Drösler et al. 2013) Permanenz ist ein grundlegendes Kriterium, welches bei der Einsparung von Emissionen beachtet werden muss. Kann eine andauernde Emissionsminderung oder –bindung durch die Projekte und Maßnahmen nicht gewährleistet werden, kann auch eine Verbesserung der gesamten Emissionsbilanz nicht gewährleistet werden. Die Ausstellung eines Zertifikats, welches sich im Einklang mit den Klimazielen befindet, ist also nur bei erfüllttem Permanenzkriterium möglich (KO-Kriterium).

Grundsätzlich sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Permanenz einer Klimaschutzmaßnahme nie zu 100% garantiert werden kann, da sehr unwahrscheinliche Katastrophen oder ähnliche Vorfälle zu einer nicht Einhaltung der Klimaschutzleistung führen können. Daher geht es darum, das Risiko einer nicht permanenten Wirkung auf ein kleinstmögliches Maß zu beschränken oder Maßnahmen, bei denen das nicht möglich ist, nicht ins Zertifizierungsprogramm aufzunehmen.

Moor

Für die Permanenz ist der Schlüsselfaktor für die Funktionalität von Moorökosystemen zu berücksichtigen: die Wasserversorgung bzw. der Wasserstand. Grundsätzlich gilt: Bleibt der Wasserstand dauerhaft auf naturnahem Niveau (0 bis -10 cm unter GOK), ist eine dauerhafte Konservierung des Kohlenstoffs im Torf gewährleistet. Jedoch können beispielsweise Hochmoore in einem überdurchschnittlich trockenen Sommer ebenso viel Kohlenstoff verlieren, wie sie in fünf Jahren aufgenommen haben. Allerdings sind naturnahe Standorte deutlich resilienter gegenüber Trockenheit und je nach Moortyp sogar in der Lage, den Wasserstand auch bei andauernden Trockenphasen nahe der Oberfläche zu halten (Drösler 2005). Entwässerte Standorte können das aufgrund der degradierten physikalischen

Eigenschaften des Torfs durch die Trocknung und die permanente Schrumpfung der Bodenporen nicht mehr. Hinsichtlich der Projekttypen und Maßnahmen ist hier also insbesondere die Dauerhaftigkeit der Wasserstandsanhhebung und Wiedervernässung abzusichern.

Mit dem „Zweiten Gesetz zugunsten der Artenvielfalt und Naturschönheit in Bayern“ aus dem Jahr 2019 sind die Rahmenbedingungen geschaffen, dass die Permanenz der Maßnahme nach einer Wiedervernässung gegeben sein sollte. (Zweites Gesetz zugunsten der Artenvielfalt und Naturschönheit)

Darüber hinaus muss jedoch die dauerhafte Funktionalität der Maßnahmen sichergestellt werden. Zentrales Prüfungswerkzeug für die Einhaltung der Permanenz ist daher die Etablierung eines Monitoring-Programms zur kontinuierlichen Erfassung der wichtigsten Parameter, zu denen neben dem Wasserstand auch die Nutzung und die Vegetation zählen. Bei einem fundierten Monitoring muss für das Sammeln aussagekräftiger Daten eine ausreichende Rhythmik eingehalten werden. Darüber hinaus ist eine Verifizierung durch direkte Messungen der Spurengasflüsse (CO_2 , CH_4 , N_2O) innerhalb von Beispielsgebieten sinnvoll (Drösler et al. 2013).

Humus

Anders als bei durch Einsparungen vermiedenen Emissionen ist eine Erhöhung der organischen Bodensubstanz reversibel (Wiesmeier et al. 2020). Humusaufbau ist nur dann als Klimaschutzmaßnahme wirksam, wenn die entsprechende CO_2 -Menge der Atmosphäre dauerhaft entzogen wird. Der Aufbau von Humus geschieht sehr langsam. Der Humusabbau dagegen erfolgt 5- bis 10-mal schneller als der Aufbau: „slow in, fast out“ (Freibauer und Wiesmeier 2021, Thünen-Faktencheck ohne Datum)

Der Aufbau ist sogar vollständig reversibel. Diese Reversibilität ist ein großes Problem bei der dauerhaften Festlegung von CO_2 durch Humusaufbau, denn Klimaschutzmaßnahmen durch Humusaufbau sind dadurch relativ schnell reversibel und funktionieren nur, wenn sie langfristig und kontinuierlich angelegt sind und umgesetzt werden. Landwirt*innen müssen sich daher dauerhaft verpflichten, die humusmehrende Bewirtschaftung beizubehalten. Humusverluste können aber auch durch externe Einflüsse, insbesondere den Klimawandel, erfolgen. (Freibauer und Wiesmeier 2021, Wiesmeier et al. 2020, Wiesmeier 2021, Wiesmeier und Baumert 2021)

Modellbasierte Prognosen deuten langfristig auf Humusverluste hin, die dem Klimawandel geschuldet sind. Daher ist zu vermuten, dass Maßnahmen, die heute zum aktiven Aufbau von Humus empfohlen werden, langfristig eher zum Humuserhalt nötig sind. (Wiesmeier 2021)

So kann eine dauerhafte Bindung von atmosphärischem CO_2 im Humus auch bei Beibehaltung der Bewirtschaftungsweise nicht garantiert werden.

Pflanzkohle

Bei der Herstellung von Pflanzkohle entsteht eine Kohlenstoffsenke. Kohlenstoffsenken dürfen nicht per se als ewige Senke angesehen werden. Laut FVPK sollte eine wissenschaftlich haltbare Prognose über den Verbleib für mindestens 100 Jahre vorliegen. Um Abbau und Verbleib der Senken bei einer Zertifizierung zu berücksichtigen, ist eine Unterscheidung hinsichtlich des Verbleibs der Pflanzkohle sinnhaft: (FVPK 2021)

Einbringung in Böden: Einen Abbau der Pflanzkohle wird es in Böden immer geben. Daher muss er bei der Zertifizierung solcher C-Senken auch berücksichtigt werden. Solange die

Schätzungen jedoch konservativ über einen Zeitraum von 100 Jahren getroffen werden, ist sichergestellt, dass die entsprechend zertifizierte Klimaschutzwirkung erzielt werden kann. (Schmidt et al. 2021)

Die jährliche Abbaurate der PK muss entsprechend des H/C_{org} -Verhältnisses der Pflanzenkohle angesetzt werden, da dieses ein Maß für die Intensität der Pyrolyse ist, und mindestens 0,3% betragen (Camps-Arbestain et al. 2015, IPCC 2019). Auf diese Weise kann die jährliche Entwicklung des C-Senkenwerts auch über längere Zeiträume von 100 oder 250 Jahren angegeben werden. (Schmidt et al. 2021) Bei der Annahme einer durchschnittlichen jährlichen Abbaurate von 0,3% (vgl. 6. *Konservatismus*) wären nach 100 Jahren noch 74% des eingebrachten Kohlenstoffs vorhanden. (EBC 2020, Schmidt et al. 2021)

Beimischung in Verbundmaterialien: Hier kann ein Erhalt des Kohlenstoffs der Pflanzenkohle so lange garantiert werden, wie das Material Bestand hat. Sofern dies sichergestellt ist, ist hier von einer langfristigen Lagerung des ehemals atmosphärischen Kohlenstoffs auszugehen. Sollte das Material zerstört, zurückgebaut oder entsorgt werden, kann jedoch der gespeicherte Kohlenstoff wieder verloren gehen. (EBC 2020) Daher muss bei einer Anwendung in industriellen Materialien die erwartete Lebensdauer des Stoffs und eventuelles Recycling bzw. Entsorgung des Baustoffs berücksichtigt werden (FVPK 2021) oder durch geeignete Überwachungsmethoden der Anteil an C ermittelt werden, der sich weiterhin in Verwendung befindet. Aus diesen Daten wird eine Abbaurate formuliert. (Schmidt et al. 2021)

Bei einer Einbindung in Baumaterialien wie Beton, mineralische Putze, Gips oder Lehm kann davon ausgegangen werden, dass die Pflanzenkohle als eine dauerhafte C-Senke fungiert. Denn erstens ist für solche Materialien keine thermische Abfallbehandlung vorgesehen und zweitens macht das Baumaterial ein (unbeabsichtigtes) Verbrennen der Pflanzenkohle zu Lebzeiten nahezu unmöglich. Damit ist Pflanzenkohle und in Folge dessen die C-Senke in solchen Materialien weitaus besser vor Abbau oder Zerstörung geschützt als im Boden. Für Zeiträume von 100 – 250 Jahren muss hierfür keine Abbaurate einbezogen werden. (Schmidt et al. 2021)

Bei der Recherche konnten keine Informationen über einen etwaigen Abbau oder die Abbaugeschwindigkeit von Pflanzenkohle gefunden werden, die als Pflanzsubstrat für Bäume genutzt wird. Da die Kohle im Boden verbracht wird und dabei Kontakt mit Wasser, Sauerstoff, Pflanzen, Pilzen und Mikroorganismen hat, wird im Maximalfall die Abbaurate von Pflanzenkohle in Böden angenommen (0,3% pro Jahr). Aufgrund des gebotenen konservativen Ansatzes sollte also in diesem Fall von 0,3% Abbau ausgegangen werden.

Aufforstung

Eine grundlegende Voraussetzung für einen dauerhaften Klimaschutzbeitrag von Wäldern ist die gleichzeitige Anpassung der Wälder an den Klimawandel. Dafür müssen widerstandsfähige, an zukünftige Klimabedingungen angepasste Baumarten gewählt werden. Sie sind die Basis für stabile Waldspeicher und eine nachhaltige Holzbereitstellung. Dafür muss auch eine etwaige Verringerung des Klimaschutzbeitrages in Kauf genommen werden. (Schulz et al. 2021)

Waldprojekte tragen immer ein Risiko der Reversibilität. Zum einen können Kalamitäten das Senkenpotential des Waldes stark verringern (Thürig und Kaufmann 2008). Dies ist besonders mit Blick auf den Klimawandel relevant, da aufgrund der Zunahme von Klimaextremen vermehrt mit Stürmen, deren Folgen und Waldbränden zu rechnen ist (Schär et al. 2004). Die Höhe dieses Risikos kann allerdings nur allgemein geschätzt werden. Dafür müssen die potentiellen Bedrohungen für den zu bewertenden Wald erfasst und bewertet werden. Wälder können ihre Kohlenstoffspeicher in großem Umfang durch eine Vielzahl verschiedener Faktoren verlieren, darunter Waldbrände, Kahlschlag oder Insektenkalamitäten. (Gifford

2020). Daher müssen Schutzmaßnahmen getroffen werden, um dieses Risiko soweit wie möglich zu minimieren und im Falle des Wegfalls eines Waldprojektes einen Ersatz oder alternative Wälder zu garantieren. Bester und gängigster Weg hierfür ist das Einbeziehen von ausreichend Puffer. Der Woodland Carbon Code berechnet beispielsweise pauschal 20% Puffer für jedes Waldprojekt. (Mehr im Kapitel *Puffer*) (WCC 2022)

Weiterhin muss der Erhalt des Kohlenstoffs vor vermeidbarem Verlust durch verfehltes Management (z.B. Fällen von Bäumen ohne Nachpflanzen) gesichert sein. Im Regelfall heißt das, dass sich ein Landbesitzer dazu verpflichtet, dafür zu sorgen, dass der Status als Wald dauerhaft beibehalten wird. (WCC 2022) Dann ist eine Rodung aufgrund der Waldgesetzgebung nicht mehr gestattet (Rodungsverbot) und die Speicherung von dieser Seite her theoretisch nicht reversibel (Osterburg et al. 2013).

Es ist jedoch nicht von der Hand zu weisen, dass Waldprojekte aufgrund des vorhandenen Risikos immer umstrittener werden. Der recht große Kompensationsanbieter atmosfair hat sich sogar vollständig aus Waldprojekten zurückgezogen. Er bezeichnet das Problem der Permanenz als ungelöst. (Website atmosfair <https://www.atmosfair.de/de/standards/waldschutzprojekte/> aufgerufen am 12.01.2023)

Agroforst

Die Permanenz des in Agroforstsystemen gebundenen Kohlenstoffs ist zum einen von der Art der Bäume und deren Endnutzung abhängig (Kurzumtrieb vs. Wertholzerzeugung), zum anderen können eine schlechte Bewirtschaftung oder Naturereignisse Emissionen hervorrufen. (EC 2021c)

Positiv anzurechnen ist, dass die Laufzeit der Agroforstwirtschaft verglichen zu anderen Maßnahmen in der Landwirtschaft vergleichsweise lang ist (Jacobs et al.2020). Weiterhin ist davon auszugehen, dass die Bewirtschafter*innen nach einer erfolgreichen Etablierungsphase ein großes Eigeninteresse an einem langfristigen Erhalt des Systems haben. (Hübner et al. 2022)

Der größte Schwachpunkt ist sicherlich die Möglichkeit einer „slow in – fast out“-Problematik (siehe Teil Humusaufbau) (Jacobs et al. 2020). Ein über viele Jahre aufgebaute C-Vorrat würde durch eine Änderung in der Bewirtschaftung in kurzer Zeit wieder als CO₂ freigesetzt werden. Diese Interpretation geht jedoch davon aus, dass keine Verbesserung des Bodenkohlenstoffgehaltes stattgefunden hat, der aus stabilen C-Verbindungen und bis in große Bodentiefen reicht. Durch die Gehölze entsteht ein Wind- und Wassererosionsschutz für die angrenzenden Flächen, was die Produktivität des Gesamtsystems steigern lässt. Auch nach einer möglichen Rückumwandlung verbleiben größere Mengen an Wurzelbiomasse im Boden, die sich nur langsam zersetzen. (Hübner et al. 2022)

Das Problem einer möglichen Reversibilität bleibt, die Gehölze eines Agroforstsystems können auch Naturereignissen wie Trockenheit, Sturm oder Hochwasser zum Opfer fallen und so der in ihnen gespeicherte Kohlenstoff verloren gehen. Aber das Risiko ist nicht so groß, wie bei Humusaufbau mit anderen Bewirtschaftungsmaßnahmen. Derartige Verluste können durch einen ausreichend großen Puffer bis zu einem gewissen Grad abgefedert werden. Doch auch ein Besitzerwechsel und Nutzungsänderungen können eine Gefahr für die Langfristigkeit darstellen. Wenn eine Einsparleistung als Zertifikat verkauft wird, kann der Bewirtschafter über vertragliche Klauseln verpflichtet werden, eine Mindestnutzungsdauer des Agroforstsystems o.ä. zu gewährleisten. bzw. Nutzungsänderungen zu vermeiden. Dass bei Agroforstsystemen mittel- bis langfristig geplant wird, insbesondere bei Obstgehölzen und Werthölzern ist ein

wesentlicher Erfolgsfaktor. Diese Aspekte sollten daher ein elementarer Bestandteil von Verträgen zum Zertifikatehandel sein. (Hübner et al. 2022)

1.5.2 Quantifizierung / Messbarkeit

Anspruchsvolle Qualitätsstandards nutzen nur genehmigte Vorgaben (Methodologien), die unabhängig und extern geprüft (validiert) wurden. (UBA 2018) Im Bereich der Landnutzung und für regionale Projekte passen die etablierten internationalen Standards aber nicht eins-zu-eins, sodass auf andere etablierte Methoden zurückgegriffen wird. Dabei muss die Einsparleistung mindestens so groß sein, dass sie mess- und nachweisbar ist und die Methode ausreichend sicher sein, um die Einsparleistung feststellen zu können.

Moor

Basis für die Ermittlung der Klimaschutzwirkung einer Moor-Wiedervernässung ist die direkte Messung der Spurengasflüsse und Modellierung der Spurengasbilanzen. Prinzipiell gilt: Je genauer die Emissionen bestimmt werden, desto geringer sind die Unsicherheiten und desto größer können die Einsparungsleistungen pro Projekt werden, da der Abschlag für den Konservatismus geringer werden kann. Da es aus logistischen (Anzahl von Messflächen und geeignete Bearbeiter-Teams) und finanziellen Gründen nicht möglich ist, ständig und gesamtflächenhaft Spurengasmessungen durchzuführen, wird folgende Vorgehensweise als ein gangbarer Kompromiss für die Ermittlung der THGs für die Einsparungsberechnungen (sowohl Baseline als auch Projekt) vorgeschlagen:

Um den Jahresmittelwasserstand in einem Mooregebiet bestimmen zu können, bedarf es eines mehrjährigen Wasserstandsmonitorings, bei dem in verschiedenen Bereichen des Moores der Wasserstand mit Automatikloggern erfasst wird. Da der Wasserstand bei degradierten Mooren sehr heterogen über die Gesamtfläche des Moores ausfallen kann, ist damit häufig eine aufwendige Planung mit viel Messequipment verbunden.

Da die Zusammensetzung der Moor-Vegetation immer auch vom Wasserstand abhängig ist, kann in den Bereichen, wo die Vegetation genügend Zeit hatte, sich dem Wasserstand anzupassen, die Vegetation als Proxy für den Wasserstand verwendet werden. Dadurch können mehrjährige Messungen vor den Wiedervernässungsmaßnahmen umgangen werden, wenn dazu beispielsweise keine Zeit mehr ist. Dennoch sollte ein Wasserstandsmonitoring immer frühzeitig eingeplant werden, da die Ableitung des Wasserstandes über die Vegetation nur eine Annäherung an die Wirklichkeit bieten kann, was immer auch mit einem Qualitätsverlust bei den Berechnungen mit einhergeht.

Vor Beginn der Maßnahme sollte ein Automatikpegel – je nach Beschaffenheit und Größe der Fläche auch mehrere Pegel – installiert werden, die schon den Wasserstand vor Umsetzung der Wiedervernässung aufzeichnen und für die Baseline-Berechnung benötigt werden (Näheres siehe Kapitel Baseline).

Nach Maßnahmenumsetzung muss der Wasserstand – als wichtigster Indikator für die Treibhausgasemissionen – regelmäßig gemessen und in einem Monitoringkonzept erfasst werden. Wird die wiedervernässte Fläche anschließend nicht landwirtschaftlich genutzt, sondern renaturiert, sollte zusätzlich ein Vegetationsmonitoring erfolgen. Wird die Fläche anschließend als Paludikultur genutzt und werden so gezielt Pflanzen angebaut, ist ein Vegetationsmonitoring nicht sinnvoll. Im Grünland werden sich bei Wiedervernässung die

entsprechenden Nässezeiger einstellen – hier ist eine Vegetationserfassung Teil des Monitorings.

Aus den Wasserstandsdaten kann mithilfe der Abhängigkeitskurven aus dem KliMoBay-Projekt für jede Landnutzungsart spezifisch die Treibhausgasemissionen berechnet werden. Dies ist eine Weiterentwicklung des PSC im Vergleich zum PEP-Modell, das ebenfalls an der HSWT entwickelt wurde. In der neuen Methodik werden individuelle Wasserstandsabhängigkeitskurven je Landnutzungstyp mit einbezogen und so die Ergebnisse genauer.

Eine genaue Vorgehensweise beim Monitoring für unterschiedliche Moor- und Entwässerungstypen wird derzeit im Projekt moorbenefits 2.0 entworfen. Bei der zukünftigen Umsetzung von Zertifizierungsprojekten sollte diese Methodik verwendet werden.

Humus

Es bestehen Schwierigkeiten hinsichtlich des Nachweises von quantitativen Kohlenstoffveränderungen im Boden, denn Humusaufbau ist nur langfristig, typischerweise erst nach mindestens 5 bis 10 Jahren, nachweisbar. (Freibauer und Wiesmeier 2021, Wiesmeier und Baumert 2021, Thünen-Faktencheck ohne Datum)

Die Veränderungen des C_{org} -Gehaltes des Bodens sollten durch eine repräsentative Mischprobe (mindestens 15 Proben pro ha) und für einzelne, einheitlich bewirtschaftete Schläge ermittelt werden (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V., 1991, zitiert in (Wiesmeier et al. 2020).

Dies ist auf die hohe Variabilität des C_{org} -Gehalts des Bodens zurückzuführen. Die Beprobungstiefe wird in Ackerböden aufgrund der typischen Bodenbearbeitungstiefe von 20-30 cm mit 25 cm empfohlen. Um eine Verfälschung des Ergebnisses auszuschließen, sollte die Probenahme in einem zeitlichen Abstand von mindestens 6 Wochen nach Maßnahmen wie Bodenbearbeitung oder Düngung erfolgen. Um Veränderungen erfassen zu können, sind Wiederholungsbeprobungen notwendig. Diese werden frühestens nach 3-5 Jahren als sinnvoll erachtet. Dabei müssen möglichst exakt die Punkte der initialen Probenahme bei möglichst gleichen Feldbedingungen wiederbeprobt werden.

Mithilfe der entnommenen Proben wird der Humusgehalt der Bodenprobe bestimmt (genaue Beschreibung siehe (Wiesmeier et al. 2020, Seite 5ff). Für eine Quantifizierung der Humusmenge im Boden muss der Humusgehalt der Bodenprobe noch mithilfe einer gemessenen (!) Lagerungsdichte und der Tiefe auf die Humusvorräte im Boden umgerechnet werden. Die genaue Berechnungsformel ist ebenfalls in Wiesmeier et al. (2020) ausgeführt.

Dabei lassen sich Unsicherheiten bei der Laboranalyse durch die Wiederholungen der Beprobung zwar minimieren, jedoch nicht vollständig ausschließen. Dies beinhaltet Schwankungen im Messvorgang und eine Streuung der Messwerte eines Schlags aufgrund der Heterogenität der Böden. (Wiesmeier und Baumert 2021)

Dieser Aufwand muss bei einer etwaigen Zertifizierung mitberücksichtigt und monetarisiert werden. In Verbindung mit den quantitativ relativ geringen Aufbauraten (vgl. Kapitel *Konservatismus*) und den Unsicherheiten, die durch die Heterogenität des Bodens bleiben werden, scheint eine sinnhafte Zertifizierung von Humusaufbau derzeit nicht umsetzbar.

Pflanzenkohle

Um die Klimawirkung einer pflanzenkohle-basierten C-Senke korrekt abzubilden, müssen alle direkten und indirekten Treibhausgasemissionen, die durch die Produktion der Kohle

entstehen (von Anbau der Biomasse, Ernte, Transport, Pyrolyse, Vermahlung und Bodeneinbringung), in die Gesamtbilanz einberechnet werden. (EBC 2020)

Bis zu ihrer Anwendung besitzt Pflanzenkohle lediglich das Potential zur C-Senke. „Das **C-Senken Potential** einer Verpackungseinheit Pflanzenkohle ist definiert als die in ihr enthaltene Menge Kohlenstoff abzüglich des Kohlenstoffaufwands ihrer Produktion. Damit umfasst es die vollständige Klimabilanz der Pflanzenkohle beim Verlassen der Produktionsstätte.“ (EBC 2020, Seite 6)

Das C-Senken-Potential wird erst zur C-Senke, wenn die Pflanzenkohle nicht mehr verbrennen kann, weil sie z.B. im Boden eingebracht oder in ein Verbundmaterial eingemischt wurde. (EBC 2020)

Die Methodik zur Berechnung des C-Senken-Potentials ist genauestens festgelegt. Nach der Bestimmung des Kohlenstoffgehalts der Pflanzenkohle werden alle THG-Emissionen samt einer Sicherheitsmarge erfasst, die im Herstellungsprozess anfallen. Diese werden anteilig vom C-Gehalt der Kohle abgezogen. Das daraus berechnete C-Senken Potential gibt also an, welcher Massenanteil einer gegebenen Menge Pflanzenkohle in eine langfristige C-Senke umgewandelt werden kann. (EBC 2020)

Da die Emissionen, die durch Transport und Verarbeitung der PK entstehen, von ihrem C-Senken-Potential abgezogen werden, sollten regionale Biomassequellen zur Herstellung bevorzugt werden. Laut FVPK sollten dabei Nachhaltigkeit und eine gesamtheitliche Betrachtung im Sinne der Ökobilanz die Auswahl der Rohstoffe leiten. (FVPK 2021)

Dies spricht beispielsweise für eine Nutzung von „Abfallprodukten“ wie Grünschnitt aus der Landschaftspflege und dem Gemeindegebiet.

Die technischen Aspekte wie Eignung des Materials müssen zusätzlich berücksichtigt werden.

Aufforstung

Da in dieser Studie nur der Biomassezuwachs des Waldes in Betracht gezogen wird, sind Methoden für die anderen Speicher und Substitutionsleistungen nicht notwendig. Die Zuwächse und Abgänge des C-Speichers Biomasse können über Messungen und Modellierungen nachvollzogen werden. Für den Speicher lebende Biomasse ist das durch die Forstinventuren vergleichsweise einfach. (Schulz und Weber-Blaschke 2021) Der C-Speicher Biomasse kann mit verschiedenen Modellen berechnet werden (vgl. Zell 2008, Offenthaler und Hochbichler 2006, Dieter und Elsasser 2002). Als praxisnahe Anwendung können aber auch Schätztabelle der LWF für einzelne Bäume oder Baumbestände herangezogen werden. Die Tabellen beziehen sich auf die ober- und unterirdische, lebende Biomasse. Totholz, Verjüngung und Boden werden nicht berücksichtigt. Hier werden als Eingangsgrößen Baumart, Baumhöhe und Brusthöhendurchmesser für die Einzelbaumbetrachtung und Alter und Holzvorrat des Bestandes für die Bestandsbetrachtung benötigt. (Schulz und Klein 2011)

Agroforst

Für bestehende Agroforstsysteme gibt es etablierte Methoden, den zu erwartenden **Biomassezuwachs** verhältnismäßig einfach und hinreichend exakt abzuschätzen. Hierfür werden Anzahl und Art der Gehölze und deren Dimension (Brusthöhendurchmesser, Höhe...) gemessen und mithilfe allometrischer Funktionen die trockene Biomasse eines einzelnen Gehölzes abgeleitet. Dies wird dann auf die Gesamtanzahl übertragen. Daran orientiert sich auch die Methodik des IPCC (2006) bei der Ermittlung der oberirdischen Biomasse pro Hektar Gehölzfläche. (Hübner et al. 2022)

Eine Bestimmung des C-Gehalts eines Agroforstsystems kann auch ex-post über die Trockenmassebestimmung des Ernteguts erfolgen. So können die ex-ante getroffenen Abschätzungen verifiziert werden. Neben dieser klassischen Art der Bestimmung existieren moderne ex-post Bestimmungsmethoden, wie z.B. eine exakte 3D-Erfassung des oberirdischen Volumens mittels Laser. Ebenso wird die Fernerkundung hier immer mehr an Bedeutung gewinnen. (Hübner et al. 2022)

Der **unterirdische** Anteil an der Biomasse sollte bei der Quantifizierung ebenfalls mit einbezogen werden, da die Wurzelbiomasse einem erheblichen Anteil an der Gesamtbiomasse (ca. 20-40 % der oberirdischen Biomasse) entspricht. Jedoch ist dies weitaus schwieriger, als bei der oberirdischen Biomasse. Durch die direkte Nachbarschaft von Gehölzen und Ackerkultur werden die Gehölze dahingehend erzogen, ihre Wurzeln eher in die Tiefe zu entwickeln, um nicht in Konkurrenz mit den jährlich geernteten Ackerfrüchten zu treten. Die Bodenbearbeitung bei der Feldbewirtschaftung wirkt ebenfalls in diese Richtung. Diese Verteilung der Wurzelbiomasse bis in größere Tiefen erschwert die Bestimmung der Wurzelmasse enorm. Eine annähernde Bestimmung der Feinwurzelmasse über Bodenkerne kann die Gehölze empfindlich stören. Literaturwerte zur unterirdischen Biomasse sind nur wenige vorhanden, diese sind mit teils großen Unsicherheiten verbunden und eignen sich daher nicht als Berechnungsgrundlage. (Hübner et al. 2022)

Des Weiteren kann zur Bestimmung der unterirdischen Biomasse das Wurzel-Spross-Verhältnisses herangezogen werden. Die von Mokany et al. (2006) ermittelten Durchschnittswerte für das Wurzel-Spross-Verhältnis von Laubwäldern der gemäßigten Klimazone liegen zwischen 0,23 und 0,45. Das bedeutet, dass die Wurzelbiomasse zwischen 23% der oberirdischen Biomasse (überirdische Biomasse $<75 \text{ t ha}^{-1}$) und 45 % (überirdische Biomasse zwischen 75 und 150 t ha^{-1}) entspricht. Diese Werte werden auch für das Nationale THG-Inventar des UBA (2021) zugrunde gelegt. Grundsätzlich sollte bei einer Berücksichtigung der Wurzelbiomasse besonders zurückhaltend gerechnet werden, da die Verifizierung sehr schwierig ist. (Hübner et al. 2021, Hübner et al. 2022)

Da Agroforstsysteme aber in Aufbau und Zusammensetzung eine sehr große Variabilität aufweisen, muss diesem Umstand auch bei der Quantifizierung entsprechend Rechnung getragen werden. Einflussgrößen wie Wuchsbedingungen, Pflanzdichten, Nutzungszeiträumen und Baumarten und -sorten können die Menge des festgelegten Kohlenstoffs enorm beeinflussen. Daher ist eine pauschale Quantifizierung der Biomasse ex-ante nicht zu empfehlen. Jedes System muss individuell analysiert werden. Besonders bei sehr divers aufgebauten Agroforstsystemen (unterschiedliche Altersstruktur innerhalb einer Fläche, gemischte Gehölzzusammensetzung, verschiedene Obstsorten etc.) erschwert die hohe Varianz die Prognostizierbarkeit und Vergleichbarkeit mit anderen Systemen. Für weiter verbreitete Systeme, wie z.B. Streuobstwiesen lassen sich ggf. vergleichbare Referenzsysteme in der Literatur finden, auf deren Basis eine ex-ante Abschätzung vorgenommen werden kann. (Hübner et al. 2022)

Die Ermittlung des **Bodenkohlenstoffs** ist (wie im Teil Humusaufbau beschrieben) ein aufwändiger und damit teurer Prozess. Wenn der Bodenkohlenstoff aber Teil der zertifizierten Klimaschutzleistung ist, muss der aufgebaute C_{org} bestimmt werden. Die flächenhafte Hochrechnung der C-Anreicherung in Agroforstsystemen ist sehr komplex, da diese in Abhängigkeit der Entfernungen zu den Baumkomponenten variiert (Bambrick et al. 2010, Cardinael et al. 2017). Deshalb ist eine repräsentative Erhebungsmethode notwendig, was großen arbeitstechnischen und finanziellen Aufwand bedeutet. (Hübner et al. 2022) Dabei gilt auch hier (wie im Teil Humusaufbau erläutert), dass eine Anlage von Agroforstsystemen auf humusarmen Böden (Äcker) deutlich effektiver ist als auf Grünland, da im Grünland

grundsätzlich bereits mehr C_{org} im Boden vorhanden ist und daher nur eine geringe C-Aufbaurate zu erwarten ist. (Wiesmeier et al. 2020, Cardinael 2018, De Stefano 2018)

Insgesamt ist die Literaturlage jedoch als ausbaufähig zu bezeichnen. Sie bietet damit keine Grundlage für Modelle oder Literaturwerte. Bei einer Verbesserung der Datenlage wird wohl in Zukunft immer mehr auf Modelle zurückgegriffen werden können. Diese Kosten müssten durch ein Zertifikat mit abgedeckt werden. (Hübner 2021b)

Jedoch ist die Festlegung von Kohlenstoff im Boden nicht nur stark von der Art des Agroforstsystems (Grünland, Acker, Kurzumtrieb, Streuobst), sondern zusätzlich vom Klima abhängig und damit vom Landwirt/der Landwirtin nicht gänzlich beeinflussbar (Feliciano et al 2018). Auch hier gilt somit, dass ein allgemeines Festlegungspotential für C im Boden unter Agroforstwirtschaft schwierig zu bestimmen ist. (Tsonkova und Böhm 2020) Den eng verwandten Kurzumtriebsplantagen beispielsweise kann keine uneingeschränkte Sequestrierungsleistung zugeschrieben werden (Kern und Don 2018).

Die Verwendung eines Literaturwerts ist aufgrund der geschilderten Heterogenität der Agroforstsysteme und der Ausgangsbedingungen und der dünnen Datenlage (Boden, Klima etc.) also **nicht von ausreichend großer Sicherheit für eine Zertifizierung**. Wenn der Bodenkohlenstoff mit zertifiziert werden soll, muss das Agroforstsystem wie im Teil Humusaufbau beschrieben individuell beprobt und die C_{org} -Vorräte mit ermittelt und mit einem engmaschigen Monitoring verfolgt werden.

Bei Emissionseinsparungen im **vor- und nachgelagerten Bereich** ist die Frage der Systemgrenzen zu diskutieren, die für eine etwaige Zertifizierung mit einbezogen werden und wie weit ein Substitutionseffekt nachvollzogen werden kann. Welche Einsparung kann noch sicher genug und mit angemessenem Aufwand bestimmt werden, sodass sie in ein Zertifikat mit einberechnet werden kann. Unserer Einschätzung nach ist die Systemgrenze an der zu zertifizierenden Fläche zu ziehen. Damit liegt der vor- und nachgelagerte Bereich außerhalb dieser Möglichkeiten und kann daher nicht auf ein CO_2 -Zertifikat angerechnet werden. Hier sollte ein in sich schlüssiger Umgang mit den anderen untersuchten Maßnahmen, insbesondere der Aufforstung, erfolgen.

Wie bereits beschrieben besteht hinsichtlich der Quantifizierbarkeit des Kohlenstoffspeicherpotentials in der Biomasse und vor allem im Boden die Problematik, dass enorme Schwankungen auftreten können. Auch für die Kohlenstoffminderungspotentiale im Flächenmanagement können sehr unterschiedliche Werte angesetzt werden. (Hübner et al 2021) Die in dieser Studie angegebenen Zahlenwerte sind daher als ungefähre Größenordnung zu betrachten.

1.5.3 Zusätzlichkeit

Der Verified Carbon Standard beschreibt eine Maßnahme als zusätzlich, wenn nachgewiesen werden kann, dass diese Maßnahme zu einer messbaren Emissionsreduzierung oder –vermeidung führt, die über das „business-as-usual-Szenario“ hinausgeht und die ohne den vom freiwilligen CO_2 -Zertifikatemarkt gebotenen Anreiz nicht durchgeführt worden wäre. (VERRA 2021) Die Zusätzlichkeit von Kohlenstoff-Zertifikaten ist es also, THG-Reduktion zu monetarisieren, und so Maßnahmen zu fördern, die andauernde oder erneute Kohlenstoffspeicherung ermöglichen, die ohne diese Finanzierung nicht stattgefunden hätten (Gold Standard 2021 S. 8).

Die Zusätzlichkeit gewährleistet den Anspruch des Käufers, einen freiwilligen und außerordentlichen Beitrag zum Klimaschutz geleistet zu haben, und untermauert die Integrität von CO₂-Zertifikaten. Daher muss sie nach gängigen Qualitätsstandards für Kohlenstoff-Zertifizierung, wie z.B. dem VCS oder dem Gold Standard, für die ökologische Integrität von Emissionsgutschriften erfüllt sein. Aufgrund der Ergebnisse der COP26 wird erwartet, dass die Zusätzlichkeit Voraussetzung für Aktivitäten im Rahmen der Artikel 6.2 und 6.4 des Pariser Abkommens werden wird. (Gold Standard 2021, S. 10; VERRA 2021, S. 33) Alleine schon damit Zertifikate des freiwilligen Marktes auch nach diesem zu erwartenden Schritt ihre Gültigkeit behalten, muss das Kriterium der Zusätzlichkeit erfüllt werden.

Moor

Finanzielle Zusätzlichkeit kann erreicht werden, wenn eine Maßnahme nicht durch ein staatliches Förderinstrument, z.B. das Moorbauernprogramm ab 2023, gefördert wird, sondern ausschließlich über Zertifikate. Eine Kombination aus bestimmten Förderungen und Zertifikaten wäre allerdings denkbar, z.B. eine Förderung, die die anfänglichen Investitionen absichert und die Zertifikate, die eine dauerhafte Bewirtschaftung der Fläche im nassen Zustand honorieren. Würde keines der beiden Förderinstrumente alleine ausreichen, ist die Zusätzlichkeit weiterhin gegeben. Möglicherweise ist ein Landwirt / eine Landwirtin auch erst bereit eine so tiefgreifende Veränderung in seiner / ihrer Betriebsstruktur vorzunehmen, wenn eine langfristige Honorierung sichergestellt ist. Das kann derzeit kein Förderinstrument leisten, da sie von der GAP (Änderung alle 5 Jahre) abhängig sind. Hier liegt der große Zusätzlichkeits-Aspekt der Zertifikate: Garantieren der Langfristigkeit einer Honorierung.

Ein weiterer Weg wäre, mit den durch Zertifikate finanzierte Maßnahmen in Räume zu gehen, in denen noch kein staatliches Moorschutzmanagement besteht. So würden zusätzlich zu den aus der Staatskasse finanzierten Projekten weitere Flächen in einen wiedervernässten Zustand kommen und damit zusätzlicher Klimaschutz gewährleistet.

Zusätzlichkeit ist jedoch nicht gegeben bei Moor-PV-Anlagen. Hier können die Zertifikate nicht eine finanzielle Lücke füllen, ohne welche die PV nicht umgesetzt worden wäre, da für PV Anlagen oft hohe Pachtpreise gezahlt werden. Hier sind rechtliche Vorgaben für eine Wiedervernässung unter PV-Anlagen auf Moorböden nötig und keine weiteren Anreize durch die Zertifikate.

Humus

Das Kriterium der Zusätzlichkeit muss bei der Zertifizierung von Emissionsminderungen daher erfüllt werden. Dies bedeutet, dass humusaufbauende Handlungen, die ohnehin erfolgen bzw. unterlassen werden, z.B. im Rahmen des jeweiligen Anbausystems, nicht als Kompensation gewertet werden können (Wiesmeier et al. 2020). Jedoch ist eine klare Trennung zwischen üblichem und zusätzlichem Humusaufbau schwierig, da viele humusaufbauende Maßnahmen Teil der üblichen Ackerbodenpflege sind (Thünen-Faktencheck ohne Datum).

Darüber hinaus muss die Zusätzlichkeit nicht nur zu einem bestimmten Zeitpunkt, sondern auch in der Zukunft gewährleistet sein. Maßnahmen zum Humusaufbau, die zum jetzigen Zeitpunkt als zusätzlich gelten, weil sie sich wirtschaftlich im Moment nicht lohnen, könnten durch technische Weiterentwicklungen einige Jahre später auch ohne Förderung wirtschaftlich rentabel und damit allgemein verbreitet werden. Mit oder ohne Zertifikate würde sich hier langfristig derselbe C_{org}-Vorrat im Boden einstellen. (Wiesmeier et al. 2020)

Manche Maßnahmen erfüllen das Kriterium der Zusätzlichkeit damit nur vorübergehend, da die Einsparung letztlich auch ohne diese Politik stattgefunden hätte. Diese Handhabung vermeidet, Gelder für Maßnahmen auszugeben, die letztlich wenig oder gar nichts zur Emissionsreduktion beitragen und die andernfalls für wirksamere Maßnahmen hätten ausgegeben werden können. (Thamo und Pannell 2016 Seite 11)

Pflanzenkohle

Pflanzenkohle wird bereits auch aus anderen Gründen als dem Schutz des Klimas hergestellt und verschieden angewendet: Zum Beispiel als Futterzugabe im Kuhstall oder zur Stabilisierung von Gülle oder Stallmist. In Böden wird sie mit dem Ziel eingebracht, eine Anpassung an den Klimawandel oder eine Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit zu erreichen. (Kammann 2011)

Daher ist es hier fraglich, ob das Kriterium der Zusätzlichkeit erfüllt werden kann. Es ist möglich, dass durch den Verkauf von Zertifikaten mehr Pflanzenkohle produziert wird, als zuvor, da sie nun einen Anwendungsbereich mehr zu bieten hat. Jedoch lässt sich das Kriterium Zusätzlichkeit nicht sicher erfüllen. Zu diesem Schluss kommt auch ein Gutachten aus dem Jahr 2021 (Maurer und Stäger AG 2021).

Durch den erzielten Erlös aus pflanzenkohlebasierten CO₂-Zertifikaten könnten die Preise für verschiedene Pflanzenkohleprodukte um 10 – 20% gesenkt und damit für einen breiteren Anwendungskreis wirtschaftlich tragfähig gemacht werden. Hierin könnte man eine Zusätzlichkeit von Pflanzenkohle-CO₂-Zertifikaten begründen. (EBI 2020)

Eine andere Möglichkeit wäre, Zusätzlichkeit über die Verwendung der Pflanzenkohle zu erreichen. So kann der Zusatz von Pflanzenkohle die Produkteigenschaften von Baustoffen verbessern. Die Erfüllung des Kriteriums Zusätzlichkeit ist bei Pflanzenkohle also eng gepaart mit dem Verwendungsweg. Hier muss die Zusätzlichkeit im Einzelfall nachvollzogen werden können.

Aufforstung

Wie Zusätzlichkeit im konkreten Fall eines Aufforstungsprojektes gewährleistet werden kann, ist nicht allgemein definiert, sondern muss im Einzelfall begründet und ausgelegt werden, z.B. über eine finanzielle Zusätzlichkeit. D.h. erst die Finanzierung über CO₂-Zertifikate ermöglicht die Umsetzung der Maßnahme. Kritiker argumentieren dabei, dass eine streng ausgelegte Zusätzlichkeit auf Kosten der Co-Benefits geht, welche aber oft einen erheblichen Anreiz für eine Teilnahme an einem Projekt darstellen. (Gifford 2020) Organisationen beteiligen sich aus einer Vielzahl von Gründen an diesen Projekten, und die Privilegierung der "zusätzlichen" Kohlenstoffbindung kann sie für Landbesitzer, die mehr an anderen Aspekten interessiert sind, weniger attraktiv machen. Das heißt, wenn die Zusätzlichkeit die wichtigste Voraussetzung für die Zertifizierung von Kohlenstoffgutschriften ist, stellt dies ein Risiko für andere Vorteile (Co-Benefits) solcher Projekte dar, wie z. B. eine erhöhte Finanzierung des Naturschutzes, die Schaffung von Arbeitsplätzen oder Unterstützung der biologischen. (Gifford 2020) Aus fachlicher Sicht muss die Zusätzlichkeit jedoch unbedingt gegeben sein.

Agroforst

Zusätzlichkeit kann konkret für Agroforstsysteme bedeuten: Eine verstärkte Kohlenstoffbindung im Boden, die ohne das Agroforstsystem nicht stattgefunden hätte (ökologische Zusätzlichkeit), Projektaktivitäten, die über gesetzliche Mindestvorgaben hinausgehen (regulatorische Zusätzlichkeit) oder eine finanzielle Zusätzlichkeit, d. h., dass

ohne das Geld aus den verkauften Zertifikaten die Kosten der Maßnahme den Nutzen übersteigen würden. Im besten Falle sollten Projekte mehrere bis alle Aspekte erfüllen. (EC 2021c)

Die Anpflanzung von Agroforstgehölzen bedeutet eine langfristige Festlegung auf ein Anbausystem, in dem verglichen zur Kultivierung einjähriger Ackerkulturen oder Grünland, häufig maßgeblich Kohlenstoff festgelegt wird. Damit ist das Kriterium „Zusätzlichkeit“ durch die Agroforstwirtschaft verglichen zu einjährigen oder kurzfristig angelegten Maßnahmen vergleichsweise gut zu erfüllen. Selbst bei substantiellen Anhebungen der Klimaschutzanforderungen in der Landwirtschaft allgemein ist eine Zusätzlichkeit sehr wahrscheinlich gegeben. (Hübner et al. 2022)

Da es im Rahmen der GAP ab 2023 eine Förderung für die Neuanlage von Agroforstsystemen geben wird, ist die Geldquelle CO₂-Zertifikat und ihre Zusätzlichkeit zu hinterfragen. Der angedachte Satz von 60€ pro Hektar Gehölzfläche (bei einem typischen Anteil von 10% Gehölzanteil 6€/ha) reicht laut dem Deutschen Fachverband für Agroforstwirtschaft jedoch bei weitem nicht aus, um die anfallenden Kosten auch nur annähernd zu decken. (DeFAF 2021) Bleibt der Fördersatz so niedrig, kann ein CO₂-Zertifikat die nötige Geldquelle darstellen, ohne die die Einrichtung eines Agroforstsystems nicht stattgefunden hätte. Damit ist Zusätzlichkeit weiterhin gegeben.

1.5.4 Doppelzählung

Unter Doppelzählung wird ein Szenario verstanden, in dem eine Emissionsreduktion doppelt geltend gemacht wird. Hintergrund ist, dass die Bundesregierung als Vertragsstaat der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) seit 1994 dazu verpflichtet ist, Inventare zu nationalen THG-Emissionen zu erstellen, zu veröffentlichen und regelmäßig fortzuschreiben. Seit Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls im Jahr 2005 ist auch Deutschland zu Emissionsreduktionen verpflichtet, die im nationalen THG-Inventar festgehalten werden. (UBA 2017) Um diese Reduktionen nachvollziehen zu können, werden alle Treibhausgasquellen und -senken jährlich im Nationalen Treibhausgasinventar der Bundesregierung erfasst und im Rahmen der internationalen Emissionsminderungsverpflichtungen auf Staatsebene bilanziert. Durch die Zählung aller Emissionseinsparung im nationalen THG-Inventar entsteht die Gefahr, dass Projekt-Emissionsreduktionen als Zertifikate verkauft und angerechnet und gleichzeitig im nationalen THG-Inventar bilanziert werden. Die Emissionsreduktion würde doppelt gezählt werden. (FutureCamp 2018)

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Machbarkeitsstudie gibt es keinen rechtlichen Rahmen, der einen klaren Weg vorgibt, wie Doppelzählungen verhindert werden können. Daher gibt es mehrere Ansätze, diesem Risiko entgegenzuwirken:

Registrierung: Alle ausgegebenen Zertifikate des freiwilligen Marktes werden an einer zentralen Stelle (in einem Register) gespeichert. Somit können die Besitzverhältnisse aller Zertifikate verfolgt und Doppelverkäufe vermieden werden. Es gibt aber kein allgemein gültiges öffentliches Register für Zertifikate des freiwilligen Marktes. Die beiden größten Register im Bereich freiwilliger CO₂-Zertifikate-Markt sind APX VCS Registry (<https://apx.com/registries/apx-vcs-registry>) und IHS Markit (www.markit.com/product/registry). (UBA 2018)

Anzustreben wäre hier eine staatliche, bayernweite Plattform, die die Rolle der Registrierung übernimmt, beispielsweise die Landesagentur für Energie und Klimaschutz (LENK).

Kombinierte Zertifikate: Manche Anbieter bieten zusätzlich zu einem regionalen Zertifikat ein international erworbenes Zertifikat, das keine Doppelzählung aufweist, an. Eine bestimmte Menge CO₂ wird hier gewissermaßen zwei Mal kompensiert, aber nur einmal gezählt. So wird das Problem der regionalen Zertifikate - die Doppelzählung - umgangen und trotzdem die Co-Benefits regionaler Projekte, wie Erhaltung der Biodiversität vor der Haustür, genutzt. (UBA 2018) Damit die internationalen Projekte keiner Doppelzählung unterliegen ist Grundvoraussetzung, dass die Länder, in denen sie entwickelt werden, entweder selbst keinem völkerrechtlich festgeschriebenen Emissionslimit unterliegen (Entwicklungs- und Schwellenländer) oder sich als Gastland dazu verpflichten, die Menge an nationalen Emissionsrechten stillzulegen, die der Menge an erzeugten Projektgutschriften entspricht. (FutureCamp 2018) Nachteil bei dieser Methode ist sicherlich der höhere Preis, denn der zusätzliche Aufwand für die Doppelkompensation muss im Preis des doppelt kompensierten Zertifikates ausgedrückt werden. (FutureCamp 2018) Seit Inkrafttreten des Pariser Abkommens unterliegen aber alle Länder Emissionsminderungsverpflichtungen, sodass dieser Mechanismus bald der Vergangenheit angehört. Darüber hinaus kann es zu Glaubwürdigkeitsproblemen führen, wenn ein Zertifikat zur Sicherheit mit einem zweiten Abgesichert wird – das unnötige streut Zweifel an der Qualität der „einheimischen“ Zertifikate.

Alternativ bieten einige Anbieter zusätzlich zu nationalen Zertifikaten die internationalen CERs an, um die Herausforderung der Doppelzählung zu lösen. (UBA 2018) CERs (Certified Emission Reduction) sind eine Art von Emissionseinheiten, die pro Einheit einer Tonne CO₂ entsprechen und vom Clean Development Mechanism (CDM) für Emissionsreduktionen für den offiziellen Markt ausgestellt werden. Sie werden durch CDM-Projekte erzielt und gemäß den Regeln des Kyoto-Protokolls überprüft. (UNFCCC ohne Datum) Die hochwertigen CERs lassen sich aber auch zur Kompensation im Freiwilligen Markt einsetzen. (energiekonsens ohne Datum)

Klimafinanzierung: Eine dritte Option zur Vermeidung von Doppelzählung ist der Verzicht der Zertifikate-Käufer darauf, sich die gekaufte THG-Minderung selbst anzurechnen. Stattdessen erhalten die Käufer einen Beleg, welcher ihren Beitrag zur Emissionsminderung nachweist, sie also „ergebnisorientierte Klimafinanzierung“ betrieben haben. Dieser Weg hilft dem Käufer jedoch nicht dabei, seine eigene Klimaneutralität zu erreichen. Absolut essentiell ist hierbei Klarheit in der Kommunikation: Die Differenzierung zwischen Kompensation und Klimafinanzierung muss klar vermittelt werden. (AEK 2021)

In diese Richtung geht auch die Reaktion des Verified Carbon Standard auf das Problem der Doppelzählung:

Zum Umgang mit dem Problem der Doppelzählung wird die Argumentation von zwei der größten internationalen Standards dargestellt: Dem Gold Standard (GS) und dem Verified Carbon Standard (VCS).

Der Gold Standard (GS) unterscheidet verschiedene Arten der Doppelzählung: Doppelausgabe (*double issuance*), z.B. bei Registrierung eines Projektes unter zwei verschiedenen Programmen, Doppelnutzung (*double use*), d.h. doppelte Zählung einer einmal getätigten Klimaschutzleistung, z.B. bei Nutzung einer einzelnen Einheit in 2 verschiedenen Kalenderjahren und Doppelte Inanspruchnahme (*double claiming*), wenn dieselbe Emissionsreduzierung von zwei Einrichtungen geltend gemacht wird, um entsprechende Klimaschutzziele oder -zusagen zu erreichen. (Gold Standard 2022b). In diesem Verständnis sind alle Arten der Doppelzählung zu vermeiden. Auch hier stellt der sogenannte Contribution Claim eine gute Möglichkeit dar, allen beteiligten Parteien eine gerechte Wertschätzung zu geben und gleichzeitig die Integrität der Kohlenstoffzertifikate zu wahren.

Der Argumentation des VCS folgend ist die wichtigste Prämisse, die Umweltintegrität der Emissionsreduktion zu bewahren, also dass eine eingesparte Tonne CO₂ auch nur ein Mal angerechnet wird. Der VCS unterscheidet dabei zwischen *double monetization*, *double selling* und *double claiming*. Unter *double monetization* wird verstanden, wenn eine Treibhausgas (THG)-Einsparung einmal als THG-Gutschrift (*GHG credit*) und ein zweites Mal als Emissions-Zertifikat (*GHG allowance*) verkauft wird. *Double selling* tritt auf, wenn eine THG-Emissions-Reduktion an mehrere Käufer verkauft wird. Da sich in diesen beiden Fällen mehrere Parteien eine einmal getätigte Einsparung anrechnen, sind diese beiden Verfahren nicht zulässig. Anders bei dem, was der VCS unter *double claiming* versteht: Der Umweltnutzen einer THG-Emissionsreduktion wird von zwei verschiedenen Parteien beansprucht. Dabei wird die Reduktion aber nur ein Mal angerechnet (im nationalen THG-Inventar eines Landes), aber der Käufer kann seinen Beitrag zum Klimaschutz in der Öffentlichkeit proklamieren. Er hat die Einsparung finanziert, womit er zu den nationalen Klimazielen seines Landes beiträgt (die mithilfe des THG-Inventars nachvollzogen werden). Die einmal getätigte THG-Einsparung wird also auch nur einmal gezählt. (VERRA 2012)

Da die Argumentation des VCS nachvollziehbar darlegt, dass bei ihrem Verständnis von *double claiming* eine einmal getätigte Einsparung auch nur ein Mal angerechnet wird, womit die Umweltintegrität gewährt wird, wird dieser differenzierteren Auslegung gefolgt. Das Problem der Doppelzählung sollte bei allen untersuchten Maßnahmen über den sog. *Contribution claim* gelöst werden. Je nach Maßnahmenart muss dann auf dem Zertifikat ein Beisatz stehen, der auf den Beitrag zu den gesamtdeutschen Einsparzielen hinweist, beispielsweise: „Dieser zertifizierte Klimabeitrag / Dieses Zertifikat über die Einsparung von 1 Tonne CO₂-Äquivalenten trägt zu den Reduktionszielen der Bundesrepublik Deutschland bei“.

Moor

Hier ist also zu klären, wie die THG-Minderung von wem genutzt werden kann. In der Zeit des Kyoto-Protokolls hat sich international bei Kompensationsprojekten die Gewohnheit entwickelt, dass die kompensierte THG-Menge in dem Land, in dem die Maßnahme durchgeführt wurde, aus dem THG-Inventar ausgebucht werden musste. Unter dem Paris Agreement, wo nun alle Vertragsstaaten Emissionsminderungsverpflichtungen haben, ist das unsinnig. Denn dadurch bliebe die THG-Minderung, die durch Kompensationsmaßnahmen von beliebigen Akteuren bezahlt wurde, als virtuelle THG-Emission im nationalen Treibhausgasinventar stehen. Hier ist zu trennen: kauft ein Staat Emissionsminderungen von einem anderen Staat, muss im nationalen THG-Inventar entsprechend korrigiert werden. Kauft ein Unternehmen, ein Bundesland oder sonst ein Nicht-Vertragspartner der UNFCCC durch Kompensation eine THG-Minderung, so kann dies zur Erfüllung der nationalen Pflichten unter der UNFCCC genutzt werden. Dies könnte transparent geregelt werden, indem ein Disclaimer „Dieser Ausgleich unterstützt die deutschen Klimaschutzziele“ beigefügt wird. Dieser Ansatz des sog. *Contribution claim* würdigt die Klimaschutzleistung aller Beteiligten und verhindert gleichzeitig eine Doppelanrechnung der einmal getätigten Klimaschutzleistung. Die Nutzung eines Contribution Claims wird daher empfohlen.

Diese Umgangsweise sollte auf alle Maßnahmentypen gleichermaßen angewendet werden.

Pflanzkohle

Die EBC-Richtlinien schlagen die Schaffung eines zentralen EBC-Senken-Registers vor, in welchem der Wert der jeweiligen C-Senken ein und ausgetragen würde. Dies gilt für alle Verwendungen von Pflanzkohle: Sowohl für landwirtschaftliche Applikationen (Erfassung der Landfläche per GPS, in der das pflanzkohle-haltige Substrat eingebracht wurde) als

auch für die Materialanwendung (Erfassung des konkreten Verwendungsortes/Haus mit Adresse bzw. GPS-Daten).

Die Erfassung des Ortes und des Ortsbesitzers der C-Senke ist sowohl wichtig für eine nachträgliche Kontrolle als auch für eine Vergütung der Klimadienleistung des Ortsbesitzers durch die Pflege und Bewahrung der C-Senke, z.B. C-schonende Bewirtschaftung des Bodens, Pflege des Hauses. (EBC 2020)

Humus

Siehe Abschnitt Moor und Aufforstung

Aufforstung

Die Zu- und Abnahme von Waldflächen ist ein wichtiger Bestandteil der nationalen Treibhausgasbilanzierung und –berichterstattung (WBAE und WBW 2016). Die Daten zur Berechnung stammen aus der dritten Bundeswaldinventur (BWI 3) und der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) oder sind auf Basis der Bundeswaldinventur (BWI 2012) hergeleitet. Es fließen alle – auch private – Waldflächen in die BWI ein. Bei diesem Maßnahmentyp wird deutlich, weshalb von uns empfohlen wird, bei allen Zertifikatstypen mit einem Contribution Claim zu arbeiten. Denn das bedeutet, dass auch eine privat über Zertifikate finanzierte Aufforstung im BWI erfasst und gezählt wird. Hier muss also zwingend mit einem Contribution claim gearbeitet werden, um eine Doppelzählung zu vermeiden.

Agroforst

Siehe Abschnitt Moor und Aufforstung

1.5.5 Emissionsverlagerung (Leakage)

Ein zentrales Kriterium zur Absicherung der atmosphärischen Integrität ist die Prüfung der Effekte der angewendeten Maßnahmen hinsichtlich der Risiken der Emissionsverlagerung. Bei der Emissionsverlagerung werden die Emissionen anhand von Maßnahmen auf einer Fläche eingespart, der daraus resultierende Einkommensverlust aber auf anderer Fläche ausgeglichen und dort entsprechend erhöhte Emissionen erzeugt. Emissionsverlagerung kann sowohl im direkten Flächenumfeld durch Maßnahmenumsetzung bereits erfolgen, als auch regional, national, und sogar international stattfinden. (Drösler et al. 2013)

Moor

Die Gefahr von Emissionsverlagerung bei Moorböden hängt insbesondere von der Intensität der Ausgangsnutzung ab. Je intensiver die Nutzung einer Fläche, desto höher das Risiko, dass es zu Emissionsverlagerung kommt, wenn diese intensiv genutzte Fläche aus der Nutzung genommen oder ein andersartiges Produkt (z.B. Paludikulturen) erzeugt wird. (Drösler et al. 2013) Derartige Verschiebungen sollten vertraglich mit den Bewirtschafter*innen verhindert werden.

Beispiel regionale Verlagerung: Auf einem entwässerten Moorboden wird intensive Landwirtschaft in Form von Maisanbau betrieben. Diese Fläche wird nun in ein Zertifizierungsprogramm aufgenommen, d.h. die Fläche wird wiedervernässt und ab dann klimafreundlich bewirtschaftet, z.B. mit Paludikulturen. Da nun Mais als Futter fehlt, wird eine andere Moorfläche, die nicht Teil des Zertifizierungsprogramms ist, in einen Maisacker

umgewandelt (eine aktive Neuanlage von Entwässerungseinrichtungen ist in Bayern nicht mehr erlaubt, aber auch eine Intensivierung kann zu erhöhten Emissionen (N₂O) aus Moorböden führen). Damit wären Emissionen von einem Acker nur zum nächsten gewandert, aber nicht weniger geworden. Daher kann in so einem Fall kein Zertifikat für eine Emissionsreduktion ausgestellt werden. Die aus der Wiedervernässung einer Moorfläche folgende Intensivierung einer Mineralbodenfläche wäre dagegen deutlich weniger klimaschädlich. Hier braucht es also immer eine Gesamtbetrachtung.

Humus

Maßnahmen zum Humusaufbau, die die landwirtschaftliche Produktivität stark senken, können zu Landnutzungsänderungen an anderer Stelle beitragen (Wiesmeier et al. 2020).

So besteht beispielsweise die Gefahr, dass ein Betrieb, der nur mit einem Teil seiner Flächen am Humusaufbauprogramm teilnimmt, humusaufbauende Maßnahmen dort konzentriert umsetzt, dafür aber das Management aller anderen Flächen reduziert. Bleibt die Summe der positiven Maßnahmen im Betrieb gleich, findet nur ein Verschiebungseffekt und keine Klimaschutzwirkung statt. (Wiesmeier et al. 2020)

Hier ist ebenfalls zu beachten, dass es sich bei der Ausbringung von organischem Dünger wie Stallmist, Gülle oder Kompost nur eine räumliche Umverteilung von organischer Substanz handelt. Hier werden lediglich Kohlenstoff und Nährstoffe, die bei der Ernte entzogen wurden, dem Boden zurückgeführt. Die organische Düngung spielt damit eine zentrale Rolle für einen ausgeglichenen Humushaushalt und ein nachhaltiges Ressourcenmanagement, aber stellt keine Klimaschutzmaßnahme dar. Sie kann daher im Rahmen von CO₂-Zertifikaten nicht als Beitrag zum Klimaschutz anerkannt werden. (Wiesmeier et al. 2020, Wiesmeier 2021)

Solche Verschiebungseffekte können von Zertifikatanbietern nur schwer ausgeschlossen werden. (ZALF 2022)

Pflanzenkohle

Das übergeordnete Ziel aller Anstrengungen zur Zertifizierung von C-Senken ist es, die Menge gespeicherten Kohlenstoffs auf der Erde (in Biomasse, Böden, Pflanzenkohle etc.) zu erhöhen und damit die Konzentration von Kohlenstoff in der Atmosphäre zu verringern. Daher darf für die Herstellung von als C-Senke zertifizierter Pflanzenkohle keine andere C-Senke zerstört werden. Sonst würde sich kein neuer, zusätzlicher Speichereffekt einstellen, sondern nur eine Verschiebung des gespeicherten Kohlenstoffs von einer C-Senke in die andere stattfinden. (EBC 2020)

Um dem vorzubeugen, dürfen für die Herstellung von Pflanzenkohle nur Biomassen genutzt werden, die C-neutral sind. Das bedeutet, dass die Biomasse nicht aus der Zerstörung oder dem Abbau einer anderen C-Senke stammen darf oder indirekt zum Abbau einer Senke beiträgt. Dann hätte sie keinen C-Senkenwert und könnte folgerichtig nicht mehr als Klimadienleistung anerkannt werden. (EBC 2020)

Hierfür wurde vom EBC eine „Positivliste zulässiger Biomassen zur Herstellung von Pflanzenkohle“ erstellt. Alle auf dieser Liste geführten Biomassen erlauben es – mit der entsprechenden Pyrolysetechnik – eine saubere und nachhaltig einsetzbare Pflanzenkohle zu produzieren. Auf dieser Positivliste finden sich beispielsweise auch Ein- und Mehrjährigen Energiepflanzen (NAWARO, Ag-01 und Ag-02). (Schmidt et al. 2021)

Paludikulturpflanzen werden nicht namentlich genannt, aber könnten als mehrjährige Kulturen der Kategorie Ag-02 zugeordnet und damit nach unserer Auffassung für die Herstellung von Pflanzenkohle genutzt werden. Beispiele für Paludikulturpflanzen sind Schilfrohr (*Phragmites australis*) oder Großseggen (*Carex*).

Dabei ist anzumerken, dass sich für die Pyrolyse vor allem trockene, homogene, nährstoffarme und gut zerkleinerbare Biomassen eignen, wohingegen feuchte und nährstoffreichere Biomassen für die Verwertungswege Kompostierung oder Biogasherstellung von Vorteil sind. (Schmidt et al. 2021)

Aufforstung

Einer Emissionsverlagerung kann nur in begrenztem Umfang über Vertragsklauseln begegnet werden, die Aktivitäten des Waldbewirtschafters verbieten, die zu einer reinen Emissionsverlagerung führen würden. Beispielsweise die Teilnahme eines Waldstücks an dem Zertifizierungsprogramm, während ein anderer Wald den möglicherweise entstehenden Holzverlust ausgleicht, indem er intensiver beerntet wird. In größerem Maßstab verursacht der Verlust landwirtschaftlicher Fläche in Deutschland indirekte Landnutzungseffekte in anderen Regionen der Welt (WBAE und WBW 2016). In der hier betrachteten Größenordnung eines regionalen Projektes mit verhältnismäßig kleinen Projektflächen dürfte dieser Effekt allerdings nicht spürbar sein.

Agroforst

Eine Verlagerung von Emissionen kann durch eine mögliche Verdrängung von landwirtschaftlicher Produktion in andere Gebiete auch durch die Einrichtung neuer Agroforstsysteme geschehen. (EC 2021c) Solche Verschiebungseffekte sollen gänzlich vermieden werden, können von Zertifikatanbietern aber nur schwer ausgeschlossen werden. (Feliciano et al 2018)

1.5.6 Einbindung der Beteiligten (Stakeholder)

Ein Klimaschutzprojekt darf nicht über die Köpfe der Menschen vor Ort hinweg geplant werden. Deswegen sollten unbedingt alle Beteiligten miteinbezogen werden. (UBA 2018)

Moor

Die Einbindung der Beteiligten erweist sich als anspruchsvoll. Ein Großteil der bayerischen Moorflächen wurde für eine land- oder forstwirtschaftliche Nutzung entwässert. Die Skepsis der Flächeneigentümer gegenüber Wiedervernässungsmaßnahmen ist hoch und führt besonders in besiedelten Gebieten zu einer gehemmten Motivation und geringen Teilnahme der Anwohner an entsprechenden Maßnahmen. (Drösler et al. 2013) Deshalb müssen die Moor-besitzer*innen und –Bewirtschaftler*innen im Untersuchungsgebiet frühzeitig mit einbezogen werden, um sie nach ihren Bedürfnissen bezüglich eines CO₂-Zertifikats zu befragen und diese Wünsche in ein aufzubauendes Zertifizierungssystem mit einzubeziehen. Außerdem müssen die Effekte etwaiger Wiedervernässungsmaßnahmen auf Anwohner geprüft werden. Jedoch ist der Moorschutz in der Region immer noch mit erheblichen Vorbehalten behaftet und vermutlich nur durch funktionierende Vorzeige-Projekte überwindbar.

Insbesondere Paludikulturen werden als Landnutzungsform kritisch gesehen, da die herkömmliche, entwässerungsbasierte Nutzung zugunsten der Paludikultur aufgegeben werden muss, dieser Schritt unter Umständen nicht rückgängig zu machen ist und deren wirtschaftlicher Nutzen als fraglich angesehen wird. Paludikulturen sind bislang eine vergleichsweise unbekannt Form der Landnutzung, die noch auf keine breite

gesellschaftliche Akzeptanz setzen kann. Vor allem die damit verbundene Wiedervernässung stößt oft auf Widerstand. Einige dieser Vorbehalte sind Informationsdefiziten geschuldet und lassen sich durch sachliche Aufklärung zumindest teilweise beseitigen. Daher ist ein Wissenstransfer an alle relevanten Akteure unverzichtbar. Dabei ist eine klare Kommunikation von Ziel, Methoden und Vorteilen genauso wichtig, wie mögliche Risiken klar zu benennen. Darüber hinaus müssen Akteure mit relevanten Kompetenzen, Wissen, fachlichen und materiellen Ressourcen mit eingebunden werden. (Wichtmann 2016)

Letztlich wird aber entscheidend sein, ob sich eine nasse Bewirtschaftung bzw. die Etablierung von Paludikulturen in Kombination mit Zertifikaten zu einer attraktiven und wirtschaftlich tragfähigen Alternative entwickelt. Die Endlichkeit der Bewirtschaftung der derzeitigen entwässerungsbasierten Landnutzung auf Moor wird von den Landnutzern immer stärker wahrgenommen. Die langfristige Erhaltung des Bodenwertes mittels Wiedervernässung im Rahmen von Zertifikaten ist hier eine Zukunftsoption.

Humus

Beim Klimaschutz durch Humusaufbau wäre dieses Kriterium erfüllt, da der Klimaschutz ja nicht über die Köpfe der betroffenen Landwirt*innen hinweg, sondern durch sie selbst durchgeführt wird. Im Gegensatz zum Moorschutz genießt Humusaufbau auf den eigenen Flächen auch in der breiten (landwirtschaftlichen) Öffentlichkeit einen guten Ruf.

Pflanzenkohle

Der Bau einer Pyrolyseanlage kann in der Region neue Jobs schaffen, aber nur in kleinem Umfang. Der wichtigere Aspekt liegt in der Sicherung von Arbeitsplätzen in den Wertschöpfungsketten (Forst, kommunale Grünpflege). Hier können Kooperationen für Vorketten aufgebaut und damit Arbeitsplätze gesichert werden. Wird das Ausgangsmaterial für die Pyrolysekohle aus der Region bezogen – was vom FVPK und den EBC Richtlinien empfohlen wird - kann die regionale Wertschöpfung gestärkt werden. Die produzierte Pflanzenkohle kann anschließend z.B. in die Landwirtschaft vor Ort verkauft werden und dort ihre vielfältigen positiven Nebenwirkungen entfalten. (Expertenaussage ProLignis)

Des Weiteren fällt beim Pyrolyseprozess Wärme an, die z.B. als Nah-/Fernwärme oder für Trocknungsanlagen verkauft werden muss, damit sich die Anlage wirtschaftlich trägt. Hiervon können die Anwohner profitieren und sich mit regionaler Wärme selbst versorgen und sind nicht auf fossile Brennstoffe wie z.B. Erdgas zum Heizen angewiesen. (siehe Internetauftritt der Firma BIO Bioenergiesysteme GmbH)

Aufforstung

Auch hier müssen die Waldbesitzer Eigeninitiative ergreifen, um am Zertifizierungsprogramm teilnehmen zu können und somit ein gewisses Interesse bekunden. In Absprache mit den Waldbesitzern werden Maßnahmen festgelegt, um die Klimaschutzleistung eines Waldes zu bestimmen und dann soweit möglich zu erhöhen.

Agroforst

Das Kriterium der Einbindung wäre hier erfüllt, da die Agroforstsysteme durch die Landwirte selbst auf ihren Flächen installiert würden. Dabei ist die positive Außenwirkung, die ein CO₂-

Zertifikat für den Betrieb mit sich brächte, neben den unter dem Punkt Synergien und Konflikte beschriebenen Synergien für den Betrieb eine zusätzliche Motivation.

Ein neues Agroforstsystem kann eine unter Umständen erhebliche Veränderung des Landschaftsbildes (ohne Wertung) mit sich bringen. Um Vorbehalten diesen Veränderungen gegenüber vorzubeugen, sollte die ortsansässige Bevölkerung ebenfalls miteingebunden werden.

1.5.7 Nachhaltige Entwicklung

Neben der reinen Einsparung von Treibhausgasen können Klimaschutzprojekte darüber hinaus einen Mehrwert haben. Durch die Erfüllung eines oder mehrerer SDGs (Sustainable Development Goals) können sie beispielsweise einen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung leisten. Diese Co-Benefits/Synergien sollten dem Projekt positiv angerechnet werden. Andererseits sollte es zum Ausschluss eines Projektes führen, wenn durch das Projekt beispielsweise die Artenvielfalt oder Gesundheit der lokalen Bevölkerung leidet. Einige Standards haben hierzu Anforderungen festgelegt und achten darauf immer stärker. (UBA 2018)

Eine insgesamt nachhaltige Entwicklung ist absolut notwendig, da damit das große Ziel einer langfristig bestehenden Wirtschaftsweise und nachhaltigen Welt unterstützt wird. Bei einem Beiseitelassen dieses Grundsatzes würden außerdem kritische Stimmen gestärkt, die behaupten, dass Kohlenstoff-Zertifikate es ermöglichen, sich billig von seinen CO₂-Lasten freizukaufen, ohne aber wirklich etwas zu verändern. (GMC ohne Datum)

Moor

Neben der hier im Zentrum der Studie stehenden Funktion der (nassen) Moore, zu einer Emissionsminderung beizutragen (SDG13: Climate action), haben sie eine ganze Reihe weiterer wichtiger Funktionen:

Wassergesättigte Moore haben im Landschaftswasserhaushalt eine wichtige Regulierungsfunktion und Einfluss auf das Regionalklima (ausreichendes Wasserangebot sorgt für hohe Verdunstung und damit einen Kühlungseffekt). Durch Entwässerung der Moorböden gehen diese Funktionen verloren, mit einer Wiedervernässung lassen sich diese aber zumindest zum Teil wiederherstellen. So kann durch die Wiederherstellung naturnaher Wasserstände in einem Moor wieder Wasser in der Landschaft gehalten werden – unabhängig davon, ob es sich um eine Renaturierung oder Umnutzung zur Paludikultur handelt (SDG15: Life on land). (Wichtmann 2016)

Naturnahe Moore werden als „Nieren der Landschaft“ bezeichnet, da sie dem zuströmenden Wasser Nähr- und Schadstoffe entziehen und diese im Torf einlagern. Moore können Nährstoffe wie Stickstoff (N) und Phosphor (P), Spurenelemente und Schwermetalle zurückhalten und damit als Stoffsenke und Wasserfilter fungieren. Diese Funktion geht durch eine Entwässerung verloren und es entsteht sogar das Problem, dass Moore die eingelagerten Stoffe wieder abgeben. Insbesondere Nitrat, das gut wasserlöslich ist, kann in großen Mengen ausgewaschen werden, was negative Einflüsse auf umliegende Gewässer und das Trinkwasser haben kann. Eine Wiedervernässung strebt die Beseitigung dieser Probleme und eine Wiederherstellung der ursprünglichen Rückhalt-Funktion an. (Tiemeyer et al. 2017)

Des Weiteren bleibt der kulturelle Wert der Moore als Bodenarchiv nur bei nassen Moorböden erhalten, welcher mit seiner Dokumentation der Landschafts- und Vegetationsgeschichte von einmaliger Bedeutung ist. (Bonn et al. 2015)

Das schwerwiegendste Argument ist jedoch sicherlich, dass Moorböden überhaupt nur durch eine nasse Bewirtschaftung dauerhaft genutzt und bewirtschaftet werden können. Jegliche entwässerungsbasierte Nutzung ist nur kurzfristig möglich, da der Boden wegmineralisiert. So wird durch eine Wiedervernässung mit anschließender nasser Nutzung die Dauerhaftigkeit der Bewirtschaftung gegeben. (Bonn et al. 2018)

Der Einfluss auf die Biodiversität ist für die einzelnen Ausprägungen differenziert zu betrachten:

Renaturierung

Eine Renaturierung zielt darauf ab, alle Ökosystemleistungen des Moors wiederherzustellen, inklusive – und das unterscheidet sie an dieser Stelle von den anderen Moorschutzmaßnahmen – Lebensraum für die typische Fauna und Flora als hochrangiges Ziel. Sie ist damit die Maßnahme, die die größten naturschutzfachlichen Synergien mit sich bringt, insbesondere weil Moore mit ihrem kleinen Flächenanteil und ihrem meist degradierten Zustand ein besonders bedrohtes Ökosystem darstellen.

Eine Renaturierung geht zwangsläufig mit einem Nutzungsverzicht (im landwirtschaftlichen Sinne) einher, was eine hohe Hürde darstellen kann.

Nassbewirtschaftung

Bei der Vernässung von Grünland sind zwar eher geringere Unterschiede im Vergleich zur vorherigen Nutzung zu erwarten, mit der Vernässung wird jedoch ein Standort geschaffen, der bei großräumiger Betrachtung zu den Seltenen gehört. Ein nasser Moorkörper ermöglicht das Vorkommen speziell daran angepasster Organismen, was auf Landschaftsebene zur ökologischen Vielfalt beiträgt. (Wichtmann 2016)

Paludikultur:

Allgemeine Aussagen zum Einfluss von Paludikulturen auf die Artenvielfalt sind zu generalisiert, da der Wert sowohl von der betrachteten Organismengruppe (Flora, Avifauna, Arthropoden...) als auch von der Art der Paludikultur abhängig ist (Schilfröhricht mit Wintermahd oder Nasswiese mit später Sommermahd). Daher sollten im Vorfeld die naturschutzfachlichen Konsequenzen abgeschätzt und bei Bedarf das Management von Paludikulturen auch unter Berücksichtigung von wertgebenden Leitarten abgestimmt werden. (Wichtmann 2016)

Im Forschungsprojekt MOORuse wurde die Etablierung mehrerer Paludikulturen (davon eine im Untersuchungsgebiet von CO₂-regio) mit unterschiedlichen Pflanzen durch Erhebungen zur floristischen und faunistischen Diversität begleitet. Die Ergebnisse aus diesem Projekt können die Kritik, dass Paludikulturen per se zu einer Artenverarmung führen, nicht bestätigen. In Hinblick auf die Fauna konnten sogar erhebliche positiv-Effekte hinsichtlich Lebensraum-Erweiterung von seltenen und gefährdeten Arten (z.B. Kiebitz) nachgewiesen werden. (Drösler et al. 2020/2021)

Entscheidend ist hier, welche Vergleichsbestände herangezogen werden. In den Paludikulturen wurden relativ wenige floristische Begleitarten festgestellt. Allerdings kommen alle untersuchten Paludikultur-Pflanzen (Rohrkolben *Typha spp.*, Rohrglanzgras *Phalaris*, Grossegggen *Carex spp.*) auch natürlicherweise in sehr dominanten, nahezu Rein-Beständen vor, womit sich die Artenzahl der Begleitarten in Paludikulturen und in den naturnahen Beständen nicht wesentlich unterscheiden, wenn einerseits die Nässebedingungen für die Paludikulturen günstig sind und damit andererseits der Bestandsschluss zu typischen Monodominanz-Beständen führt. (Drösler et al. 2020/2021)

Eine Umwandlung in Paludikulturen ist aus naturschutzfachlicher Sicht nur für Acker- und für artenarme intensiv genutzte Grünlandbestände sinnvoll. Hier können die Paludikulturen durch die Schaffung von feuchten Standortbedingungen gepaart mit Strukturelementen und langen Bewirtschaftungspausen zu einer erheblichen Aufwertung in der Ausstattung mit typischen feuchteabhängigen Begleitarten insbesondere der Fauna beitragen. Ausgeschlossen werden sollen aber Umwandlungen von naturschutzfachlich wertvollen und artenreichen Beständen, wie extensiven Feuchtwiesen, (ehemaligen) Streuwiesen, Kleinseggenriedern etc. Die Nutzung von etablierten Großseggenriedern oder Schilf und Rohrkolben-Flächen wäre aus Sicht der Effekte auf die floristische Biodiversität wenig problematisch. (Drösler et al. 2020/2021)

Aus faunistischer Sicht sollte in solchen teils geschützten Lebensräumen jedoch immer der Naturschutz eng mit einbezogen werden und beispielsweise eine mosaikartige Nutzung der Bestände bevorzugt werden. (Wichtmann 2016) So entsteht ein Mosaik in Raum und Zeit, in dem immer genutzte und ungenutzte Flächen nah beieinanderstehen und Lebensraum für unterschiedliche Bedürfnisse der unterschiedlichen Bewohner bieten.

PV-Anlage:

Laut den Vorschlägen (siehe Maßnahmenvorstellung Moor) sollte unter einer PV-Anlage auf Moorboden zwingend eine nässeverträgliche Vegetation etabliert werden. Handelt es sich hierbei um eine Paludikultur ist floristisch betrachtet mit ähnlichen Auswirkungen zu rechnen, wie im vorangegangenen Absatz beschrieben. Allerdings sind diese Flächen für Wiesenbrüter nicht mehr als Bruthabitat geeignet, da die Wiesenbrüter freie Sicht brauchen. Durch das Aufstellen von Paneelen ist diese nicht mehr gegeben.

Humus

Humus hat für viele Bodenfunktionen eine zentrale Bedeutung. Somit können sich aus dem Aufbau von Humus positive Synergien für den Boden ergeben. Dazu zählen eine Steigerung der Ertragsstabilität und der biologischen Aktivität im Boden, sowie der oberirdischen Biodiversität und Habitatvielfalt durch erweiterte Fruchtfolgen, Umwandlung von Acker- in Grünland und Agroforst-Systeme. (Wiesmeier et al. 2020)

Ebenso kann eine Reduzierung des mineralischen Stickstoffdüngerbedarfs durch Leguminosen und eine Reduzierung von Bodenerosion durch verstärkten Einsatz von Zwischenfrüchten und reduzierte Bodenbearbeitung erreicht werden. (Wiesmeier et al. 2020)

Hinzu kommt eine verbesserte Wasserinfiltration und Wasserspeicherkapazität humusreicher Böden, sodass der C_{org}-Aufbau ebenfalls als wichtige Anpassungsmaßnahme an Dürreperioden und häufigere Starkniederschläge angesehen wird (Hamidov et al. 2018 zitiert in Wiesmeier et al. 2020)).

Der größte negative Beieffekt (Trade-off) ist unter derzeitigen Marktbedingungen der (zumindest kurzfristige) Effekt auf die Ökonomie: Fast alle diskutierten Maßnahmen zur Erhöhung der C_{org}-Vorräte im Boden führen zu einer zumindest kurzfristig verringerten

Wirtschaftlichkeit des Anbaus (Ökolandbau, Landnutzungswechsel, Änderungen in der Fruchtfolge, Agroforst; zudem besteht meist Bedarf an zusätzlichen Investitionen). Positive Effekte durch verbesserte Bodenfruchtbarkeit, Resilienz, weniger Bodenerosion etc. sind von langfristiger Natur und stellen sich erst nach längerer Zeit ein. Genau hier könnten jedoch Zertifikate als Übergangslösung ansetzen. (Wiesmeier et al. 2020, Wiesmeier und Baumert 2021)

Des Weiteren kann es unter Umständen bei einer Überversorgung mit Humus und den damit einhergehenden hohen Umsatzraten zu einem Überschuss an mineralischem Stickstoff kommen. Dies kann wiederum mit erhöhten N₂O-Emissionen oder Nitratausträgen verbunden sein, welche dem Klimaschutzgedanken der Zertifizierung von Humusaufbau als Klimaschutzmaßnahme entgegenstünden. (Wiesmeier und Baumert (2021), Gu et al. (2017), Guenet et al. (2021))

Guenet et al. (2021) kommen zu dem Schluss, dass die Klimaschutzwirkung durch C_{org}-Festlegung im Boden im Allgemeinen überschätzt wird, wenn die damit verbundenen N₂O-Emissionen nicht berücksichtigt werden. Jedoch wird die Klimaschutzwirkung des C_{org}-Aufbaus - mit Ausnahme bei reduzierter Bodenbearbeitung - nie komplett aufgehoben.

Ein weiterer möglicher Nebeneffekt im großen Rahmen ist eine Reduzierung der Biomasseproduktion für Ernährung und Energie bei Umstellung auf ökologische Bewirtschaftung. (Wiesmeier et al. 2020)

Pflanzkohle

Die Nutzung von Pflanzkohle in Baustoffen bringt Pflanzkohle in eine ökonomische Nutzung, die neben der reinen Kohlenstofflagerung zu weiteren positiven Nebeneffekten (Synergien) führen kann. So können z.B. fossile oder energieintensive Bestandteile in Verbundstoffen durch Pflanzkohle substituiert werden (Zinner 2022). Darüber hinaus kann der Zusatz von Pflanzkohle zu einer Verbesserung der Produkteigenschaften führen: Zum Beispiel verbessert Pflanzkohle in Lehmputz durch die hohe Mikroporosität die Feuchtigkeitsaufnahme und -abgabe des Putzes. (Vortrag Kammann 2020)

In der Metaanalyse von Thomas und Gale (2015) wurde die Reaktion von Bäumen auf Pflanzkohleapplikation untersucht. Diese stellte über mehrere Klimazonen hinweg bei allen 36 untersuchten Baumarten eine signifikante Wachstumszunahme nach der Applikation von Pflanzkohle fest. Die mittlere Zunahme liegt bei 41% und ist in frühen Wachstumsstadien besonders ausgeprägt. (Schmidt et al. 2021)

Ein weiteres Beispiel ist die Nutzung von Pflanzkohle Pflanzsubstrat speziell für Stadtbäume. Auch diese ist mit einer Reihe positiver Nebeneffekte verbunden.

Beobachtungen aus Stockholm, wo dieses Verfahren entdeckt und entwickelt wurde, zeigen folgende Aspekte: Die Verwendung einer Mischung aus Pflanzkohle und zerkleinerten Steinen erhöht die Porosität im Boden, was wiederum zu einer besseren Wasserverfügbarkeit und besserem Gasaustausch führt. Der Hauptvorteil der Pflanzkohle für die Stadtbäume besteht aber in der Verhinderung von Bodenverdichtung, welche für städtische Bäume und Pflanzen die größte Belastung darstellt. Eine Anwendung speziell bei Bäumen im städtischen Bereich führt in der Folge zu vitaleren Bäumen, die besser Photosynthese betreiben, O₂ produzieren und Schatten spenden können, was sich positiv auf das Stadtklima auswirkt (SDG 11: Sustainable cities and communities). (Embrén 2016)

Darüber hinaus soll Pflanzkohle als Einstreu für ein verbessertes Stallklima durch verminderte Geruchsbelastung und als Futtermittelzusatz eine bessere Tiergesundheit verantwortlich sein. Dies sind jedoch nur einzelne von zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten. (Schmidt et al. 2021)

Aufforstung

Klimaschutzmaßnahmen durch (Wieder-)Aufforstung haben nicht nur Synergien mit der Anpassung an den Klimawandel, sondern können auch einer nachhaltigen Entwicklung dienen. (Reyer et al. 2009) Der Klimaschutzbeitrag muss dabei grundsätzlich mit anderen Leistungen des Waldes wie Holzbereitstellung, Boden-, Wasser-, Landschafts- und Naturschutz- und Erholungsfunktion abgewogen werden. Dabei müssen die verschiedenen Ansprüche austariert und gegebenenfalls einzelne Leistungen priorisiert werden. Denn Klimaschutz ist nur eine von vielen relevanten Leistungen von Wald und Forstwirtschaft. So können Wälder beispielsweise die Luftqualität verbessern, Lebensraum für Tiere und Pflanzen oder ein Erholungsraum für Menschen darstellen. Gerade in einer strukturarmen, von der Landwirtschaft geprägten Landschaft mit geringer Habitatdiversität wirken sich diese Vorteile positiv aus (WBAE und WBW 2016). An der richtigen Stelle können Wälder außerdem vor Überflutungen schützen und die Wasserqualität verbessern. (WCC 2022) Darüber hinaus haben Wälder eine zentrale Funktion für das Mikroklima. Diese Effekte können durch Vernetzung und Schaffung von Biodiversitätskorridoren noch erheblich gesteigert werden (Smith et al., 2019a).

Jedoch muss besonders zwischen Klimaschutz und dem Erhalt der Biodiversität deutlich unterschieden werden. Nicht jede Naturschutz-Maßnahme ist per se gut für den Klimaschutz und andersherum. Einen großflächigen Nutzungsverzicht mit Klimaschutz zu begründen, ist beispielsweise nach dem jetzigen Stand des Wissens nicht gerechtfertigt (Schulz et al. 2021). Mögliche negative Folgen von Aufforstung können auftreten, wenn die Aufforstung auf nicht einheimischen Arten basiert. Schnell wachsende, potentiell invasive exotische Arten können einheimische Arten be- oder verdrängen und das Gleichgewicht eines Ökosystems stören (Smith et al., 2019b:572). Erstaufforstungen beeinflussen darüber hinaus Nährstoffkreisläufe und die Grundwasserneubildung. Durch Erstaufforstung bisheriger Ackerflächen mit hohem Bodenvorrat an Stickstoff kann beispielsweise der Austrag von Nitrat ins Grundwasser in den ersten Jahren ansteigen. Insbesondere in der frühen Phase des Biomasseaufbaus ist dieser Effekt besonders groß (Hansen et al. 2007). Langfristig sind die Nitratausträge unter Wald jedoch deutlich geringer als unter Ackerflächen. (WBAE und WBW 2016)

Agroforst

Bei einer sorgfältigen Auswahl lokal geeigneter Agroforstsysteme kann eine Reihe positiver Nebeneffekte und damit ein hoher Zusatznutzen erreicht werden, die zu einer nachhaltigen Entwicklung der Landwirtschaft beitragen. So kann Agroforstwirtschaft beispielsweise eine Reihe von regulatorischen Ökosystemleistungen verbessern, wie beispielsweise die Bodenfunktionen und die Effizienz bei der Nutzung von Wasser und anderen Ressourcen verbessern. Gleichzeitig werden unerwünschte Effekte wie Bodenerosion und Nährstoffauswaschung reduziert. (EC 2021c, Smith et al. 2014)

Bei einer großflächigen Umsetzung von Agroforst in die Landschaft könnten einige drängende Probleme der Landwirtschaft gemindert oder sogar gelöst werden, wie beispielsweise eine flächenhafte Vermeidung von Bodenerosion (Denudation). Zu nennen ist hier außerdem der mögliche Beitrag der Landwirtschaft zum Gewässerschutz, wenn Gehölzstreifen gezielt an Gewässerrändern angeordnet werden (verminderter Nährstoffeintrag, Beschattung, Strukturvielfalt etc.). (Tsonkova und Böhm 2020)

Agroforstsysteme bringen damit Vorteile beim Klimaschutz und stellen insbesondere eine Anpassung an den Klimawandel dar (EC 2021b). Der Erhalt und die Wiederherstellung alter Agroforstsysteme mit ihrer vorhandenen biologischen Vielfalt bewahrt zusätzlich Kulturlandschaften von hohem kulturellen und ökologischen Wert.(EC 2021b, EC 2021c)

So kann durch Agroforstsysteme die Strukturvielfalt in Agrarlandschaften deutlich verbessert werden (Tsonkova und Böhm 2020). Aber auch verbesserter Tierschutz kann als positiver Nebeneffekt gesehen werden, wenn Tiere unter den Gehölzen gehalten werden und dort Schatten und Schutz vor schlechter Witterung finden (EC 2021c). Dieser Effekt kann auch im Gemüseanbau als Schattenspende für die Arbeiter*innen genutzt werden. In den Gehölzanteilen von Agroforstsystemen kann der Dünger- und Pestizideinsatz in der Regel stark reduziert oder sogar komplett vermieden werden (Tsonkova und Böhm 2020), wovon die Artenvielfalt vor Ort profitiert.

Agroforstwirtschaft kann Landwirt*innen durch neue und andersartige Erzeugnisse einen diversifizierten Einkommensstrom für ihren Betrieb eröffnen. (EC 2021c) Diese breite Aufstellung hilft, Ernteauffälle etc. auszugleichen und schafft den Landwirt*innen ggf. eine ökonomisch tragfähigere Zukunft.

Es hängt sehr von der Art des Agroforstsystems ab, welche Synergien sich überhaupt und wie stark ausbilden (Kay et al. 2019). In der Regel treten die Synergien erst längerfristig ein.

Ablaufkriterien

1.5.8 Puffer (Buffer Credits)

Ein Puffer für die Absicherung von Unwägbarkeiten bei der Durchführung von Klimaschutzprojekten wird als essentiell angesehen. (UBA 2018)

Es gibt zwei grundsätzliche Möglichkeiten, diesen Puffer zu erfüllen: Wird auf Projektebene gearbeitet, kann durch eine individuelle Risiko-Abschätzung abgeleitet werden, wie hoch der spezielle Puffer (buffer credits) für das jeweilige Projekt sein muss, der zurückgehalten werden sollte, um mögliche Ausfälle zu kompensieren. Dieser Puffer werden dann auf Projektebene erarbeitet und vorgehalten (Drösler et al. 2013). Beim Gold Standard beispielsweise beträgt der anzuwendende Puffer bei Einzelprojekten mindestens 20% der prognostizierten Emissionsreduktionen (FutureCamp 2018). Der Puffer sollte je nach Höhe des Risikos, dass die Maßnahme nicht permanent wirkt, entsprechend höher gestaltet werden.

Alternativ kann mit einer Pool-Lösung gearbeitet werden, bei der ein Anteil der in Einzelprojekten ausgeschütteten Zertifikate über ein zentrales Sammel-Zertifikatekonto vom entsprechendem Qualitätsstandard oder der zertifizierenden Institution verwaltet wird, um im Notfall Minderungen auszugleichen. (UBA 2018)

Eine Pool-Lösung hat einerseits den Vorteil, dass damit Preisschwankungen und Risiken ausgeglichen werden können, und andererseits den Nachteil, dass den einzelnen verkauften Zertifikaten nicht mehr individuelle Flächen zugeordnet werden können. Deshalb wird für CO₂-regio ein Pool-Ansatz favorisiert, der von einem zu gründenden Büro verwaltet und im Modul 3 (Zertifizierungssystem) genauer behandelt wird.

Moor

Die Wiedervernässung von Mooren liegt bei den möglichen Einsparungen pro Hektar und Jahr im Vergleich zu den anderen untersuchten Maßnahmen mit Abstand am höchsten (siehe Zusammenfassung unten – Effizienz der Maßnahmen). Daher kann ein ausreichend großer Puffer abgezogen werden, ohne dass die vermarktbare Klimaschutzleistung zu klein wird.

Da es sich bei Moorökosystemen um natürliche Systeme handelt, die Klima- und hier insbesondere Wasserstands-abhängig sind, haben die interannuellen Schwankungen Auswirkungen auf die vorzuhaltende Puffermenge.

Humus

Nach Abzug dieser „Risikoreserve“ und weiteren Kosten, wie z.B. für die Bestimmung der Kohlenstoffvorräte, bleibt für den bewirtschaftenden Landwirt / die bewirtschaftende Landwirtin selbst nach optimistischer Schätzung nicht genug Erlös aus dem Humusaufbau, um die Kosten für denselben zu decken. Bei einer zusätzlichen Bindung von 1 t CO₂/ha und Jahr und einem sehr optimistischen Preis von 100 €/t CO₂ (realistischer wären 40€/tCO₂ (Harms 2021)) bekommen die Landwirt*innen nach Abzug der Kosten für die Zertifizierung, die Bestimmung der C_{org}-Vorräte im Boden etc. tatsächlich wahrscheinlich nur 30 - 50 €/ha und Jahr. Bei Preisen von ca. 125€ allein für 1 ha Zwischenfrüchte (vgl. Deckungsbeitragsrechner LfL <https://www.stmelf.bayern.de/idb/kleegrassilage.html>) ist das wirtschaftlich nicht tragend. (Freibauer und Wiesmeier 2021)

Hier ist wichtig zu betonen, dass ein Puffer nicht unendlich groß gemacht werden kann, wenn das Risiko für einen Totalverlust des Kohlenstoffs besteht: Dann ist der Weg über Puffer keine gangbare Lösung, um ausreichende Sicherheit zu geben. Denn der aufgebaute Humus kann durch eine Veränderung der äußeren Einflüsse wieder vollständig verloren gehen, was ein Puffer nicht abdecken würde. Ein Humus-Zertifikat könnte daher, auch wenn es mit großen Puffern arbeitet, keine permanente Kohlenstoffbindung sicherstellen.

Pflanzenkohle

Bei der Berechnung des C-Senken-Potentials nach den EBC-Richtlinien werden vom C-Gehalt der Pflanzenkohle zunächst alle durch ihre Produktion verursachten Emissionen abgezogen. Um alle Emissionen mit einzubeziehen, die dabei möglicherweise nicht miterfasst wurden, wird eine Sicherheitsmarge von 10% aufgeschlagen. (EBC 2020) Zur genauen Berechnung siehe *Quantifizierung / Messbarkeit*.

Aufforstung

Gerade vor dem Hintergrund des Klimawandels sind ausreichende Puffer bei Aufforstungsprojekten unabdingbar. Der Woodland Carbon Code, der speziell ein Standard für Aufforstungsprojekte ist, schrieb anfangs einen pauschalen Wert von 20% Puffer für alle Waldprojekte vor. Inzwischen müssen Projekte einen individuell großen Puffer zurückhalten, der von der Höhe der Risiken abhängt. (WCC 2022) Wenn eine derartige Abschätzung (z.B. Anfangs noch) nicht möglich ist, sollte auf den Puffer von 20% zurückgegriffen werden.

Agroforst

Ein Puffer für Agroforstprojekte müsste – wenn Humusaufbau mit zertifiziert würde – genauso gestaltet sein, wie für den Teil Humusaufbau beschrieben. Doch er ist mit den gleichen Problemen behaftet: Die Puffer müssten auch bei der relativ geringen Aufbaumenge an C im Boden ausreichend groß sein und von der vermarktbareren Leistung abgezogen werden und selbst ein großer Puffer kann einen vollständigen Humusverlust nicht ausgleichen.

Der in den Gehölzen gebundene Kohlenstoff ist im Holz in einer Form, die nicht vor einer Freisetzung (z.B. durch Verbrennen) geschützt ist. Sterben Gehölze vor der Ernte ungeplant

durch ein Naturereignis (Trockenheit, Feuer, Sturm, etc.), ist dieser Kohlenstoff erstmal wieder verloren. Ein neu gepflanzter Baum kann dieselbe Menge Kohlenstoff erst über Jahre oder Jahrzehnte wieder aufholen. Kurzfristig kann ein solcher Verlust nur durch einen ausreichend großen Puffer an zurückgehaltenen Zertifikaten ausgeglichen werden.

Wie bereits beschrieben, kann es eine 100-prozentige Sicherheit nie geben. Es geht darum, vorhandene Risiken abzuschätzen und soweit wie möglich zu minimieren.

1.5.9 Baseline

Für jedes Projekt wird zuerst ein Emissions-Referenzszenario, die sogenannte „Baseline“ erstellt. Die Baseline gibt an, wie sich die Treibhausgasemissionen theoretisch ohne eine Klimaschutzmaßnahme entwickeln. Aus der Differenz zwischen den Baseline-Emissionen und den voraussichtlich geminderten Emissionen nach Maßnahmenumsetzung können die Emissionseinsparungen berechnet werden. Sowohl Baseline als auch Emissionseinsparungen müssen dabei nachvollziehbar, detailliert und konservativ berechnet werden (UBA 2018). Siehe hierzu auch *Konservatismus*.

Moor

Bisher wurde eine Baseline im Bereich Moorschutz als statisch betrachtet. Das heißt, durch regelmäßiges Vertiefen der Gräben wegen der fortschreitenden Mineralisation des entwässerten Oberbodens blieb der Grundwasserflurabstand zur Oberkante immer relativ gleich. So konnte einmal der Abstand und die daraus resultierenden Emissionen bestimmt und dann auf die Laufzeit des Projektes hochgerechnet werden.

Eine Fortsetzung der entwässerungsbasierten Landwirtschaft auf Moorböden führt zu Torfschwund und damit zu einem kontinuierlichen Mineralisieren des Bodens (Drösler et al. 2013). Durch das nun in Bayern geltende Vertiefungsverbot von Entwässerungseinrichtungen (Versöhnungsgesetz 2019) wird sich die Bodenoberfläche also mit der Zeit dem (nun gleichbleibenden) Grundwasserstand annähern. Dies geschieht solange, bis die Torfauflage über der Drainage komplett mineralisiert ist und der darin enthaltene Kohlenstoff freigesetzt wurde. Das heißt aber auch, dass sich im Laufe der Zeit durch den stetig verringerten Grundwasser-Flurabstand die ausgestoßenen Emissionen im Baseline-Szenario verringern. Es gilt: Je größer die verbleibende Torfmächtigkeit und größer der Grundwasserflurabstand, desto höher die Baseline-Emissionen. Somit ist eine frühzeitige Wiedervernässung und Zertifizierung von Emissionseinsparungen besonders sinnvoll, denn je größer der Grundwasserflurabstand, desto größer sind die durch eine Wiedervernässung vermeidbaren Emissionen. Dieser Umstand muss nun also im Baseline Szenario berücksichtigt werden.

Die Berechnung dieser dynamischen Baseline wird erstmals vom Peatland Science Centre (PSC) an der HSWT entwickelt. Notwendig sind als Eingangsdaten der **Wasserstand vor Durchführung** einer Maßnahme und die **mittlere Torfsackungsrate** der Fläche. Der Wasserstand kann mit einem möglichst frühzeitig installierten Automatik-Pegel und der bayernweiten Wasserstandskarte aus dem Projekt KliMoBay (Klatt et al. in prep) ermittelt werden. Die Karte alleine reicht hier nicht aus, der Pegel dient zur Konkretisierung der Karte und zur späteren Erfolgskontrolle. Der so ermittelte Flächenwasserstand kann als statisch angenommen werden, da erstens eine Vertiefung der Entwässerungseinrichtungen von Menschenhand gesetzlich verboten ist und zweitens die klimatische Wasserbilanz, die der zentrale Einflussfaktor auf den Grundwasserstand ist, sich bis ca. 2040 kaum ändert (Klatt et

al. in prep.). D.h. es ist nicht von größeren Änderungen des Grundwasserstands aufgrund des Klimawandels auszugehen.

Für die prognostizierte Sackungsrate können ebenfalls Ergebnisse des KliMoBay-Projektes herangezogen werden. Hier wurden für alle Mooregebiete bayernweit gebietspezifische Sackungsraten ermittelt (Klatt et al. in prep.).

Aus Grundwasserflurabstand und Sackungsraten kann nun ein landnutzungsspezifisches, dynamisches Baseline-Szenario berechnet werden. Angenommen wird eine lineare Sackungsrate. Bei einer Vornutzung als Acker ist die Datenlage derzeit noch verhältnismäßig dünn, sodass hier auf mittlere Emissionsfaktoren für Ackernutzung zurückgegriffen werden sollte (siehe hierfür Klatt et al. in prep). Sobald die Messdaten aus dem Projekt MoorBewi ausgewertet wurden, kann und sollte auch bei dieser Nutzungsform auf oben beschriebenes – genaueres – Muster zurückgegriffen werden.

Bei der dynamischen Baseline Berechnung ist immer eine Prognose darüber nötig, wie lange die Torfauflage überhaupt noch vorhanden ist. Daraus ergibt sich einerseits eine Mindest-Torfmächtigkeit für Flächen, die in ein langfristiges Zertifizierungsprogramm aufgenommen werden sollen (Näheres siehe *Sonstiges: Torfmächtigkeit*). Andererseits resultiert daraus eine Endlichkeit des Vermeidungs-Effektes, denn sobald die Bodenoberfläche den Boden der Entwässerungsgräben erreicht hätte, wäre der verbleibende Torfboden nass und würde ab dann kein CO₂ mehr emittieren. Somit ist entweder durch die gesamte verbliebene Torfmächtigkeit oder aber die Tiefe der Entwässerungsgräben eine maximale Laufzeit der Zertifikate gegeben, da nur solange ihre Zusätzlichkeit gewährleistet ist.

Bei dieser Vorgehensweise handelt es sich um eine neu entwickelte Methodik. Daher soll hier ausführlich auf ihre Unsicherheiten hingewiesen werden:

- Lineare Torfsackungsrate: Ob der Torf wirklich in einem linearen Verlauf verschwindet, ist nicht sicher geklärt. Doch um etwas Anderes begründet anzunehmen, reichen die derzeit vorhandenen Daten nicht aus. Daher wird eine lineare Sackungsrate angenommen und in jährlichen Schritten zur Berechnung herangezogen.
- Das dynamische-Baseline-Szenario wurde für Offenland-Zertifikate entworfen, eine Anwendung auch in Waldmooren ist vorab zu prüfen.
- Der Gesetzestext, auf dem die Entwicklung der dynamischen Baseline beruht, wird unterschiedlich interpretiert. Um diese Auslegungen nachvollziehbar zu machen, wird hier der betreffende Teil wörtlich wiedergegeben: Bayerisches Naturschutzgesetz (BayNatSchG) vom 23. Februar 2011 (GVBl. S. 82, BayRS 791-1-U), das zuletzt durch Gesetz vom 23. Dezember 2022 (GVBl. S. 723) geändert worden ist, Art. 3 (4)

„[...] Bei der landwirtschaftlichen Nutzung ist es verboten

1. [...]

2. den Grundwasserstand in Nass- und Feuchtgrünland sowie -brachen und auf Moor- und Anmoorstandorten abzusenken, davon unberührt bleiben bestehende Absenkungs- und Drainagemaßnahmen,

3. [...]“

Die Interpretation der HSWT und weiteren Institutionen (wie der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft und auch des StMELF) geht dahin, dass bestehende Entwässerungseinrichtungen nicht abgeschafft werden müssen – eine weitere Absenkung des Grundwasserstands . wie es durch eine Vertiefung der Entwässerungseinrichtungen passieren würde, ist aber verboten. Andere Auslegungen interpretieren den Text so, dass entsprechend zur Grabenschulter weiter entwässert werden darf (also mit absackendem Boden mit vertieft werden darf), bis das Moor weg ist. Eine solche Auslegung würde die Grundidee des

Klimaschutzes im Gesetz aushebeln und kann damit nicht im Sinne des Gesetzgebers sein. Diese Interpretation wird daher seitens der HSWT abgelehnt.

Humus

In gängigen Literaturquellen zu Klimaschutz durch Humusaufbau wird ein Baseline-Szenario zwar nicht explizit erwähnt, dennoch kann die Kohlenstofffestlegung im Boden bis zur Einstellung eines neuen Fließgleichgewichts nur gegen ein Baseline-Szenario dargestellt werden. Dabei könnte der (unveränderte) C_{org} -Gehalt des Bodens bei Fortsetzung der jeweiligen Bewirtschaftung (konservative Annahme) als Baseline angesehen werden. Ebenso ist hier aber zu berücksichtigen, dass langfristig aufgrund äußerer Einflüsse wie dem Klimawandel eher von Humusverlusten im Boden auszugehen ist (Wiesmeier 2021), was eine eindeutige Baseline-Bestimmung schwierig macht. Unter Einbezug dieser Tatsache, muss von einer dynamischen Baseline ausgegangen werden, bei welcher die vorherige, nicht explizit humusfördernde Bewirtschaftung in Kombination mit dem Klimawandel zu Humusverlusten führt. In diesem Fall wäre, anders als beim Moor, mit erhöhten Verlusten im Laufe der Zeit zu rechnen. Es ist jedoch fraglich, ob eine zahlenmäßige Bestimmung dieser Baseline durchführbar wäre. Die Kohlenstoff-Festlegung wird anhand der C_{org} -Vorräte im Boden vor und nach der Änderung der Bewirtschaftung ermittelt (vgl. Kapitel Quantifizierung / Messbarkeit).

Pflanzenkohle

Die bisher vorgestellten Maßnahmen bescheinigen meist die Reduktion von Emissionen gegenüber einem Referenzszenario (Baseline) und helfen so, Emissionen zu vermeiden. Die Herstellung von Pflanzenkohle dagegen stellt, unter gewissen Bedingungen (vgl. *Leakage*), eine C-Senke dar (Negativ-Emissions-Technologie). C-Senken sind das Resultat eines aktiven Entzugs von CO_2 aus der Atmosphäre. Ihre Zertifizierung garantiert eine jederzeit überprüfbare Lagerung von atmosphärischem Kohlenstoff im terrestrischen System. (EBC 2020) Daher wird hier nicht mit dem Baseline-Verfahren gearbeitet, sondern die THG-Bindung anhand der EBC-Richtlinien ermittelt.

Aufforstung

Als Baseline-Szenario sollte die vorherige Nutzung der Fläche (= kein Wald) herangezogen und konservativ eine Beibehaltung der vorherigen Bewirtschaftung angenommen werden, es sei denn es sind andere Planungen auf der Fläche bekannt. Hiermit wird nochmals darauf hingewiesen, dass es bei der Maßnahme Aufforstung ausschließlich um Neupflanzungen geht, nicht um eine angepasste Waldbewirtschaftung oder eine Wiederaufforstung gerodeter Waldflächen.

Agroforst

Als Baseline-Szenario sollte die vorherige Nutzung (z.B. Acker) herangezogen und konservativ eine Beibehaltung der vorherigen Bewirtschaftung angenommen werden.

1.5.9 Laufzeit

Emissionseinsparungen müssen aus fachlicher Sicht dauerhaft sein. Dies muss durch eine ausreichend lange Projektlaufzeit sichergestellt werden. Aus administrativer Sicht sind lange Vertragslaufzeiten eine Herausforderung. Aus regulatorischer Sicht sind aber möglicherweise

mit dem formulierten Ziel der Klimaneutralität Bayerns ab 2040 bzw. des Bundes ab 2045 die Laufzeiten wegen danach fehlender Zusätzlichkeit begrenzt. Deutschland hat sich im Rahmen des Klimaschutzgesetzes zu Klimaneutralität verpflichtet, zu der Bayern als eines von 16 Bundesländern beiträgt. Der Freistaat Bayern unterliegt – im Gegensatz zum Bund –keinen rechtlichen Verpflichtungen im Rahmen von internationalen Abkommen. Daher ist vermutlich die erklärte Klimaneutralität des Bundes im Jahr 2045 ausschlaggebend. Eine einheitliche Interpretation dieser Frage von allen beteiligten Akteur*innen steht aber noch aus.

Moor

Klimaschutzprojekte in Mooren müssen darauf ausgerichtet sein, die Bedingungen für die Wiederherstellung der natürlichen Funktionen zu schaffen. Wenn dies gelingt, ist eine langfristige bzw. dauerhafte Wirkung der Klimaschutzmaßnahmen zu erwarten. Lange Projektlaufzeiten sind daher aus den ökologischen Charakteristika der Moore grundsätzlich möglich und sinnvoll (Drösler et al. 2013). Typische Projektlaufzeiten im Moorschutz mit Langzeitwirkung bewegen sich zwischen 20 und 50 Jahren. Diese Laufzeiten haben sich im Laufe der Zeit als sinnhaft erwiesen und daher etabliert. Zu beachten ist bei der Festlegung der Laufzeit das Ende der Zusätzlichkeit, das möglicherweise früher als beispielsweise 50 Jahren kommen kann: Aufgrund des nun in Bayern geltenden Vertiefungsverbots nähert sich im Baseline-Szenario die Bodenoberfläche dem Grundwasserstand an. Daraus resultiert eine Endlichkeit des Vermeidungs-Effektes, denn sobald die Bodenoberfläche den Boden der Entwässerungsgräben erreicht hätte, wäre der verbleibende Torfboden nass und würde ab dann kein CO₂ mehr emittieren. Somit ist entweder durch die gesamte verbliebene Torfmächtigkeit oder aber die Tiefe der Entwässerungsgräben eine maximale Laufzeit der Zertifikate gegeben, da nur solange ihre Zusätzlichkeit gewährleistet ist. Eine geringe Torfmächtigkeit reduziert also die längstmögliche Laufzeit von Moor-Zertifikaten. Daher sollte individuell mit den Flächeneigentümern über passende Laufzeiten innerhalb dieses Rahmens beraten werden.

Humus

Um einen Klimaschutzeffekt zu erreichen, müssen Klimaschutzprojekte durch Humusaufbau darauf ausgerichtet sein, dass das im Boden gebundene CO₂ auch dauerhaft darin verbleibt. Damit verbunden ist ein dauerhaftes Beibehalten der humusfördernden Bewirtschaftung, da durch eine Änderung derselben Humus sehr schnell wieder abgebaut werden kann. (Freibauer und Wiesmeier 2021)

Eigentlich müsste eine Vereinbarung über die zukünftige Bewirtschaftung sogar eine Ewigkeitsklausel enthalten. Denn auch bei einem sehr viel späteren Wechsel der Bewirtschaftung kann die Wirkung des Zertifikats noch komplett aufgehoben werden. (Wiesmeier et al. 2020)

Für eine kürzere Projektlaufzeit spricht jedoch im Gegenzug, dass die Absicherbarkeit der geleisteten Einsparung mit abnehmender Projektlaufzeit steigt. In Anlehnung an die Laufzeit von Moorschutzprojekten, die ebenfalls auf eine dauerhafte CO₂-Bindung im Boden ausgelegt sind, wird eine Laufzeit von 20 bis 50 Jahren für solche Projekte empfohlen.

Pflanzenkohle

Das IPCC definiert statt einer jährlichen Abbaurate einen Zeitraum von 100 Jahren, für den der Anteil des Kohlenstoffs bekannt sein muss, der nicht mineralisiert wird (EBC 2020). Auch

der FVPK beruft sich auf die Marke von 100 Jahren, für welche eine wissenschaftlich haltbare Prognose über den Verbleib des Kohlenstoffs im Boden vorliegen muss (FVPK 2021). Demzufolge sollte ein Projekt, in dem Pflanzenkohle als CO₂-Senke eingesetzt wird, so angelegt sein, dass für einen Zeitraum von 100 Jahren geplant werden kann. Da bei einer guten fachlichen Umsetzung die Senkenwirkung der Pflanzenkohle ab dem Tag der Herstellung bzw. Einbringung gewährleistet ist, kann hier mit wesentlich kürzeren Projektzeiten gearbeitet werden, als beispielsweise bei Moorwiedervernässungs-Projekten.

Auch hier muss durch ein Monitoring die dauerhafte Wirksamkeit der Klimaschutzmaßnahme sichergestellt werden.

Aufforstung

Aufforstungsprojekte müssen langfristig gedacht werden. Deshalb wird die aus anderen Projekttypen etablierte Laufzeit von 50 Jahren als Mindestlaufzeit angesehen. Fachlich sind auch Laufzeiten bis 100 Jahre denkbar. Was in der Praxis umsetzbar ist, muss sich zeigen.

Agroforst

Eine Projektlaufzeit sollte ausreichend lang sein, um die Maßnahmen planen, umsetzen und deren Permanenz so gut es geht sicherstellen zu können. Es muss der volle Zeitrahmen berücksichtigt werden, der erforderlich ist, um den vollen Nutzen der Agroforstsysteme entfalten zu können. (EC 2021c)

Vorgeschlagen wird hier eine Projektlaufzeit von mindestens 20 Jahren (Jacobs et al. 2020), in denen an vorher festgelegten Zeitpunkten, beispielsweise alle 5 Jahre, der Erfolg der Maßnahme mittels einer fachgerechten stichprobenhaften Bestimmung der oberirdischen Biomasse kontrolliert wird. Gegebenenfalls müssen die ex-ante-Schätzungen durch diese Messungen korrigiert werden. (Hübner et al. 2022)

1.5.10 Konservatismus

Konservatismus in der Einschätzung dient dazu, die Unsicherheiten in den erwarteten Emissionsreduktionen abzufedern, sodass am Ende auch nur Einsparungen zertifiziert werden, die auch tatsächlich stattgefunden haben. Daher wird hier dringend empfohlen, bei allen Methoden für den Konservatismus-Abschlag nachvollziehbare statistische Ansätze zu verwenden. (Drösler et al. 2013)

Moor

Je konservativer eine THG-Reduktion gerechnet wird, desto geringer sind die Einsparungswerte, aber desto sicherer wird der ermittelte Betrag auch erreicht oder überschritten. Wichtig ist hierbei, dass die Unsicherheiten der Schätzungsverfahren zur THG-Reduktion zuverlässig eingestuft werden, d.h. je unsicherer ein Verfahren, desto konservativer muss der Ansatz sein. Sehr gering geschätzte THG-Änderungswerte lassen sich schwerer verifizieren, weil sie in den Unsicherheiten der Emissionsfaktoren auch auf Grund von interannuellen Schwankungen untergehen können. Daher wird hier dringend empfohlen bei allen Methoden der THG-Berechnung für den Konservatismus-Abschlag nachvollziehbare statistische Ansätze zu verwenden. Die BMBF-Methodik (siehe Drösler et al. 2011) erlaubt beispielsweise für einen konservativen Ansatz die Verwendung der Untergrenze der nicht-erklärten Varianz (28% beim PEP-Modell) zur konservativen Berechnung der Emissionsfaktoren. (Drösler et al. 2013)

Humus

Konservatismus ist ein Prinzip, das prinzipiell immer anwendbar ist – auch beim Humusaufbau. Jedoch bleibt Landwirt*innen selbst bei optimistischen – also nicht konservativ getroffenen - Schätzungen nicht genug Einkommen aus dem Humusaufbau, um damit Gewinn erwirtschaften zu können (Freibauer und Wiesmeier 2021). Wichtig ist, nicht auf optimistischere, aber wissenschaftlich nicht abgesicherte Zahlen zurückzugreifen, um auch wirklich nur das zu zertifizieren und zu verkaufen, was auch wirklich eingespart wurde.

Viele bestehende Initiativen zur Zertifizierung von Humusaufbau geben sehr optimistische Einsparmengen an, die sich nicht mit dem Grundsatz decken, dass nur die Menge an CO₂, die tatsächlich eingespart wurde, auch als Einsparleistung zertifiziert wird. So wird beispielsweise häufig ein Wert von 10 Tonnen CO₂ pro Hektar und Jahr als durchschnittliche CO₂-Sequestrierung durch Humusaufbau angegeben. Dagegen wird von führenden Experten eine Festlegungsrate bis 2,6 Tonnen CO₂ pro Hektar und Jahr angegeben (Wiesmeier 2021, Wiesmeier und Baumert 2021).

Pflanzenkohle

In Ermangelung von Langzeitversuche ist es bei Abschätzung der Klimaschutzwirkung durch Pyrolysekohle unausweichlich, auf konservative Modell-Berechnungen zurückzugreifen und die klimarelevante Wirkung von C-Senken mit ausreichender Sicherheit zu berechnen. (EBC 2020)

Für die Absicherung des Kohlenstoffabbaus durch Pflanzenkohle werden die konservativsten Daten einer Meta-Analyse herangezogen, die bisher veröffentlicht wurden. So gehen *Kammann et al.* (EBC 2020) von einer durchschnittlichen Abbaurate von 0,3% pro Jahr aus, wenn die Pflanzenkohle direkt oder indirekt in landwirtschaftliche Böden gelangt. Letzteres kann z.B. durch Beimischung in Gülle, Kompost, Dünger, Tierfutter oder Stalleinstreu geschehen, die in einer kaskadenartigen Nutzung am Ende auf oder in den Boden eingebracht wird (in Anlehnung an: Budai et al. 2013, Camps-Arbestain et al. 2015 zitiert in EBC 2020). 100 Jahre nach einer Bodenapplikation wären folglich noch 74% des ursprünglichen Kohlenstoffs der Pflanzenkohle gespeichert.

Andere Quellen ermittelten in Abhängigkeit vom Pyrolysegrad und vom Versuchsdesign deutlich geringere Abbauraten (vgl. Zimmermann und Gao 2013, IPCC 2019, Kuzyakov et al. 2014, Lehmann et al. 2015, zitiert in EBC 2020).

Angesichts dieser fundierten wissenschaftlichen Erkenntnisse ist die genannte Abbaurate von Pflanzenkohle von durchschnittlich 0,3% pro Jahr als sehr konservativ und mit hoher Sicherheitsmarge anzusehen (Schmidt et al. 2021). Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die tatsächliche Verweilzeit eher unter- als überschätzt wird. Im Durchschnitt wird Pflanzenkohle deutlich längere Verweilzeiten im Boden aufweisen. Dennoch muss, um die klimarelevante Wirkung dieser C-Senke mit ausreichender Sicherheit angeben zu können, auf diese konservative Schätzung zurückgegriffen werden. (Schmidt et al. 2021)

Aufforstung

Die reine Anrechnung des Biomassezuwachses stärkt den Punkt Konservatismus, da die Substitutionsleistung und damit vermiedene Emissionen nicht mit angerechnet werden. Die potentiell mögliche Substitutionsleistung wird auf eine ähnliche Größenordnung geschätzt wie die Senkenleistung selbst. Somit ist davon auszugehen, dass mindestens die bescheinigte Klimaschutzleistung auch erreicht wurde. Diese Vorgehensweise ist aber dringend zu empfehlen, da bei der Bestimmung der Senkenleistung durch Alter, Zusammensetzung, Baumarten etc. so viele Variabilitäten und Unsicherheiten entstehen, dass an anderer Stelle

unbedingt konservativ vorgegangen werden muss, um die Integrität der Zertifikate zu gewährleisten.

Agroforst

Die in dieser Machbarkeitsstudie genannten Werte beziehen sich auf Studien, die ihre Ergebnisse als konservativ bezeichnen, wie Tsonkova und Böhm (2020). Sie geben beispielsweise die ermittelte jährliche CO₂-Bindung in der Holzbiomasse in drei Agroforstsystembeispielen zwischen 5,2 und 21,6 t CO₂-Äq pro Hektar Gehölzfläche und Jahr an. Die tatsächliche Bindung ist dabei abhängig von Umtriebszeit und Verwertung der Gehölze. (Tsonkova und Böhm 2020)

*Anmerkung der Autorin: Die anderen genannten Einsparungswerte in dieser Arbeit beziehen sich auf Agroforstflächen, bei denen auf 1 Hektar nur 10% Gehölze stehen. Um eine bessere Vergleichbarkeit mit ihnen und anderen Klimaschutzmaßnahmen zu schaffen, wird dieser Wert wie folgt umgerechnet: Bei einer angenommenen Gehölzbedeckung von 10% binden die drei hier genannten Agroforstflächen zwischen **0,5 und 2,2 t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹**.*

Diese konservative Herangehensweise führt dabei eher zu einer Unter- als einer Überschätzung der Biomassevorräte in Agroforstsystemen und den daraus resultierenden Einsparungswerten (Tsonkova und Böhm 2020).

1.5.11 Zertifizierung: Validierung, Monitoring und Verifizierung

Zentraler Bestandteil der Zertifizierung ist eine unabhängige Validierung der Methode, ein unabhängiges Monitoring sowie eine unabhängige Verifizierung der erfolgten Emissionseinsparungen. Diese Prüfungen müssen zwingend durch unabhängige Gutachter erfolgen. (Drösler et al. 2013) Alle Prüfungsschritte obliegen einer genauen Berichterstellung, um anhand dieser lückenlosen Projektdokumentation die andauernde Zertifizierung zu gewährleisten. Jegliche Projektdokumentation sollte öffentlich zugänglich sein. Diese Transparenz dient dabei sowohl der Überprüfbarkeit und Nachvollziehbarkeit, als auch der Vermeidung von Willkür und Korruption. Die Prüfinstitution, die die Zertifizierung eines Projekts vornehmen, sollte nach gesetzlich festgelegten Regeln zugelassen werden und ebenfalls einer regelmäßigen Prüfung unterliegen. (UBA 2018)

Validierung: Der erstellte Projektplan muss von einem unabhängigen, externen Gutachter hinsichtlich der Regeln des angewendeten Qualitätsstandards geprüft werden. (UBA 2018)

Das *Monitoring* findet in bestimmten, im Projektplan festgelegten Abständen statt. Beim Monitoring werden wichtige Proxys / Indikatoren wie beispielsweise Vegetation, Wasserstand oder Nutzungsintensität erfasst, woraus sich die tatsächlich eingesparten Emissionen modellbasiert berechnen lassen (UBA 2018). Das Monitoring muss individuell für jede Fläche eingerichtet werden, wobei grundlegend eine vergleichbare Methodik gewählt wird. Das Monitoring richtet sich nach der Flächengröße, dem Maßnahmenplan, sowie der Homogenität der Fläche nach Maßnahmenumsetzung. Im Rahmen des Projektes moorbenefits 2.0 wird derzeit am PSC ein Monitoring-Konzept erarbeitet. Es wird die Grundlage für verschiedene Moor- und Entwässerungstypen bieten und Vorgaben machen, die für eine fachlich abgesichertes Monitoring notwendig sind. Die Daten aus der Erfassung des Monitorings werden in einer frei zugänglichen Datenbank gesammelt um Transparenz zu gewährleisten. Die Daten stehen so für Auswertungen und Vergleiche zur Verfügung und können als Anreiz für Anleger dienen.

Die *Verifizierung* bestätigt, dass die Erfassung und Bewertung der Einflussfaktoren und entsprechende Berechnung der Emissionsminderung regelkonform durchgeführt wurde. (UBA 2018) Erst nachdem die Einsparungsleistungen verifiziert wurden, sollten ex-post credits ausgegeben werden. Wer welche Rolle in diesem Zertifizierungsprozess einnimmt, wird in Modul 3 diskutiert.

Moor

Zentral ist bei der unabhängigen Prüfung der erfolgten Emissionseinsparungen (Verifizierung), dass die mittels Indikatoren-basierter Modelle abgeleiteten Emissionsfaktoren (Emissionen pro Hektar und Jahr) durch unabhängige Gutachter geprüft bzw. verifiziert werden. Für den VCS sind rein auf Proxies aufgesetzte Einsparungsberechnungen und Verifizierungen konform. Hierdurch wird aber eine erhebliche marktrelevante Unsicherheit erzeugt. Die Verifizierung des gesamten Projektes innerhalb des Projektzyklus (einschließlich der Steuerfaktoren für die Einsparungsleistungen und der Einsparungen) sollte nach Abschluss der Maßnahmen und dann für die Laufzeit des Projektes im Rahmen eines Monitorings erfolgen. Ein genaues Monitoringkonzept für unterschiedliche Moor- und Entwässerungstypen wird derzeit im Projekt moorbenefits 2.0 entwickelt. Sobald dies vorhanden ist, soll darauf zurückgegriffen werden.

Humus

Eine erste Wiederbeprobung wird bei Humusaufbau frühestens (!) 3 bis 5 Jahre nach der ersten humusaufbauenden Maßnahme, z.B. einer Änderung der Bewirtschaftung, für sinnvoll erachtet (Wiesmeier et al. 2020, Wiesmeier und Baumert 2021). Eine dauerhafte Festlegung des Kohlenstoffs im Boden kann aber aufgrund der Reversibilität nur durch dauerhafte Absicherung sichergestellt werden. Hierfür werden regelmäßige Kontrollmessungen in einem Abstand von mindestens 5 Jahren vorgeschlagen.

Pflanzkohle

Der FVPK empfiehlt dringend, dass ein Zertifizierungssystem über ein Dokumentations- und Überwachungssystem verfügt oder die Nutzung eines solchen verlangt. Als absolute Mindestanforderung muss der Verbleib der Pflanzkohle dokumentiert und mindestens zehn Jahre aufbewahrt werden. Ebenso muss eine Doppelzählung der Senkenleistung ausgeschlossen werden (siehe dazu Kapitel *Doppelzählung*). (FVPK 2021)

Aufforstung

Auch Aufforstungsprojekte müssen regelmäßig kontrolliert werden, wobei hier die Kontrolle im Vergleich zu anderen Maßnahmentypen nicht ganz so engmaschig, dafür aber langfristig ausfallen sollte. Außerdem sollten nach Störereignissen wie Dürresommern oder Stürmen gezielt der Zustand der Flächen kontrolliert werden.

Agroforst

Agroforstsysteme müssen regelmäßig, z.B. alle 5 Jahre, begutachtet werden, um den aktuellen Gesundheitszustand und die Entwicklung des Systems zu erfassen. (EC 2021c) Allein der Humusaufbau kann frühestens nach 5 Jahren überhaupt nachgewiesen werden und erfordert eine regelmäßige Überprüfung durch ein Monitoring (vgl. Teil Humusaufbau). Für die oberirdische Holzbiomasse stehen kosteneffiziente allometrische Verfahren zur Verfügung

(EC 2021c). Humusaufbau und unterirdische Biomasse sind schwieriger zu erfassen (vgl. *Quantifizierung / Messbarkeit*).

1.5.12 Crediting

Grundsätzlich sollte gelten, dass nur Carbon credits (Emissionseinsparungseinheit) anzurechnen sind, die auch tatsächlich eingespart wurden. (Drösler et al. 2013)

Es sind aber beim Crediting, der Gewinnanrechnung durch die Ausgabe von Carbon credits, zwei Vorgehensweisen etabliert und zu unterscheiden: ex-post oder ex-ante.

Ex-post heißt, dass Carbon credits erst dann ausgegeben werden, wenn die Einsparungsleistungen eingetreten sind und dies durch die Verifizierung bestätigt wurde. Dies ist VCS-konform (VERRA 2021). Der ex-post Ansatz (im Sinne von ausgeschütteten Zertifikaten) erlaubt die geplanten Einsparungsmengen mit hoher Zuverlässigkeit zu ermitteln und damit eine erheblich größere Sicherheit zu erzeugen. Diese wiederum erlaubt mit weniger Puffer (Pufferabschlag in den Zertifikaten bereits enthalten) und realistischen Einsparungsleistungen zu rechnen.

Ex-ante heißt, dass Carbon credits bereits zu Beginn der Projektzeit vor Manifestation der Emissionseinsparung ausgegeben werden. Der ex-ante-Ansatz ist insbesondere dann sinnvoll, wenn nur private Finanzierungsquellen zur Verfügung stehen und durch die vorzeitige Anrechnung und Ausschüttung von Carbon credits die Maßnahmen finanziert werden können. Allerdings ist damit das Risiko verbunden, dass sich die Einsparungen nicht tatsächlich in der geschätzten Form einstellen werden. Daher sind hier in jedem Fall äußerst konservative Berechnungen für die Einsparungsleistung mit ausreichend Puffer anzusetzen. Daraus folgt ein Nachteil der ex-ante Vorgehensweise, durch die lediglich eine reduzierte Menge Carbon credits erzeugt wird. Kleine, regionale Projekte mit ohnehin verhältnismäßig geringen Einsparmengen haben so weniger Möglichkeiten eine Zertifizierung zu erlangen. So ist es besonders bei privat und freiwillig finanzierten Projekten nötig Vorfinanzierung zu ermöglichen, beispielsweise durch staatliche Subventionen zur Umsetzung von Maßnahmen und ein späteres Auskaufen der tatsächlich eingetretenen Einsparleistung durch den privaten freiwilligen Markt für CO₂-Zertifikate. Die Schwierigkeiten bei der Vergabe von ex-ante-Zertifikaten führen dazu, dass manche internationale Standards, wie z.B. der American Carbon Registry (ACR), grundsätzlich keine ex-ante Zertifikate vergeben (FutureCamp 2018). Auch das Umweltbundesamt (UBA) und die Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) stufen ex-ante Zertifikate nur als bedingt zur Kompensation geeignet ein, da mit nicht sicher eintretenden Einsparungen in der Zukunft bereits entstandene Emissionen in der Vergangenheit ausgeglichen werden sollen. Vielmehr sollten für eine nachvollziehbare Bilanzierung die in der Vergangenheit entstandenen Emissionen mit den ebenfalls in der Vergangenheit erreichten Senkenleistungen ausgeglichen werden. (FutureCamp 2018)

Moor

Besonders aufgrund von zwei Punkten ist der ex-post-Ansatz dem ex-ante-Ansatz vorzuziehen. Erstens: Der große nötige Puffer bei ex-ante vermindert die vermarktbare Einsparleistung erheblich. Dies ist gerade bei kleinen, regionalen Projekten mit ohnehin verhältnismäßig geringen Einsparmengen ein starkes Argument. Zweitens bringt die Verwendung von ex-post mehr Sicherheit bei der Angabe der Einsparleistung und damit eine größere Glaubwürdigkeit für das Zertifikate-System.

Jedoch ist es gerade bei privat und freiwillig finanzierten Projekten möglich, dass ihre Umsetzung und der spätere Verkauf von Einsparleistungen nicht ohne eine Vorab-Finanzierung möglich ist. Hier sind verschiedene Lösungsansätze zu diskutieren, zum Beispiel eine Vorabfinanzierung durch „Investoren“ ohne bereits Anspruch auf Zertifikate zu haben und ein späteres Verteilen der tatsächlich eingetretenen Einsparleistung in Form von CO₂-Zertifikaten an die Geldgeber.

Humus

Siehe Abschnitt Moor

Pflanzenkohle

Mithilfe der Anleitung der EBC-Richtlinien ist das C-Senkenpotential und die C-Senkenleistung von Pflanzenkohle sehr gut berechenbar. Dafür sind allerdings (chemische) Analysen der hergestellten Kohle nötig. Daher kommt hier automatisch für ein Crediting nur der ex-post Ansatz in Frage.

Aufforstung

Auch bei Aufforstungsprojekten ist der ex-post Ansatz aus wissenschaftlicher Sicht zu bevorzugen, da der Biomassezuwachs und damit die Treibhausgaseinbindung im Nachhinein gemessen und berechnet werden können. In dieser Reihenfolge können Unsicherheiten in der Quantifizierung erheblich verkleinert werden. Nachteilig wirkt bei diesem Maßnahmentyp jedoch das langsame Eintreten der Klimaschutzleistung, da Bäume erst einmal wachsen müssen. Ob eine Ex-post Zertifizierung bei kleinen regionalen Projekten mit begrenzten finanziellen Mitteln möglich ist, bleibt also fraglich.

Agroforst

Siehe Abschnitt Moor

1.5.13 Sonstiges

Humus: Organische Substanz im Boden

Die positive Klimaschutzwirkung des Humusaufbaus beruht auf dem Erreichen/Einstellen eines Fließgleichgewichts auf einem Niveau, bei dem mehr C_{org} im Boden gespeichert ist, als zuvor. Daher ist es relevant, wie viel C_{org} im Boden aufgebaut werden kann. (Wiesmeier et al. 2020)

Der Humusaufbau kann nur dort effektiv betrieben werden, wo ein deutliches Defizit im Boden besteht. Die Differenz zwischen möglichen und tatsächlichen Humusvorräten beschreibt das theoretische Maximum an Humusaufbau. In Ackerböden liegen die Humusvorräte im Oberboden im Schnitt um 10 bis 20 t C/ha niedriger als im Dauergrünland. Allerdings kann mit einer Ackernutzung der Wert von Dauergrünland nie erreicht werden. (Freibauer und Wiesmeier 2021)

Das Potential für Humusaufbau ist dort am größten, wo die bisherige Bewirtschaftung zu einer Reduktion der Humusgehalte geführt hat. Von einer Zertifizierung von Humusaufbau könnten daher am stärksten die Landwirt*innen profitieren, deren Management die Humusvorräte im

Boden bereits reduziert hat. Dagegen würde eine humusfreundliche Bewirtschaftung in der Vergangenheit nicht gewürdigt, da hier infolge noch recht hoher Humusgehalte kaum Potential für eine Erhöhung der Humusvorräte vorhanden ist. (Wiesmeier et al. 2020) Ein möglicher Ausweg hierfür wäre die Honorierung des vorhandenen Humusgehalts im Boden. Allerdings ist fraglich, ob sich dies mit dem Konzept der Zertifikate und dem zusätzlichen Klimaschutz in Einklang bringen lässt, da hier ja keine zusätzlichen Klimaschutzanstrengungen betrieben werden. Die Honorierung eines vorhandenen Humusvorrats wäre also eher in einem staatlichen Förderprogramm zu verorten.

Der Aufbau von Humus ist zeitlich begrenzt, da sich nach einer gewissen Zeit ein neues Fließgleichgewicht einstellt. Damit nimmt die Effektivität des Humusaufbaus mit der Zeit ab, bis der neue Gleichgewichtszustand erreicht wird. (Wiesmeier et al. 2020, Wiesmeier 2021)

Wald: Systemgrenze

Bei der Zertifizierung von Aufforstung muss aufgrund der Schwierigkeiten bei der Herleitung der Höhe von Substitutionseffekten die Systemgrenze auf der Fläche gezogen werden und das etwaige gefällte Holz als Export von der Klimaschutzleistung abgezogen werden. Dieser Schritt (äquivalent umgesetzt wie bei Moor-Zertifikaten) ermöglicht eine exaktere Bestimmung der Einsparleistung mit weniger Unsicherheiten und damit auch weniger Angriffsfläche für Kritiker. Diese Systemgrenze, ohne Beachtung der Holznutzung, ist ein einfacheres Modell, das daher die Realität weniger vollständig abbildet. Folgende mögliche Konsequenzen werden dabei nicht berücksichtigt: „Die Menschen haben Bedürfnisse nach Produkten und Energie. Werden diese nicht von der regionalen Forstwirtschaft zur Verfügung gestellt, gibt es drei denkbare Folgen: (1) Das Holz wird importiert, gegebenenfalls aus nicht-nachhaltiger Forstwirtschaft, (2) statt Holz werden andere Materialien bzw. Brennstoffe mit höheren Treibhausgas-Emissionen genutzt oder (3) es muss auf den Konsum von Produkten und Brennstoffen verzichtet werden.“ (Schulz et al. 2021)

Diese Konsequenzen müssen berücksichtigt und es muss geprüft werden, ob sie gegebenenfalls eine negative Nebenwirkung einer Wald-Zertifizierung darstellen. Ist dies der Fall, spricht das gegen die Zertifizierung von Aufforstungs-Projekten.

1.6 Beurteilungen

1.6.1 Beurteilung Moor

Qualitativ: Zertifizierungskriterien

Die Permanenz der Wiedervernässungsmaßnahmen ist von gesetzlicher Seite her vorgeschrieben. Die dauerhafte Funktionalität der Maßnahmen muss mit einem Monitoring sichergestellt werden. Allein schon aufgrund natürlicher Schwankungen sollte mit ausreichenden Puffern (Pool-Lösung) gearbeitet werden. Die Baselinebestimmung ist nicht trivial, da eine Reihe von Faktoren miteinzubeziehen ist, beispielsweise die zurückgehenden Emissionen aufgrund des Vertiefungsverbots, sodass eine dynamische Baseline berechnet werden muss. Zusätzlichkeit kann im Moorschutz dadurch erreicht werden, dass man mit den Zertifikaten in andere Räume geht, in denen bisher keine staatlichen Wiedervernässungsmaßnahmen stattfinden, oder aber über den finanziellen Aspekt: Wenn die Zertifikate eine Wiedervernässung erst ermöglichen, möglicherweise auch erst in Kombination mit einem Förderprogramm, das anteilig fördert, ist über die Langfristigkeit der Zertifikate, die bisher kein Förderprogramm leisten kann die Zusätzlichkeit gewährleistet. Ebenso kann ein höherer Anspruch in der Ausführung das Zusätzlichkeits-Kriterium erfüllen. Eine Moor-PV-Anlage fällt nicht unter die zertifizierbaren Maßnahmen, da hier keine finanzielle Zusätzlichkeit gegeben ist. Das Instrument der Zertifikate ist zur Senkung von (finanziellen) Hürden im Moorklimaschutz gedacht, hier sind jedoch keine finanziellen Hürden das Problem, sondern das bisher nur teilweise Vorhandensein eines Rechtsrahmens. Daher würden Zertifikate in diesem speziellen Fall einen Anreiz geben, statt des notwendigen rechtlichen Rahmens, der für solche Projekte geschaffen werden müsste (verpflichtende Wiedervernässung bei PV auf Moorboden, siehe Erläuterungen bei Maßnahmenvorstellung). Zur Verhinderung von Doppelzählung wird die Nutzung eines Contribution Claims empfohlen. Dieser Ansatz würdigt die Klimaschutzleistung aller Beteiligten und verhindert gleichzeitig eine Doppelanrechnung der einmal getätigten Klimaschutzleistung. Je intensiver die vorherige Nutzung einer Fläche, desto höher das Risiko, dass es nach einer Wiedervernässung zu Emissionsverlagerung kommt. Derartige Verschiebungen sollten vertraglich mit den Bewirtschafter*innen verhindert werden. Die Einbindung der Beteiligten erweist sich als anspruchsvoll, da der Moorschutz in der Region immer noch mit erheblichen Vorbehalten behaftet ist und diese vermutlich nur durch funktionierende Vorzeige-Projekte überwindbar sind. Durch eine Wiedervernässung entstehen erhebliche Synergien mit naturschutzfachlichen Zielen, aber auch kulturelle Ökosystemleistungen werden durch den Erholungswert oder den Erhalt des Archivwerts der Moorböden bedient. Wichtigste Synergie ist die Ermöglichung einer langfristigen Bewirtschaftung in Mooregebieten, die nur durch einen naturnahen Wasserstand erreicht werden kann. Dies ist beispielsweise durch die Umnutzung zu Paludikulturen erreichbar. Die Wiedervernässung von Mooren liegt bei den möglichen Einsparungen pro Hektar und Jahr im Vergleich zu den anderen untersuchten Maßnahmen mit Abstand am höchsten. Daher kann ein ausreichend großer Puffer abgezogen werden, ohne dass die vermarktbare Klimaschutzleistung zu klein wird. Für das Baseline-Szenario musste seitens des PSC aufgrund des Vertiefungsverbots von Entwässerungseinrichtungen eine neue Berechnungsmethode entwickelt werden. Damit kann eine dynamische Baseline realitätsnah bestimmt werden. Als Laufzeit haben sich im Moorschutz 20-50 Jahre bewährt. Jedoch kann entweder durch die gesamte verbliebene Torfmächtigkeit oder aber die Tiefe der Entwässerungsgräben eine maximale Laufzeit der Zertifikate gegeben sein, da ihre Zusätzlichkeit nur so lange gewährleistet ist, wie Emissionen austreten würden. Für die Verifizierung ist ein Monitoring absolut notwendig. Wie genau ein Monitoring für verschiedene Anwendungsfälle aussehen sollte, wird derzeit im Projekt moorbenefits 2.0 ausgearbeitet. Der

ex-post Ansatz ist beim Crediting zu bevorzugen. Jedoch ist es gerade bei privat und freiwillig finanzierten Projekten möglich, dass ihre Umsetzung und der spätere Verkauf von Einsparleistungen nicht ohne eine Vorab-Finanzierung gelingt. Hier sind verschiedene Lösungsansätze zu diskutieren, zum Beispiel eine teilweise Vorabfinanzierung durch „Investoren“ ohne bereits Anspruch auf Zertifikate zu haben und ein späteres Verteilen der tatsächlich eingetretenen Einsparleistung in Form von CO₂-Zertifikaten an die Geldgeber.

Quantitativ / Effizienz

Neueste Forschungsergebnisse aus dem Klimobay-Projekt machen das THG-Reduktionspotential durch Wiedervernässung verschieden genutzter Moortypen deutlich: Das höchste Einsparungspotential ist dort gegeben, wo bei derzeitiger Nutzung die meisten Emissionen zu verzeichnen sind (Acker und intensiv genutztes Grünland). In den verschiedenen Landnutzungskategorien kann also üblicherweise je nach Ausgangs- und Endzustand und erreichtem Wasserstand THG-Einsparungen zwischen **10 und 30 t CO₂-Äq** erreicht werden.

Ergebnisse aus dem MOORuse-Projekt deuten darauf hin, dass durch die Umnutzung von entwässerten Äckern in Paludikulturen THGs in einer Größenordnung **von 40-50 t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹** reduziert werden können. Dies ist mit der Netto-Senkenfunktion von Paludikulturen zu erklären, die bestimmten Pflanzen bei optimalem Wasserstand im MOORuse-Projekt nachgewiesen wurde. (Eickenscheidt, Bockermann Drösler et al. In prep.)

Tabelle 1: Vergleich von gemessenen Mittelwerten des Wasserstands und der THGs gegenüber modellierten Gesamtflächenmittelwerten nach den Landnutzungskategorien für die organischen Böden Bayerns. Klatt et al. in prep.

Landnutzungs-kategorie	Standortmittel (gemessen)		Gesamtflächenmittel (modelliert)			Fläche [ha]
	Wasserstand [cm]	Emissionsfaktor [t CO ₂ -Äqu. ha ⁻¹ a ⁻¹]	Wasserstand [cm]	THG-Emissionen [t CO ₂ -Äqu. ha ⁻¹ a ⁻¹]	Summe THG-Emissionen [Mio. t CO ₂ -Äqu. a ⁻¹]	
Acker	-53,6	41,9	-49,5	41,9*	2,14	51.204
ohne Nutzung degradiert	-24	9,7	-34,8	20,4	0,00093	46
Grünland intensiv	-49,7	41	-41,3	34,8	2,1	60.322
Grünland extensiv	-19,4	17,7	-39,8	24,2	0,348	14.078
naturnahe Moore	-7,8	2,8	-30,9**	2,8*	0,3	10.102
Wald	-20,4	8,4	-36,7	22,5	1,58	70.052

* gekennzeichnete Emissionsfaktoren wurden nicht modelliert, sondern sind der Median aus den gemessenen regionalen Emissionsfaktoren. Für den Acker liegt das daran, dass keine individuelle Korrelation zwischen Emissionen und Wasserstand nachgewiesen werden konnte.

** Wasserstand naturnaher Moore ist über die Modellierung nicht ausreichend gut abgebildet. Daher wird der gemessene Emissionsfaktor für die Skalierung verwendet

Kosten

Es ist nahezu unmöglich, einen pauschalen Wert für CO₂-Vermeidungskosten durch Moorschutz anzugeben. Die Kosten hängen beispielweise von der Wirtschaftlichkeit der vorherigen Flächennutzung, der Fristigkeit der Betrachtung, den notwendigen Investitions- und Managementkosten und der Höhe der am Ende vermiedenen THG -Emissionen ab. Ebenso unterscheiden sie sich in unterschiedlichen Regionen und bei unterschiedlich guter Wiedervernässbarkeit von Einzelflächen. (SER 2004; Bonn et al. 2015). Jedoch ist eindeutig, dass die Wiedervernässung von Moorböden eine der effektivsten und volkswirtschaftlich kostengünstigsten Klimaschutzmaßnahmen im Landnutzungsbereich ist. (Bonn et al. 2015)

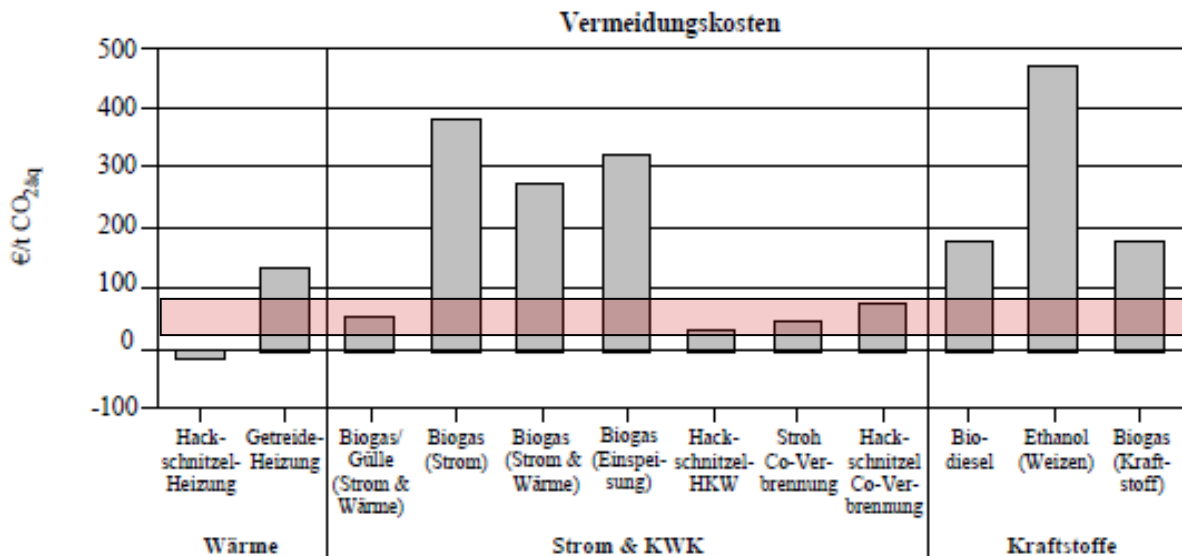


Abbildung 1: CO₂-Vermeidungskosten durch unterschiedliche Sektoren. (Wiss. Beirat Agrarpolitik beim BMELV, 2007; Moorwerte bewegen sich im roten Bereich, Quelle Moorwerte: Schaller & Kantelhardt, 2011)

Die genaue Berechnung der Kosten für eine individuelle Fläche in einem ganz bestimmten Betrieb kann mithilfe einer Zertifikatskosten-Tabelle ermittelt werden, in die alle individuellen Eingangsdaten einfließen und aus der am Ende auch ein ungefährender Zertifikatspreis bestimmt werden kann. Genauer dazu siehe Modul 3.

Synergien und Konflikte

Eine ausführliche Beschreibung differenziert in unterschiedliche Ausprägungen des Moorschutzes findet sich im Kapitel Nachhaltige Entwicklung. Zusammengefasst lässt sich sagen: Durch eine Wiedervernässung entstehen erhebliche Synergien mit naturschutzfachlichen Zielen, aber auch kulturelle Ökosystemleistungen werden durch den Erholungswert oder den Erhalt des Archivwerts der Moorböden bedient. Durch ein auf die wertgebenden Zielarten ausgerichtetes Management können mithilfe von Paludikulturen Synergien mit der Biodiversität im Allgemeinen und mit dem Artenschutz im Speziellen erreicht werden. (Wichtmann et al. 2016) Hier ist wichtig, dass Artenschutz und Klimaschutz nicht gegeneinander ausgespielt, sondern die möglichen Synergien genutzt werden.

Wichtigste Synergie ist die Ermöglichung einer langfristigen Bewirtschaftung in Mooregebieten, die nur durch einen naturnahen Wasserstand erreicht werden kann. Dies ist beispielsweise durch die Umnutzung zu Paludikulturen erreichbar.

Rechtliches/Politische Rahmenbedingungen

Rechtlich ist das Wasserrecht für das Wassermanagement in Mooren von zentraler Bedeutung. Es regelt ob eine Wiedervernässung überhaupt stattfinden kann und ist häufig auch zeitlich der prägende Faktor, wie lange es dauert, bis eine Maßnahme umgesetzt werden kann. Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) beispielsweise ist für den Moorschutz insofern von Bedeutung, als dass Wiedervernässungsmaßnahmen i.d.R. mit wasserbaulichen Maßnahmen einhergehen, die genehmigungspflichtig sind oder ein Planfeststellungsverfahren nach sich ziehen können. Zudem regelt das Wasserverbandsgesetz die Rolle von Wasser- und Bodenverbänden. Deren Aufgabenbeschreibung deckt zwar alle notwendigen Aktivitäten ab, um Wasser in Mooren moorschonend zu bewirtschaften, allerdings steht in der Praxis häufig noch die Sicherstellung eines ordnungsgemäßen Abflusses, also eine Entwässerung im Vordergrund (ifLS 2020).

Ein weiterer wichtiger Faktor sind Förderprogramme, ganz besonders das Moorbauernprogramm. Dieses befindet sich zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie noch in der Ausarbeitung. Als erster Baustein ist bereits bekannt, dass der Umstieg von Acker- auf Grünlandnutzung gefördert wird. Weitere förderbare Maßnahmen sollen eine nasse Nutzung von Grünlandflächen und der Anbau von Paludikulturen sein (StMELF 2023). Die genaue Ausgestaltung ist aber zum jetzigen Zeitpunkt nicht bekannt. Somit kann darauf nicht endgültig Bezug genommen und nur mit Annahmen und Übertragungen gearbeitet werden.

Zuletzt bleibt zu erwähnen, dass das Thema Moorschutz in den letzten Jahren enorm an Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit und der Politik gewonnen hat, daher ist mit vielen weiteren Initiativen und politischem Rückenwind im Moorschutz zu rechnen.

Fazit

Im Moorschutz sind mit Abstand die höchsten zertifizierbaren Einsparleistungen zu erreichen. Er gilt als kostengünstiger, als viele andere Varianten der landnutzungsorientierten Klimaschutzmaßnahmen. Das PSC entwickelt dazu laufend aktuellste Methoden zur Baseline-Berechnung und für ein flächenspezifisches Monitoring. Die dringend notwendige Umstellung auf nachhaltige, moorschonende Landnutzungsoptionen wie z.B. Paludikulturen kann durch den Verkauf von Zertifikaten beschleunigt werden. **Das Instrument der CO₂-Zertifikate ist daher im Bereich des Moorschutzes als absolut vielversprechend und fachlich gut umsetzbar anzusehen.**

1.6.2 Beurteilung Humus

Qualitativ: Zertifizierungskriterien

Ein Humus-Zertifikat kann, auch wenn es mit großen Puffern arbeitet, keine permanente Kohlenstoffbindung sicherstellen, da einmal aufgebaute Humus jederzeit wieder abgebaut werden kann (Reversibilität). Damit ist ein Beitrag von Humuszertifikaten zum Klimaschutz nicht sichergestellt. Die Humusgehalte in Böden lassen sich nicht beliebig erhöhen, sobald ein Fließgleichgewicht erreicht ist, über welches hinaus kein weiterer Humusaufbau mehr möglich ist. Hinzu tritt hier der Fairness-Gedanke, da besonders diejenigen großes Potential für Humusaufbau haben, die zuvor durch ihre Bewirtschaftungsweise viel Humus abgebaut haben. Landwirt*innen, die seit Jahrzehnten auf ökologisch sinnvolle, humusaufbauende Maßnahmen setzen, würden mit einem Humuszertifikat, welches nur den weiteren Aufbau von Humus im Boden honorieren kann, benachteiligt. Die Gefahr einer reinen Verschiebung (Leakage) von Emissionen bei Humusaufbau ist gegeben und kann von Zertifikatanbietern nur

schwer ausgeschlossen werden. Darüber hinaus ist es schwierig, die Zusätzlichkeit zu gewährleisten, da viele humusfördernde Maßnahmen zur „normalen“ Landwirtschaft dazugehören und sogar gesetzlich durch die Einhaltung der guten fachlichen Praxis vorgeschrieben sind (WWF 2021).

Der Aufbau von Humus ist aus verschiedensten Gründen zu befürworten, CO₂-Zertifikate als Förderinstrument sind jedoch hinsichtlich ihrer Klimaschutzwirkung als kritisch zu bewerten. Der positive Klimaeffekt muss hinterfragt werden und ist zumindest kurzfristig nicht zu erzielen. (WD 2021) Im schlimmsten Fall kann die Nutzung von Humuszertifikaten einen echten Klimaschutz sogar unterminieren. Wenn beispielsweise ein energieintensives Unternehmen seinen vorhandenen CO₂-Ausstoß mit potentiell reversiblen Kompensations-Zertifikaten ausgleicht. Es besteht die Gefahr, dass so der Kauf von Zertifikaten eine eigene Emissions-Minderungsstrategie der Unternehmen ersetzt. (WWF 2021)

Quantitativ

Mit einer Festlegungsrate von maximal 2,6 Tonnen CO₂ pro Hektar und Jahr bleibt die Menge an festgelegtem Kohlenstoff pro Hektar im Vergleich zu anderen Maßnahmenarten sehr gering. Anstrengungen zu mehr Humusaufbau sollten die relativ geringe C_{org}-Aufbaurrate besonders im Hinblick auf die Kosten mitberücksichtigen.

Kosten

Die Kosten für eine humusfördernde Bewirtschaftung können i.d.R. allein durch Zertifikate nicht gedeckt werden, insbesondere ein beim Humusaufbau angebrachtes intensives, sicheres Monitoring erhöht die Kosten erheblich.

Synergien und Konflikte

Aufgrund seiner zentralen Rolle für viele Funktionen des Bodens und der positiven Begleiteffekte (u.U. Erhöhung der Ertragsstabilität und Biodiversität, verringerte Erosion und Düngemittelbedarf) ist aber jede Anstrengung für mehr Humus sinnvoll (Wiesmeier 2020). Besonders, da Prognosen langfristig auf Humusverluste durch den Klimawandel hindeuten. Maßnahmen zur Humusförderung sind daher allein deshalb nötig, um die aktuellen C_{org}-Vorräte im Boden zu erhalten. (Wiesmeier 2021)

Humusfördernde Maßnahmen sind daher eher als Anpassung an den Klimawandel, statt als Maßnahme zum Klimaschutz zu betrachten. (Freibauer und Wiesmeier 2021)

Rechtliches/Politische Rahmenbedingungen

Derzeit wird diskutiert, eine Honorierung der ökologischen Leistungen veränderter Anbausysteme, die mit dem Aufbau organischer Bodensubstanz einhergehen, in die neue Gemeinsamen Agrarpolitik der EU (GAP) zu implementieren. (Wiesmeier et al 2020)

In Deutschland sollen laut der Bundesregierung Maßnahmen zur Kohlenstoffanreicherung ebenfalls in der Ackerbaustrategie berücksichtigt werden, welche aktuell erarbeitet wird. Über mögliche rechtliche Vorgaben im Rahmen der guten fachlichen Praxis wird nach Auswertung der zweiten Bodenzustandserhebung des Thünen-Instituts Mitte der 2020er Jahre entschieden werden. (BT 2019)

Fazit

Die Generierung von CO₂-Emissionszertifikaten mittels Humusaufbau zur Kompensation von Treibhausgasemissionen wird von uns nicht unterstützt.

Hauptgründe sind die geringe Einsparmenge, die eintretende Sättigung und die kaum absicherbare Permanenz. Stattdessen sollte eine strukturelle Förderung von Erhaltung, Rückgewinnung und Aufbau des Humusgehalts in landwirtschaftlich genutzten Böden aufgebaut werden, um den Humus als Grundlage der Landwirtschaft zu erhalten und zu fördern. Der Weg könnte über die Förderung einer der vielen anderen Ökosystemleistungen führen, die Humus mit sich bringt.

1.6.3 Beurteilung Pflanzenkohle

Qualitativ: Zertifizierungskriterien

Für die Berechnung des C-Senken-Potentials liegt mit den EBC-Richtlinien (EBC 2020) eine detaillierte Anleitung vor, die abgesehen vom Kriterium der Zusätzlichkeit alle notwendigen Kriterien berücksichtigt. Die Erfüllung des Kriteriums Zusätzlichkeit ist bei Pflanzenkohle eng gepaart mit dem Verwendungsweg. Sie muss im Einzelfall nachvollzogen werden können. Eventuell ist auch eine finanzielle Zusätzlichkeit in der durch die Zertifikate ermöglichten Vergünstigung von Pflanzenkohleprodukten und damit Öffnung des Anwendungsmarktes zu sehen. Eine andere Argumentation wäre über verbesserte Produkteigenschaften von Baustoffen, wenn sie mit Pflanzenkohle versetzt werden. Die Herstellung von Pflanzenkohle stellt unter bestimmten Voraussetzungen (z.B. keine Zerstörung einer C-Senke zur Herstellung der Pflanzenkohle) eine C-Senke dar. C-Senken sind das Resultat eines aktiven Entzugs von CO₂ aus der Atmosphäre. Die Zertifizierung einer solchen Pflanzenkohle garantiert eine jederzeit überprüfbare Lagerung von ehemals atmosphärischem Kohlenstoff im terrestrischen System. Aus Sicht des Klimaschutzes ist eine Verwendung der Pflanzenkohle in Verbundstoffen zu bevorzugen, da hier die längere Festlegung des Kohlenstoffs zu erwarten ist. Dabei ist wichtig, wie Ausgangsmaterial und Prozessbedingungen bei der Herstellung von Pflanzenkohle aussehen, denn diese sind maßgeblich für die Eigenschaften der späteren Pflanzenkohle. (Hagemann 2020)

Quantitativ

Eine Angabe in CO₂-Einsparung pro Hektar und Jahr, wie bei den anderen Maßnahmen, ist bei der Herstellung von Pflanzenkohle nicht möglich. Weil es sich nicht um die Zertifizierung einer Klimaschutzleistung auf einer Fläche, sondern in einem Produkt gebunden handelt, ist ein direkter Vergleich zu den anderen Klimaschutzmaßnahmen schwierig.

Die Kohlenstoff-Ausbeute hängt vor allem von den Reaktionsbedingungen bei der Pyrolyse ab. Typischerweise enthält pyrolysierte Pflanzenkohle etwa 50% des Kohlenstoffs des Ausgangsmaterials. Die restlichen 50% gehen in die Nebenprodukte Pyrolyseöl und –gas über, welche zur Gewinnung von Prozessenergie verbrannt und somit nicht dauerhaft gespeichert werden. Der C-Gehalt der Pflanzenkohle selbst liegt bei 75-95%. (Maurer & Stäger AG 2021) Pyrolysekohle kann damit als effizientes C-Speichermedium angesehen werden.

Kosten

Derzeit werden Senkenzertifikate auf Basis von Pflanzenkohle im freiwilligen Markt für 100 € (und mehr, Tendenz steigend) pro Tonne CO₂-Äquivalent über 100 Jahre gehandelt. Dies entspricht 1 € pro Tonnenjahr (Einheit Tonnen CO₂-Äquivalent multipliziert mit der Anzahl der Jahre, für die das Zertifikat gilt). Auch wenn dieser Preis zunächst hoch erscheint, ist er in Anbetracht der erbrachten Leistung vergleichsweise günstig. Zum Vergleich: Das UBA gab die Folgekosten für eine emittierte Tonne CO₂ im Jahr 2018 mit mindestens 180€ an. Daher sind langfristig auch höhere Verkaufspreise für solche Zertifikate denkbar. (EBI 2020)

Durch den erzielten Erlös aus pflanzenkohlebasierten CO₂-Zertifikaten könnten die Preise für verschiedene Pflanzenkohleprodukte um 10 – 20% gesenkt und damit für einen breiteren Anwendungskreis wirtschaftlich tragfähig gemacht werden. Hierin könnte man eine Zusätzlichkeit von Pflanzenkohle-CO₂-Zertifikaten begründen. (EBI 2020)

Synergien und Konflikte

Bei einer Einbringung der Pflanzenkohle in Böden (direkt oder indirekt) können neben der C-Sequestrierung weitere positiv zu bewertende Effekte erzeugt werden (verminderte Geruchsbelastung im Stall, bessere Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen etc.). Jedoch ist nach einer Einbringung in Boden von einem langsamen Abbau des Kohlenstoffs – zumindest in Teilen – auszugehen.

Bei Einsatz der Pflanzenkohle als Ersatzstoff in Verbundmaterialien kann in den ersten 100 bis 250 Jahren angenommen werden, dass keinerlei Kohlenstoff abgebaut wird. Bei der Nutzung der Pflanzenkohle als Baums substrat können, wie Beispiele aus Stockholm zeigen, ebenfalls große Synergien (Wasserfiltration, verbesserte Pflanzenvitalität, städtisches Kleinklima) erzeugt werden. Letzteres ist besonders im städtischen Umfeld eine vielversprechende Option.

Rechtliches/Politische Rahmenbedingungen

Den rechtlichen Rahmen für den Einsatz von Pflanzenkohle kann man als ausbaufähig beschreiben. Während auf EU-Ebene für die landwirtschaftliche Einbringung von Pflanzenkohle bereits Regeln festgeschrieben wurden (in EU-Recht ist „pflanzliche Kohle“ als Einzelfuttermittel zugelassen und für die Einbringung in Böden wurde ein Grenzwert für PAKs von 4mg/kg festgelegt (Hagemann 2020)), fehlt eine Umsetzung dieser EU-Rechts in nationales Recht (Zinner 2022). Durch die europäische Düngemittelverordnung (Verordnung (EU) 2019/1009) ist Pflanzenkohle als aus Pyrolyse hergestelltes Produkt ab dem 16.07.2022 nach europäischem Recht als organisches Düngemittel zugelassen (Delegierte Verordnung (EU) 2021/2088). In Deutschland darf Pflanzenkohle für eine landwirtschaftliche Verwendung bisher nur als „Holzkohle“ mit mindestens 80% Kohlenstoffgehalt genutzt werden. Ebenso erlaubt ist die eigene Herstellung, sofern keine Luftreinhaltevorschriften verletzt werden (Hagemann 2020). Jedoch darf Pflanzenkohle nach aktueller nationaler Rechtslage nicht überall eingesetzt werden (Zinner 2022). Da EU-Recht über nationalem Recht steht, können heutige Anwender sich stets auf EU-Recht beziehen, jedoch ist ein klarer rechtlicher Rahmen für die Einbringung von Pflanzenkohle in Böden auf nationaler Ebene unverzichtbar, um die Unsicherheiten zu entfernen (Zinner 2022).

Mit der oben beschriebenen gesetzlichen Lage und vor dem Hintergrund der Permanenz sind ganz eindeutig Verwendungen von Pflanzenkohle in Baumaterialien und ähnlichen nicht-landwirtschaftlichen Anwendungen zu bevorzugen. Diese können sofort umgesetzt werden, ohne dass auf einen rechtlichen Rahmen dafür gewartet werden muss. Darüber hinaus ist besser für eine permanente Wirkung der Klimaschutzmaßnahme gesorgt.

Eine sinnvolle Kombination mehrerer Klimaschutzmaßnahmen mit Pflanzenkohle kann Klimaschutz und viele Synergien miteinander vereinen und erscheint daher eine sinnvolle und gewinnbringende Lösung zu sein. Aus Sicht des PSC-HSWT ist beispielsweise eine Kombination aus Moorschutz (Wiedervernässung mit Paludikultur), anschließender Verarbeitung des Paludisubstrats zu Pyrolysekohle und Verwendung der Pflanzenkohle, z.B. in den beteiligten Landkreisen als Pflanzsubstrat für Stadtbäume, denkbar. Erste Versuche zur Pyrolyse von Paludimaterialien laufen bereits.

Fazit

Dass die Zertifizierung von CO₂-Einsparungen mithilfe von Pflanzenkohleherstellung funktioniert, zeigen die bereits im Handel erhältlichen Zertifikate. Die *EBC-Richtlinien zur Zertifizierung des C-Senken Potentials von Pflanzenkohle* (EBC 2020) bieten dabei eine solide fachliche Grundlage für eine Zertifizierung. Bei geschickter Kombination (Pflanzenkohle aus Paludi, Einbringung von Pflanzenkohle als Pflanzsubstrat von Stadtbäumen) erscheint diese Maßnahme ein vielversprechendes Werkzeug im Klimaschutz. Der einzig kritische Punkt: Ob die Zusätzlichkeit von Pflanzenkohle über die Erweiterung des Käuferkreises von Pflanzenkohleprodukten argumentiert werden kann, konnte nicht endgültig geklärt werden, nach Einschätzung von Experten sollte aber auch dieses Kriterium für die Pflanzenkohle erfüllbar sein. Vermutlich ist die technische Machbarkeit (untersucht von ProLignis) bei diesem Maßnahmentyp das größere Problem. Offen ist derzeit, ob und wie eine Aufnahme von Pflanzenkohle-Zertifikaten in ein Zertifikate-Portfolio des Klimabüros möglich ist.

1.6.4 Beurteilung Aufforstung

Qualitativ: Zertifizierungskriterien

Im Zuge des Klimawandels ist vermehrt mit Klimaextremen wie Stürmen oder Dürren zu rechnen, die die Permanenz von in Aufforstungen gebundenem Kohlenstoff gefährden. Dem kann einerseits mit der Wahl klimaresilienter Baumarten und andererseits mit ausreichend großen Puffern (buffer credits; ca. 20% der Zertifikatsmenge) entgegengewirkt werden. Auf internationaler Ebene sind Waldprojekte aufgrund dieser Risiken immer mehr umstritten. Die Quantifizierung des Biomasse-Zuwachses ist durch die Bundeswaldinventuren verhältnismäßig einfach bzw. mithilfe von Schätztabelle der LWF umsetzbar. Wie Zusätzlichkeit im konkreten Fall eines Aufforstungsprojektes gewährleistet werden kann, ist nicht allgemein definiert, sondern muss im Einzelfall begründet und ausgelegt werden. Die Zu- und Abnahme von Waldflächen wird bereits in der nationalen THG-Berichterstattung erfasst. Hier muss also zwingend mit einem Contribution claim gearbeitet werden, um eine Doppelzählung zu verhindern. Einer Emissionsverlagerung kann auf lokaler Ebene mit entsprechenden Vertragsklauseln begrenzt begegnet werden. Die Einbindung der Beteiligten ist gegeben, da sie sich selbst pro-aktiv für das Zertifizierungsprogramm entscheiden können. Aufforstungen können einen hohen positiven Neben-Effekt für die Biodiversität, den Wasserhaushalt und weitere Schutzgüter haben, wenn einige Aspekte wie z.B. die Baumartenwahl oder Einfügen in die Landschaft beachtet werden. Als Baseline-Szenario sollte die vorherige Nutzung der Fläche (= kein Wald) herangezogen und konservativ eine Beibehaltung der vorherigen Bewirtschaftung angenommen werden. Laufzeiten werden aufgrund der Langfristigkeit der Maßnahmen mit 50-100 Jahren angegeben, wobei 50 Jahre als organisatorisch noch umsetzbar angesehen werden. Dem Punkt Konservatismus wird ausreichend Rechnung getragen, indem nur der Biomassezuwachs als Speicherleistung angerechnet wird. Etwaige Mehr-Einsparung in Totholz, Holzprodukten oder

Substitutionseffekten werden nicht angerechnet. Aufgrund der vielen Variablen im Aufforstungsbereich (Baumarten, Altersstruktur, Pflanzdichte, Überlebensrate, etc.) wird deutlich von der Verwendung von Pauschalwerten abgeraten und eine ex-post Bestimmung mit ex-post Crediting empfohlen. Dies kann allerdings bei den langen Laufzeiten einen organisatorisch anspruchsvoll langen Vorlauf bedeuten.

Quantitativ

Allgemeine Aussagen über die Höhe der Speicherung sind aufgrund der vielfältigen Strukturen und Eigenschaften von Wäldern (Alter, Baumarten, Zusammensetzung, etc.) schwierig. Es existieren dafür zahlreiche Berechnungsmodelle für die unterschiedlichsten Regionen und Waldtypen. (Klein und Schulze 2011)

Daten aus der Kohlenstoff-Inventur 2017 zeigen, dass die CO₂-Einbindung durch Zuwachs von Baumart zu Baumart unterschiedlich hoch ist. In den ersten 20 Jahren werden im Schnitt 5,4 t CO₂/ha*a eingebunden, in den nächsten 20 Jahren je nach Quelle 16,2 t CO₂/ha*a (Riedel et al. 2019) bzw. 16,8 t CO₂/ha*a (Osterburg et al. 2013). Es zeigt sich deutlich, dass der Zuwachs in der zweiten Altersklasse (21 bis 40 Jahre) am größten ist. Mit weiter zunehmendem Alter nimmt die CO₂-Bindung durch Zuwachs altersbedingt aber wieder deutlich ab. Langfristig kann die Effizienz von Aufforstungen mit einer Faustzahl von **10t CO₂ pro Hektar und Jahr** angegeben werden. Dabei ist anzumerken, dass es besonders viele und große Variabilitäten und Unsicherheiten im Bereich Aufforstung gibt, sodass diese Zahl stark variieren kann. Sie gilt lediglich der Einordnung und dem Vergleich der Effizienz mit den anderen in dieser Studie untersuchten Landnutzungsmaßnahmen. Zur Bestimmung des konkreten CO₂-Bindung einer zu zertifizierenden Waldfläche kann sie nicht herangezogen werden. (Riedel et al. 2019). Pretzsch gibt daher eine Spanne von **5-19,7 t CO₂ pro Hektar und Jahr** an (Pretzsch 2019).

Kosten

Bei Aufforstungen treten Investitionskosten der Kulturbegründung auf (Aufforstung mit Pflanzung: von 2.400 bis 13.300 €/ha). (Niedersächsische Landesforsten, 2008 in Osterburg et al. 2013) Auf 20 Jahre betrachtet ergeben sich Kosten von ca. **70€/t CO₂** (Osterburg et al. 2013). Auf ehemals landwirtschaftlichen Flächen können darüber hinaus hohe Opportunitätskosten durch entgangene Gewinne entstehen. (Osterburg et al. 2013) Ein weiterer wichtiger Kostenfaktor wird außerdem der Flächenzugriff sein, denn das Untersuchungsgebiet liegt im dicht besiedelten Bayern, wo der Flächendruck und damit auch die Grundstückspreise hoch sind. Inwieweit vor dem Hintergrund der Zusätzlichkeit hierbei auf Förderungen zurückgegriffen werden kann, konnte nicht abschließend geklärt werden.

Synergien und Konflikte

Wald hat viele Funktionen (Holzbereitstellung, Klimaschutz, Naturschutz, Schutz vor Naturgefahren (v.a. Bergwälder), Boden- und Wasserschutz, Erholungsfunktion, ...), die lokal unterschiedlich gewichtet sein können. Manchmal geht bspw. Naturschutz vor Klimaschutz oder andersherum. Hier sollten alle berechtigten Interessen berücksichtigt und nicht gegeneinander ausgespielt werden. (Schulz und Weber-Blaschke 2021)

Konfliktpotential birgt zum Beispiel der wahrscheinlich anhaltende Trend zu einer immer größeren Holznutzung und das gleichzeitige Interesse daran, die C-Senkenleistung des Waldes zu erhöhen. Eine Studie in der Schweiz untersuchte, ob diese beiden Punkte zu

vereinbaren sind und kam zu dem Ergebnis, dass eine gewisse Zeit lang eine Mehrnutzung von Holz bei gleichzeitiger Senkenbildung möglich ist. Langfristig kann der Beitrag der Wälder zum Klimaschutz maximiert werden, indem ein möglichst großer, nachhaltiger Zuwachs generiert wird, der laufend genutzt wird. In dieser Untersuchung wurden jedoch weitere Waldfunktionen mit Synergie- und Konfliktpotential, wie z.B. Biodiversität, nicht berücksichtigt, was in weiteren Studien aber unbedingt getan werden sollte. (Thüring und Kaufmann 2008)

Ein Hindernis könnte die Flächenfestlegung als Wald und das damit einhergehende Rodungsverbot sein. So werden ehemalige Offenland-Flächen dauerhaft zu Wald gemacht. Ein solcher Schritt ist für Grundstückseigentümer meist schwierig und genau abzuwägen. (Elsasser, 2008). Eine Aufforstung kann nicht überall durchgeführt werden, auf Standorten von naturschutzfachlicher Bedeutung können sie Naturschutzziele und Vorgaben im Wege stehen. (Osterburg et al. 2013)

Rechtliches/Politische Rahmenbedingungen

Der Wald ist politisch als Handlungsfeld für Klimaschutzmaßnahmen ausgegeben worden. Neben Waldumbau sollen im bayerischen Staatswald vor dem Hintergrund des Klimaschutzaspekts in den kommenden Jahren 30 Millionen Bäume gepflanzt werden. (StMELF 2019) Politisch sind Aufforstungen also offensichtlich gewollt. Jedoch kann die Flächenfestlegung nach einer Aufforstung eine Hürde für Privatleute darstellen, da mit der Festlegung als Wald ein Rodungsverbot einhergeht. (Elsasser, 2008) Die Erstaufforstung eines bisher nicht forstlich genutzten Grundstücks muss nach Art. 16 Abs. 1 des Bayerischen Waldgesetzes (BayWald) genehmigt werden. Über die Erlaubnis entscheidet das Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF) im Einvernehmen mit der Kreisverwaltungsbehörde (Art. 39 Abs. 2 Satz 1 BayWaldG). Dabei können Einschränkungen zur Bedingung einer Genehmigung gemacht werden, wie z.B. der Ausschluss nicht heimischer Baumarten oder das Freihalten von Teilflächen sein. Seitens der Forstverwaltung gibt es hier ein Beratungsangebot durch die zuständigen Förster*innen. (StMELF 2022)

Fazit

Aufforstungen wirken als Klimaschutzmaßnahmen erst mittel- bis langfristig, was in der Organisation eines Zertifikatmodells einige Probleme mit sich bringt. Größte Unsicherheit liegt vor dem Hintergrund des Klimawandels darin, ob eine Permanenz mit ausreichender Sicherheit gegeben ist. Doppelzählung kann durch die Nutzung eines Contribution Claims vermieden werden. Auch bedingt die relativ hohe Investitionssumme anfänglich eine geringe Kosteneffizienz. Eine weitere Restriktion für die Attraktivität der Maßnahme beim Grundeigentümer stellt die Rodungsbeschränkung und damit Flächenfestlegung dar. Trotz aller Schwierigkeiten können Aufforstungsprojekte aber viele positive Nebeneffekte haben. Mit ca. 10 t zertifizierbarer Einsparleistung ist eine Zertifizierung unserer Ansicht nach möglich, aber weniger attraktiv als im Moorschutz.

1.6.5 Beurteilung Agroforst

Qualitativ: Zertifizierungskriterien

Die Bindung von Kohlenstoff im Boden und in den Gehölzen ist vollständig reversibel (siehe Humusaufbau). Dies kann durch eine Änderung der Landbewirtschaftung geschehen (Rücknahme der Agroforstbewirtschaftung) oder durch Änderungen im Klima oder Naturereignisse (Dürre, Sturm etc.), wie sie durch den Klimawandel vermehrt zu erwarten sind. Umso wichtiger das Monitoring, um Permanenz sicherzustellen, Nachbesserungen zu veranlassen und so für einen permanenten Verbleib des Kohlenstoffs im System zu sorgen. Das System Agroforst kann eine Langfristigkeit deutlich eher gewährleisten als reine Ackerbausysteme mit häufig wechselnden Fruchtfolgen, da hier ein langfristiges Denken schon allein wegen der Art der Bewirtschaftung notwendig ist. Das lässt Agroforstsysteme im direkten Vergleich für langfristige Zertifikate als geeigneter erscheinen.

Ein großzügiger Puffer ist notwendig, kann einen vollständigen Verlust aber nicht ausgleichen. Doch bis zu einem gewissen Grad kann ein großzügiger Puffer die Zertifikate vor einem Ungültig-Werden durch C-Verluste schützen. Als Baseline-Szenario dient eine Weiterführung der vorherigen Bewirtschaftung. Bei Projektlaufzeiten müssen v.a. zwei Punkte beachtet werden: Die Umtriebszeit der Gehölze bestimmt in gewisser Weise den Planungszeitraum (Kurzumtrieb vs. Langumtrieb) und viele der positiven Nebeneffekte treten erst langfristig auf. Das Eintreten dieser Synergien sollte durch eine ausreichend lange Projektlaufzeit von mindestens 20 Jahren sichergestellt werden.

Der C-Bindungs- bzw. Einsparungseffekt muss in den drei Bereichen Biomasse, Boden und Vor- und Nachgelagerter Bereich quantifiziert werden. Für die oberirdische Biomasse stehen relativ simple Methoden zur Verfügung, die unterirdische Biomasse ist wesentlich aufwändiger. Konservative Studien wiesen eine C-Bindung in der Holzbiomasse von 0,5 bis 2,2 t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹ nach, was in etwa mit der C-Bindung von (reinem) Humusaufbau vergleichbar ist. Den Bodenkohlenstoff zu bestimmen ist wesentlich aufwändiger und bei einer sicheren Bestimmung mit hohem Aufwand und damit hohen Kosten verbunden. Für die vor- und nachgelagerten Bereiche können sehr unterschiedliche Zahlen angesetzt werden, wodurch die quantifizierte C-Einsparung teils erheblich schwankt. Dieser Bereich sollte daher nicht in eine Zertifizierung eingeschlossen werden.

Die Gefahr einer Verschiebung von Emissionen durch die Einrichtung von Agroforstsystemen ist gegeben und muss in jedem Fall beobachtet werden. Ein regelmäßiges Monitoring, z.B. alle fünf Jahre ist notwendig. Zusätzlichkeit kann auf mehreren Wegen (bestenfalls mehrere gleichzeitig) gegeben sein: durch eine verstärkte Kohlenstoffbindung im Boden (ökologische Zusätzlichkeit), durch Projektaktivitäten, die über gesetzliche Mindestvorgaben hinausgehen (regulatorische Zusätzlichkeit) oder durch eine finanzielle Zusätzlichkeit, erfüllt werden, d. h., dass die Einrichtung des Agroforstsystems ohne die Geldquelle Zertifikate nicht hätte stattfinden können. Eine Einbindung der Beteiligten ist gegeben, da die Entscheidung für ein Agroforstsystem durch die Landwirt*innen selbst getroffen wird.

Aus zertifizierungs-technischer Sicht liegen die größten Herausforderungen sicherlich in der Variabilität der Messergebnisse aus der Forschung, den unterschiedlichen Agroforst-Typen, in den standörtlichen Besonderheiten sowie in unterschiedlichen Nutzungsformen. Die daraus folgende notwendige Spezifität und fehlende Standardisierung erschweren eine simple Skalierung und vorhandene internationale Standards passen nicht auf diese Systeme.

Hier ist die Frage der Systemgrenzen zu diskutieren, die für eine etwaige Zertifizierung mit einbezogen werden können. Welche Einsparung kann noch sicher genug und mit angemessenem Aufwand bestimmt werden, sodass sie in ein Zertifikat mit einberechnet

werden kann. Unserer Einschätzung nach ist die Systemgrenze für Zertifikate an der zu zertifizierenden Fläche zu ziehen. Damit liegt der vor- und nachgelagerte Bereich außerhalb dieser Möglichkeiten und kann daher nicht auf ein CO₂-Zertifikat angerechnet werden. Ebenso muss oberirdische Biomasse als C-Export von der Fläche betrachtet werden, da die Gehölze früher oder später zur Rodung gedacht sind. Hier sollte ein in sich schlüssiger Umgang mit den anderen untersuchten Maßnahmen, insbesondere der Aufforstung, erfolgen.

Eine Zertifizierung des Bodenkohlenstoffs ist ebenfalls schwierig. Wie im Teil Humusaufbau bereits erläutert, ist der Nachweis von Bodenkohlenstoff unter gleichen Bedingungen überall auf der Fläche bereits so aufwändig, dass er unter den derzeitigen Möglichkeiten unserer Ansicht nach nicht für eine Zertifizierung eignet. Der Nachweis in Agroforstsystemen ist ungleich aufwändiger und noch heterogener, sodass dieser Teil ebenfalls kaum in ein Zertifikat mit einbezogen werden kann, sondern unter dem Punkt Konservatismus und positive Synergien laufen sollte. Nur mit einem geld- und zeitintensiven, sehr engmaschigen Monitoring in einem lokal verorteten, langfristig angelegten und dadurch verifizierbaren System kann die Einsparleistung ausreichend sicher individuell berechnet werden. Bei einem entsprechenden finanziellen Einsatz ist eine genaue Bestimmung und damit auch Zertifizierung des Bodenkohlenstoffs vorstellbar. Dadurch erhöht sich jedoch nicht nur die zertifizierbare Emissionseinsparung, sondern auch die Zertifikatskosten.

Gerade Agroforstwirtschaft sollte vor dem Hintergrund des Klimawandels eher als Anpassungsmaßnahme, denn als Klimaschutzmaßnahme verstanden werden. Auf der COP27 in Scharm-el-Sheikh wurde die Entwicklung sog. „mitigation contribution units“ diskutiert. Sie können nicht dafür genutzt werden, die eigenen Emissionsziele zu erreichen, aber zur Finanzierung von ergebnisbasiertem Klimaschutz beitragen. (Monahan 2022) Dies wäre eine sinnvolle Perspektive für die Finanzierung und Zielsetzung von Agroforstsystemen.

Quantitativ

Das genaue C-Bindungs- und THG-Einsparpotential hängt von der Art der Agroforstwirtschaft und den äußeren Bedingungen wie Klima, Boden etc. ab (Kay et al. 2019; Feliciano et al. 2018). Alle hier angegebenen Zahlen sind daher vor diesem Hintergrund zu sehen und können, da sie meist aus Metastudien stammen, nur die Größenordnung wiedergeben, in der sich Klimaschutz durch Agroforstwirtschaft bewegt.

Das IPCC gibt im weltweiten Fokus für Agroforst ein Klimawandel-Minderungspotential von 1-10 t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹ an (Smith et al 2014). Um diese weite Spanne etwas zu differenzieren, werden im folgenden Studienergebnisse aus den verschiedenen relevanten Bereichen angegeben.

für drei unterschiedliche Arten von Agroforstsystemen geschildert. Diese sind unter konservativer Arbeitsweise ermittelt worden, sodass sie diesem Kriterium der Zertifizierung entsprechen. Andere Studien geben teils deutlich höhere Einbindungsmengen an. Z.B. wiesen in einer Studie von Aertsens et al. (2013) europäische Agroforstsysteme ein durchschnittliches Bindungspotential von **10,08 t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹** auf.

Die im Folgenden angegebenen Zahlenwerte beziehen sich auf beispielhafte Agroforstsysteme mit 10% Gehölzanteil

1. CO₂-Bindung in Biomasse

Die CO₂-Bindung findet primär in der **Biomasse** der Gehölze statt und liegt nach Tsonkova und Böhm (2020), je nachdem ob es sich um Kurz- oder Langumtriebssysteme handelt, bei **0,5 bis 2,2 t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹**. Dabei ist der größere

Anteil der oberirdischen Biomasse zuzurechnen (0,4-1,5 t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹). (Tsonkova und Böhm 2020) In einer anderen Studie wurde für 6 untersuchte Agroforstsysteme eine mittlere Akkumulationsrate des Kohlenstoffs in der Baumbiomasse von 0,65 (0,004-1,85) t C ha⁻¹ a⁻¹ festgestellt. Dies entspricht einer CO₂-Bindung von **2,34** (0,014-6,66) t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹. (Cardinael 2017)

2. CO₂-Bindung im Boden

Mehrere Studien (Cardinael et al. 2017, Cardinael et al. 2018, De Stefano und Jacobson 2018, Shi et al 2018 zitiert in Wiesmeier et al. 2020) wiesen einen mittleren C_{org}-Aufbau im Boden von 0,68 t C ha⁻¹ a⁻¹ durch Agroforst nach. Dies entspricht **2,4 t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹**. Dabei gilt auch hier (wie im Teil Humusaufbau erläutert), dass eine Anlage von Agroforstsystemen auf humusarmen Böden (Äcker) deutlich effektiver ist als auf Grünland, da im Grünland grundsätzlich bereits mehr C_{org} im Boden vorhanden ist und daher nur eine geringe C-Aufbaurrate zu erwarten ist. (Wiesmeier et al. 2020, Cardinael 2018, De Stefano 2018)

3. Vor- und nachgelagerter Bereich

Die Einsparungen aus dem extensiveren Management werden von Tsonkova und Böhm (2020) mit ungefähr mit ca. **0,2 t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹** beziffert. Sie ergeben sich aus betriebsspezifischen Daten und können sich daher stark unterscheiden. Agroforstspezifische Mehremissionen für die Pflege und Ernte der Gehölze müssen natürlich gegengerechnet werden, dürften aber in den meisten Fällen geringer sein als beim normalen Ackerbau. (Hübner et al 2022)

Energie- und Materialsubstitution: Bei der Substitution liegt der Fokus auf dem Emissionsvermeidungspotential und die C-Festlegung in Holzprodukten unterschiedlich langer Lebensdauer (Tsonkova und Böhm 2020). Das CO₂-Bindungspotential kann dabei je nach Art des Agroforstsystems und Nutzung des Holzes erheblich variieren und ist daher kaum generell zu quantifizieren (Tsonkova und Böhm 2020). Dieser Bereich findet wie auch der vorgelagerte Bereich jedoch nicht (mehr) auf der Fläche statt und wird daher nicht in ein mögliches Zertifikat miteinbezogen.

Insgesamt (Biomasse, Humusaufbau und Einsparung im Management) liegt die Einsparleistung durch Agroforstwirtschaft nach diesen Studien unter Einbezug verschiedener Typen von Agroforstsystemen also bei ca. 3,1 – 4,8 t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹. Da aber nur die unterirdische Biomasse zur Zertifizierung empfohlen wird, liegt die zertifizierbare und damit vermarktbare Einsparleistung jedoch deutlich darunter, bei etwa **0,4-1,3 t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹**. Bei einer aufwändigen Bestimmung des Bodenkohlenstoffs ist mit Einsparleistungen von **bis zu 3,7 t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹**.

Dennoch ist die mögliche Wirkung von Agroforstsystemen nicht zu unterschätzen. Agroforstwirtschaft bietet im Vergleich zu anderen Klimaschutzmaßnahmen weniger Kohlenstoffspeicherung pro Hektar, aber dafür kann sie prinzipiell auf fast allen Arten von landwirtschaftlichen Flächen eingesetzt werden (wobei der C-Speichereffekt auf den humusreicheren Grünlandböden als deutlich geringer einzuschätzen ist). Einzige Ausnahme sind lediglich entwässerte landwirtschaftlich genutzte Moorflächen. Daher und aufgrund der

zahlreichen Synergien ist Agroforstwirtschaft als eine vielversprechende Option für eine klimaeffiziente Art der Landbewirtschaftung zu betrachten. (EC 2021b)

Kosten

In mehreren Berichten des IPCC (Sonderbericht des IPCC „Klimawandel und Landsysteme“ und IPCC Bericht AR5 von 2014) wird Agroforstwirtschaft als Handlungsoption in der Landwirtschaft geführt, die ein hohes Potential zur Klimawandelminderung und ein sehr hohes Potential zur Anpassung an den Klimawandel birgt und gleichzeitig mit geringen Kosten umsetzbar ist. (Smith et al. 2014, IPCC 2019, Olsson et al. 2019)

Agroforstsysteme sind u.a. aufgrund der hohen Investitionskosten und dem erhöhten Pflegeaufwand zu Beginn und den ungünstigen politischen Rahmenbedingungen für die Praxis relativ unattraktiv (Hübner et al. 2022). Genau hier könnten Zertifikate die Lücke schließen und die fehlende Sicherheit und Motivation liefern.

Synergien und Konflikte

Agroforstsysteme werden mit in erster Linie vielen positiven Nebeneffekten in Verbindung gebracht, von denen eine die THG-Einsparung und Bindung im System ist. Von direkten Verbesserungen der Bodenfunktionen, Wassernutzbarkeit und geringerem Pestizideinsatz über geringere Bodenerosion bis hin zu einer diversifizierten Produktpalette für den Landwirt (Nähe Beschreibung unter *Nachhaltige Entwicklung*). Dabei hängt es sehr von der Art des Agroforstsystems ab, welche Synergien sich überhaupt und wie stark sie sich ausbilden (Kay et al. 2019).

Im Vergleich zu anderen Klimaschutzmaßnahmen kann es jedoch bei Agroforstsystemen insgesamt länger dauern, bis sich THG-Einsparungen einstellen. (IPCC 2019)

Agroforstsysteme bergen neben dem Minderungspotential auch ein hohes Potential zur Anpassung an den Klimawandel, was als große Synergie zu betrachten ist.

Rechtliches/Politische Rahmenbedingungen

Die Bundesrepublik Deutschland hat das ambitionierte Ziel ausgegeben, die Agroforstgehölzfläche innerhalb der nächsten GAP-Förderperiode 2023-2027 auf 200.000 ha auszubauen. (DeFAF 2022)

Deutschland beabsichtigt daher ab Inkrafttreten der neuen GAP 2023, die Erhaltung von Agroforstsystemen als Öko-Regelung mit 60 € pro ha Gehölzfläche zu fördern (DeFAF 2022). Ergänzend dazu soll auch die Neuanlage von Agroforstflächen als investive Maßnahme über Interventionen der 2. Säule gefördert werden. Durch eine Negativliste werden hierbei invasive (neobiotische) Gehölze von der Förderung ausgeschlossen. (BMEL 2022)

Die Europäische Kommission erlaubt es den Mitgliedsstaaten, die Neuanlage Agroforstwirtschaft bis zu 100% zu fördern. Die Förderung wurde deutschlandweit jedoch auf maximal 60% begrenzt, in einigen Bundesländern auf maximal 40%. Laut dem deutschen Fachverband von Agroforstwirtschaft wollen jedoch nur wenige Bundesländer diese Förderung für Neuanlagen aus der 2. Säule überhaupt umsetzen, was das Zusammenspeil der Förderung für Neuanlage und Erhalt erheblich schwächt (DeFAF 2022).

Die „Beibehaltung einer agroforstlichen Bewirtschaftung“ auf Dauergrünland wird in einigen Bundesländern explizit von einer Förderung ausgeschlossen. Damit werden Agroforstsysteme auf Grünland und damit ganze Grünlandregionen weitgehend ausgeschlossen. (DeFAF 2022)

Für die Förderung bei "Beibehaltung einer agroforstlichen Bewirtschaftungsweise auf Ackerland und Dauergrünland" sollen verbindliche Abstandsregeln zu den Nachbarparzellen aufgestellt werden. Ein Gehölzstreifen muss demnach mindestens 20 Meter Abstand zum Flächenrand aufweisen. Da ein Agroforstsystem aus mindestens 2 Gehölzstreifen à 3 m Breite bestehen muss, wird die Form und Lage besonders für kleine Flächen durch diese Vorgaben mehr oder weniger vorgegeben und der Gestaltungsspielraum stark eingeschränkt, sodass das Agroforstsystem nicht optimal auf Funktionen wie Windschutz oder Anpassung an bereits vorhandene Strukturen wie Hecken ausgerichtet werden kann. (DeFAF 2022)

Da das internationale Interesse an einem einheitlichen Agroforst-Standard hoch ist, wurde ein neues Forschungsprojekt ins Leben gerufen, welches die Grundlage für einen „Agroforestry Carbon Code“ schaffen soll (Soil Association Limited 2022). Derartige Entwicklungen sollten weiter beobachtet werden, da sich daraus mögliche Lösungen für Zertifikate ergeben können.

Vergleich mit nicht-Agroforst-Landbewirtschaftung

Vergleicht man den energetischen Aufwand in den Bereitstellungsketten von Agroforst und konventioneller Produktionsweise wird deutlich, dass durch Agroforst (unter den in der zitierten Studie gegebenen Bedingungen) maßgeblich zur Reduktion des Energieeinsatzes und somit zur Steigerung der energetischen Effizienz erreicht werden kann. Das größte Energieeinsparpotential liegt hierbei bei der Düngung, da der Herstellungsprozess produktionsbedingt sehr energieaufwändig ist. (Kanzler et al. 2020)

In den ersten Jahren einer neu angelegten Agroforstwirtschaft ist im Vergleich zur konventionellen Bewirtschaftung jedoch mit einem erhöhten Arbeitsaufwand zu rechnen (Bäume aufasten, bewässern, Pflege des Unterwuchses im Baumstreifen, ...). Die positiven Effekte von Agroforst (C-Sequestrierung, Erosionsschutz, ...) stellen sich erst langfristig ein.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und den daher notwendigen Anpassungen unserer Wirtschaftsweise (Substitution fossiler Energien, Verringerung der THG-Emissionen, angepasste Landwirtschaft) bietet Agroforst eine sinnvolle Landnutzungsalternative, bei der ein Bioenergieträger gewonnen und Energie und Emissionen eingespart werden können, ohne dabei auf den herkömmlichen Anbau von Feldfrüchten verzichten zu müssen. (Kanzler et al. 2020)

Fazit

Von Emissionszertifikaten als Förderinstrument für Agroforstsysteme ist abzuraten. Nur ein Teil der Emissionseinsparungen durch Agroforstwirtschaft können so sicher bestimmt oder in die Systemgrenze einbezogen werden, dass sie als Zertifikat verkauft werden können. Bei einem durchschnittlich aufwändigen Monitoring ist nicht die nötige Sicherheit gegeben, um alle C-Speicher (Biomasse, Boden, vor- und nachgelagerter Bereich) mit einzubeziehen. Damit reduziert sich die zertifizierbare Menge C erheblich, sodass ein Verkauf über Zertifikate kaum kostendeckend scheint. So fallen z.B. der vor- und nachgelagerte Bereich weg. Die oberirdische Biomasse ist als Export von der Fläche ebenfalls abzuziehen. Soll der Aufbau von Bodenkohlenstoff mit einbezogen werden, ist ein sehr engmaschiges und damit teures Monitoring nötig, was die Zertifikatspreise deutlich erhöhen dürfte. Finden sich Abnehmer, die bereit sind diesen Preis zu zahlen, ist eine Zertifizierung von Agroforstsystemen grundsätzlich vorstellbar. Auch weil sich Agroforstsysteme, die auf eine langfristige Bewirtschaftung angelegt sind, eher für langfristige Zertifizierungsprojekte eignen. Die geringe zertifizierbare Einsparmenge macht eine wirtschaftlich rentable Zertifizierung aber derzeit unmöglich.

Agroforstwirtschaft sollte vor dem Hintergrund des Klimawandels jedoch in erster Linie als Anpassungsmaßnahme, denn als Klimaschutzmaßnahme verstanden werden.

1.7 Zusammenfassung

Im Moorschutz sind mit Abstand die höchsten zertifizierbaren Einsparleistungen zu erreichen. Er gilt als kostengünstiger, als viele andere Varianten der landnutzungsorientierten Klimaschutzmaßnahmen. Das PSC entwickelt dazu laufend aktuellste Methoden zur Baseline-Berechnung und für ein flächenspezifisches Monitoring. Die dringend notwendige Umstellung auf nachhaltige, moorschonende Landnutzungsoptionen wie z.B. Paludikulturen kann durch den Verkauf von Zertifikaten beschleunigt werden. **Das Instrument der CO₂-Zertifikate ist daher im Bereich des Moorschutzes als absolut vielversprechend und fachlich gut umsetzbar anzusehen.**

Die Generierung von CO₂-Emissionszertifikaten via Humusaufbau zur Kompensation von Treibhausgasemissionen wird von uns nicht unterstützt. Hauptgründe sind die geringe Einsparmenge, die eintretende Sättigung und die kaum absicherbare Permanenz. Stattdessen sollte eine strukturelle Förderung von Erhaltung, Rückgewinnung und Aufbau des Humusgehalts in landwirtschaftlich genutzten Böden aufgebaut werden, um den Humus als Grundlage der Landwirtschaft zu erhalten und zu fördern. Der Weg könnte über die Förderung einer der vielen anderen Ökosystemleistungen führen, die Humus mit sich bringt.

Dass die Zertifizierung von CO₂-Einsparungen mithilfe von Pflanzenkohleherstellung funktioniert, zeigen die bereits im Handel erhältlichen Zertifikate. Das EBC-Regelwerk bietet dabei die eine solide fachliche Grundlage für eine Zertifizierung. Bei geschickter Kombination (Pflanzenkohle aus Paludi, Einbringung von Pflanzenkohle als Pflanzsubstrat von Stadtbäumen) erscheint diese Maßnahme ein **vielversprechendes Werkzeug im Klimaschutz**. Der einzig kritische Punkt: Ob die Zusätzlichkeit von Pflanzenkohle über die Erweiterung des Käuferkreises von Pflanzenkohleprodukten argumentiert werden kann, konnte nicht abschließend geklärt werden. Vermutlich ist die technische Machbarkeit (untersucht von ProLignis) bei diesem Maßnahmentyp das größere Problem. Offen ist derzeit, ob und wie eine Aufnahme von Pflanzenkohle-Zertifikaten in ein Zertifikate-Portfolio des Klimabüros möglich ist.

Aufforstungen wirken als Klimaschutzmaßnahmen erst mittel- bis langfristig, was in der Organisation eines Zertifikatemodells einige Probleme mit sich bringt. Größte Unsicherheit liegt vor dem Hintergrund des Klimawandels darin, ob eine Permanenz mit ausreichender Sicherheit gegeben ist. Doppelzählung kann durch die Nutzung eines Contribution Claims vermieden werden. Auch bedingt die relativ hohe Investitionssumme anfänglich eine geringe Kosteneffizienz. Eine weitere Restriktion für die Attraktivität der Maßnahme beim Grundeigentümer stellt die Rodungsbeschränkung und damit Flächenfestlegung dar. Trotz aller Schwierigkeiten können Aufforstungsprojekte aber viele positive Nebeneffekte haben. Mit ca. 10 t zertifizierbarer Einsparleistung ist die Aufforstung nach dem Moorschutz die **zweitattraktivste Klimaschutzmaßnahme** im Landnutzungsbereich.

Von Emissionszertifikaten als Förderinstrument für Agroforstsysteme ist abzuraten. Dies ist allerdings nicht mit qualitativen Mängeln, sondern mit der geringen zertifizierbaren Einsparmenge zu begründen. Nur ein Teil der Emissionseinsparungen durch Agroforstwirtschaft können so sicher bestimmt oder in die Systemgrenze einbezogen werden, dass sie als Zertifikat verkauft werden können. Bei einem durchschnittlich aufwändigen Monitoring ist nicht die nötige Sicherheit gegeben ist, um alle C-Speicher (Biomasse, Boden,

vor- und nachgelagerter Bereich) mit einzubeziehen. Damit reduziert sich die zertifizierbare Menge C erheblich. So fallen z.B. der vor- und nachgelagerte Bereich weg. Die oberirdische Biomasse ist als Export von der Fläche ebenfalls abzuziehen. Soll der Aufbau von Bodenkohlenstoff mit einbezogen werden, ist ein sehr engmaschiges und damit teures Monitoring nötig, was die Zertifikatspreise deutlich erhöhen dürfte. Finden sich Abnehmer, die bereit sind diesen Preis zu zahlen, ist eine Zertifizierung von Agroforstsystemen grundsätzlich vorstellbar. Auch weil sich Agroforstsysteme, die auf eine langfristige Bewirtschaftung angelegt sind, eher für langfristige Zertifizierungsprojekte eignen. Die geringe zertifizierbare Einsparmenge macht eine wirtschaftlich rentable Zertifizierung aber derzeit unmöglich. Agroforstwirtschaft sollte vor dem Hintergrund des Klimawandels jedoch in erster Linie als Anpassungsmaßnahme, denn als Klimaschutzmaßnahme verstanden werden.

Tabelle 2: Vergleich der Maßnahmentypen hinsichtlich Zertifizierbarkeit und Effizienz. Die Hinterlegung mit den Farben Rot (schlechteste Bewertung) über gelb (mittlere Bewertung) bis hin zu blau (gute Bewertung) soll die Bewertung zur Eignung bzw. Nicht- und Teilweise Eignung der einzelnen Maßnahmen verdeutlichen.

Maßnahmentyp	Zertifizierbarkeit	Effizienz [t CO ₂ -Äq ha ⁻¹ a ⁻¹]
Pflanzkohle	Gegeben, EBC-Richtlinien	-
Humusaufbau	Nicht gegeben	0-2,6
Agroforst	Zum Teil	0,4-1,3 / mit Humus bis ca. 3,7
Aufforstung	Gegeben	5-19,7
Moor-Wiedervernässung	Gegeben, moorbenefits 2.0	10-50

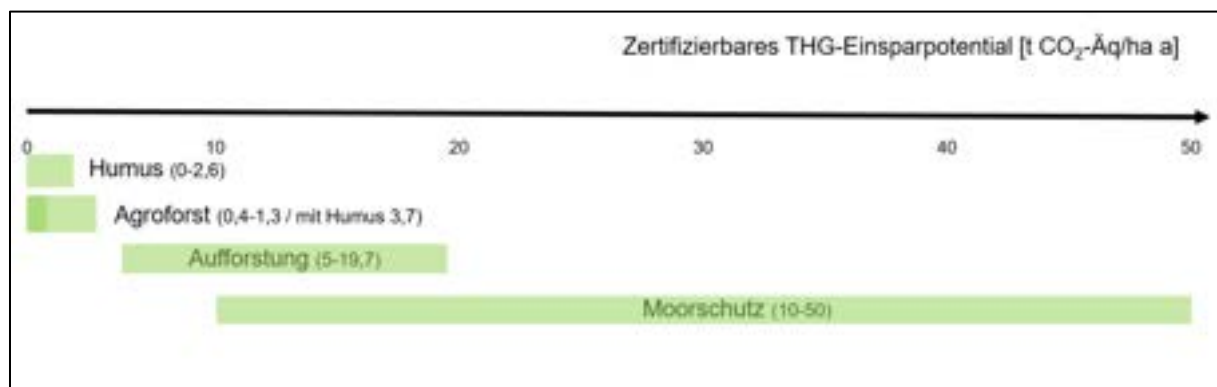


Abbildung 2: Vergleich der verschiedenen Klimaschutzmaßnahmen hinsichtlich des zertifizierbaren Einsparpotentials

Da sich die Preise der Zertifikate am Ende aus den Kosten für die Maßnahme und der erreichten Einsparleistung berechnen, sind Maßnahmen mit hoher Einsparleistung leichter in Zertifikate umsetzbar. Im Moorschutz können durch Wiedervernässung enorme Mengen pro Hektar dauerhaft eingespart werden. Je nach Moortyp, Entwässerungstiefe vorher und anschließender Nutzung bewegen sie sich zwischen 10 und 50 t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹. Mit ca. 10 t CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹ zertifizierbarer Einsparleistung ist die Aufforstung nach dem Moorschutz die zweit-attractivste Klimaschutzmaßnahme pro Flächeneinheit. Maßnahmentypen oder Projekte mit einer zu geringen Einsparleistung können auch nicht als Zertifikate umsetzbar sein (Humus, Agroforst).

Prinzipiell gilt: Je größer die Unsicherheiten, desto umfangreicher muss das Monitoring sein, um möglichst viele Risiken zu erkennen und möglichst zu verhindern. Werden die Risiken (z.B. ein möglicher Totalverlust des gespeicherten Kohlenstoffs) zu groß, sollten keine CO₂-Zertifikate aus einem Projekt generiert werden. Diese Waage von Risiko und Aufwand der Risikovermeidung ist bei den Moorschutzmaßnahmen und bei der Pflanzenkohle gegeben. Bei den anderen Maßnahmen werden die Risiken als zu groß und vorhandene Möglichkeiten zum Risiko-Management als nicht ausreichend betrachtet.

Modul 2 Potentialanalyse

2.0 Einführung

Die Methodik für die Potentialanalyse wurde im PSC-HSWT entwickelt. Dort wurden ebenfalls alle Moorschutz-Potentialkarten erstellt. Die Karten für die Maßnahmen Agroforst und Aufforstung wurden von Jonas Galdirs und Salomon Falla erstellt.

Um das Flächenpotential für verschiedenen Klimaschutzmaßnahmen zu ermitteln, wurde das Untersuchungsgebiet in vier Kategorien eingeteilt (Besondere Eignung / kein / mittlerer / hoher Raumwiderstand). Die Kategorien definieren sich wie folgt:

Hoher Raumwiderstand

Flächen, auf denen die untersuchte Maßnahme aus unterschiedlichen Gründen ausgeschlossen ist (sogenannte Ausschlussgebiete)

Mittlerer Raumwiderstand / Einzelfallprüfung

Flächen, auf denen die untersuchte Maßnahme mit gewissen Belangen des Naturschutzes, den Agrarbelangen und weiteren gesellschaftlichen Belangen, z. B. denen der Raumordnung, in Konflikt gerät, bei denen jedoch ein Abwägungsspielraum besteht, so dass die Gemeinden hier entsprechend ihrer planerischen Prioritäten Klimaschutzmaßnahmen zulassen können. Es ist jedoch mit einem höheren planerischen Aufwand zu rechnen.

Kein Raumwiderstand

Flächen, auf denen keine Hinweise auf einen Raumwiderstand vorliegen. Sie sind für die untersuchte Maßnahme gut geeignet, da keine konkurrierenden Belange bestehen bzw. eventuell sogar durch die Umsetzung der Maßnahme positive Wirkungen auf den Flächen zu erwarten sind.

Besondere Eignung / Pilotflächen

Flächen, die aufgrund bestimmter Eigenschaften besonders gut für einen Maßnahmentyp geeignet sind und sich daher als Pilotflächen eignen würden.

Die vier Flächen-Kategorien werden durch eine Reihe von Kriterien bestimmt. Diese werden im Folgenden erläutert. Ergänzt werden diese Kriterien bei den Moorkulissen durch Ergebnisse aus dem Projekt KliMoBay, in welchem unter anderem sozio-ökonomische Restriktionen bei Wiedervernässungsprojekten bayernweit dargestellt wurden (Erarbeitet von der Landesanstalt für Landwirtschaft). Zusammen mit den hier erläuterten, v.a. naturschutzfachlichen Kriterien bilden sie die Raumwiderstandskulisse für die unterschiedlichen Maßnahmen im Untersuchungsgebiet. Zu beachten ist, dass die Kriterien zur Potentialeinschätzung für Zertifizierungsprojekte gedacht sind. Sobald konkrete Maßnahmen auf konkreten Flächen geplant werden, ist immer eine differenzierte Einzelbetrachtung und eine Prüfung der Gegebenheiten vor Ort nötig.

2.1 Ausschlusskriterien für alle Maßnahmen

Grundsätzlich ausgeschlossen für landnutzungsbasierte Klimaschutzmaßnahmen sind Flächen mit einem besonderen Schutzstatus oder besonderer ökologischer Funktion, da diese durch die Maßnahmen beeinträchtigt oder gänzlich zerstört werden könnten. Eine

grundsätzliche Ausnahme ist in diesem Kapitel die Maßnahme Moor-Renaturierung zu betrachten, da hier neben dem Klimaschutz explizit die Ziele des Naturschutzes adressiert werden. Für alle anderen Klimaschutzmaßnahmen gelten folgende Gebiete als Ausschlussflächen

- **Naturschutzgebiete** (NSGs) Naturschutzgebiete dienen zur Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung von Lebensstätten, Biotopen oder Lebensgemeinschaften bestimmter wildlebender Tier- und Pflanzenarten, § 23 BNatSchG besagt, dass „[...] alle Handlungen, die zu einer Zerstörung, Beschädigung oder Veränderung des Naturschutzgebiets oder seiner Bestandteile oder zu einer nachhaltigen Störung führen können, sind nach Maßgabe näherer Bestimmungen verboten [sind].“
(https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/_23.html)
- **Gesetzlich geschützte Biotope:** § 30 und 39 BNatSchG sowie Art. 23 und 16 BayNatSchG stellen bestimmte Biotoptypen unter besonderen Schutz. Falls eine Fläche nach § 30 BNatSchG / Art. 23 BayNatSchG geschützt ist, sind Maßnahmen, die zu einer Zerstörung oder sonstigen erheblichen Beeinträchtigung dieser Fläche führen, unzulässig.
(https://www.ifu.bayern.de/natur/biotopkartierung/rechtliche_grundlagen/index.htm)
- **Naturdenkmäler und geschützte Landschaftsbestandteile:** Ein Naturdenkmal ist ein unter Naturschutz stehendes Landschaftselement. Damit sollen bestimmte Erscheinungsformen der Natur, wie Felsformationen oder Quellen, Einzelbäume oder Alleen, aus ökologischen, wissenschaftlichen, geschichtlichen oder heimatkundlichen Gründen unter Schutz gestellt werden. Als geschützte Landschaftsbestandteile werden Teile der Kulturlandschaft ausgewiesen, die zwar von besonderer Bedeutung sind, jedoch nicht die strengen Kriterien von Naturdenkmälern erfüllen. Sie erlangen ihre Bedeutung zum Beispiel wegen ihrer Belebungswirkung für das Orts- oder Landschaftsbild oder ihrer Bedeutung für Biotopverbundsysteme. Um diesen Schutzzweck nicht zu gefährden, werden sie aus der Flächenkulisse ausgeschlossen. Anmerkung: Flächige Naturdenkmäler sind in die Karten aufgenommen, punktuelle Naturdenkmäler wurden nicht in eine Einstufung mit einbezogen, sondern als Shape „darübergelegt“ dargestellt (ausführliche Begründung siehe *Eingeschränkte Abbildung der Realität*)
(<https://www.ifu.bayern.de/natur/schutzgebiete/naturdenkmale/index.htm>)
- **FFH-Lebensraumtypen** Für die Lebensraumtypen im Anhang I der FFH-Richtlinie (231 Stück, von denen 93 in Deutschland vorkommen) sind nach der FFH-Richtlinie besondere Schutzgebiete auszuweisen. Ebenso Habitats der Anhänge II und IV der FFH-RL, Habitats der Arten des Anhangs I der Vogelschutzrichtlinie, sowie regelmäßig auftretenden Vogelzugarten. Ob ein FFH-LRT vorliegt, ist in der FFH-Kartierung, der Biotopkartierung oder eventuell vorhandenen Managementplänen von FFH Gebieten erkennbar.
(<https://www.bfn.de/lebensraumtypen>)
(Unsel R., Reppin N., Eckstein K., Zehlius-Eckert W., Hoffmann H., Huber T. (2011): Leitfaden Agroforstsysteme. Möglichkeiten zur naturschutzgerechten Etablierung von Agroforstsystemen. Hrsg. TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt und Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. München. 45 S)
- **Ausgleichs- und Kompensationsflächen** diese sind bereits mit einem anderen Zweck belegt und stehen daher nicht für Zertifikats-Flächen zur Verfügung. Da hier bereits Geld für die Herstellung eines Ausgleichs fließt, wären Probleme beim Kriterium Zusätzlichkeit zu erwarten. Daher werden diese Flächen ausgeschlossen. Hierzu zählen auch und insbesondere die Ökokonto-Flächen.

Dementsprechend wurden Flächen in der Kartendarstellung behandelt. Nachträglich wurde folgendes Szenario aufgestellt, das Ökokontoflächen von Ausschluss- zu Einzelbetrachtungsfällen machen könnte:

Ein umgesetztes Ökokonto muss ein in Punkten bemessenes Ziel erfüllen. Wenn dieses Ziel 1. Keine Wiedervernässung beinhaltet (sondern z.B. nur aus Artenschutzsicht Anforderungen gestellt wurden) und 2. Eine nachträgliche Wiedervernässung dieses Ziel nicht gefährdet, ist eine nachträgliche, durch Zertifikate finanzierte Wiedervernässung auf dieser Ökokontofläche möglich. Hier finanzieren die Zertifikate dann den Klimaschutz, der durch die Einrichtung des Ökokontos nicht erreicht wurde. Da dieser Sonderfall jedoch recht besonders erscheint und die zur Verfügung stehenden Daten nicht ausreichend genau waren, wurden alle Ökokonto-Flächen in den Potenzialkarten als Ausschlussflächen behandelt.

- **Georisiken** erhöhen das Risiko, dass Permanenz der Maßnahmen nicht gewährleistet werden kann und sind deshalb von der Flächenkulisse auszuschließen
- **Gewässer inklusive Gewässerrandstreifen** Wo sich Gewässer befinden, können keine Landnutzungsmaßnahmen stattfinden. Auf einem mindestens 5 Meter breiten Streifen an Gewässern erster und zweiter Ordnung ist zudem die acker- und gartenbauliche Nutzung (auch in Dauerkulturen) verboten. (<https://www.aelf-fu.bayern.de/landwirtschaft/275837/index.php>)
- **Trassenfestlegung** Trassen für Stromleitungen oder wichtige Verkehrsachsen (gebietsscharf oder als Korridor festgelegt im Raumordnungsplan) sind als wichtige Infrastrukturen ebenfalls aus der Flächenkulisse auszuschließen.
- **Siedlungen, andere bebaute Fläche und Infrastruktur** Die Flächenkulisse schließt Siedlungen und sonstige bebaute Fläche, inklusive Straßen und Schienen aus. Die Maßnahmen sind alle in der Landnutzung angesiedelt, sodass diese Bereiche nicht betrachtet werden. Die sozioökonomischen Restriktionen, die aus der Nähe von Siedlungen hervorgehen, sind durch die Karte „sozioökonomische Restriktionen“ aus dem KliMoBay Projekt berücksichtigt und abgebildet.
- **Geplante oder bestehende Renaturierungsgebiete:** Da diesen Gebieten ein so hoher Wert für den Naturschutz beigemessen wurde, dass sie in einen naturnahen Zustand zurückgeführt werden sollen. Hier steht der Klimaschutz an zweiter Stelle. (nicht in Karte darstellbar)

2.2 Weitere Ausschlusskriterien für einzelne Maßnahmen

Ausschluss für Aufforstung

- **Wiesenbrüterkulisse** Die sogenannte Wiesenbrüterkulisse umfasst Flächen (v.a. Grünland), die von Wiesenbrütern als Lebensräume genutzt werden, wurden oder in naher Zukunft, nach erfolgter Habitataufwertung, wieder als Wiesenbrüterlebensraum zur Verfügung stehen sollen. Die Wiesenbrüterkulisse bildet eine fachliche Beurteilungsgrundlage für Planungs- und Eingriffsvorhaben in diesen Gebieten. Da diese Wiesenbrüterkulisse den Schutz der gefährdeten Gruppe der Wiesenbrüter sicherstellen soll, sind hier die speziellen Ansprüche dieser Vögel zu berücksichtigen.

Wiesenbrüter reagieren beispielsweise daher empfindlich gegenüber Sichthindernissen und Horizontüberhöhungen, wie sie durch Bäume oder PV-Paneele entstehen würden. Deshalb ist die Wiesenbrüterkulisse samt einer ausreichenden Pufferzone für diese Maßnahmen auszuschließen.

(Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (Hrsg.): 35 Jahre Wiesenbrüterschutz in Bayern. Situation, Analyse, Bewertung, Perspektiven. Augsburg, 2015. https://www.lfu.bayern.de/natur/artenhilfsprojekte_voegel/wiesenbrueeter/index.htm)
Drösler et al.: MOORuse. Paludikulturen für Niedermoorböden in Bayern - Etablierung, Klimarelevanz & Umwelteffekte, Verwertungsmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit. 4. und 5. Zwischenbericht, unveröffentlicht. 2020, 2021.

- **Feldvogelkulisse** Die sogenannte Feldvogelkulisse umfasst Flächen, die von Vögeln der Agrarlandschaft als Lebensräume genutzt werden, wurden oder in naher Zukunft, nach erfolgter Habitataufwertung wieder als Feldvogellebensraum zur Verfügung stehen sollen. In einem ersten Schritt erfolgte die Erarbeitung des ersten Feldvogel-Layers für den Kiebitz. Mittelfristig ist die Abdeckung weiterer Arten wie beispielsweise von Rebhuhn und Grauammer beabsichtigt. Die Feldvogelkulisse bildet eine ergänzende fachliche Beurteilungsgrundlage für Planungs- und Eingriffsvorhaben in diesen Gebieten und muss somit berücksichtigt werden. Da sie für Offenland-Arten ausgelegt ist, ist sie für die Maßnahme Aufforstung als Ausschlusskriterium zu bewerten. Bei Agroforst ist eine Anpassung an die Bedürfnisse der Offenland-Arten, z.B. durch Reihenabstände von mind. 100 Metern oder kurze Umtriebszeiten von maximal 5 Jahren möglich, um den Offenlandcharakter zu erhalten. Hier ist also eine Einzelfallbetrachtung angebracht. Wenn derartige Anpassungen nicht vorgenommen werden können, ist die Feldvogelkulisse aus der Agroforstkulisse ebenfalls auszuschließen.

(Unselde R., Reppin N., Eckstein K., Zehlius-Eckert W., Hoffmann H., Huber T. (2011): Leitfaden Agroforstsysteme. Möglichkeiten zur naturschutzgerechten Etablierung von Agroforstsystemen. Hrsg. TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt und Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. München. 45 S) (https://www.lfu.bayern.de/natur/artenhilfsprojekte_voegel/wiesenbrueeter/kulisse_2020/index.htm)

- **Moorböden** gelten als Ausschlussflächen für Aufforstung (weitere Erläuterung dazu in Modul 1), Agroforst und Humusaufbau. Andersherum gilt: Alle Böden, die nicht zur Moorbodenkulisse zählen (Mineralböden), gelten als Ausschlusskriterium für Moorschutzmaßnahmen.
- **Überschwemmungsgebiete HQ und Retentionsräume**, da ein Jahrhunderthochwasser mit seinem sehr großen Zerstörungspotential die Permanenz von Maßnahmen gefährdet. Innerhalb der ausgewiesenen HQ₁₀₀ Gebiete ist dieses Risiko deutlich höher als außerhalb. Vor dem Hintergrund des Risiko-Managements von Klimaschutzprojekten sollten innerhalb dieser Gebiete also keine Maßnahmen durchgeführt werden. Ebenso sind nach § 77 Abs. 1 Satz 1 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) Hochwassergefahrenflächen bei HQ₁₀₀, die noch nicht als Überschwemmungsgebiet vorläufig gesichert beziehungsweise festgesetzt wurden, in ihrer Funktion als Rückhalteflächen zu erhalten. Daher sind diese Flächen bei Moorschutzmaßnahmen anders zu bewerten (siehe unten). https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_risikomanagement_umsetzung/faq/faq_karten/index.htm
- **Wald** Vorhandene Waldflächen sind für die Maßnahmen Aufforstung und Agroforst ausgeschlossen, da diese Maßnahmen hier zu keinem höheren Klimanutzen führen als der bereits vorhandene Wald.

Ausschluss für Agroforst

- **Wiesenbrüterkulisse**
- **Moorböden**
- **Überschwemmungsgebiete und Retentionsräume**

Ausschluss für alle Moorschutz-Maßnahmen.

- **Mineralböden**

Ausschluss für Moor Nassnutzung und Paludikultur

- keine

Ausschluss für Renaturierung

- keine

2.3 Einzelfallprüfung / mittlerer Raumwiderstand für alle Maßnahmen*

*außer bereits als Ausschlusskriterium für einzelne Maßnahmen angegeben

- **Fauna-Flora-Habitat-Gebiete** (FFH-Gebiete) Den rechtlichen Rahmen für diese Gebiete bildet die FFH-Richtlinie der Europäischen Union. Diese Gebiete dienen dem Schutz von Lebensraumtypen des Anhangs I der Richtlinie 92/43/EWG (Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie) bzw. Arten des Anhangs II der FFH-Richtlinie. Hauptziel der FFH Gebiete ist es, die Erhaltung der biologischen Vielfalt zu fördern und die Wiederherstellung oder Wahrung eines günstigen Erhaltungszustandes der natürlichen Lebensräume und der Arten von gemeinschaftlichem Interesse. In diesen Gebieten ist mit Orientierung am Managementplan eine Einzelfallprüfung vorzunehmen, ob die etwaigen Klimaschutzmaßnahmen dem Arten- und Lebensraumschutz im Wege stehen würden oder mit ihm vereinbar sind.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:31992L0043>
https://www.lfu.bayern.de/natur/biotopkartierung/rechtliche_grundlagen/index.htm
- **Europäische Vogelschutzgebiete** (SPA-Gebiete). Den rechtlichen Rahmen für diese Gebiete bildet die Vogelschutzrichtlinie der Europäischen Union. Diese Gebiete dienen dem Schutz bedrohter Vogelarten und ihrer Lebensräume. Es besteht zudem ein Verschlechterungsverbot (§§ 33, 34 BNatSchG). Gemeinsam mit den FFH-Gebieten bilden sie das europaweite Netzwerk Natura 2000. In diesen Gebieten ist ebenfalls eine Einzelfallprüfung vorzunehmen, ob die etwaigen Klimaschutzmaßnahmen dem Arten- und Lebensraumschutz im Wege stehen würden.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:31992L0043>
https://www.lfu.bayern.de/natur/biotopkartierung/rechtliche_grundlagen/index.htm
- **Landschaftsschutzgebiete** dienen in erster Linie dem Schutz des Naturhaushalts und seiner Funktionsfähigkeit. Sie sind in der Regel im Vergleich zu Naturschutzgebieten großflächiger und mit geringeren Nutzungseinschränkungen verbunden. Wichtige Schutzgüter sind neben der Pflanzen- und Tierwelt zum

Beispiel Boden, Grund- und Oberflächenwasser, Klima oder das Landschaftsbild. Besonders mit Blick auf das Schutzgut Landschaftsbild muss hier im Einzelfall geprüft werden, ob die Klimaschutzmaßnahme (z.B. durch Aufforstung) einem der Schutzziele des LSGs entgegensteht.
(<https://www.lfu.bayern.de/natur/schutzgebiete/landschaftsschutzgebiete/index.htm>)

- **(Trink-)Wasserschutzgebiete** „Für Wasserschutzgebiete werden Einschränkungen und Verbote formuliert und durch Rechtsverordnung festgesetzt. Wichtigstes Ziel ist, die schützende Grundwasserüberdeckung weitgehend zu erhalten, also größere Bodeneingriffe zu vermeiden. Ebenso ist besondere Vorsicht bei der landwirtschaftlichen Flächenbewirtschaftung angezeigt, um Einträge von Pflanzenschutzmitteln und Nitrat ins Grundwasser zu vermeiden. Bei Beschränkungen der ordnungsgemäßen land- und forstwirtschaftlichen Flächennutzung ist das Wasserversorgungsunternehmen gesetzlich zu Ausgleichsleistungen verpflichtet. Über diese gesetzliche Verpflichtung hinaus schließen Wasserversorgungsunternehmen und Landwirte in vielen Fällen freiwillige Vereinbarungen über weitergehende Bewirtschaftungsbeschränkungen ab. Dies reicht von Vereinbarungen über bestimmte, mit Prämien verbundene Einzelmaßnahmen bis zu großräumig angelegten Kooperationsmodellen, bei denen die Wasserversorger durch Beratung und finanzielle Anreize Maßnahmen zur grundwasserschonenden Landbewirtschaftung, zum Beispiel die Umstellung auf ökologischen Landbau, fördern.“ [LfU]
Zertifikats-finanzierte Maßnahmen, die den Klimaschutz zum Ziel haben, müssen etwaige Vorschriften in Wasserschutzgebieten berücksichtigen, stellen aber durch ihre andere Zielsetzung einen Mehrwert dar und sind somit auch als zusätzlich einzustufen.
(https://www.lfu.bayern.de/wasser/trinkwasserschutzgebiete/besondere_vorsorge_beim_trinkwasserschutz/index.htm)
- **Vorranggebiete der Raumordnung** und anderweitige Vorbehalts- und Vorranggebiete sind wegen Priorität der Gebietswidmung für Bodenschätze, Windenergieanlagen (WEA) oder wasserwirtschaftliche Belange im Einzelfall zu bewerten. Hier ist eine Einzelfallprüfung wegen möglicher Synergien, aber auch konkurrierender Nutzungen notwendig. Rohstoff-Vorranggebiete können beispielsweise andere raumbedeutsame Nutzungen in diesem Gebiet ausschließen, soweit sie mit der Gewinnung von Bodenschätzen nicht vereinbar sind (§ 7 Abs. 4 Nr. 1 ROG).
(https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayVV_2129_1_W_183-1)
(https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/Energie/Rohstoffe/2021-10-20_Rohstoffe_in_Bayern_Sicherung_Umweltschutz_Nachhaltigkeit.pdf)

Es folgen Kriterien, die nicht in einer Karte abbildbar sind oder im Untersuchungsgebiet so selten vorkommen, dass der Aufwand, sie in die Karten einzubauen unangemessen hoch ist. Sie sind jedoch bei in Frage kommenden Flächen miteinzubeziehen.

- **Baudenkmäler** Durch die Klimaschutzmaßnahme darf die Erhaltung und der Schutzzweck des Denkmals nicht gefährdet werden. Aufgrund der Heterogenität von Baudenkmälern ist hier eine Einzelfallprüfung vorzunehmen. Da Baudenkmäler im Normalfall Teil von Siedlungsflächen sind, ist es unwahrscheinlich, dass ein Baudenkmal auf einer etwaigen Zertifizierungsfläche liegt. Trotzdem muss das vor Maßnahmenumsetzung überprüft werden.

- **Bodendenkmäler** Durch die Klimaschutzmaßnahme darf die Erhaltung und der Schutzzweck des Denkmals nicht gefährdet werden. Aufgrund der Heterogenität von Bodendenkmälern ist hier eine Einzelfallprüfung vorzunehmen. Es sollte das Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege hinzugezogen werden, da hier die Zuständigkeit für Bodendenkmäler liegt.
- **Geotope** Wenn für Geotope im Einzelfall ein rechtlicher Schutz erforderlich ist, erfolgt die Unterschutzstellung in der Regel über das Naturschutzrecht durch die Naturschutzbehörden. Geohistorische Objekte, die anthropogen entstanden sind, sind meist als Bodendenkmäler über das Denkmalschutzrecht geschützt. Somit sollten relevante Geotope bereits durch die anderen hier erfassten Kategorien (Naturdenkmal, Bodendenkmäler) erfasst sein.
<https://www.lfu.bayern.de/geologie/geotope/index.htm>

2.4 Mittlerer Raumwiderstand / Einzelfallprüfung für einzelne Maßnahmen

Mittlerer Raumwiderstand Moorschutz

- Flächen, die in der KliMoBay-Karte sozio-ökonomische Raumwiderstände als **hoch** eingestuft wurden.
- Nassgrünlandbewirtschaftung: **Überschwemmungsgebiete HQ₁₀₀ und Retentionsräume**. Nach § 77 Abs. 1 Satz 1 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) sind Hochwassergefahrenflächen bei HQ₁₀₀, die noch nicht als Überschwemmungsgebiet vorläufig gesichert beziehungsweise festgesetzt wurden, in ihrer Funktion als Rückhalteflächen zu erhalten. Die Tatsache, dass der Moorboden dort wiedervernässt ist, steht dem nicht im Wege. Allerdings kann ein Hochwasser für das Grünland selbst negative Auswirkungen haben, weshalb andere Nutzungen, die einen auch längeren Überstau besser ertragen, wie z.B. Paludikulturen in solchen Gebieten zu bevorzugen sind.

Mittlerer Raumwiderstand Agroforst

- **Feldvogelkulisse**

2.5 Besondere Eignung / Pilotflächen

- **Naturparks** sind großräumige, der naturräumlichen Gliederung entsprechende Gebiete von in der Regel mindestens 20.000 ha Fläche. Sie sind i.d.R. überwiegend als LSG oder NSG ausgewiesen, was in dieser Betrachtung als Ausschlusskriterium gelten kann und die Eignung von Naturparkes aussticht. Sie dienen der Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung einer durch vielfältige Nutzungsformen geprägten Landschaft und ihrer Arten- und Biotopvielfalt. In ihnen wird zu diesem Zweck eine dauerhaft umweltgerechte Landnutzung angestrebt.

Dies ist im Einklang mit den untersuchten landnutzungsbasierten Klimaschutzmaßnahmen, da diese eine dauerhaft umweltgerechte Landnutzung darstellen (insb. die Wiedervernässung von Moorböden) und so außerdem eine nachhaltige Regionalentwicklung gefördert wird.

<https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayNatSchG/true>

- **Moorschutz:** Um die Zusätzlichkeit der Zertifikatsmaßnahmen zu gewährleisten, sollten Maßnahmen, die durch Zertifikate finanziert werden, schwerpunktmäßig dort umgesetzt werden, wo keine anderen Aktivitäten im Moorschutz stattfinden. Andere Moorschutzaktivitäten im Bayerischen Donaumoos orientieren sich beispielsweise an einer **Studie des Wasserwirtschaftsamtes (WWA)** Ingolstadt, welche die **Wasserverfügbarkeit** im Bayerischen Donaumoos untersucht hat. Die Wasserverfügbarkeit wird hier in drei Kategorien (von hoher Wasserverfügbarkeit und guter hydraulischer Abgrenzbarkeit bis hin zu geringer Wasserverfügbarkeit) angegeben. Es ist zu erwarten, dass erste Moorschutzprojekte im Bayerischen Donaumoos in den Gebieten mit der besten Wasserverfügbarkeit starten. Es ist nun – zum Zwecke der Zusätzlichkeit - eine räumliche Trennung der Aktivitäten anderer Akteure, die eine andere Finanzierung haben und von Zertifikate-Projekten empfohlen. Die Zusätzlichkeit kann aber auch durch höhere Ambitionen geschaffen werden, z.B. wenn ein Moorschutzprojekt durch die zusätzliche Finanzierung durch Zertifikate deutlich schneller umgesetzt werden kann oder dadurch höhere Ambitionen erfüllt werden können und in der Folge auch mehr Klimaschutz stattfinden kann, wenn dies im Einzelfall nachvollziehbar argumentiert werden kann. Daher wird eine verstärkte Umsetzung in der mittleren Wasserverfügbarkeits-Kategorie empfohlen. Hier ist die Wasserverfügbarkeit laut WWA noch im mittleren Bereich und eine Flächenüberschneidung mit anderen Moorschutzaktivitäten ist unwahrscheinlicher. Andere Bereiche sind für durch Zertifikate finanzierten Moorschutz vor dem Hintergrund der höheren Ambitionen aber nicht ausgeschlossen.
- **Moorschutz – Paludikultur: Überschwemmungsgebiete HQ₁₀₀ und Retentionsräume.** Nach § 77 Abs. 1 Satz 1 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) sind Hochwassergefahrenflächen bei HQ₁₀₀, die noch nicht als Überschwemmungsgebiet vorläufig gesichert beziehungsweise festgesetzt wurden, in ihrer Funktion als Rückhalteflächen zu erhalten. Die Tatsache, dass der Moorboden dort wiedervernässt ist, steht dem nicht im Wege. Paludikulturen können Überstau deutlich besser aushalten als andere Flächennutzungen, sodass sie für derartige Bereiche als besonders geeignete Nutzung erscheinen.
- **Moor-Renaturierung und Nassbewirtschaftung: Extensiv genutztes Grünland** eignet sich aufgrund der geringeren Schwelle an Wertverlust für die Landwirtschaft, andererseits aber bereits vorhandene höheren Wert für den Naturschutz ebenfalls besonders gut für Renaturierungsmaßnahmen und zur Nassbewirtschaftung.
- **Moorschutz: Der sozio-ökonomische Widerstand** wurde von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) als **gering** eingestuft. Damit sind Moorschutzmaßnahmen leichter umsetzbar.

Nicht darstellbar:

- Moor-Renaturierung: Besonders geeignet sind Flächen, auf denen **naturschutzfachlich wertgebende (moortypische) Arten** nachgewiesen wurden (siehe hierzu Biotopkartierung, Artenschutzkartierung). Ebenso sind besonders Flächen geeignet, die an Naturschutzgebiete, FFH-Gebiete oder Flächen anschließen, auf denen wertgebende Arten nachgewiesen wurden, da so der Lebensraum für diese Arten erweitert werden kann. Die vorhandenen Kartierungsdaten sind jedoch teils sehr alt und noch dazu nur als Punktdaten vorhanden, sodass sie in den Potentialkarten nicht dargestellt werden können.
- Agroforst: Die positiven Synergien von Agroforstsystemen können gezielt eingesetzt werden, um anderweitigen Problemen in der Landwirtschaft entgegenzuwirken: Anpflanzung und Bearbeitung des Systems quer zum Gefälle bzw. zur Hauptwindrichtung mindern beispielsweise Wasser- und Winderosion. Somit können **Äcker mit Erosionsproblemen** besonders geeignete Flächen für Agroforstsysteme darstellen, auf denen die Synergien / Co-Benefits maximiert werden.
(Unselde R., Reppin N., Eckstein K., Zehlius-Eckert W., Hoffmann H., Huber T. (2011): Leitfaden Agroforstsysteme. Möglichkeiten zur naturschutzgerechten Etablierung von Agroforstsystemen. Hrsg. TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt und Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. München. 45 S)
- Agroforst: Agroforstsysteme können die Strukturvielfalt und damit den Erlebniswert einer Landschaft steigern. Als vertikale Elemente gliedern und prägen sie das Erscheinungsbild einer Landschaft stärker als andere landwirtschaftliche Kulturen. Um ein harmonisches Einfügen in die Landschaft zu erreichen, sollte die vorhandene Ausstattung des Lebensraumes beachtet werden (Geländeformen, landwirtschaftliche Kulturen etc.) und das Agroforstsystem an die spezifische Eigenart der Landschaft angepasst werden. So können bereits **vorhandene Gehölzstrukturen** beispielsweise als Anknüpfungspunkte für neue Agroforstmaßnahmen genutzt werden. Ob das Einfügen funktioniert hängt von einer Reihe weiterer Faktoren, wie der Wahl der Baumarten, der Umtriebszeit oder der Wuchsform der Gehölzstreifen ab. (Weitere Hinweise zur Ausgestaltung: siehe Leitfaden Agroforstsysteme)
(Unselde R., Reppin N., Eckstein K., Zehlius-Eckert W., Hoffmann H., Huber T. (2011): Leitfaden Agroforstsysteme. Möglichkeiten zur naturschutzgerechten Etablierung von Agroforstsystemen. Hrsg. TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt und Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. München. 45 S)
- Aufforstung: Kombination aus **geringer Ertragsfähigkeit** (Karte BayernAtlas oder bei LfL anfragen) und **Erosionsgefährdung**: Böden, die keine besonders hohe Ertragsfähigkeit haben, aber erosionsgefährdet sind, sind prädestiniert für eine Aufforstung. Es geht somit kein besonders wertvoller Ackerboden verloren und gleichzeitig wird dem Problem der Erosion entgegengewirkt. Allerdings müssen hier naturschutzfachlich wertvolle Flächen (z.B. kartierte Biotope, FFH-Gebiete, NSGs, ...) nach oben aufgeführtem Vorgehen zunächst ausgeschlossen werden.
- Moorschutz: **zusammenhängende Flächen**, die für eine Wiedervernässung zur Verfügung stehen (nicht in Karte übersetzbare fachliche Eignung, im Einzelfall anwenden)
- Moorschutz: **Wenig Reliefunterschiede** (nicht in Karte übersetzbare fachliche Eignung, im Einzelfall anwenden)

- **Landschaftlich vorbelastete Flächen:** Die untersuchten Maßnahmen haben keinen negativen Einfluss auf das Landschaftsbild oder tragen zur Erhöhung der Strukturvielfalt bei (Agroforst, evtl. Aufforstung). Daher ist hier eine Beschränkung auf vorbelastete Flächen nicht nötig. Sollten jedoch mehrere Standorte zur Wahl stehen, sollten vorbelastete Flächen bevorzugt werden, um die positiven Synergien für das Landschaftsbild zu optimieren.
https://www.regierung.unterfranken.bayern.de/mam/aufgaben/bereich2/ruf-24_planungshilfe_ff-pva.pdf
- Die **Wiesenbrüterkulisse** ist von fachlicher Relevanz, v.a. für die Moorschutzmaßnahmen (Paludikulturen, Nassgrünland, Renaturierung), konnte aber nicht abschließend eingeordnet werden. Ergebnisse aus dem MOORuse-Projekt können die Kritik, dass Paludikulturen per se zu einer Artenverarmung führen, nicht bestätigen. In Hinblick auf die Fauna konnten sogar positiv-Effekte hinsichtlich Lebensraum-Erweiterung von seltenen und gefährdeten Arten (Kiebitz) nachgewiesen werden. Die im Frühjahr wachsenden Kulturen in Paludikulturen könnten somit für eine erste Brut genau ausreichend Deckung bieten, ohne bereits ein (Sicht-) Hindernis darzustellen. Zum Zeitpunkt einer etwaigen zweiten Brut wären diese Gegebenheiten aber nicht mehr gegeben. Außerdem ist Voraussetzung, dass die Fläche auch tatsächlich regelmäßig bewirtschaftet, d.h. gemäht wird. Unter diesen Voraussetzungen bieten nasse Moorflächen aber gerade für einige Wiesenbrüter ein in der Landschaft selten gewordenes Nahrungs- und Bruthabitat. Aufgrund der unsicheren Datenlage wurde die Wiesenbrüterkulisse daher weder als Raumwiderstand, noch als Eignung klassifiziert. Die Auswirkungen von eventuell vorhandenen Wiesebrütern auf eine geplante Moorschutzmaßnahme und mögliche Synergien müssen im Einzelfall geprüft und aufeinander abgestimmt werden.

Eingeschränkte Abbildung der Realität

Nicht alle der oben ausgeführten Kriterien können in den Potenzialkarten dargestellt werden. Alle Informationen, die nur als Punkte in der Landschaft bekannt sind, fallen beispielsweise grundsätzlich aus der darstellbaren Kulisse, da ihre Einordnung in eine Klasse (Hoher/niedriger Raumwiderstand / Eignung) zwar fachlich möglich ist, bei genauerer Betrachtung der Daten dies aber nicht in einer Karte darstellbar ist. Ein als Naturdenkmal geführter Einzelbaum in der Landschaft ist beispielsweise ein Ausschlusskriterium für die Aufforstungskulisse. Wird dieser einzelne Punkt nun in der Darstellung als rotes Pixel in eine ansonsten andersfarbige Umgebung aufgenommen, wird er auf dem Maßstab des Untersuchungsgebietes unsichtbar. Rein fachlich müsste außerdem ein Puffer rund um den Baum, der mindestens dem Wurzelradius entspricht, gezogen werden. Diese Feinheit ist aber in dieser Studie und diesem Maßstab nicht möglich. Um eine falsche Darstellung zu vermeiden werden daher alle Punktdaten als „Nicht darstellbar“ geführt und müssen aber bei der Betrachtung einer konkreten Einzelfläche – z.B. mithilfe des Checkbogens – mitberücksichtigt werden.

2.6 Ergebnisse: Flächenpotentiale

Insgesamt wurden 5 Kulissen erstellt: Je eine Potentialkulisse für Aufforstung, Agroforst, Moorrenaturierung, Paludikulturen (auf Moorboden) und Nasse Grünlandnutzung (auf Moorboden). Die Ergebnisse werden Folgen tabellarisch und als Karte dargestellt.

2.6.1 Flächenpotential Moor-Renaturierung

Tabelle 3: Flächenpotential für Zertifikate für Maßnahmentyp Moorrenaturierung

Moor-Renaturierungspotenzial	Fläche [ha]
geeignet	5.269,9
kein Raumwiderstand	1.710,2
mittlerer Raumwiderstand	13.019,6
hoher Raumwiderstand	1.099,3
Gesamt [ha]	21.098,9

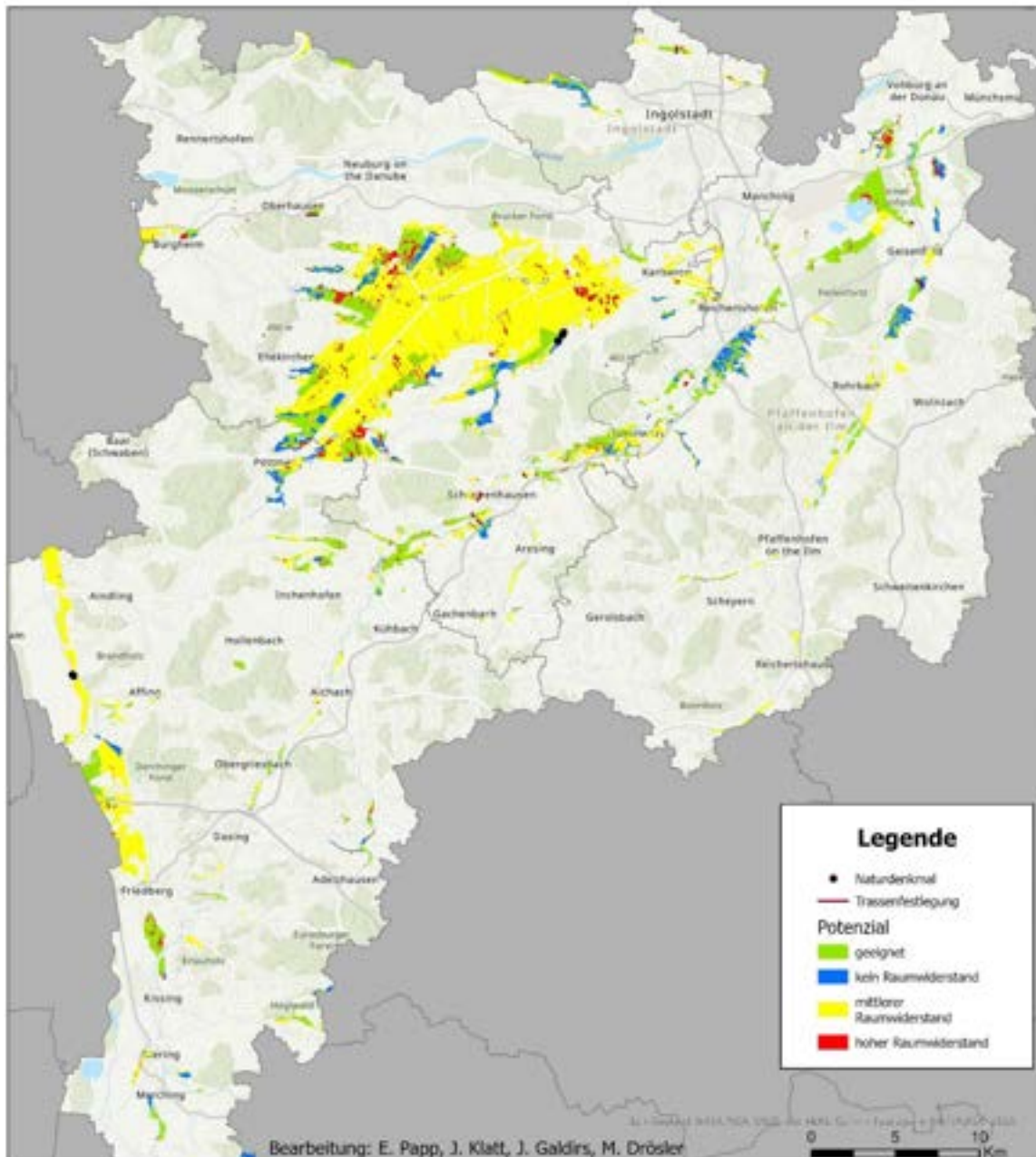


Abbildung 3: Flächenpotential im Untersuchungsgebiet für Moorrenaturierungen im Rahmen eines Zertifikate-Programms

Karte und Tabelle zeigen das Potential für Moor-Renaturierungen im Untersuchungsgebiet im Rahmen eines Zertifikate-Programms. Damit verbunden ist eine Aufgabe der Nutzung. Für die verschiedenen Raumwiderstände bzw. Eignungen sind folgende Kriterien ausschlaggebend: Die hohen Raumwiderstände sind v.a. auf Flächen des Ökoflächenkatasters zurückzuführen. Sie werden ausgeschlossen, weil sie bereits für eine andere Nutzung mit anderer Finanzierung belegt sind. Hier könnten sich Probleme bei der Erfüllung der Zusätzlichkeit ergeben. Der überwiegende Teil der Moorflächen, besonders im Bayerischen Donaumoos ist mit mittlerem Raumwiderstand belegt. Dieser ist auf die hohen sozio-ökonomischen Restriktionen gegenüber einer Wiedervernässung (ausgearbeitet von der LfL) zurückzuführen. Flächen, die in die Geeignet-Kategorie fallen, tun dies aufgrund der Einstufung als Überschwemmungsgebiet, weil sie in die mittlere Kategorie der Wiedervernässbarkeit (s. Karte

des WWA IN) fallen oder weil die sozio-ökonomischen Restriktionen als gering eingestuft wurden. Für eine Renaturierung ist im Bayerischen Donaumoos demnach größtenteils mit einem mittleren Raumwiderstand zu rechnen. Dagegen eignen sich die flussbegleitenden Moorflächen entlang der Paar sogar besonders für Renaturierungen.

2.6.2 Flächenpotential Moor-Nassgrünland

Tabelle 4: Flächenpotential für Zertifikate für Maßnahmentyp Nassgrünlandbewirtschaftung

Nass-Grünlandpotenzial	Fläche [ha]
Geeignet	1.814,9
kein Raumwiderstand	710,3
mittlerer Raumwiderstand	4.165,8
hoher Raumwiderstand	1.509,2
Gesamt [ha]	8.200,2

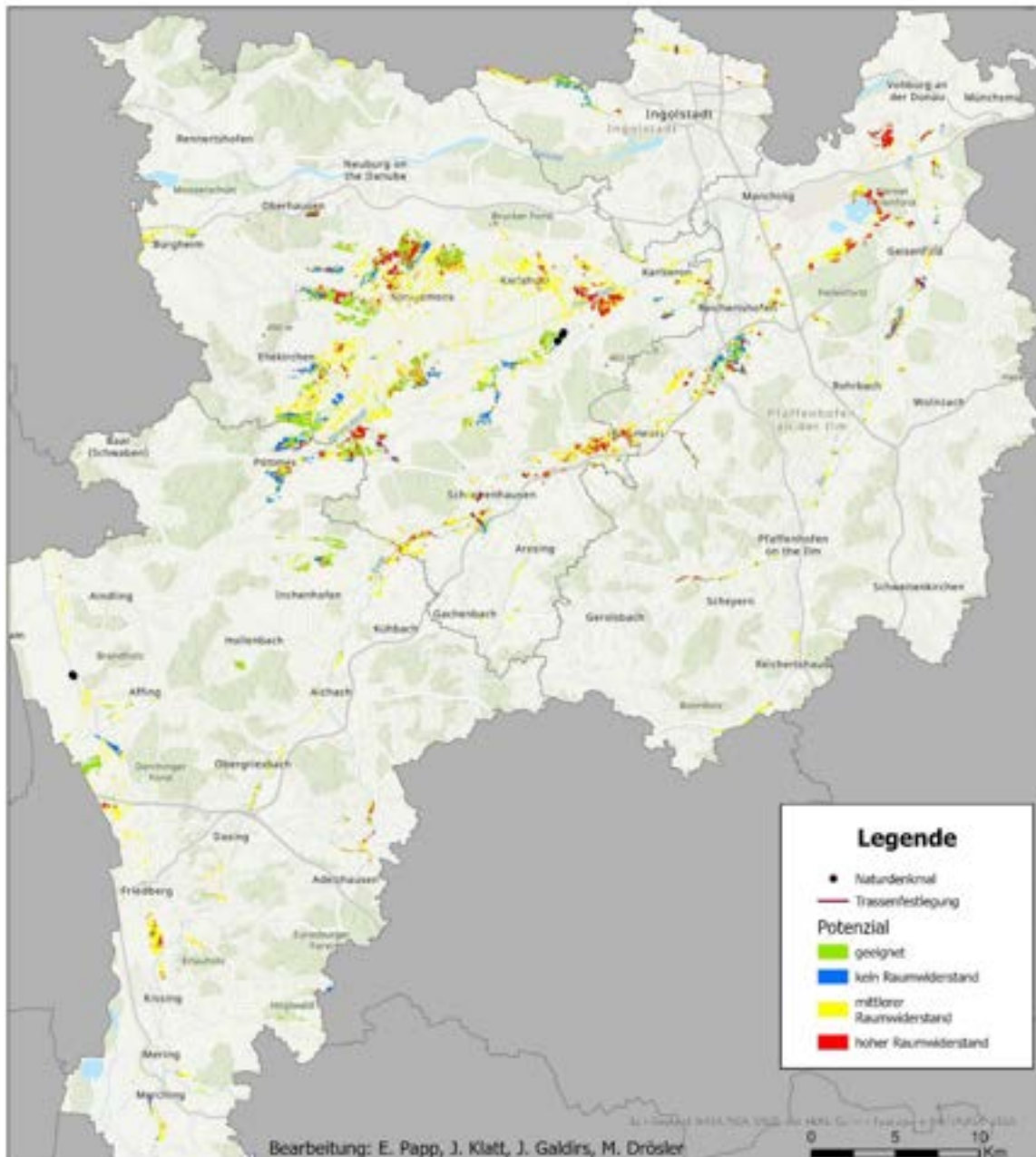


Abbildung 4: Flächenpotential im Untersuchungsgebiet für Nassbewirtschaftung von Grünland auf Moorboden im Rahmen eines Zertifikate-Programms

Tabelle und Karte zeigen das Potential für die Nassbewirtschaftung von als Grünland genutzten Moorböden im Untersuchungsgebiet im Rahmen eines Zertifikate-Programms. Für die verschiedenen Raumwiderstände bzw. Eignungen sind folgende Kriterien ausschlaggebend: Die hohen Raumwiderstände sind v.a. auf Flächen des Ökoflächenkatasters zurückzuführen. Sie werden ausgeschlossen, weil sie bereits für eine andere Nutzung mit anderer Finanzierung belegt sind. Hier würden sich Probleme bei der Erfüllung der Zusätzlichkeit ergeben. Ebenso werden kartierte Biotope als naturschutzfachlich wertvoll ausgeschlossen. Der mittlere Raumwiderstand ist auch hier v.a. auf die hohen sozio-ökonomischen Restriktionen gegenüber Wiedervernässung (ausgearbeitet von der LfL), aber auch auf vorhandene FFH-Gebiete zurückzuführen. Für eine Eignung sind vor allem die Kriterien mittlere Wiedervernässbarkeit und geringe sozio-ökonomische Restriktionen

verantwortlich. Seltener war auch das Kriterium extensiv genutztes Grünland ausschlaggebend. Da im Bayerischen Donaumoos weniger Grün- und mehr Ackerland vorhanden sind, ist die Suchkulisse bereits deutlich kleiner als bei den anderen Maßnahmen.

2.6.3 Flächenpotential Moor-Paludikultur

Tabelle 5: Flächenpotential für Zertifikate für Maßnahmentyp Paludikultur

Paludipotential	Fläche [ha]
geeignet	826,8
kein Raumwiderstand	562,6
mittlerer Raumwiderstand	9772,4
hoher Raumwiderstand	173,9
Gesamt [ha]	11.335,7

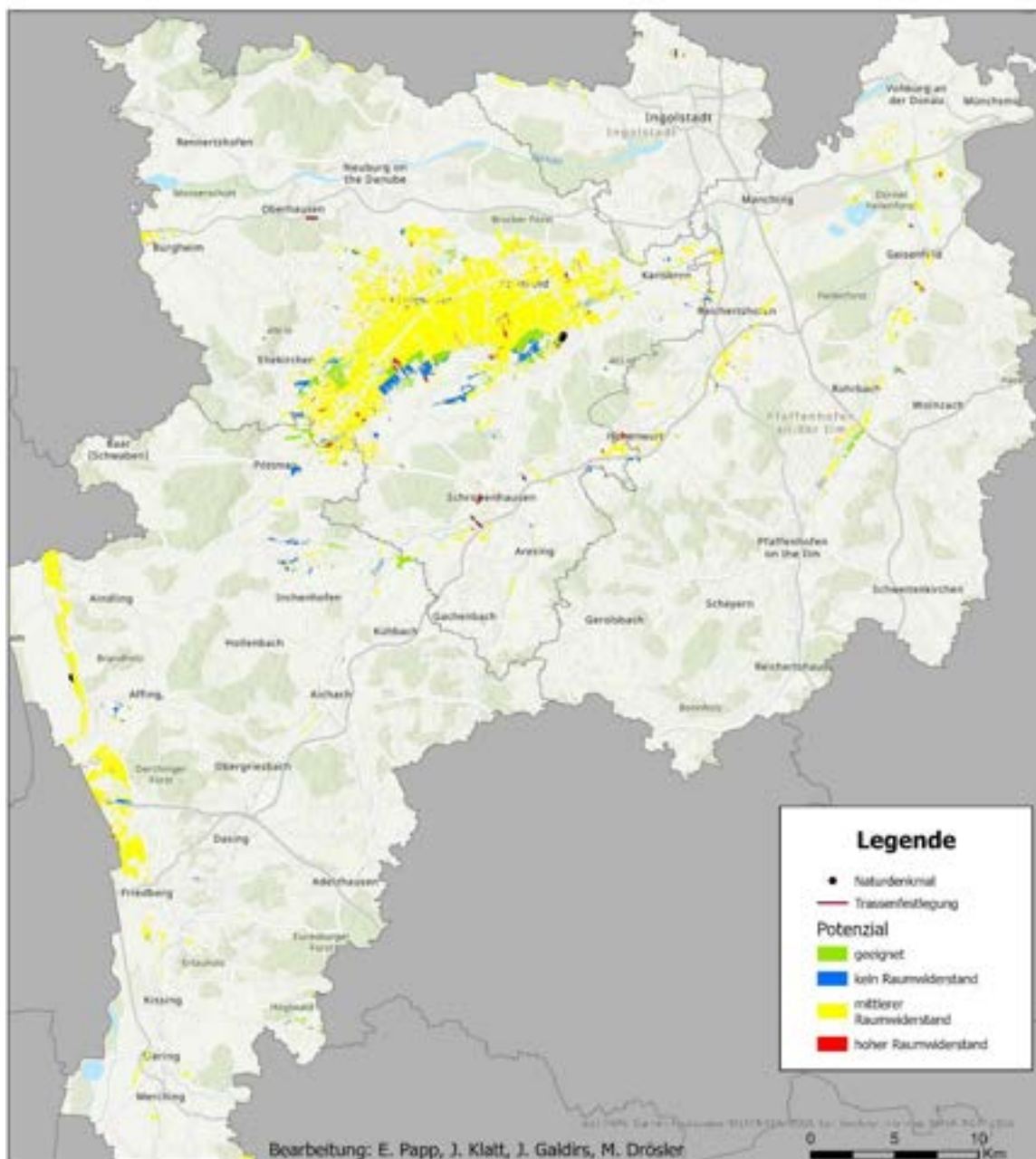


Abbildung 5 Flächenpotential im Untersuchungsgebiet für Paludikulturen im Rahmen eines Zertifikate-Programms

Tabelle und Karte zeigen das Potential für die Einrichtung von Paludikulturen im Untersuchungsgebiet aus Zertifikats-Perspektive. Der größte Teil der Moorböden und auch des Bayerischen Donaumooses fällt in die Kategorie mittlerer Raumwiderstand. Hier finden sich aber auch besonders geeignete Flächen und Flächen der Kategorie kein Raumwiderstand. Hohen Raumwiderstand gibt es nur sehr vereinzelt auf kleinen Flächen, fast ausschließlich im Bayerischen Donaumoos. Für die verschiedenen Raumwiderstände bzw. Eignung sind folgende Kriterien ausschlaggebend: Die hohen Raumwiderstände sind fast ausschließlich auf Flächen des Ökoflächenkatasters zurückzuführen. Sie werden ausgeschlossen, weil sie bereits für eine andere Nutzung mit anderer Finanzierung belegt sind. Hier würden sich Probleme bei der Erfüllung der Zusätzlichkeit ergeben. Das bedeutet

nicht, dass diese Flächen nicht grundsätzlich für das Einrichten von Paludikulturen geeignet wären, nur dass sie nicht durch ein Zertifikate-Programm aufgebaut werden könnten.

Für die Paludikultur-Karte wurde nicht die Karte der sozio-ökonomischen Restriktionen der LfL aus dem KliMoBay-Projekt verwendet. Diese zieht für die Ermittlung von Gunsträumen und Restriktionen vier Indikatoren heran. Diese sind (1) die Anzahl der privaten Eigentümer pro Hektar, (2) der Flächenanteil der Flurstückfläche in staatlichem bzw. kommunalem Eigentum in %, (3) der Anteil der Ackerfläche an der Gesamtfläche in % und (4) der Anteil der Wohnbau-, Industrie- und Gewerbeflächen an der Gesamtfläche in %. (Klatt et al. in prep.) Da für die Zertifikate-Finanzierung unerheblich ist, welcher Anteil der Fläche in staatlicher/kommunaler Hand liegt, werden diese Indikatoren nicht berücksichtigt. Der Acker-Anteil wurde bei der Erstellung der sozio-ökonomischen Restriktionen von der LfL so ausgelegt, dass ein hoher Ackeranteil aufgrund des hohen Bodenwerts von Ackerböden ein hohes Restriktionspotential für eine Wiedervernässung bedeutet. Dieser Indikator wurde zur Erstellung der Paludi-Potential-Kulisse nicht übernommen, da die Paludikulturen gerade für momentan als Äcker genutzte Flächen eine klimafreundliche Alternative darstellen und die aus Klima-Sicht problematischste Nutzung ablösen sollen und dies mit ökonomisch tragfähiger Perspektive. Der hohe Ackeranteil einer Landschaft stellt hier also kein Hindernis dar und wird daher nicht als solches in der Karte dargestellt. In einer ersten Version wurde keiner der vier Indikatoren als Raumwiderstand dargestellt. Nach dem Input auf der Abschlussveranstaltung des Projektes wurde in einer Überarbeitung der Karte der Indikator Anteil der Wohnbau-, Industrie- und Gewerbefläche als Raumwiderstand-Kriterium aufgenommen. Hydrologische Einheiten, die mehr als 6,7% an derartiger Bebauung aufweisen, werden in der Paludi-Kulisse als mittlerer Raumwiderstand gewertet. Flächen werden als geeignet für Paludikulturen eingestuft, wenn sie in die mittlere Wasserverfügbarkeitskategorie der Karte des WWA Ingolstadt fallen oder aber weil sie in Überschwemmungsgebiete fallen. Durch eine Wiedervernässung des Moorbodens wird die Retentionsfähigkeit des Bodens nicht beeinträchtigt oder sogar verbessert und Paludikulturen können im Vergleich zu anderen Ackerfrüchten oder Grünland deutlich besser mit Überstausituationen umgehen. Deshalb sind sie eine geeignete Maßnahme in diesen Gebieten.

2.6.4 Flächenpotential Aufforstung

Tabelle 6: Flächenpotential für Zertifikate für Maßnahmentyp Aufforstung

Aufforstung	Fläche [ha]
geeignet	30.756
kein Raumwiderstand	104.371,6
mittlerer Raumwiderstand	22.144,4
hoher Raumwiderstand	45.436,4
Gesamt [ha]	202.709,4

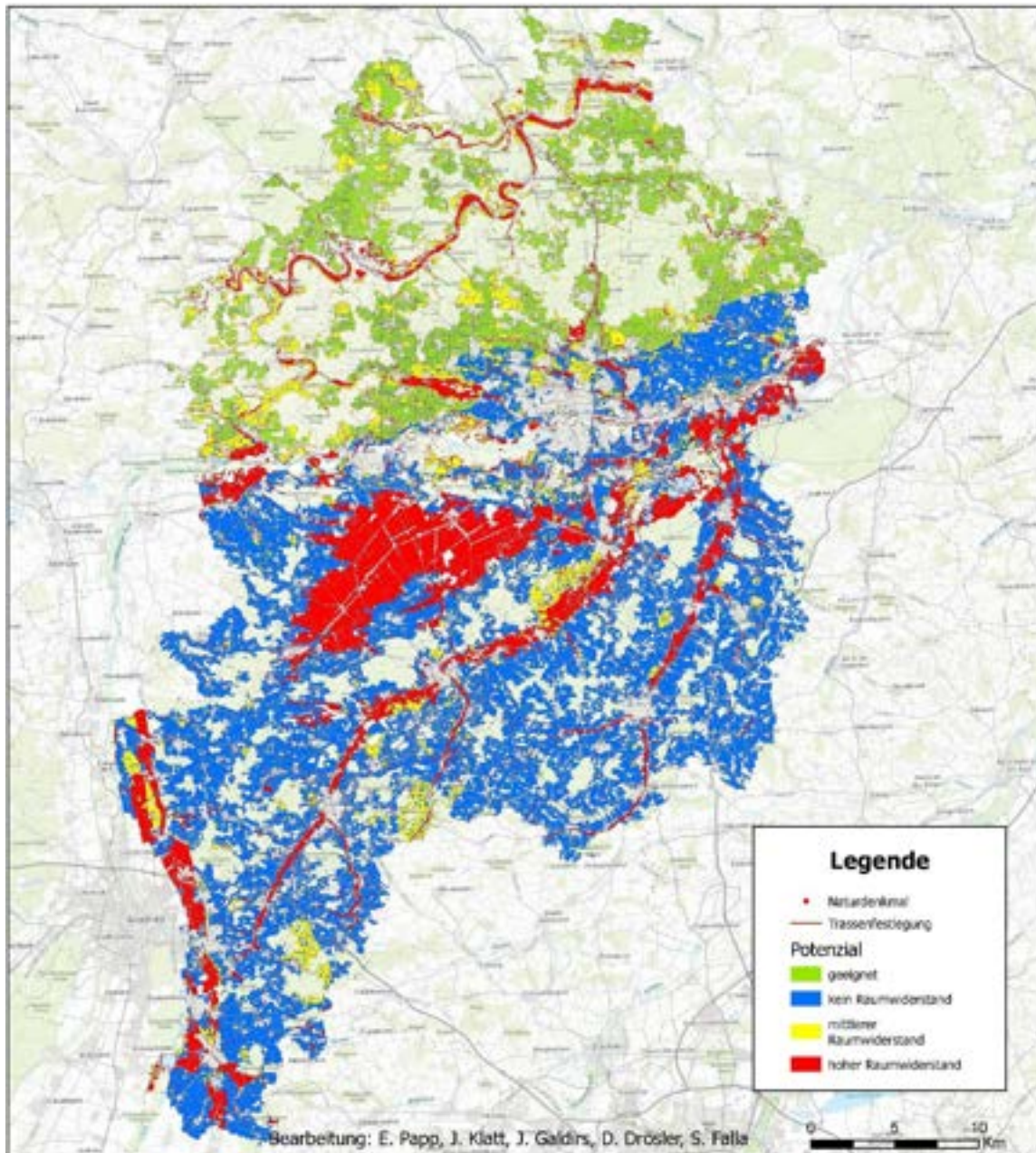


Abbildung 6 Flächenpotential im Untersuchungsgebiet für Aufforstungen im Rahmen eines Zertifikate-Programms

Karte und Tabelle zeigen das Potential für Aufforstungen im Untersuchungsgebiet im Rahmen eines Zertifikate-Programms. Für die verschiedenen Raumwiderstände bzw. Eignungen sind folgende Kriterien ausschlaggebend: Hohe Raumwiderstände treten hauptsächlich auf Flächen unter Naturschutz sowie Vorranggebieten der Raumordnung auf. Moorflächen (Bayerisches Donaumoos, flussbegleitende Niedermoore) sind aus fachlichen Gründen ausgeschlossen – hier greifen die verschiedenen Moorschutzmaßnahmen mit Wiedervernässung. Flächen, die bereits für andere Nutzungen finanziert sind, sind aufgrund der Problematik der Zusätzlichkeit ebenfalls ausgeschlossen. Nur wenige Flächen weisen einen mittleren Raumwiderstand auf. Diese zählen zur Feldvogelkulisse, wo eine möglicherweise negative Auswirkung oder nötige Anpassung von Agroforstsystemen an Feldvögel geprüft werden muss. Nördlich der Donau sind besonders viele geeignete Flächen zu finden. Dies ist mit dem Naturpark Altmühltal zu begründen, welcher eine dauerhaft

umweltgerechte Landnutzung fördert und somit eine nachhaltige Regionalentwicklung ermöglicht.

Anmerkung zur Karte: Waldflächen, Siedlungen und Infrastruktur wurden nicht als Ausschlusskriterium behandelt, sondern gänzlich aus der Kulisse geschnitten. Vorhandene Gehölzstrukturen sind zwar dargestellt, allerdings in diesem Maßstab als oft einzelne Pixel nicht erkennbar.

2.6.5 Flächenpotential Agroforst

Tabelle 7: Flächenpotential für Zertifikate für Maßnahmentyp Agroforst

Agroforst	Fläche [ha]
geeignet	30.756
kein Raumwiderstand	104.371,6
mittlerer Raumwiderstand	22.144,4
hoher Raumwiderstand	45.436,4
Gesamt [ha]	202.709,4

Die Potentiale für Agroforst und Aufforstung sind gleich hoch, weil sie sich in den Kriterien so gut wie nicht unterscheiden. Einzig das Kriterium Bodenwert in Verbindung mit Erosionsgefährdung, welches nicht in den Potentialkarten dargestellt werden kann und die Behandlung der Feldvogelkulisse machen hier einen Unterschied (Feldvogelkulisse = Ausschluss bei Aufforstung, aber mittlerer Raumwiderstand bei Agroforst). Da es jedoch im Untersuchungsgebiet keine Feldvogelkulisse gibt, ist auch hier keine graphische Unterscheidung der beiden Karten sichtbar.

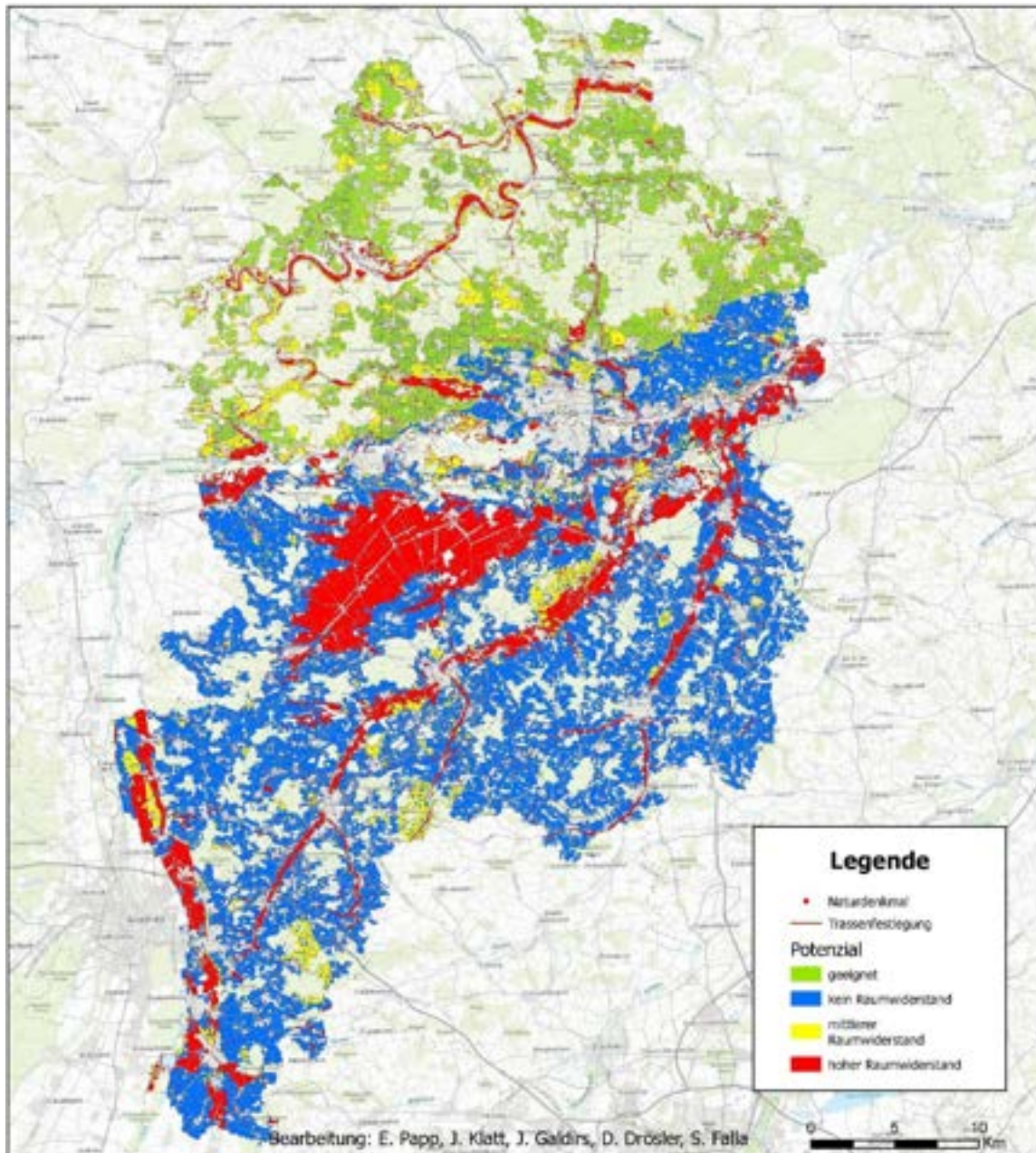


Abbildung 7 Flächenpotential im Untersuchungsgebiet für Einrichtung von Agroforstsystemen im Rahmen eines Zertifikate-Programms

Karte und Tabelle zeigen das Potential für die Einrichtung von Agroforstsystemen im Untersuchungsgebiet im Rahmen eines Zertifikate-Programms. Für die verschiedenen Raumwiderstände bzw. Eignungen sind folgende Kriterien ausschlaggebend: Hohe Raumwiderstände treten hauptsächlich auf Flächen unter Naturschutz sowie Vorranggebieten der Raumordnung auf. Moorflächen (Bayerisches Donaumoos, flussbegleitende Niedermoore) sind aus fachlichen Gründen ausgeschlossen – hier greifen die verschiedenen Moorschutzmaßnahmen mit Wiedervernässung. Flächen, die bereits für andere Nutzungen finanziert sind, sind aufgrund der Problematik der Zusätzlichkeit ebenfalls ausgeschlossen. Nur wenige Flächen weisen einen mittleren Raumwiderstand auf. Diese zählen zur Feldvogelkulisse, wo eine möglicherweise negative Auswirkung oder nötige Anpassung von Agroforstsystemen an Feldvögel geprüft werden muss. Nördlich der Donau sind besonders viele geeignete Flächen zu finden. Dies ist mit dem Naturpark Altmühltal zu begründen,

welcher eine dauerhaft umweltgerechte Landnutzung fördert und somit eine nachhaltige Regionalentwicklung ermöglicht.

Anmerkung zur Karte: Waldflächen, Siedlungen und Infrastruktur wurden nicht als Ausschlusskriterium behandelt, sondern gänzlich aus der Kulisse geschnitten. Vorhandene Gehölzstrukturen sind zwar dargestellt, allerdings in diesem Maßstab als oft einzelne Pixel nicht erkennbar. Die Karte wurde erstellt, obwohl zunächst von einer Zertifizierung von Agroforstprojekten abgeraten wird. Grund sind dabei keine fachlichen Mängel, sondern in erster Linie die geringen Einsparungen. Im Agroforstbereich gibt es allerdings eine Perspektive auf einen reinen Agroforst-Standard bzw. die Entlohnung als Klimawandelanpassungsmaßnahme (statt der Entlohnung einer CO₂-Einbindung). Daher ist es langfristig doch von Interesse, welches Potential es für Agroforst im Untersuchungsgebiet gibt.

2.6.6 Zusammenfassung und Einordnung

Tabelle 8 Zusammenstellung der Flächenpotentiale und deren Darstellung im Untersuchungsgebiet für alle Maßnahmentypen

Raumwiderstand Eignung /	Moor-Renaturierung [ha]	Moor-Paludipotential [ha]	Moor-Nassgrünland [ha]	Aufforstung [ha]	Agroforst [ha]
geeignet	5.269,9	826,8	1.814,9	30.756	30.756
kein Raumwiderstand	1.710,2	562,6	710,3	104.371,6	104.371,6
mittlerer Raumwiderstand	13.019,6	9.772,4	4.165,8	22.144,4	22.144,4
Hoher Raumwiderstand	1.099,3	173,9	1.509,2	45.436,4	45.436,4
Gesamt [ha]	21.098,9	11.335,7	8.200,2	202.709,4	202.709,4

Da mineralische Böden im Untersuchungsgebiet gegenüber den organischen Böden deutlich überwiegen, haben die Maßnahmen, die auf mineralischen Böden umgesetzt werden können insgesamt ein größeres Flächenpotential. Bei Agroforst ginge dabei nicht einmal landwirtschaftliche Produktionsfläche verloren. Allerdings ist auf den organischen Böden, also auf Moorböden, eine erheblich größere Klimaschutzwirkung pro Hektar möglich.

Betrachtet man das Untersuchungsgebiet gibt es für jede einzelne Maßnahme Standorte, die keinen Raumwiderstand aufweisen oder sogar als besonders geeignet gelten. So fallen im Moorschutz für Renaturierung, Nassgrünland und Paludikulturen jeweils zwischen 800 und 5.200 Hektar allein schon in die geeignet-Kategorie. Das sind erhebliche Flächen, zum Vergleich: Im Rahmen des KliP-Programms der Bayerischen Staatsregierung wurden von 2008 bis 2019 ca. 1000 Hektar Moor renaturiert und dabei mindestens 115.000 (+/- 32.200) t CO₂-Äquivalente eingespart (Drösler und Kraut 2022). Im Untersuchungsgebiet liegt mit dem Bayerischen Donaumoos das größte Niedermoor Bayerns. In Verbindung mit den weiteren Moorflächen, z.B. entlang der Flüsse Paar und Ilm entstehen viele Möglichkeiten zur differenzierten Umsetzung der jeweils am besten für ein Gebiet geeignete Maßnahme. Eine Wiedervernässung nur auf diesen besonders geeigneten Flächen könnte bereits große

Auswirkungen auf die THG-Emissionen aus dem Untersuchungsgebiet haben. Welche Mengen Treibhausgasen eingespart werden könnten, wird im nächsten Kapitel erläutert.

2.7 Ergebnisse: Einsparpotentiale Moorschutz

Für die drei verschiedenen Moorschutzmaßnahmen konnten auf Grundlage der Ergebnisse aus dem KliMoBay-Projekt THG-Einsparpotentiale entwickelt werden. Die hier hergeleiteten und beschriebenen Zahlenwerte sind als variantenspezifische Überlegungen zur Abschätzung des Einsparpotentials zu verstehen. In einem konkreten Zertifizierungsprojekt muss das Einsparpotential jeweils auf TIER3-Niveau berechnet werden. Diese Zahlen dürfen auch nicht addiert werden, da es sich hier um verschiedene theoretische Szenarien handelt, in denen ein und dieselbe Fläche mit unterschiedlichen Maßnahmen und damit auch Einsparleistungen belegt werden. Zuletzt ist anzumerken, dass die beschriebene Einsparleistung durch Moorschutzmaßnahmen prinzipiell erreicht werden kann – nicht alleine durch Moorschutz, der durch Zertifikate finanziert wurde. Ebenso gibt es keine Generallösung, die für jede Fläche gilt, es muss für jede Fläche einzeln abgewogen werden, welche Moorschutzmaßnahme standörtlich, organisatorisch und ökonomisch am besten passt. Nur eine der drei Maßnahmen als Generallösung zu betrachten, würde der Vielfalt an Lösungen im Moorschutz nicht gerecht. Jedoch können diese Szenarien helfen, die Effektivität unterschiedlicher Moorschutzmaßnahmen im gesamten Untersuchungsgebiet abzuschätzen.

Im Moorschutz können je nach Ausgangszustand der Fläche (aus dem sich die Baseline ergibt) und Maßnahme zwischen 10 und 50 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Hektar und Jahr eingespart werden. Dabei sind die hohen Einsparungswerte von 50 Tonnen nur zu erreichen, wenn eine Fläche, die vor Maßnahmenumsetzung recht hohe Emissionen ausstößt (z.B. trockener Acker oder trockenes intensives Grünland), in eine Paludikultur mit optimalem Wasserstand umgewandelt wird. Hier können nicht nur durch die Wiedervernässung Emissionen vermieden, sondern durch das Wachstum der Pflanzen Kohlenstoff aktiv eingebunden werden. Dies zeigen neueste Ergebnisse aus dem MOORuse-Projekt. So können um die 50 Tonnen CO₂-Äq ha⁻¹ a⁻¹ eingespart werden.

Um das Einsparpotential durch Zertifikate im Untersuchungsgebiet zu ermitteln, wurde für die Moorschutzmaßnahmen eine Abschätzung der möglichen Einsparleistung vorgenommen. Dafür wurde die Verteilung des Flächenpotentials aus Modul 2 herangezogen. Für jede Kategorie (von „geeignet“ bis „hoher Raumwiderstand“) wurde das Einsparpotential berechnet. Die Einsparung der einzelnen Kulissen wurde folgendermaßen ermittelt: Allen Flächen aus der entsprechenden Kulisse wurde ein Emissionsfaktor im Vorher-Zustand (=aktueller Zustand) zugewiesen. Die landnutzungsspezifischen Emissionsfaktoren wurden im KliMoBay-Projekt für Moore in Bayern ermittelt und sind in Tabelle 1 abgebildet. Anschließend wurde allen Flächen ein Emissionsfaktor im Nachher-Zustand (=wiedervernässt) zugewiesen. Die Differenz aus den Emissionen vorher und den Emissionen nachher ergibt eine Abschätzung des theoretisch möglichen Einsparpotentials im Untersuchungsgebiet.

Als *leicht umsetzbar* werden die Einsparungen bezeichnet, die aus Flächen der Kategorien „geeignet“ und „kein Raumwiderstand“ stammen. Sie beschreibt also das Einsparpotential, das erreicht würde, wenn alle Flächen aus diesen beiden Kategorien optimal wiedervernässt würden. Festzuhalten ist hier, dass realistischer Weise diese Flächen keinesfalls ausschließlich über Zertifikate finanziert werden dürften. Alle anderen Wiedervernässungsbestrebungen bewegen sich auch in diesem Raum und die Einsparungen werden aus unterschiedlichen Moorschutz-Bestrebungen zusammen erreicht werden. Diese Zahlen sind also als eine Art Obergrenze zu verstehen – diese Einsparungen sind bei

Vernässung der als „geeignet“ und mit „kein Raumwiderstand“ belegten Flächen maximal möglich. Kurzfristig ist damit zu rechnen, dass vor allem Flächen aus den leichter umsetzbaren Bereichen in Zertifizierungsprojekte eingehen werden. Mittelfristig sollten aber auch die beiden Kategorien nicht aus den Augen verloren werden.

Tabelle 9 Einsparpotential Nassgrünland

Grünlandpotential	Fläche [ha]	Einsparung pro Jahr [t CO ₂ -Äq/a]
geeignet	1.815	20.882
kein Raumwiderstand	704	11.261
mittlerer Raumwiderstand	4.149	53.608
hoher Raumwiderstand	1.509	14.528
Gesamt	8.176	100.279
leicht umsetzbar (absolut)	2.519	32.144
<i>leicht umsetzbar (Prozent)</i>	<i>31 %</i>	<i>32 %</i>

Das Einsparpotential im Grünland liegt mit ca. 100.000 Tonnen CO₂-Äq pro Jahr im Vergleich der drei Moorschutzmaßnahmen am niedrigsten – sowohl was die absoluten Einsparungszahlen, als auch was die Differenz zwischen vorher- und nachher-Zustand angeht. Das liegt unter anderem an der kleineren Ausgangskulisse, die nur Grünland-Flächen beinhaltet. Knapp ein Drittel der Grünlandflächen fallen in eine der beiden leicht(er) umzusetzenden Kategorien. Bei einem Umstieg auf Nassgrünland-Bewirtschaftung auf den Flächen „geeignet“ und „kein Raumwiderstand“ könnte also eine Einsparung von ca. **32.000 t CO₂-Äq pro Jahr** erreicht werden.

Tabelle 10 Einsparpotential Renaturierung

Renaturierungspotential	Fläche [ha]	Einsparung pro Jahr [t CO ₂ -Äq/a]
geeignet	5.270	91.977
kein Raumwiderstand	1.710	37.313
mittlerer Raumwiderstand	13.020	313.084
hoher Raumwiderstand	1.099	15.763
Gesamt	21.099	458.138
leicht umsetzbar (absolut)	6.980	129.290
<i>leicht umsetzbar (Prozent)</i>	<i>33 %</i>	<i>28 %</i>

Das Einsparpotential durch Moorrenaturierung liegt im Untersuchungsgebiet mit ca. 450.000 t CO₂-Äq pro Jahr deutlich über dem Potential durch Umstellung auf Nassgrünland-Bewirtschaftung. Dabei sind knapp 30% den beiden leichter umsetzbaren Kategorien „geeignet“ und „kein Raumwiderstand“ zuzuordnen. Dadurch wäre eine maximale Einsparleistung von knapp **130.000 t CO₂-Äq pro Jahr** möglich.

Tabelle 11 Einsparpotential Paludi

Paludipotential	Fläche [ha]	Einsparung pro Jahr [t CO ₂ -Äq/a]
geeignet	827	42.909
kein Raumwiderstand	563	29.201
mittlerer Raumwiderstand	9.772	507.187
hoher Raumwiderstand	174	9.024
Gesamt	11.336	588.321
leicht umsetzbar (absolut)	1.389	72.110
<i>leicht umsetzbar (Prozent)</i>	12 %	12 %

In der Paludi-Kulisse fallen große Teile in die Kategorie „mittlerer Raumwiderstand“, was mit dem Anteil an Wohnbauflächen zu begründen ist. Dennoch und gerade hier ist dieser „gelbe“ Bereich nicht außer Acht zu lassen, da die Einsparleistung aufgrund der hohen Differenz zwischen dem Ausgangszustand und dem Nachher-Zustand bei Paludikulturen am größten ist. Daher können insgesamt durch die Umwandlung in Paludikulturen die größten Einsparungen im Untersuchungsgebiet erreicht werden. Bei einer Umsetzung in den als leichter umsetzbaren Flächen wäre eine maximale Einsparleistung von **etwa 70.000 t CO₂-Äq pro Jahr möglich**.

Modul 3 Zertifizierungssystem

3.1 Darstellung des Standes und der Reichweite von Zertifikatslösungen

In diesem Modul werden die bestehenden Lösungen von Zertifikaten vergleichend betrachtet. Dies geschieht hinsichtlich Konzeption, Reichweite, Ausrichtung, Vorgehensweise etc. Insbesondere wird hierbei die Erfahrung aus den bayerischen Pilotprojekten der „moorbenefits“ zusammengestellt und gewürdigt und im Vergleich mit anderen nationalen und internationalen Lösungen bewertet.

Ergebnis dieser Betrachtung sind zum einen eine **tabellarische Zusammenstellung** unterschiedlicher regionaler bis internationaler Standards und deren Umgangsweise mit den kritischen Kriterien (siehe Punkt 2) und ein **Leitfaden**, wie ein regionales Zertifizierungssystem mit diesen kritischen Kriterien umgehen sollte.

3.2 Zusammenstellung und kritische Betrachtung von Kriterien

Die Ausgleichsmechanismen werden für den freiwilligen Markt entwickelt, d.h. für Kommunen oder Betriebe, die einen Beitrag für den Klimaschutz leisten wollen, zu dem sie nicht verpflichtet sind. Dieser Beitrag kommt freiwillig und aus Verantwortung zu Stande und ist zudem immer häufiger durch die Bekenntnisse zur Klimaneutralität motiviert. Diese ist aber in der Regel durch rein technische Maßnahmen nicht zu erreichen, sondern macht die Einbeziehung von landnutzungsorientierten Lösungen erforderlich. Auch wenn es sich um freiwillige Maßnahmen handelt, sind hierbei strenge Kriterien zu etablieren, die dem internationalen Verified Carbon Standard (VCS) entsprechen. Dies ist insbesondere deshalb wichtig, weil sich die Glaubwürdigkeit einer Maßnahme bemessen lassen muss, auch um einen Imageschaden für die Akteure zu verhindern. D.h. es werden in diesem Modul die Kriterien geprüft und zusammengestellt, die erforderlich sind, um den Ansprüchen der Messbarkeit, Verifizierbarkeit und Berichtbarkeit (MRV) zu entsprechen.

Dieser Punkt wurde in der Bearbeitung vorgezogen, da er nötig war, um die Zertifizierbarkeit der unterschiedlichen Maßnahmen zu beurteilen. Die **Liste der einzuhaltenden Kriterien** wird ausführlichst in Modul 1 erläutert und für jede einzelne Maßnahme abgeprüft bzw. eine Umsetzungsempfehlung gegeben.

3.3 Entwicklung eines Organisationsmodells für ein regionales Zertifikat

Derzeit sind verschiedene Ebenen der Organisation von Zertifikaten etabliert: Trägerschaft durch Vereine mit internationalen Projekten (z.B. atmosfair); Trägerschaft durch staatliche Institutionen (wie in Mecklenburg-Vorpommern); Trägerschaft durch halbstaatliche Organisationen (wie die Flächenagentur in Brandenburg); etc.: Immer ist dabei ein Zusammenspiel von Planung, Umsetzung, Registrierung, finanzieller Abwicklung und unabhängiger Zertifizierung erforderlich. Gerade wenn es um einen regionalen Mechanismus mit regionalem Schwerpunkt geht, muss die Organisationsstruktur ebenso regional ausgerichtet sein und das Zusammenspiel der Akteure regional verankert werden. Zudem ist seit 2021 die LENK (Landesagentur für Energie und Klimaschutz) im Aufbau bzw. aktiv, um die Klimaneutralität der Staatsregierung mit Kompensationsmaßnahmen in der Landschaft zu unterstützen und für diese ein Zertifikatesystem aufzubauen. Hier werden die Synergien durch eine enge Abstimmung identifiziert.

3.3.1 Organisationmodell und Akteure

Ein mögliches Zertifizierungssystem wird anhand von CO₂-Zertifikaten aus Moorschutz dargestellt, da diese fachlich am geeignetsten für eine Umsetzung erscheinen.

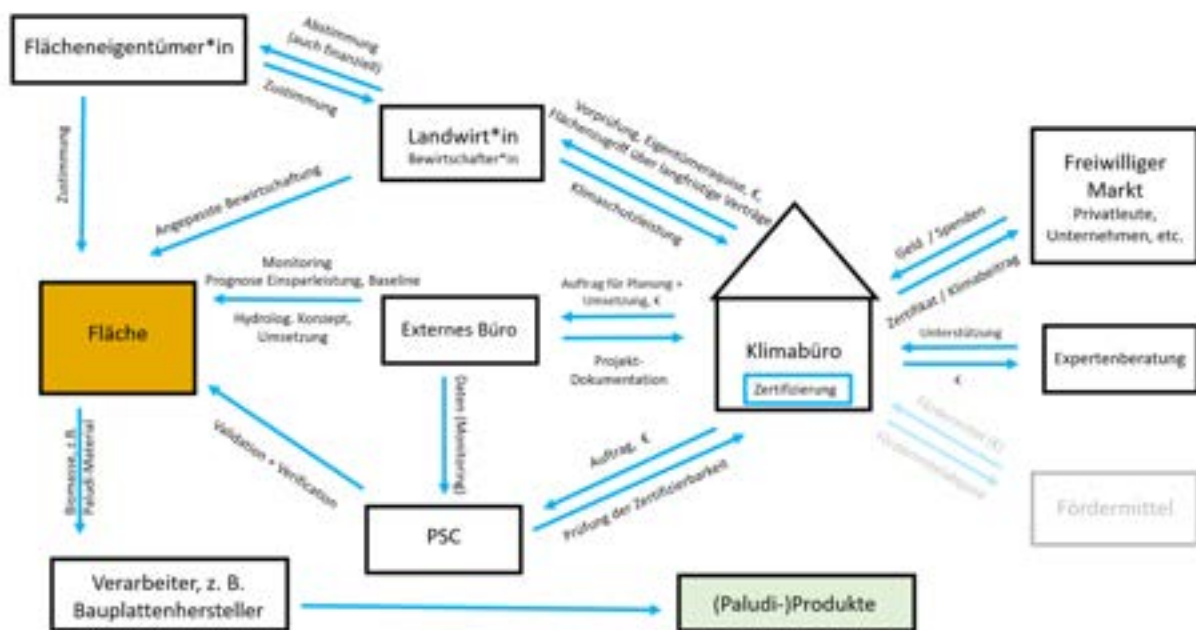


Abbildung 8: Organisationsmodell eines Zertifikatesystems für CO₂-Zertifikate aus Moorschutz

Zur Umsetzung dieses Systems wird eine Reihe von Werkzeugen benötigt, die das PSC zum Teil schon entwickelt hat und die dieser Studie beiliegen. Zum Teil werden sie in anderen Projekten ausgearbeitet und können ab ihrer Fertigstellung angewendet werden.

Es folgt eine kurze Beschreibung aller beteiligten Parteien und eines vorstellbaren Ablaufes:

Freiwilliger Markt: Er stellt die adressierte Käufergruppe für die in CO₂-regio erstellten Zertifikate dar. Privatleute, Vereine, Unternehmen oder Firmen, die nicht gesetzlich zu einer Reduktion bzw. einem Ausgleich ihrer THG-Emissionen verpflichtet sind. Sie betreiben freiwillig Klimaschutz. Nicht zur Zielgruppe gehören der verpflichtende Markt für Zertifikate und staatliche Institutionen, denen bereits Klimaschutzziele auferlegt wurden, denn hier kann es erstens mit dem Kriterium der Zusätzlichkeit und zweitens mit der Laufzeit solcher Projekte Probleme geben.

Klimabüro: Das Klimabüro ist die zu gründende zentrale Anlauf- und Organisationsstelle für Zertifikate-Projekte. Das Klimabüro soll eine beratende Funktion für Landbesitzer*innen und Bewirtschafter*innen haben, die Interesse an Zertifikate-Projekten bekunden. Es kann in Beratungsgesprächen auf Grundlage der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie geeignete Klimaschutzmaßnahmen für den Betrieb herausstellen und auch die finanzielle Rentabilität vorab abschätzen. Ebenso ist es Verwalter des Pools an Zertifikaten, die als Puffer nicht verkauft wurden und für den Fall zurückgehalten werden, dass eine Klimaschutzwirkung nicht wie vorab berechnet eingehalten werden kann. Eine weitere mögliche Aufgabe könnte das Kontingentieren von Zertifikaten sein – falls gewünscht – damit bei einer begrenzten Zahl an Zertifikaten möglichst viele verschiedene Kunden ein Zertifikat erwerben können. Das Klimabüro vergibt fachliche Aufträge wie Monitoring und Zertifizierung an externe Planungsbüros oder Fachinstitutionen. Es kann diese Teile nicht selbst übernehmen, weil es berechtigter Weise ein Interesse daran hat, dass möglichst viele Tonnen THGs im Zuge der Zertifikate verkauft werden. Durch eine prozentuale Beteiligung des Klimabüros an den verkauften Zertifikaten kommt dieser Zusammenhang zustande. In nahezu allen internationalen Standards ist daher eine Trennung dieser beiden Rollen (Zertifikate-Ausgeber

und Zertifizierer) gefordert. Von der Rechtsform, die das Klimabüro einnimmt ist abhängig, ob es „Zertifikate verkauft“ oder einen „Klimabeitrag gegen Spende“ vermittelt. Von Seiten des PSC wird die Version bevorzugt, in der Zertifikate für einen Preis verkauft werden. Die Kommunikation ist in dem Bereich der CO₂-Zertifikate sehr komplex und gleichzeitig enorm wichtig. Da mit einem Contribution Claim gearbeitet werden soll, um Doppelzählung zu vermeiden, ist klare Kommunikation unabdingbar. An dieser Stelle wäre dann die Möglichkeit einfachere Begriffe verwenden zu können, was sicherlich eine gewisse Kundenfreundlichkeit bringt.

Wenn die Rechtsform des Klimabüros an dieser Stelle Vorgaben zu den genauen Begrifflichkeiten macht, bringt das zwar die oben beschriebenen Nachteile für die Kommunikation mit sich, der Zertifizierungsprozess an sich bleibt davon aber unberührt.

Landwirt*in (Bewirtschafter*in): Pächter oder Pächterin einer Fläche, die in ein Zertifikate-System aufgenommen werden soll. Die Pächter*innen sind diejenigen, die nach der Umsetzung einer Maßnahme mit den neuen Gegebenheiten umgehen müssen und sind daher wichtigste Partner des Klimabüros im ganzen Prozess. Im Idealfall bekunden sie selbst Interesse beim Klimabüro und kommen auf es zu oder sie werden vom Klimabüro auf die Möglichkeit der Teilnahme an einem Zertifikate-Programm aufmerksam gemacht.

Flächeneigentümer*in: Meist nur im Hintergrund. Vor Umsetzung einer Maßnahme sollte immer – besonders bei einer Wiedervernässung – die Zustimmung des Eigentümers / der Eigentümerin eingeholt werden. Ist die fragliche Fläche verpachtet, ist der / Die Eigentümer*in nur im Hintergrund beteiligt. Sind jedoch Bewirtschafter*in und Eigentümer*in ein und dieselbe Person, erleichtert das die Umsetzung von Maßnahmen, da eine Instanz, die Widerspruch einlegen könnte weniger da ist.

Peatland Science Centre (PSC): Das Peatland Science Centre bündelt die Fachkompetenz in der Moorforschung in Bayern. Hier werden die neuesten Methoden zur Berechnung von Treibhausgasemissionen entwickelt, Daten aus ganz Bayern zusammengetragen und ausgewertet. Das PSC kann damit im Zertifizierungsprozess die Rolle der unabhängigen Berechnung der erreichbaren und hinterher erreichten Einsparleistung übernehmen. Das PSC übernimmt die neutrale Rolle von Validierung und Verifizierung der Einsparleistungen. Diese sind die Basis für die Prüfung der Zertifizierbarkeit, welche durch das PSC durchgeführt wird. Wurde das Vorgehen in der Validierung und die geschehene Einsparung in der Verifizierung bestätigt, kann das Projekt zertifiziert werden. Mit diesem Qualitätssiegel kann anschließend das Klimabüro Zertifikate in Höhe der erreichten Einsparleistung ausgeben.

Externes Planungsbüro: Wird mit der Planung, Umsetzung und dem Monitoring der Wiedervernässung beauftragt. Ebenso liegen Prognosen der erreichbaren Einsparleistung und Berechnung der Baseline beim externen Planungsbüro. Die Berechnungen und das Monitoring soll dabei nach den Vorgaben des PSC durchgeführt werden, da die Monitoringdaten ans PSC weitergegeben werden, welches daraus die THG-Einsparung ex-post berechnet. Die Daten werden als Teil der Projektdokumentation auch ans Klimabüro weitergegeben. Bei den ersten anlaufenden Projekten wird empfohlen, dass das Monitoring von Wissenschaftler*innen des PSC übernommen wird. Dabei wird die Methodik des Monitorings laufend geprüft und optimiert und in einen Monitoringleitfaden gefasst, der veröffentlicht und Planungsbüros zur Verfügung gestellt werden soll. Langfristig ist das Monitoring aber bei einem externen Planungsbüro zu sehen, welches mithilfe der methodischen Vorgaben des PSC dann diesen Teil der Verifizierung übernehmen kann.

Expertenberatung: Hier kann eine Firma zu Beratungszwecken beauftragt werden, beispielsweise die Firma FutureCamp. Sie war bereits vor Ende der Machbarkeitsstudie im Rahmen des Experten-Workshops und eines Folgetermins in das Projekt mit einbezogen. Sie

bietet eine enge Begleitung und Unterstützung beim Aufbau eines Zertifikatesystems an, vor allem in Fragen von Vertragsgestaltung, Projektdokumentation, Prüfschema zur Zusätzlichkeit und bei der Vermarktung. Sie sieht sich als strategischer Partner des Klimabüros. Es wurden allerdings noch keine vertragliche Vereinbarung getroffen.

Fördermittel: Die Thematik der Fördermittel ist auf zwei verschiedenen Ebenen zu betrachten. Einerseits die Förderung des Institutions-Aufbaus des Klimabüros und andererseits die Förderung der ausführenden Landwirt*innen. Dass Förderungen zum Aufbau des Klimabüros eingeworben werden, kann am Anfang eines Zertifizierungsprozesses notwendig sein. Gerade vor dem Hintergrund, dass Gelder aus dem Zertifikateverkauf aufgrund der ex-post-Zertifizierung erst später beim Klimabüro ankommen, jedoch ein gewisses Kapital zum Anstoßen der Maßnahmen nötig ist. Allerdings darf der Anteil an Zertifikaten, der nicht aus dem Verkauf, sondern aus der Förderung finanziert wurde, nicht als Zertifikat ausgegeben werden, da hier die Zusätzlichkeit nicht erfüllt ist. Dieser Umstand ist auch klar und transparent an mögliche Käufer zu vermitteln.

Die Kombination von Moor-Förderungen und Zertifikaten in der Landwirtschaft ist im Sinne der Zertifikate nur dann möglich, wenn der/die Landwirt*in glaubhaft machen kann, dass er/sie ohne den zweiten finanziellen Zufluss über die Zertifikate nicht in eine moorverträgliche Bewirtschaftung einsteigen würde oder könnte (Stichwort Hürden senken bzw. finanzielle Lücken füllen). Nur dann ist die Zusätzlichkeit der Zertifikate zu erfüllen. Hier besteht allerdings die Gefahr, durch diese Praxis andere Förderinstrumente auszuhebeln. Sie sollten sich aber eigentlich gegenseitig ergänzen. Vorstellbar wäre außerdem eine grundsätzliche Unterscheidung: Die Kombination von Zertifikaten, die eine gewisse Art der Bewirtschaftung honorieren mit anderen Förderungen, die beispielsweise eine einmalige Investition fördern, die für eine Umstellung auf moorschonende Bewirtschaftung nötig ist, ist vorstellbar. Typisches Beispiel für eine solche Investition ist die Anschaffung von nässeangepassten Maschinen oder die Erstellung eines hydrologischen Konzepts zur Wiedervernässung. Investitionen zur Umstellung werden nicht durch die Zertifikate vergütet, weshalb hier die Zusätzlichkeit besser argumentiert werden kann. Solange jedoch das hier wichtigste Förderprogramm, das Moorbauernprogramm, nicht ausformuliert ist, kann eine Kombinierbarkeit nicht endgültig geprüft werden.

Verarbeiter, z.B. Bauplattenhersteller / Auffaserungsfirmen: Spielen im Zertifizierungsprozess an sich keine Rolle. Sie sind hier aber erwähnt, weil es bereits Anfragen aus dieser Branche bezüglich der Zertifizierung gab. Sie dürfen sich die Klimaschutzleistung, die auf der Fläche, auf der ihre verwendeten Paludikulturen wachsen, nicht anrechnen. Diese wird per Zertifikat an den Geldgeber*in verkauft. Die Hersteller von Paludiprodukten können aber sehr wohl „den Klimaschutz“, der im Produkt steckt zu Werbezwecken nutzen. Ein Beispiel zur Veranschaulichung: Wird eine Bauplatte aus Paludikulturen hergestellt, kann der Hersteller mit dem verminderten CO₂-Fußabdruck der Paludi-Platte im Vergleich zu einer herkömmlichen Rigipsplatte werben. Diese trägt einen enormen CO₂-Rucksack mit sich, während in der Paludi-Platte sogar C in Form des Pflanzenmaterials gebunden wird. Generell gilt also: **Wird der Klimaschutz aus der Paludi-Fläche also Zertifikat verkauft, darf der / die Zertifikatskäufer*in mit dem Klimaschutz auf der Fläche werben** (vermiedene Emissionen durch Wiedervernässung), **der / die Verarbeiter*in der Paludikulturen mit dem Klimaschutz im fertigen Produkt** (Im Produkt gebundenes C im Vergleich zu herkömmlichen Produkt). Möchte der / die Verarbeiter*in selbst seinen (Firmen.) THG-Ausstoß ausgleichen, muss er Zertifikate erwerben.

3.3.2 Ablauf

Hier wird ein beispielhafter Ablauf mit vielen Variablen beschrieben. So können beispielsweise Bewirtschafter*in und Flächeneigentümer*in zwei oder ein und dieselbe Person sein.

Ein(e) Bewirtschafter*in kommt auf das Klimabüro zu oder wird von Klimabüro angesprochen und ein Beratungsgespräch kommt zu Stande. In diesem werden basierend auf den Wünschen und Vorschlägen des/der Bewirtschafter*in und mithilfe der Flächenpotentialkarten (Modul 2) geeignete Flächen und Maßnahmentypen und deren genaue Ausgestaltung besprochen. Ebenfalls wird ermittelt, welcher Zertifikatspreis mit den individuellen Voraussetzungen dieses Betriebs und dieser Fläche(n) ungefähr entsteht. Der Preis für den ein Zertifikat am Freiwilligen Markt verkauft wird, richtet sich danach, wie teuer die Maßnahmenumsetzung samt Zertifizierung und Monitoring etc. ist und der erreichten Einsparmenge. Das macht Maßnahmen, bei denen besonders viele THGs pro Hektar eingespart werden können besonders attraktiv. Dafür werden Betriebsdaten und Informationen zur geplanten Ausgestaltung der Maßnahme (z.B. Nassgrünland oder Paludikultur) benötigt, die vom Klimabüro mithilfe diese Abschätzungstools zu einem zu erwartenden Zertifikatspreis und dem Anteil für den Landbewirtschafter verrechnet werden. Dieses Verfahren ist als Abschätzung zu verstehen, hier kann noch nicht ein endgültiger Zertifikatspreis festgelegt werden. In diesem Szenario muss eine bestenfalls schriftliche Einverständniserklärung des Flächeneigentümers vorliegen, dass Wiedervernässungsmaßnahmen auf seiner Fläche stattfinden können. Hierfür ist ein gemeinsamer Termin von Bewirtschafter*in, Flächeneigentümer*in und dem Klimabüro ratsam. Eine Wiedervernässung sollte hier nicht als Wertverlust der Fläche gesehen werden, für die der/die Eigentümer*in entschädigt werden muss, sondern gerade auf landwirtschaftlich genutztem Moorboden als Bodenwert-Erhaltungsmaßnahme. Denn nur ein nasser Moorboden kann überhaupt langfristig bestehen und damit bewirtschaftet werden. Eine entwässerungsbasierte Landnutzung auf Moorboden ist aufgrund des Bodenschwunds endlich – entweder weil der Torf vollständig verschwindet und darunter eine nicht bewirtschaftbare Bodenschicht liegt oder weil die Bodenoberfläche irgendwann den Wasserstand in den Entwässerungsgraben erreicht. Diese dürfen laut bayerischer Gesetzgebung nicht mehr weiter vertieft werden, sodass ab diesem Zeitpunkt eine nasse Landbewirtschaftung erfolgen muss (siehe hierzu Endlichkeitskarten der LfL, Klimobay Abschlussbericht in prep.).

Zu der Frage, wer den Erlös aus den Zertifikaten erhält: Es wird ein Vorgehen parallel zu agrarpolitischen Förderprogrammen vorgeschlagen. Hier bekommt der/die Bewirtschafter*in die Förderungen und das, was er/sie auf der Fläche bewirtschaftet. Dafür wird ein festgelegter Pachtbetrag an den/die Flächeneigentümer gezahlt. Die Zertifikate können gewissermaßen ein Förderprogramm ersetzen oder wenn nötig ergänzen, sodass eine Umstellung auf eine moorschonende Bewirtschaftung möglich wird. Daher wird empfohlen, den kompletten Erlös, der aus dem Zertifikat (nach den nötigen Abschlägen für Governance) an den/die Bewirtschafter auszuzahlen.

Sollte der/die Flächeneigentümer*in nicht mit einer Wiedervernässung seiner/ihrer Fläche einverstanden sein, kann als Überzeugungshilfe z.B. über eine Aufteilung des Erlöses aus den Zertifikaten zwischen Bewirtschafter*in und Eigentümer*in individuell verhandelt werden. Solcherlei Abmachungen sind vor der endgültigen Aufnahme ins Zertifizierungsprogramm zu klären (evtl. auch unter beratender Mitwirkung des Klimabüros) und schriftlich festzuhalten. Hier ist eine Art Kombi-Erlös aus Ertrag und Zertifizierung (Ersatz für ein Förderprogramm) angedacht.

Handelt es sich bei Bewirtschafter*in und Eigentümer*in um ein und dieselbe Person, kann auch darüber nachgedacht werden, kein handfestes Feld-Produkt mehr zu produzieren, sondern nur noch Klimaschutz zu betreiben und diesen in Form von Zertifikaten zu verkaufen.

Diese Möglichkeit bietet sich hier, weil der/die Bewirtschafter*in keine Pacht an jemand anderen zahlen muss und die relativ teure Bewirtschaftung von nassen Flächen entfallen kann. So entsteht zwar kein Produkt mehr, das am Markt verkauft werden kann, diese Version ist beim Verkauf der Klimaschutzleistung als Zertifikat unter Umständen wirtschaftlicher als wenn die Fläche weiter bewirtschaftet wird. Dieses Berufsbild des *Klimawirts* ist für Flächeneigentümer eine echte Alternative.

Beim Verkauf der Zertifikate am freiwilligen Markt ist eine klare Kommunikation von Seiten des Klimabüros in gleich mehreren Punkten wichtig.

1. Der Contribution claim muss vermittelt werden.
2. Die zertifizierte Klimaschutzleistung wird für einen gewissen Zeitraum verkauft (z.B. Einbindung einer Tonne CO₂-Äq für 30 Jahre), da nur so lange ein Monitoring läuft auch die Wirksamkeit der Zertifikate sichergestellt werden kann. Nur für diesen Zeitraum wurde im Preis des Zertifikats ein Budget für Monitoring, Nachbesserungen, Puffer etc. miteingerechnet. Damit kann auch die Klimaschutzleistung nur für einen festgelegten Zeitraum sichergestellt und damit verkauft werden.

Falls eine Vorab-Finanzierung von Maßnahmen mit einer ex-post Zertifizierung erfolgt (wie bereits genauer beschrieben), kann das erste Zertifikat nach dem ersten Monitoring und dem ersten Nachweis einer Einsparleistung ausgegeben werden. Details wie der Abstand einzelner Monitoring-Einheiten wird im Projekt moorbenefits 2.0 im Rahmen eines Monitoringkonzepts erarbeitet.

3.4 Ausblick

Angefangen mit den vielversprechenden Moorschutzmaßnahmen kann ein regionales Zertifizierungssystem aufgebaut werden. Die hohen möglichen Einsparungen, das öffentliche Interesse und die zur Verfügung stehende Expertise des Peatland Science Centres machen Zertifikate aus Moorschutzprojekten zur favorisierten Wahl. Außerdem wurden in der Flächenpotentialanalyse für jede Ausprägung der drei Moorschutzmaßnahmen erhebliche Flächen identifiziert, die keinen Raumwiderstand aufweisen oder sogar explizit für eine Teilnahme an einem Maßnahmenprogramm geeignet wären. Der Aufbau eines regionalen Zertifizierungssystems sollte mit den Moorzertifikaten geschehen, wenn Abläufe sich eingespielt und bewährt haben, ist es vorstellbar das Portfolio um weitere Projekttypen wie Aufforstung oder Pflanzenkohlezertifikate zu erweitern.

Diese Studie ist eine Machbarkeitsstudie. Es lag nicht in ihrem Auftrag, konkrete Vertragsformulierungen auszuarbeiten oder ein Registrierungssystem, das für die nötige Transparenz sorgt, aufzubauen. Diese Dinge müssen also vor dem Start eines regionalen Zertifizierungsprogramms noch ergänzt werden – am besten durch das Hinzuziehen von Expert*innen der jeweiligen Bereiche. Hier sind mindestens juristische und organisatorische Fachexpertise notwendig, um ein Zertifizierungssystem aufzubauen, das rechtssicher ist und langfristig funktioniert.

Während der Erstellung dieser Machbarkeitsstudie liefen gleich mehrere (globale) Initiativen, die für Zertifikate-Käufer hochqualitative Zertifikate erkennbar machen wollen. Beispielhaft wird hier *The Integrity Carbon Council for the Voluntary Carbon Market (Integrity Council)* erläutert. Das *Integrity Council* ist ein unabhängiges Gremium, das unter Mitwirkung vieler weiterer Organisationen ein Mittel zur Identifizierung von Kohlenstoffzertifikaten mit hoher

Integrität entwickelt hat, die eine echte, überprüfbare Klimawirkung erzielen und auf den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen und bewährten Verfahren basieren. Dieses Mittel sind die sog. *Core Carbon Principles (CCPs)*. Sie wurden im Rahmen eines offenen Dialogs mit Carbon-Crediting-Programmen und anderen Interessengruppen entwickelt und stehen online zur freien Verfügung. Sie sollen Käufern von Zertifikaten auf dem Freiwilligen Markt die Identifizierung hochwertiger Emissionsgutschriften ermöglichen. (ICVCM 2023)

Das *Integrity Council* ist dabei bei weitem nicht die einzige Initiative. Programme mit ähnlichen Zielen sind beispielsweise *Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets*, *Voluntary Carbon Markets Integrity Initiative*, *Nordic Dialog on Voluntary Compensation* und *Carbon Credit Quality Initiative*. Die schiere Vielzahl dieser Programme zeigt, dass die Qualität der freiwilligen Zertifikate immer wichtiger wird. Es soll auch den Käufern am Ende der Zertifizierungskette möglich sein, nachzuvollziehen, wie gut oder schlecht gemacht die ihm zur Auswahl stehenden Zertifikate sind. Es ist zu erwarten, dass sich Käufer von Kohlenstoffzertifikaten auf dem Freiwilligen Markt zukünftig sehr einfach selbst über die Qualität der ihnen zur Auswahl stehenden Zertifikate informieren können – und das nicht nur aufgrund der Aussagen der Anbieter solcher Zertifikate, sondern mithilfe unabhängiger Leitfäden wie den *CCPs*. Es ist folglich auch zu erwarten, dass Zertifikate, die nach den sich hier entwickelnden Prinzipien als hochqualitativ eingestuft werden, besser zu verkaufen sind.

Neben diesen vielen privaten Initiativen gibt es auch von politischer Seite her Ambitionen, Kohlenstoffzertifikate einer gewissen Qualitätskontrolle zu unterziehen. Die EU-Kommission hat am 30.11.2022 ein erstes Papier vorgestellt, in dem Rahmenbedingungen für hoch qualitative Kohlenstoffzertifikate auf dem europäischen Freiwilligen Markt gelten sollen. Demzufolge sollte EU-weit die Erhöhung der Transparenz und Verbesserung der Wettbewerbsbedingungen auf freiwilligen CO₂-Märkten ermöglicht werden. Die Rolle der EU sollte laut Befragung von Interessenträgern darin bestehen, umfassende Qualitätsanforderungen für den CO₂-Abbau festzulegen, um Qualitätskriterien wie eine korrekte Quantifizierung des Kohlenstoffabbaus, Zusätzlichkeit, Permanenz und ökologische Nachhaltigkeit zu gewährleisten. (EC 2022)

All dies zeigt noch einmal auf, wie wichtig eine Einhaltung der wissenschaftlichen Kriterien bei der Generierung von Kohlenstoffzertifikaten ist. Die Rahmenbedingungen hierfür wurden durch diese Machbarkeitsstudie abgesteckt. Unter diesen Bedingungen generierte CO₂-regio-Zertifikate können sich zu den hoch integren Zertifikaten zählen und haben dank ihres regionalen Fokus viele weitere Vorteile. Doch nur wenn diese Rahmenbedingungen eingehalten werden, haben die in CO₂-regio erstellten Zertifikate eine Zukunft.

4 Danksagung

Danke an dieser Stelle an alle, die zum Gelingen dieser Studie beigetragen haben. Der erste Dank geht an das gesamte CO₂-regio Team für die enge Zusammenarbeit und die leidenschaftlichen und wertvollen Diskussionen über Inhalte. Weiterhin vielen Dank an alle, die ihre Expertise für diese Machbarkeitsstudie zur Verfügung gestellt haben. Ganz besonders meiner Kollegin Dr. Meike Lemmer, die ihr Fachwissen zu Kohlenstoffzertifikaten in zahlreichen Diskussionen und Gesprächen beigesteuert hat und so zu einer wertvollen Diskussionspartnerin zum Thema Kohlenstoff-Zertifikate wurde. Namentlich möchte ich noch der angefragten „Expertenrunde“ danken für ihre teilweise sogar wiederholte Bereitschaft, sich mit unseren Inhalten auseinanderzusetzen und hilfreiche Kommentare und Diskussionen beizutragen: Prof. Dr. Claudia Kammann (Hochschule Geisenheim), Dr. Martin Wiesmeier (TUM), Prof. Dr. Bernhard Schauburger (HSWT), Michaela Primbs (HSWT), Christoph Schulz (LWF), Anne Schöps (Flächenagentur Brandenburg), Prof. Dr. Vera Luthardt (HNEE), Prof. Dr. Christian Zang (HSWT), Dr. Roland Geres und Dr. Sebastian Lenz (FutureCamp). Vielen Dank, dass Sie ihr Fachwissen in diese interdisziplinäre Runde eingebracht haben!

5 Literaturverzeichnis

Aertsens J., De Nocker L., Gobin A. (2013): Valuing the carbon sequestration potential for European agriculture. *Land Use Policy* 31, 584–594.

Allianz für Entwicklung und Klima / AEK c/o Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (Hrsg.): Vermeidung von Doppelzählung und Unterstützung der Gaststaaten im freiwilligen Markt. Bonn und Eschborn, Februar 2021.

Ausschuss für Umwelt und Verbraucherschutz im Bayerischen Landtag / Umweltausschuss: Protokoll der Expertenanhörung „Klimaschutz durch Moore endlich voranbringen – Anhörung zur Moorschutzstrategie der Staatsregierung“ 56. Sitzung vom 24.02.2022.

Austrian Standard Institute: ÖNORM S 2211:2016-11 Pflanzenkohle. Ausgangsmaterialien, Qualitätsanforderungen und Untersuchungsmethoden. 2016.

Bambrick Amanda, Whalen Joann, Cogliastro Alain, Bradley Robert (2010): Spatial heterogeneity of soil organic carbon in tree-based intercropping systems in Quebec and Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 79(3):343-353; DOI:10.1007/s10457-010-9305-z

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten / StMELF: Erstaufforstung Beantragung einer Erlaubnis. Stand: 28.04.2022. URL zuletzt abgerufen am 12.04.2023 <https://www.freistaat.bayern/dokumente/leistung/843647111421>

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten / StMELF: Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM). zuletzt abgerufen am 24.02.2023 <https://www.stmelf.bayern.de/kulap>

Bayerisches Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr / StMB (Hrsg.): Hinweise des bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr. Bau- und Landesplanerische Behandlung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen. Stand 10.02.2021

Bayerischen Staatsregierung (Hrsg.): Bericht aus der Kabinettsitzung vom 28. Juni 2022. URL zuletzt abgerufen am 26.09.2022 <https://www.bayern.de/bericht-aus-der-kabinettsitzung-vom-28-juni-2022/>

Internetauftritt der Firma **BIO Bioenergiesysteme GmbH** URL: <https://www.bios-bioenergy.at/index.php/de/technologie-info/biomassepyrolyse> zuletzt abgerufen am 27.04.2022

Bonn A, Berghöfer A, Couwenberg J, Drösler M, Jensen R, Kantelhardt J, Luthard V, Permien T, Röder N, Schaller L, Schweppe-Kraft B, Tanneberger F, Trepel M, Wichmann S (2015) Klimaschutz durch Wiedervernässung von kohlenstoffreichen Böden (S. 124-147). In: *Naturkapital Deutschland - TEEB DE. Naturkapital und Klimapolitik - Synergien und Konflikte.* (Langfassung. Hrsg. von Volkmar Hartje, Henry Wüstemann und Aletta Bonn). Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ. Berlin, Leipzig.

Budai, A., Zimmerman, A.R., Cowie, A.L., Webber, J.B.W., Singh, B.P., Glaser, B., Masiello, C.A., Andersson, D., Shields, F., Lehmann, J., Camps Arbestain, M., Williams, M., Sohi, S., Joseph, S., 2013. Biochar carbon stability test method: An assessment of methods to determine biochar carbon stability. <https://www.biochar-international.org/wp->

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten / BMEL (Hrsg.): Den Wandel gestalten! Zusammenfassung zum GAP-Strategieplan 2023 – 2027 (Stand: 21. Februar 2022) URL: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/EU-Agrarpolitik-Foerderung/gap-strategieplan-kurzueberblick.pdf?__blob=publicationFile&v=2 zuletzt abgerufen am 10.06.2022

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz / BMWK (Hrsg.): Carbon Mechanisms. Marktbasierte Instrumente im Klimaschutz. URL zuletzt abgerufen am 26.09.2022 <https://www.carbon-mechanisms.de/>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz / BMUV: Aktionsprogramm natürlicher Klimaschutz. Eckpunktepapier, 29.03.2022 (BMUV 2022a)
URL: <https://www.bmuv.de/download/dl-aktionsprogramm-natuerlicher-klimaschutz>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz / BMUV: Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist. Abschnitt 2, §3, (2). URL zuletzt abgerufen am 26.09.2022 (BMUV 2022b) <https://www.bmuv.de/gesetz/bundes-klimaschutzgesetz>

Bundestag / BT (Hrsg.) Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. 11.10.2019

Camps-Arbestain, M., Amonette, J.E., Singh, B., Wang, T., Schmidt, H.-P., 2015. A biochar classification system and associated test methods, in: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management. Routledge, London, pp. 165–194. <https://doi.org/10.4324/9780203762264>

Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Beral, C., Barthes, B.G., Dupraz, C., Durand, C., Kouakoua, E., Chenu, C., 2017. Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. Agric. Ecosyst. Environ. 236, 243-255.

Cardinael, R., Umulisa, V., Toudert, A., Olivier, A., Bockel, L., Bernoux, M., 2018. Revisiting IPCC Tier 1 coefficients for soil organic and biomass carbon storage in agroforestry systems (vol 13, 124020, 2018). Environ. Res. Lett. 14(3), 1.

Stellungnahm **DeFAF** vom 16.03.2022 „Bedenken zum deutschen GAP-Strategieplan in Bezug auf die Agroforstwirtschaft“ abrufbar unter: <https://agroforst-info.de/2022-03-18/>
Zuletzt abgerufen am 10.06.2022 (DeFAF 2022)

De Stefano, A., Jacobson, M.G., 2018. Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a meta-analysis. Agrofor. Syst. 92(2), 285-299.

Delegierte Verordnung (EU) 2021/2088 der Kommission vom 7.7.2021 zur Änderung der Anhänge II, III und IV der Verordnung (EU) 2019/1009 des Europäischen Parlaments und des Rates zwecks Aufnahme von durch Pyrolyse oder Vergasung gewonnenen Materialien als Komponentenmaterialkategorie in EU-Düngeprodukten

Dieter, Matthias und Elsasser, Peter (2002): Carbon Stocks and Carbon Stock Changes in the Tree Biomass of German's Forests. Forstw. Cbl. 121. S. 195–210.

Drösler Matthias, Annette Freibauer, Wolfram Adelman, Jürgen Augustin, Lindsey Bergman, Colja Beyer, Bogdan Chojnicki, Christoph Förster, Michael Giebels, Stefan Görlitz, Heinrich

Höper, Jochen Kantelhardt, Horst Liebersbach, Maria Hahn-Schöfl, Merten Minke, Ulrich Petschow, Jörg Pfadenhauer, Lena Schaller, Philipp Schägner, Michael Sommer, Angelika Thuille, Marc Wehrhan.: Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis. Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Klimaschutz - Moornutzungsstrategien“ 2006-2010. Braunschweig, Berlin, Freising, Jena, Müncheberg, Wien 04/2011.

Drösler, Matthias: Trace gas exchange and climatic relevance of bog ecosystems, southern Germany. Weihenstephan, 2005 (Dissertation)

Drösler Matthias, Wolters Stephan, Tänzler Dennis, Theiler Lena: Entwicklung von Konzepten für einen nationalen Klimaschutzfonds zur Renaturierung von Mooren. In: Umweltbundesamt / UBA (Hrsg): Entwicklung von Konzepten für einen nationalen Klimaschutzfonds zur Renaturierung von Mooren, Dessau-Roßlau, 2013.

Drösler Matthias, Eickenscheidt Tim et al.: MOORuse. Paludikulturen für Niedermoorböden in Bayern - Etablierung, Klimarelevanz & Umwelteffekte, Verwertungsmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit. 4. und 5. Zwischenbericht, unveröffentlicht. 2020, 2021. (Drösler et al. 2021/2022)

Stellungnahme Prof. Dr. Matthias **Drösler** zur Anhörung von Sachverständigen im Ausschuss für Umwelt und Verbraucherschutz des bayerischen Landtags am 24.02.2022 zum Thema "Klimaschutz durch Moore endlich voranbringen – Anhörung zur Moorschutzstrategie der Staatsregierung“ – unveröffentlicht (Drösler 2022)

Drösler Matthias, Kraut Michael: Klimaschutz durch Moorschutz – im Klimaprogramm Bayern (KLIP 2020/2050). – ANLiegen Natur 42(1): 31–38, Laufen 2020; URL zuletzt abgerufen am 26.09.2022: www.anl.bayern.de/publikationen

DUENE e.V. (Hrsg.): Erlenaufforstung auf wiedervernässten Niedermooren. ALNUS-Leitfaden. 3. Auflage. Greifswald, 2019 und Schwarz-Erle. Forstwirtschaft auf nassen Mooren. Flyer des Greifswald Moor Centrums.

EBC (2020): Zertifizierung des C-Senken Potentials von Pflanzenkohle, Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland. (<http://european-biochar.org>). Version 2.1D vom 25. Januar 2021. Autoren: Hans-Peter-Schmidt, Claudia Kammann, Nikolas Hagemann.

Elsasser P (2008) Neuwaldbildung durch Sukzession: Flächenpotentiale, Hindernisse, Realisierungschancen. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, 2008/5; 28 p.; Hamburg

Embrén B: Planting Urban Trees with Biochar, the Biochar Journal (tBJ), 2016, Arbaz, Switzerland. ISSN 2297-1114, www.biochar-journal.org/en/ct/77, pp 44-47

energiekonsens – die Klimaschützer (Hrsg.): CO₂-Kompensation: Anbieter-Übersicht. Klimafreundliches Wirtschaften. Bremen, ohne Datum.

European Biochar Industry Consortium e.V. / EBI (Hrsg.): Mit Pflanzenkohle basierten Kohlenstoffsenken dem Klimawandel entgegenwirken. Freiburg, 2020.

European Commission / EC (Hrsg.) (2019): The European Green Deal. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM (2019) 640 final. Brussels.

European Commission / EC (Hrsg.) (2021): Sustainable Carbon Cycles. Factsheet. ISBN 978-92-76-45363-5 doi:10.2775/57117 ; URL:

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_21_6692; zuletzt abgerufen 24.10.2022

European Commission / EC, Directorate-General for Climate Action, Radley, G., Keenleyside, C., Freluh-Larsen, A., et al.: Technical guidance handbook. Setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU. Executive summary (deutsche Version: Technischer Leitfaden. Einrichtung und Umsetzung ergebnisbasierter Programme für eine klimaeffiziente Landwirtschaft in der EU. Zusammenfassung“), Publications Office of the European Union 2021b. URL zuletzt abgerufen 10.03.2022 <https://data.europa.eu/doi/10.2834/12087>:

European Commission / EC, Directorate-General for Climate Action, Radley, G., Keenleyside, C., Freluh-Larsen, A., et al., *Setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU : technical guidance handbook*, Publications Office of the European Union, 2021c, <https://data.europa.eu/doi/10.2834/056153> zuletzt abgerufen 30.03.2023

European Commission / EC Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing a Union certification framework for carbon removals. Brüssel 30.11.2022

Fachverband Pflanzkohle e.V. / FVPK (Hrsg.): Leitlinien des Fachverbands Pflanzkohle e.V. (FVPK) zur Bewertung und Anerkennung von Zertifizierungssystemen für pflanzkohlebasierte Kohlenstoffsensken. 2021.

Feliciano, D. Ledo, A., Hillier, J., Nayak D.R. (2018): Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? Agriculture, Ecosystems & Environment, Volume 254, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.032> (zuletzt abgerufen am 01.06.2022).

Fischer, Tin und Knuth, Hannah: Der Klimabetrug. In: DIE ZEIT No 4 vom 19.01.2023, Seite 19ff.

Freibauer Anette, Wiesmeier Martin: Humusaufbau – was geht wirklich? Freising, 2021.

FutureCamp: Möglichkeiten der Anerkennung von Klimaschutzleistungen in Forstbetrieben im Rahmen des Projekts CO-2-OPT. München, 2018.

Gaudig, Greta: Sphagnum growth and its perspectives for Sphagnum farming. Dissertation, Greifswald 2019.

Gifford, Lauren: “You can’t value what you can’t measure”: a critical look at forest carbon accounting. In: Climate Change (2020) 161, S. 291–306 (2020); URL: <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02653-1>.

Gold Standard (2021): Integrity for scale: Aligning Gold Standard-certified projects with the Paris agreement.

Gold Standard (2022): Gold Standard for the Global Goals: GHG Emissions Reduction & Sequestration Product Requirements. 2.1. Gold Standard for the Global Goals, Genf

Göttlich, Karlhans (Hrsg.): Moor-und Torfkunde, 3. Auflage, 529 S., E. Schweizerbart. Stuttgart, 1990.

Greifswald Moor Centrum / GMC (Hrsg.): Informationspapier des Greifswald Moor Centrum zu Photovoltaik-Anlagen auf Moorböden. Greifswald, März 2022.

Greifswald Moor Centrum / GMC (Hrsg.): Flyer Wasserbüffel. Landwirtschaft auf nassen Mooren. Ohne Datum (GMC ohne Datum)

Gu, J., Yuan, M., Liu, J., Hao, Y., Zhou, Y., Qu, D., Yang, X., 2017. Trade-off between soil organic carbon sequestration and nitrous oxide emissions from winter wheat-summer maize rotations: Implications of a 25-year fertilization experiment in Northwestern China. *Science of The Total Environment* 595, 371-379.

Guenet, B.; Gabrielle, B.; Chenu, C. et al.: Can N₂O emissions offset the benefits from soil organic carbon storage? *Global change biology*, 2021;27:237-356. <https://doi.org/10.1111/gcb.15342>

Hagemann, N: Nutzung von Pflanzenkohle: Vorschriften, Zertifizierung, Praxiseinsatz. in: Thomas Nussbaumer (Hrsg.): 16. Holzenergie-Symposium: Holzenergie für Wirtschaft und Klima und Innovationen zu Wärme, Strom und Pflanzenkohle. Tagung an der ETH Zürich am 11.09.2020, Verenum AG Zürich 2020

Hamidov A, Helming K, Bellocchi G, et al. Impacts of climate change adaptation options on soil functions: A review of European case-studies. *Land DegradDev.* 2018;29:2378–2389. <https://doi.org/10.1002/ldr.3006>

Hansen K, Rosenqvist L, Vesterdal L, Gundersen P (2007): Nitrate leaching from three afforestation chronosequences on former arable land in Denmark. *Global Change Biology*, 13: 1250-1264

Harms, Gesa: Neue Einkommensquelle CO₂-Zertifikat? Interview mit PD Dr. Axel Don (Thünen-Institut für Agrarklimaschutz) vom 17.06.2021 in: top agrar online; <https://www.topagrar.com/oekolandbau/news/neue-einkommensquelle-co2-zertifikat-12592137.html> zuletzt abgerufen am 29.03.2023

Hübner Rico, Christoph A. Meixner, Christopher Morhart, Ernst Kürsten, Georg Eysel-Zahl, Norbert Lamersdorf, Penka Tsonkova, Tobias Peschel, Martin Wiesmeier, Christian Böhm: Kohlenstoffzertifizierung in der Agroforstwirtschaft?! Einschätzung und Empfehlungen. In: Dr. Leonie Göbel - Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft (DeFAF) e.V. (Hrsg.): *Landwirtschaft anders denken. Tagungsband mit Beiträgen des 8. Forums Agroforstsysteme.* 29.09. bis 30.09.2021 in Bernburg (Saale).

Hübner, Rico: Schriftliche Beantwortung der Fragen zum 8. Forum Agroforstsysteme 29.09. bis 30.09.2021 in Bernburg (Saale). URL: <https://agroforst-info.de/nachlese-8-forum-agroforstsysteme/> (Hübner 2021b)

Hübner Rico, Böhm Christian, Eysel-Zahl Georg, Kudlich Wolfram, Kürsten Ernst, Lamersdorf Norbert, Meixner Christoph A, Morhart Christopher, Peschel Tobias, Tsonkova Penka, Wiesmeier Martin (2022): Kohlenstoffzertifizierung in der Agroforstwirtschaft?! Potentiale, Erfassung und Handlungsempfehlungen. In: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.): *Berichte über Landwirtschaft. Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft.* Band 100, Ausgabe 2 ISSN 2196-5099; 10. August 2022.

IfLS Institut für Ländliche Strukturforchung an der Goethe-Universität Frankfurt am Main (Hrsg.); Heike Nitsch, Jörg Schramek: Grundlagen für eine Moorschutzstrategie der Bundesregierung. Synopse der Ergebnisse aus dem gleichnamigen F+E-Vorhaben (FKZ: 3519 800 300). Frankfurt am Main, 2020.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2019). Appendix 4: Method for estimating the change in mineral soil organic carbon stocks from biochar amendments: basis for future methodological development, in: Buendia *et al.*: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines

for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch02_Ap4_Biochar.pdf

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2021): Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)].

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2022): Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-33, doi:10.1017/9781009325844.001.

Jacobs, A., Heidecke, C., Jumshudzade, Z., Osterburg, B., Paulsen, H. M. & Poeplau, C. (2020): Soil organic carbon certificates – potential and limitations for private and public climate action. *Landbauforschung-Journal of Sustainable and Organic Agricultural Systems*, 70, 31-35, <https://doi.org/10.3220/Lbf1605778405000>.

Jurasinski Gerald, Byrne Kenneth, Chojnicki Bogdan H., Christiansen Jesper Riis, Huth Vytas, Joosten Hans, Juszczak Radosław, Juutinen Sari, Kasimir Åsa, Klemedtsson Leif, Kotowski Wiktor, Kull Ain, Lamentowicz Mariusz, Lindgren Amelie, Linkevičienė Rita, Lohila Annalea, Mander Ülo, Manton Michael, Minkinen Kari, Peters Jan, Renou-Wilson Florence, Sendžikaitė Jūratė, Šimanauskienė Rasa, Tanneberger Franziska, van Diggelen Rudy, Vasander Harri, Wilson David, Zak Dominik H., Couwenberg John (2023): Active afforestation of drained peatlands is not a viable option under the EU Nature Restoration Law. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7831173> 14.04.2023

Kammann, Claudia: Chancen und Risiken von Pflanzenkohle. *Ithaka Journal* 1/2011:98-195 (2011) www.ithaka-journal.net

Kammann, Claudia: The carbon sink potential of biochar. A multi-disciplinary approach towards C-Sink material use. Vortrag Prof. Dr. Claudia Kammann 05.11.2020, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=divablqWoU0> zuletzt abgerufen 01.02.2022

Kanzler, M., Böhm, C., Domin, T.: Vergleich von Agroforstwirtschaft und konventioneller Ackerbewirtschaftung bezüglich Energiebilanz und bewirtschaftungsbedingter Treibhausgasemission am Beispiel des Landwirtschaftsbetriebes Domin in Südbrandenburg. Loseblatt #8, Loseblattsammlung AUFWERTEN, Cottbus 2020.

Kay, S., A. Graves et al. (2019): Agroforestry is paying off. Economic evaluation of ecosystem services in European landscapes with and without agroforestry systems. *Ecosystem Services*, Bd. 36, S. 100896.

Kern, J. & Don, A.(2018) Emissionen von klimarelevanten Gasen aus Agrarholzpflanzungen. In: Veste, M. & Böhm, C. (Hrsg.): *Agrarholz – Schnellwachsende Bäume in der Landwirtschaft*. URL (zuletzt abgerufen am 25.05.2022) https://doi.org/10.1007/978-3-662-49931-3_10

Klatt J, Schlaipfer M, Meyer H, Brehier C, Friedrich S, Gerner A, Tarantik M, Chiogna G, Disse M, Frischhut M, Machl T, Conze M, Herr M, Kotzi J, Kühnel A, Reifschneider L, Wlete J, Kuhn

G, Freibauer A, Huber García V, Ramsauer T, Wood R, Chen Y, Kuch V, Marzahn P, Ludwig R, Drösler M. Klimaschutz und Anpassungspotentiale in Mooren Bayerns. Abschlussbereich (Laufzeit 2019-2022) in prep.

Klein, D. & Schulze, C.: Kohlenstoffspeicherung von Bäumen. Herausgeber: Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft (LWF); Merkblatt 27 der Bayerischen Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft. Juli 2011.

Kollmuss, Anja (SEI-US), Zink, Helge (Tricorona), Polycarp, Clifford (SEI-US): Making Sense of the Voluntary Carbon Market: A Comparison of Carbon Offset Standards, März 2008.

Kuzyakov, Y., Bogomolova, I., Glaser, B., 2014. Biochar stability in soil: Decomposition during eight years and transformation as assessed by compound-specific ¹⁴C analysis. *Soil Biol. Biochem.* 70, 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.12.021>

Vortrag Dr. Theresa **Lehmair** (LfU): Photovoltaik auf Moorstandorten am Beispiel des Bayerischen Donaumoos. Gehalten am 8.12.2021 (Vortrag Lehmair 2021)

Lehmann, J., Abiven, S., Kleber, M., Pan, G., Singh, B.P., Sohi, S.P., Zimmerman, A.R., 2015. Persistence of bio-char in soil, in: Lehmann, Johannes, Joseph, S.D. (Eds.), *Biochar for Environmental Management*. Routledge, London, pp. 235–299. <https://doi.org/10.4324/9780203762264>

Maurer & Stäger AG: Rechtlicher Umgang mit Pflanzenkohle. Gutachten im Auftrag des BAFU. Zürich, 15.02.2021

Mokany, K., Raison, R.J. and Prokushkin, A.S. (2006) Critical Analysis of Root: Shoot Ratios in Terrestrial Biomes. *Global Change Biology*, 12, 84-96. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001043.x>

Monahan, K: After COP27, the private sector weighs in on carbon market rules. Online article published on 24.11.2022.

Nägel, Josef: CO₂-Neutralität - Mythos und Realität. 29.12.2020.

Niedersächsische Landesforsten (2008) Waldbewertungsrichtlinien. Downloadbereich Waldbewertung http://www.landesforsten.de/fileadmin/doku/Produkte_u_Service/Waldbewertung/Tab_14_Alterswertfaktoren_7.2009.pdf, 14. + 15. August 2012

Offenthaler, I.; Hochbichler, E. (2006): Estimation of root biomass of Austrian forest tree species. *Austrian Journal of Forest Science* 1/2, S. 65–86.

Olson, K.R., (2013): Soil organic carbon sequestration, storage, retention and loss in U.S. croplands: Issues paper for protocol development. *Geoderma* 201-206.

Olsson, L., H. Barbosa, S. Bhadwal, A. Cowie, K. Delusca, D. Flores-Renteria, K. Hermans, E. Jobbagy, W. Kurz, D. Li, D.J. Sonwa, L. Stringer, 2019: Land Degradation. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]

Osterburg B, Rüter S, Freibauer A, Witte T de, Elsasser P, Kätsch S, Leischner B, Paulsen HM, Rock J, Röder N, Sanders J, Schweinle J, Steuk J, Stichnothe H, Stümer W, Welling J,

Wolff A (2013) Handlungsoptionen für den Klimaschutz in der deutschen Agrar- und Forstwirtschaft. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 158 p, Thünen Rep 11.

Pretzsch Hans (2019): Grundlagen der Waldwachstumsforschung. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58155-1>

Reyer, C., Guericke, M.; Ibisch, P.: Climate change mitigation via afforestation, reforestation and deforestation avoidance: and what about adaption to environmental change? In: New forests (2009) 38: 15-39. DOI 10.1007/s11056-008-9129-0

Riedel Thomas, Stürmer Wolfgang, Hennig Petra, Dunger Karsten, Bolte Andreas: Wälder in Deutschland sind eine wichtige Kohlenstoffsene. In AFZ-DerWald 14/2019. S 14-18.

Rüter, Sebastian; Werner, Frank; Forsell, Nicklas; Prins, Christopher; Vial, Estelle; Levet, Anne-Laure (2016): ClimWood2030 "Climate benefits of material substitution by forest biomass and harvested wood products: Perspective 2030". Final report. Hg. v. Johann Heinrich von Thünen-Institut. Braunschweig (Thünen Report, 42).

Schaller, L., Kantelhardt, J. (2011): Moore aus ökonomischer Sicht, Moore im Klimawandel - Moorschutz als Chance für Klima, Biologische Vielfalt und Wasserhaushalt, APRIL 5-7, 2011, Augsburg, GERMANY

Schär, C. et al. (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heat waves. Nature 427: 332-336.

Schmidt Hans-Peter, Nikolas Hagemann, Fredy Abächerli, Jens Leifeld, Thomas Bucheli: Pflanzenkohle in der Landwirtschaft. Hintergründe zur Düngerzulassung und Potentialabklärung für die Schaffung von Kohlenstoff-Senken. In. Agroscope Science Nr. 112 / 2021. Zürich, 2021.

Schulz Christoph, Weber-Blaschke Gabriele: Kontrovers diskutiert: Der Klimaschutzbeitrag der Forst- und Holzwirtschaft. Wie kommt es zu unterschiedlichen Argumentationslinien und Widersprüchen? In: Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.): LWF aktuell, Freising 2021, Ausgabe 1/2021, 19-22.

Schulz, Christoph und Klein, Daniel – Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft - LWF (Hrsg.): Kohlenstoffspeicherung von Bäumen. Merkblatt 27 der Bayerischen Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft. Juli 2011.

Schulze, Ernst Detlef; Frör, Oliver; Hessenmöller, Dominik (2016): Externe Ökologische Folgen von Flächenstilllegungen im Wald. In AFZ – Der Wald 15/2016 S.24-26.

Schumann Anja (ARGE Donaumoos): Weidetiere in nassen Mooren? Vortrag beim Moorschutzsymposium Rosenheim am 20.09.2022

SER / Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International.

Shi, L.L., Feng, W.T., Xu, J.C., Kuzyakov, Y., 2018. Agroforestry systems: Meta-analysis of soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials. Land Degrad. Dev. 29(11), 3886-3897.

Smith, P., M. Bustamante, H. Ahammad, H. Clark, H. Dong, E.A. Elsidig, H. Haberl, R. Harper, J. House, M. Jafari, O. Masera, C. Mbow, N.H. Ravindranath, C.W. Rice, C. Robledo Abad, A. Romanovskaya, F. Sperling, and F. Tubiello, (2014): Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of*

Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Smith, P., Adams, J., Beerling, D. J., Beringer, T., Calvin, K. V., Fuss, S., Griscom, B., Hagemann, N., Kammann, C., Kraxner, F., Minx, J. C., Popp, A., Renforth, P., Vicente, J. L. V. und Keesstra, S. (2019a): Land-management options for greenhouse gas removal and their impacts on ecosystem services and the Sustainable Development Goals. *Annual Review of Environment and Resources* 44 (1), 255–286

Smith, P., Nkem, J., Calvin, K., Campbell, D., Cherubini, F., Grassi, G., Korotkov, V., Hoang, A. L., Lwasa, S., McElwee, P., Nkonya, E., Saigusa, N., Soussana, J.-F. und Taboada, M. A. (2019b): Chapter 6: Interlinkages between desertification, land degradation, food security and greenhouse gas fluxes: synergies, trade-offs and integrated response options. In: Shukla, P. R., Skea, J., Buendia, E. C., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., Diemen, R. v., Ferrat, M., Haughey, E., Luz, S., Neogi, S., Pathak, M., Petzold, J., Pereira, J. P., Vyas, P., Huntley, E., Kis- sick, K., Belkacemi, M. und Malley, J. (Hrsg.): *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 551–672.

Soil Association Limited: Exploring opportunities for an Agroforestry Carbon Code. 15.08.2022 URL zuletzt abgerufen am 13.04.2023 <https://www.soilassociation.org/farmers-growers/farming-news/2022/august/15/exploring-opportunities-for-an-agroforestry-carbon-code/>

Tiemeyer Bärbel, Michel Bechtold, Susanne Belting, Annette Freibauer, Christoph Förster, Elisabeth Schubert, Ullrich Dettmann, Stefan Frank, Daniel Fuchs, Jörg Gelbrecht, Beate Jeuther, Andreas Laggner, Eva Rosinski, Katharina Leiber-Sauheitl, Jens Sachteleben, Dominik Zak und Matthias Drösler; Bundesamt für Naturschutz / BfN (Hrsg.): *Moorschutz in Deutschland - Optimierung des Moormanagements in Hinblick auf den Schutz der Biodiversität und der Ökosystemleistungen. Bewertungsinstrumente und Erhebung von Indikatoren*. Bonn, 2017.

Titz, Sven: Klimaneutral, CO₂-neutral oder treibhausgasneutral: Politik und Wirtschaft treiben mit zentralen Begriffen Schindluder. *Neue Züricher Zeitung*, 07.-08.2021. URL zuletzt abgerufen am 26.09.2022 <https://www.nzz.ch/wissenschaft/klimaneutral-co2-neutral-treibhausgasneutral-was-heisst-das-ld.1632955>

Thamo, Tas und Panell, David (2016): Challenges in developing an effective policy for soil C-sequestration. DOI:[10.1080/14693062.2015.1075372](https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1075372)

The Integrity Carbon Council on the Voluntary Carbon Market / ICVCM: URL <https://icvcm.org/about-the-integrity-council/> zuletzt abgerufen am 27.04.2023

Thünen-Institut (Hrg.): Thünen-Faktencheck: Klimaschutz durch CO₂-Zertifikate für Humus. URL: <https://thuenen.pageflow.io/klimaschutz-durch-co-zertifikate-fur-humus#29124> zuletzt abgerufen am 30.03.2022 (Thünen-Faktencheck ohne Datum)

Thürig, Esther & Kaufmann, Edgar: Waldbewirtschaftung zur Senkenerhöhung? Mögliche Konfliktfelder und Synergien. In: *Schweiz Z Forstwes* 159 (2008) 9: 281-287

Tsonkova, P., Böhm, C.: CO₂-Bindung durch Agroforst-Gehölze als Beitrag zum Klimaschutz. Loseblatt # 6, Loseblattsammlung AUFWERTEN, Cottbus. 2020.

Umweltbundesamt / UBA (Hrsg.): Nationales THG-Inventar. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2017 – Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2015, Umweltbundesamt, UNFCCC–Submission, 2017. S 65ff

Umweltbundesamt / UBA (Hrsg.): Freiwillige CO₂-Kompensation durch Klimaschutzprojekte. Dessau-Roßlau, 2018. Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

United Nations Framework Convention on Climate Change / UNFCCC: What is the CDM? URL: <https://cdm.unfccc.int/about/index.html>, zuletzt abgerufen 07.03.2022 (UNFCCC ohne Datum)

VERRA (Hrsg.): VCS Policy Brief; Double Counting: Clarification of Rules. 01.02.2012.

VERRA (Hrsg.): Verified Carbon Standard (VCS) 4.1; 22. April 2021

WBAE und WBW - Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz und Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL (2016): Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Gutachten. Berlin

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2020): Landwende im Anthropozän: Von der Konkurrenz zur Integration. Berlin: WBGU.

Wichtmann, Wendelin et al. (Hrsg.): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore. Klimaschutz – Biodiversität – regionale Wertschöpfung. Schweizerbart, Stuttgart, 2016.

Wiesmeier, M, Mayer, S, Paul, C, Helming, K, Don, A, Franko, U, Steffens, M, Kögel-Knabner, I: CO₂-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen. In: BonaRes-Zentrum für Bodenforschung c/o Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Department Bodensystemforschung (Hrsg.): CO₂-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen. Halle (Saale) 2020.

Wiesmeier, Martin & Baumert, Vera: Grundsätze der Humuswirtschaft zur guten fachlichen Praxis der ackerbaulichen Bodennutzung (§ 17 BBodSchG). Humuszertifikate. Jena, 2021.

Vortrag Dr. Martin **Wiesmeier:** Der Boden als Kohlenstoffspeicher – Humusaufbau als Klimaschutzleistung. 27.10.2021; der selbe Vortrag gehalten am 07.07.2021 verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=PUvFJ-uitLE>

Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages / WD: CO₂-Emissionen landwirtschaftlich genutzter Flächen. Ausarbeitung WD 8 - 3000 - 099/21. 17.12. 2021

Woodland Carbon Code – WCC. Requirements for voluntary carbon sequestration projects. Version 2.2, April 2022

World Wide Fund For Nature / WWF (Hrsg): Position zur Festlegung von Kohlenstoff in Böden und ihrer möglichen Honorierung mittels CO₂-Zertifikaten. Berlin, 29.11.2021

ZALF / Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Pressemitteilung vom 28.04.2022: Welchen Beitrag leisten ‚Humuszertifikate‘ für den Klimaschutz? URL: <https://www.leibniz-gemeinschaft.de/ueber-uns/neues/forschungsnachrichten/forschungsnachrichten-single/newsdetails/humuszertifikate-fuer-den-klimaschutz> zuletzt abgerufen am 30.03.2022

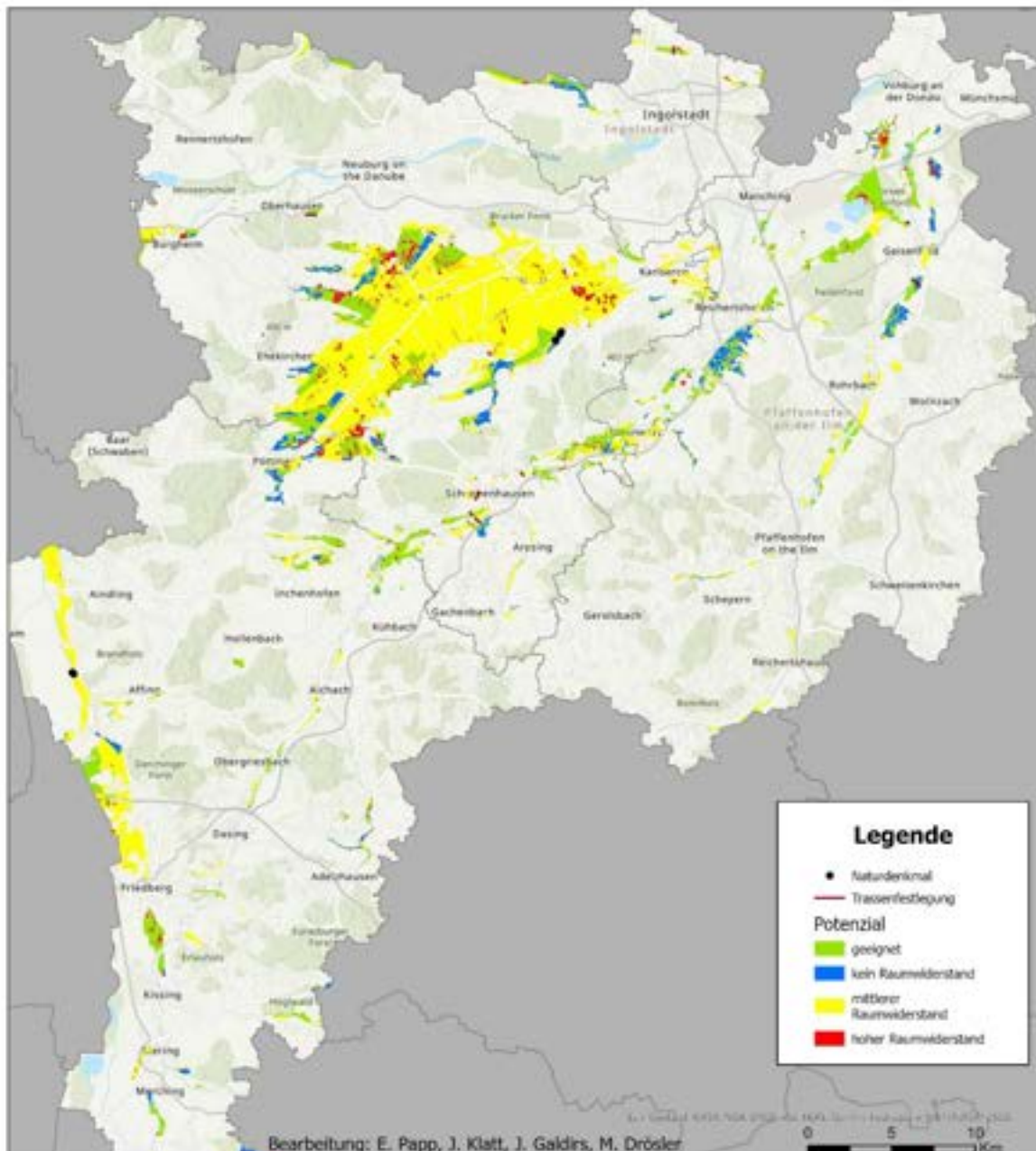
Zell, J. (2008): Methoden für die Entwicklung, Modellierung und Prognose der Kohlenstoffspeicherung in Wäldern auf Grundlage permanenter Großrauminventuren. Dissertation.

Zimmerman, A.R., Gao, B., 2013. The Stability of Biochar in the Environment, in: Ladygina, N., Rineau, F. (Eds.), Biochar and Soil Biota. Boca Raton, pp. 1–40.
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwisp77mnbT2AhWCR_EDHQ8LDxQQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Fpeople.clas.ufl.edu%2Fzimmer%2Ffiles%2Fpublication-pdf%2FZimmerman13_Biochar-Stability-Review.pdf&usq=AOvVaw3ITLmRvVaxVkk2dpu9Lwic

Zinner, Carolin: Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen und ihre Bedeutung am Praxisbeispiel von Pflanzenkohleherstellung aus Sicht des Unternehmens Prolignis. Freising, 2022.

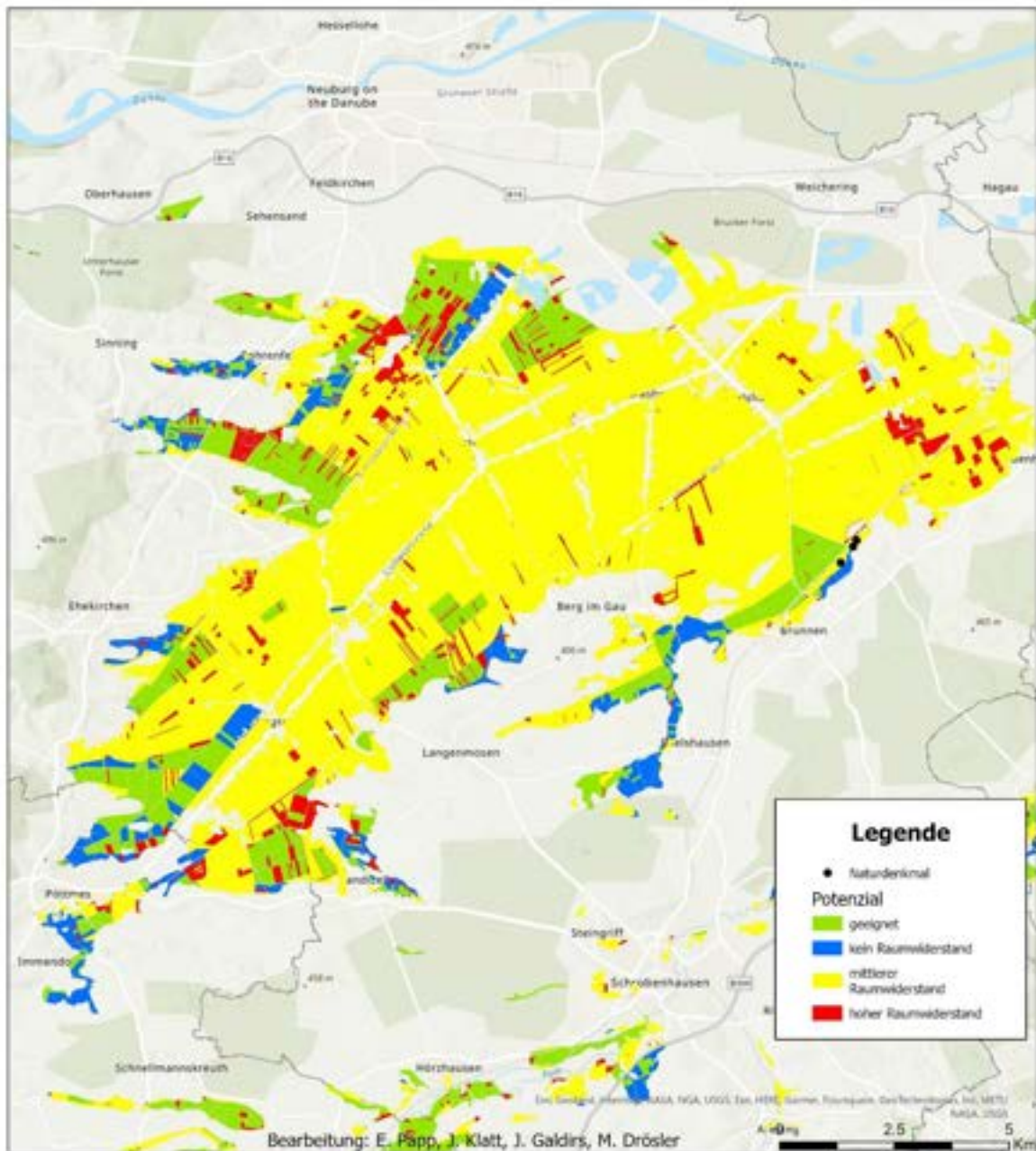
§1 Artikel 3 Absatz 4 aa) Zweites Gesetz zugunsten der Artenvielfalt und Naturschönheit in Bayern (Gesamtgesellschaftliches Artenschutzgesetz – Versöhnungsgesetz) vom 24. Juli 2019 und erläuternder Gesetzesentwurf des bayerischen Landtags vom 02.05.2019, Drucksache 18/1816. URL: <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayNatSchG/true?AspxAutoDetectCookieSupport=1>
Nur die Änderungen der Neufassung: <https://www.verkuendung-bayern.de/gvbl/2019-408/>

6 Anhang



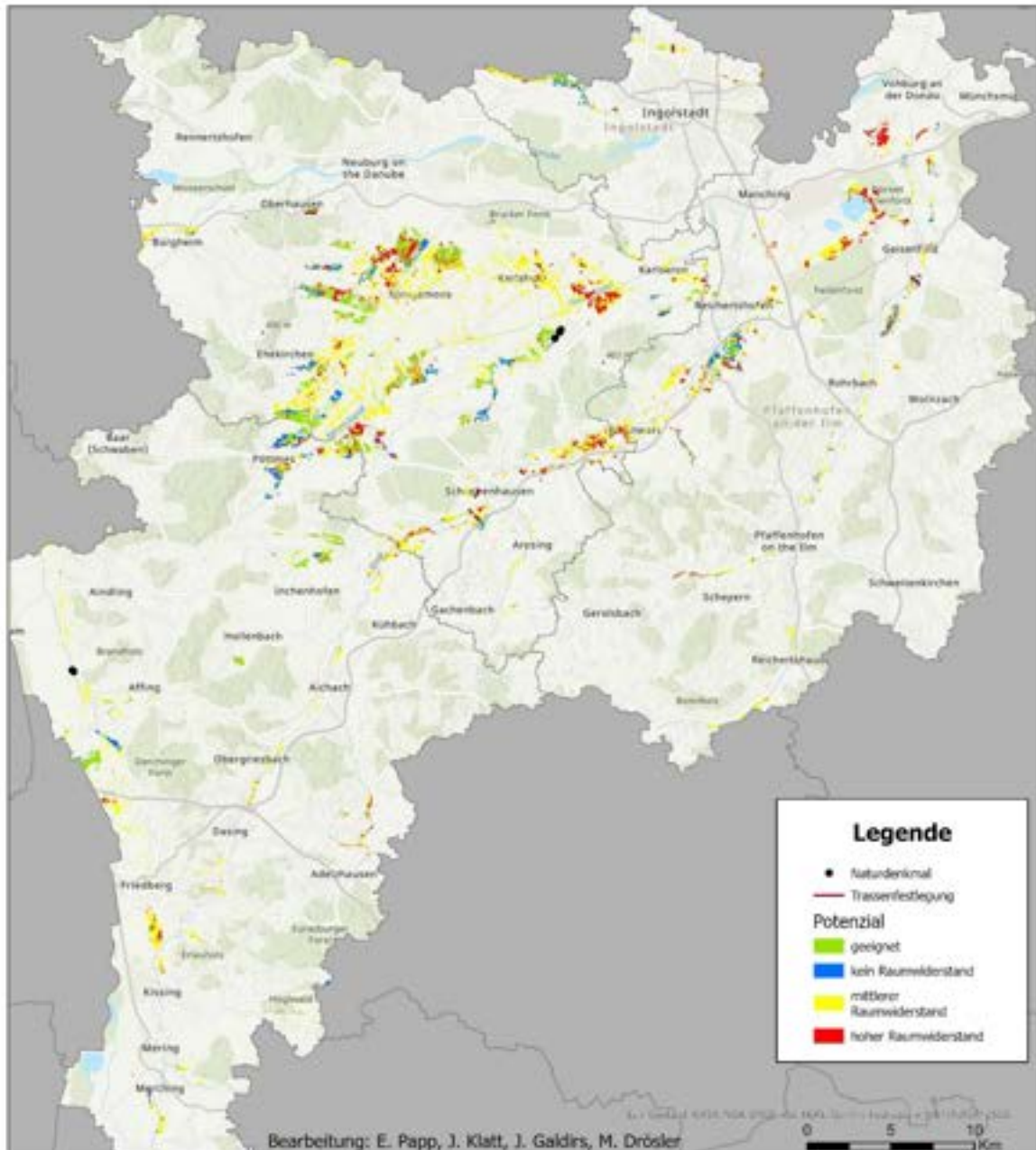
Renaturierungspotenzialkarte

Die Karte zeigt das Potenzial für Moor-Renaturierungen im Rahmen eines Zertifikate-Programms im Untersuchungsgebiet. Die Hohen Raumwiderstände sind v.a. auf Flächen des Ökoflächenkatasters zurückzuführen. Sie werden ausgeschlossen, weil sie bereits für eine andere Nutzung mit anderer Finanzierung belegt sind. Der überwiegende Teil der Moorflächen, besonders im Bayerischen Donaumoos, sind mit mittlerem Raumwiderstand belegt. Dieser ist auf die hohen sozio-ökonomischen Restriktionen gegenüber einer Wiedervernässung (ausgearbeitet von der LfL) zurückzuführen. Dagegen eignen sich die flussbegleitenden Moorflächen entlang der Paar sogar besonders für Renaturierungen. Gründe hierfür sind die Einstufung als Überschwemmungsgebiet, weil sie in die mittlere Kategorie der Wiedervernässbarkeit fallen oder weil die sozio-ökonomischen Restriktionen als gering eingestuft wurden.



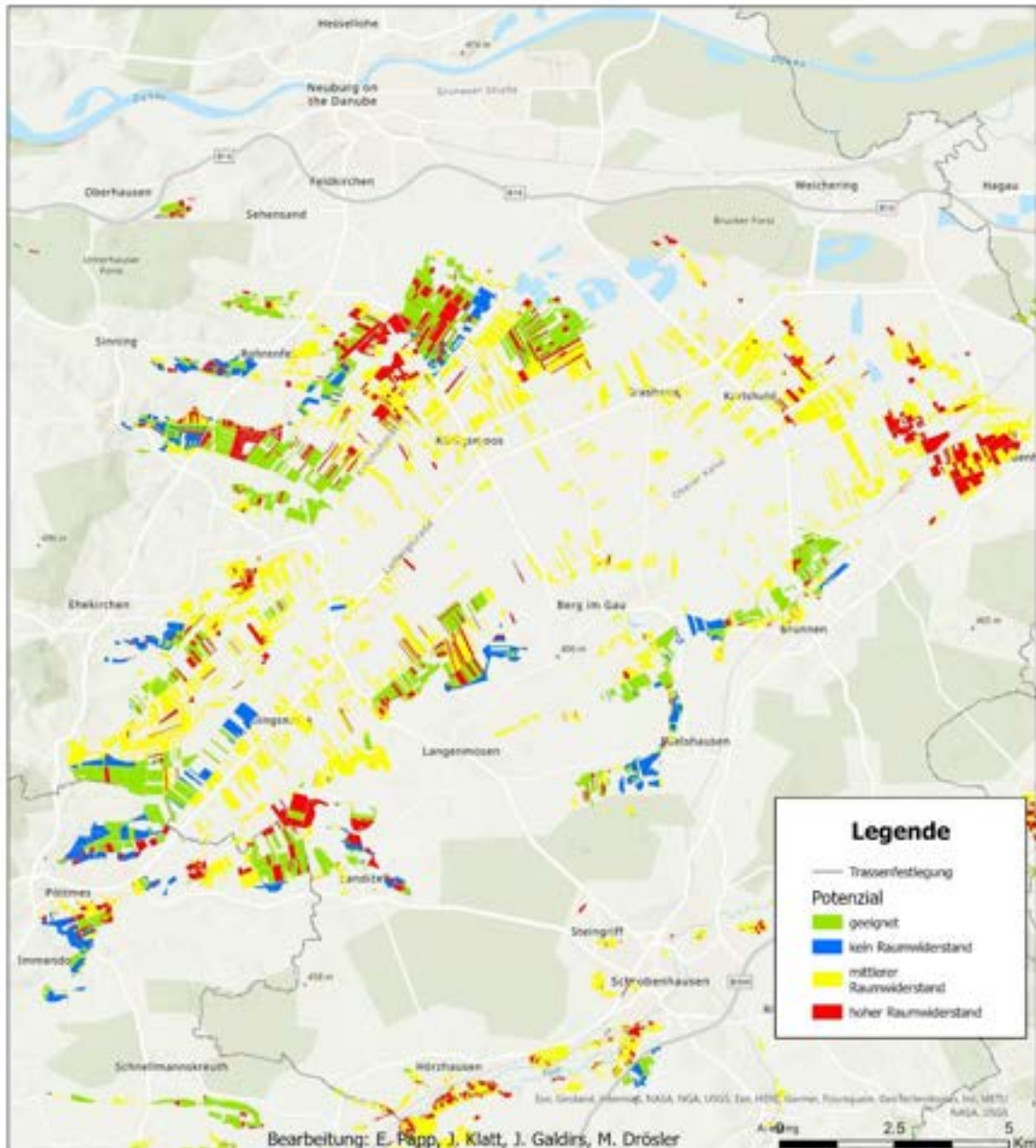
Renaturierungspotenzialkarte Donaumoos

Die Karte zeigt das Potential für Moor-Renaturierungen im Rahmen eines Zertifikate-Programms im Untersuchungsgebiet. Die hohen Raumwiderstände sind v.a. auf Flächen des Ökoflächenkatasters zurückzuführen. Sie werden ausgeschlossen, weil sie bereits für eine andere Nutzung mit anderer Finanzierung belegt sind. Der überwiegende Teil der Moorflächen, besonders im Bayerischen Donaumoos, sind mit mittlerem Raumwiderstand belegt. Dieser ist auf die hohen sozio-ökonomischen Restriktionen gegenüber einer Wiedervernässung (ausgearbeitet von der LfL) zurückzuführen. Dagegen eignen sich die flussbegleitenden Moorflächen entlang der Paar sogar besonders für Renaturierungen. Gründe hierfür sind die Einstufung als Überschwemmungsgebiet, weil sie in die mittlere Kategorie der Wiedervernässbarkeit fallen oder weil die sozio-ökonomischen Restriktionen als gering eingestuft wurden.



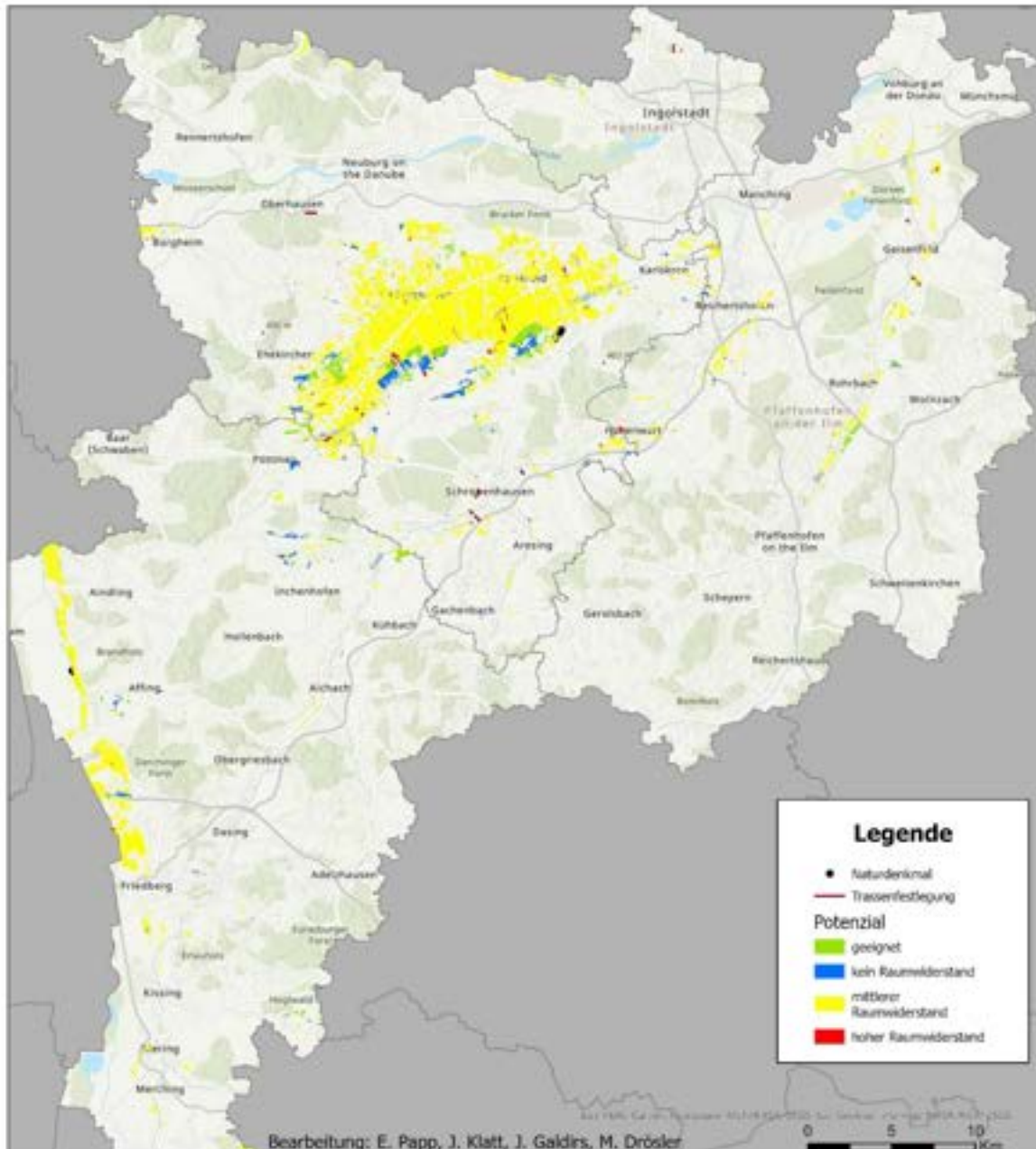
Grünlandpotenzialkarte

Die Karte zeigt das Potential für die Nassbewirtschaftung von als Grünland genutzten Moorböden im Untersuchungsgebiet im Rahmen eines Zertifizierungsprogramms. Hohe Raumwiderstände sind v.a. auf Flächen des Ökoflächenkatasters zurückzuführen. Sie werden ausgeschlossen, weil sie bereits für eine andere Nutzung mit anderer Finanzierung belegt sind. Ebenso werden kartierte Biotopie als naturschutzfachlich wertvoll ausgeschlossen. Der mittlere Raumwiderstand ist auch hier v.a. auf die hohen sozio-ökonomischen Restriktionen gegenüber Wiedervernässung (ausgearbeitet von der LfL), aber auch auf vorhandene FFH-Gebiete zurückzuführen. Für eine Eignung sind vor allem die Kriterien Mittlere Wiedervernässbarkeit und geringe sozio-ökonomische Restriktionen verantwortlich. Seltener war auch das Kriterium extensiv genutztes Grünland ausschlaggebend.



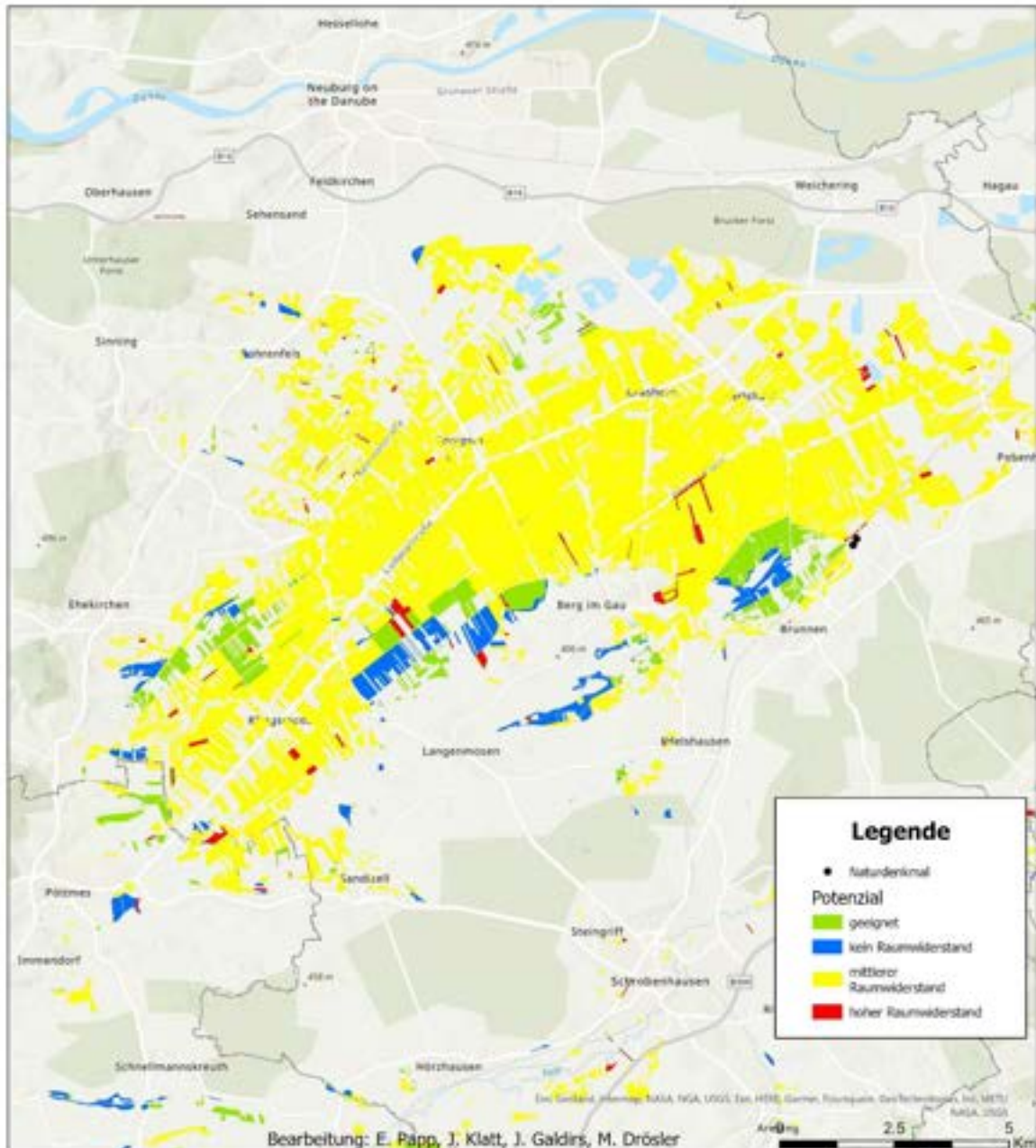
Grünlandpotenzialkarte Donaumoos

Die Karte zeigt das Potential für die Nassbewirtschaftung von als Grünland genutzten Moorböden im Untersuchungsgebiet im Rahmen eines Zertifizierungsprogramms. Hohe Raumwiderstände sind v.a. auf Flächen des Ökoflächenkatasters zurückzuführen. Sie werden ausgeschlossen, weil sie bereits für eine andere Nutzung mit anderer Finanzierung belegt sind. Ebenso werden kartierte Biotopie als naturschutzfachlich wertvoll ausgeschlossen. Der mittlere Raumwiderstand ist auch hier v.a. auf die hohen sozio-ökonomischen Restriktionen gegenüber Wiedervernässung (ausgearbeitet von der LFL), aber auch auf vorhandene FFH-Gebiete zurückzuführen. Für eine Eignung sind vor allem die Kriterien Mittlere Wiedervernässbarkeit und geringe sozio-ökonomische Restriktionen verantwortlich. Seltener war auch das Kriterium extensiv genutztes Grünland ausschlaggebend.



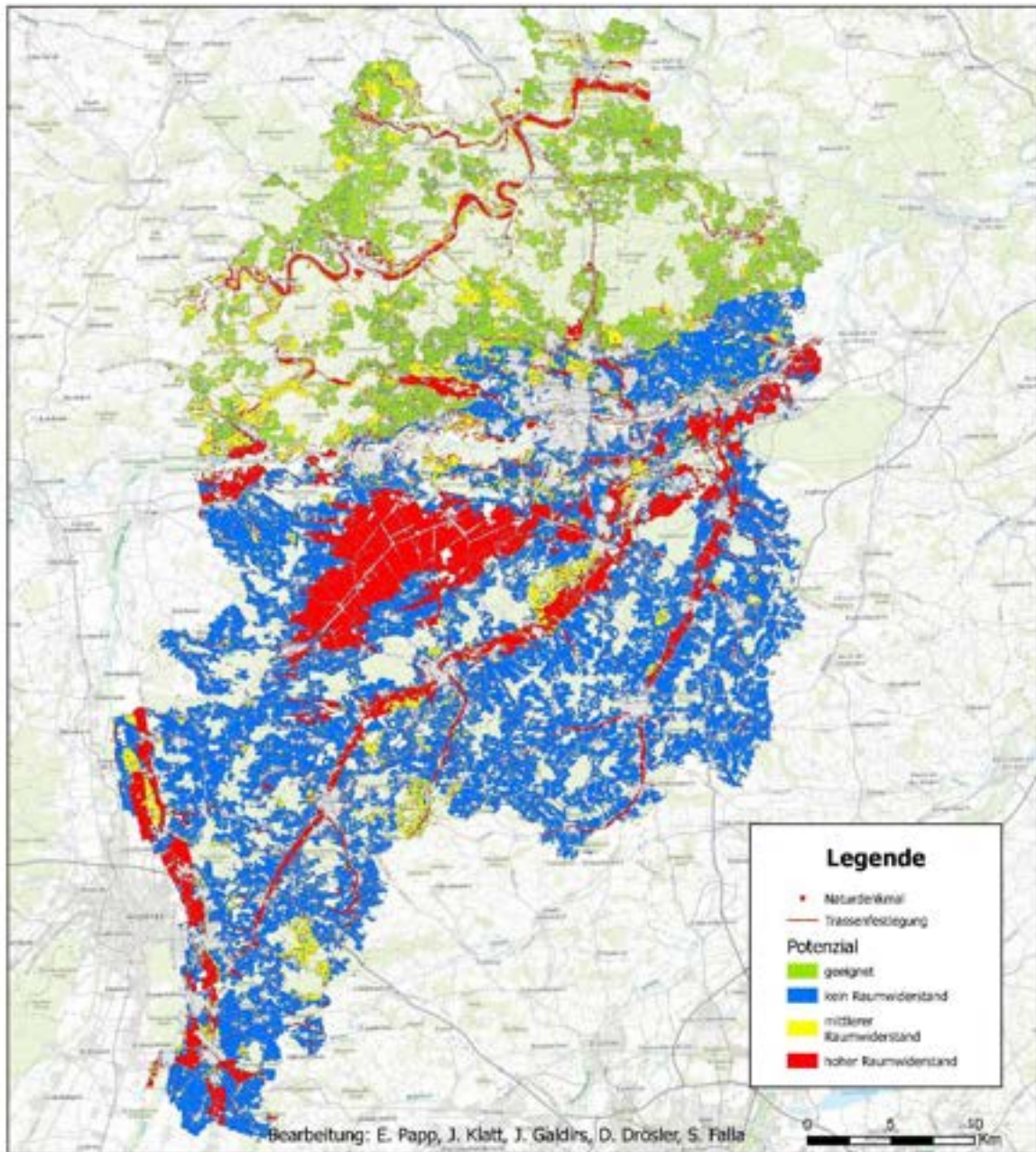
Paludikulturpotenzialkarte

Die Karte zeigt das Potential für die Einrichtung von Paludikulturen im Untersuchungsgebiet aus Zertifikats-Perspektive. Der größte Teil der Moorböden fällt in die Kategorie mittlerer Raumwiderstand. Dies ist v.a. mit dem relativ hohen Anteil an Wohn-, Gewerbe und Industriefläche in einer hydrologischen Einheit zu begründen. Hohen Raumwiderstand gibt es nur sehr vereinzelt auf kleinen Flächen, fast ausschließlich im Bayerischen Donaumoos. Flächen werden als geeignet für Paludikulturen eingestuft, wenn sie in die mittlere Wasserverfügbarkeitskategorie der Karte des WWA Ingolstadt fallen oder aber weil sie in Überschwemmungsgebiete fallen. Durch eine Wiedervernässung des Moorbodens wird die Retentionsfähigkeit des Bodens nicht beeinträchtigt oder sogar verbessert und Paludikulturen können im Vergleich zu anderen Ackerfrüchten oder Grünland deutlich besser mit Überstausituationen umgehen.



Paludikulturpotenzialkarte Donaumoos

Die Karte zeigt das Potential für die Einrichtung von Paludikulturen im Untersuchungsgebiet aus Zertifikats-Perspektive. Der größte Teil der Moorböden fällt in die Kategorie mittlerer Raumwiderstand. Dies ist v.a. mit dem relativ hohen Anteil an Wohn-, Gewerbe und Industriefläche in einer hydrologischen Einheit zu begründen. Hohen Raumwiderstand gibt es nur sehr vereinzelt auf kleinen Flächen, fast ausschließlich im Bayerischen Donaumoos. Flächen werden als geeignet für Paludikulturen eingestuft, wenn sie in die mittlere Wasserverfügbarkeitskategorie der Karte des WWA Ingolstadt fallen oder aber weil sie in Überschwemmungsgebiete fallen. Durch eine Wiedervernässung des Moorbodens wird die Retentionsfähigkeit des Bodens nicht beeinträchtigt oder sogar verbessert und Paludikulturen können im Vergleich zu anderen Ackerfrüchten oder Grünland deutlich besser mit Überstausituationen umgehen.



						Moorschutz			
	Kriterien / Maßnahmen / Standards	Humusaufbau	Pflanzenkohle	Agroforst	Aufforstung	Renaturierung	Nasse Bewirtschaftung	Paludikultur	Moor-PVA
Prüfkriterien	Permanenz	Aufbau ist vollständig reversibel, dauerhafte Bindung von atmosphärischem C kann nicht garantiert werden; Prognosen deuten langfristig auf klimawandelbedingte Humusverluste hin	hängt stark von Verwendung ab: Bei Beimischung in Verbundmaterialien gegeben, bei Einbringung in Boden langsamer Abbau; daher ist Verwendung als Zuschlagstoff zu bevorzugen	Agroforstsysteme haben langfristige Lauf-/Planungszeiten, beim Humusaufbau jedoch selbe Problematik, daher keine Zertifizierung des Humusaufbaus -> Reduktion der zertifizierbaren Einsparmenge	gewisse Risiken (Kalamitäten, falsches Management), mit ausreichend Schutzmaßnahmen (Puffer, Verträge) im Rahmen	durch Monitoring von Proxies permanente Funktionalität sichergestellt; Rechtlich Rahmenbedingungen geschaffen, dass die Permanenz der Maßnahme nach einer Wiedervernässung gegeben sein sollte (Vertiefungsverbot in „Zweites Gesetz zugunsten der Artenvielfalt und Naturschönheit in Bayern“).	dauerhafte Wiedervernässung muss in Bauleitplanung der Gemeinde festgeschrieben werden (wenn nicht EEG-gefördert), auch nach der Nutzung als PV-Standort muss eine nasse Nutzung der Fläche erfolgen		
	Quantifizierung: Messbarkeit	aufwändig und daher teuer wegen Heterogenität im Boden und weil Änderungen im Humusgehalt erst nach mehreren Jahren messbar sind	Anleitung nach EBC-Richtlinien; Gebundenes C ist gut berechenbar	teils gut möglich, teils aufwändig oder ungenau, daher nur Teilzertifizierung der Einsparleistung empfohlen	Nur der Biomasse-Zuwachs wird betrachtet, hierfür sind Mess- und Modelliermethoden verfügbar	über Monitoring von Wasserstand und ggf. Vegetation ist Baseline und Einsparleistung gut bestimmbar. Monitoringkonzept wird in moorbenefits 2.0 ausgearbeitet			
	Zusätzlichkeit	klare Trennung zwischen üblichem und zusätzlichem Humusaufbau schwierig, da viele humusaufbauende Maßnahmen Teil der üblichen Ackerbodenpflege sind	Erfüllung des Kriteriums Zusätzlichkeit ist bei Pflanzenkohle eng gepaart mit dem Verwendungsweg. Zusätzlichkeit könnte über die anschließende Verwendung (Verbesserung von Produkteigenschaften) oder gesenkte Kosten für Pflanzenkohleprodukte bei	regulatorische, ökologische oder finanzielle Zusätzlichkeit möglich	nicht allgemein definiert, sondern muss im Einzelfall begründet und ausgelegt werden, z.B. über finanzielle Zusätzlichkeit	Zusätzlichkeit kann erfüllt werden über den finanziellen Aspekt (finanzielle Lücken schließen), über höhere Ambitionen oder neue Gebiete, in denen es noch keine Möglichkeit einer staatlichen Förderung für Moorschutz gibt		nicht gegeben, da bei einer PV-Firma normalerweise kein zusätzlicher finanzieller Stützfehler nötig ist, um eine PV-Anlage rentabel umzusetzen. Hier sind statt weiterer Anreize für Moor-PV-Anlagen Vorschriften für eine fachlich gute Umsetzung nötig.	
	Doppelzählung	Das Problem der Doppelzählung sollte bei allen untersuchten Maßnahmen über den sog. Contribution claim gelöst werden. Je nach Maßnahmenart muss dann auf dem Zertifikat ein Beisatz stehen, der auf den Beitrag zu den gesamtdeutschen Einsparzielen hinweist, beispielsweise: „Dieser zertifizierte Klimabeitrag / Dieses Zertifikat über die Einsparung von 1 Tonne CO ₂ -Äquivalenten trägt zu den Reduktionszielen der Bundesrepublik Deutschland bei“.	Das Problem der Doppelzählung sollte bei allen untersuchten Maßnahmen über den sog. Contribution claim gelöst werden. Je nach Maßnahmenart muss dann auf dem Zertifikat ein Beisatz stehen, der auf den Beitrag zu den gesamtdeutschen Einsparzielen hinweist, beispielsweise: „Dieser zertifizierte Klimabeitrag / Dieses Zertifikat über die Einsparung von 1 Tonne CO ₂ -Äquivalenten trägt zu den Reduktionszielen der Bundesrepublik Deutschland bei“.	Das Problem der Doppelzählung sollte bei allen untersuchten Maßnahmen über den sog. Contribution claim gelöst werden. Je nach Maßnahmenart muss dann auf dem Zertifikat ein Beisatz stehen, der auf den Beitrag zu den gesamtdeutschen Einsparzielen hinweist, beispielsweise: „Dieser zertifizierte Klimabeitrag / Dieses Zertifikat über die Einsparung von 1 Tonne CO ₂ -Äquivalenten trägt zu den Reduktionszielen der Bundesrepublik Deutschland bei“.	Das Problem der Doppelzählung sollte bei allen untersuchten Maßnahmen über den sog. Contribution claim gelöst werden. Je nach Maßnahmenart muss dann auf dem Zertifikat ein Beisatz stehen, der auf den Beitrag zu den gesamtdeutschen Einsparzielen hinweist, beispielsweise: „Dieser zertifizierte Klimabeitrag / Dieses Zertifikat über die Einsparung von 1 Tonne CO ₂ -Äquivalenten trägt zu den Reduktionszielen der Bundesrepublik Deutschland bei“.	Das Problem der Doppelzählung sollte bei allen untersuchten Maßnahmen über den sog. Contribution claim gelöst werden. Je nach Maßnahmenart muss dann auf dem Zertifikat ein Beisatz stehen, der auf den Beitrag zu den gesamtdeutschen Einsparzielen hinweist, beispielsweise: „Dieser zertifizierte Klimabeitrag / Dieses Zertifikat über die Einsparung von 1 Tonne CO ₂ -Äquivalenten trägt zu den Reduktionszielen der Bundesrepublik Deutschland bei“.			
	Emissionsverlagerung (Leakage)	Gefahr von Leakage ist gegeben, vorbeugende Maßnahmen möglich	Gefahr von Leakage ist gegeben, vorbeugende Maßnahmen möglich, Beachtung der Biomasseherkunft!	Gefahr von Leakage ist gegeben, vorbeugende Maßnahmen möglich	Gefahr von Leakage ist gegeben, vorbeugende Maßnahmen möglich	Gefahr von Leakage ist gegeben, vorbeugende Maßnahmen möglich			
	Einbindung der Beteiligten	gegeben, Humusaufbau genießt guten Ruf	Für Einbindung der lokalen Bevölkerung regionale Wertschöpfungsketten nutzen	gegeben, sichtbare Veränderung in Verbindung mit Klimaschutzgedanken sorgt für positive Außendarstellung	gegeben, Maßnahmen in Absprache mit Waldbesitzern	Wiedervernässung ist mit großer Skepsis verbunden, aber nur in Zusammenarbeit möglich, Nutzungsaufgabe ist große Hürde	Wiedervernässung ist mit großer Skepsis verbunden, aber nur in Zusammenarbeit möglich, nasse Nutzungsart kann der alten Nutzung sehr ähnlich sein, wässern Umstieg erleichtern kann	Wiedervernässung ist mit großer Skepsis verbunden, aber nur in Zusammenarbeit möglich, insb. Paludikulturen als neue unbekannte Landnutzungsform. Erfolg wird letztlich von der Wirtschaftlichkeit abhängen. Wertschöpfungsketten müssen aufgebaut werden, um Produktabnahme zu gewährleisten	PV-Anlagen stellen große finanzielle Einkünfte in Aussicht und bieten ein "bekanntes und bewährtes" Flächennutzungskonzept, hier ist mit weniger Skepsis und mehr Offenheit zur Kooperation zu rechnen
	Nachhaltige Entwicklung	Viele Synergien mit Humusaufbau verbunden	Synergien in der Weiterverwendung: Verbesserung von Produkteigenschaften, Klimawandelanpassung von Baum und Boden...	Verbunden mit vielen Synergien, dauert aber länger bis sie wirken	Synergien, z.B. mit Naturschutz möglich (Vernetzung, Wasserhaushalt...), aber nicht automatisch dabei; z.B. Vorsicht bei Baumartenwahl; dauert ebenfalls länger bis Synergien zum Tragen kommen	hoher naturschutzfachlicher Nutzen, Nährstoffretention, Landschafts-Wasserhaushalt	Wiedervernässung ermöglicht Dauerhaftigkeit der Bewirtschaftung, Schaffung nasser Standorte (auf Landschaftsebene sehr selten) ist gut für spezialisierte Arten, Nährstoffretention, Landschafts-Wasserhaushalt	Wiedervernässung ermöglicht Dauerhaftigkeit der Bewirtschaftung, bei Umwandlung von Acker und intensiv-Grünland erhebliche Aufwertung der Biodiversität zu erwarten	Klare Ausschlusskriterien nötig um Konflikte zu vermeiden, z.B. Wiesenbrückerlisse, Naturschutzgebiete, ...

						Moorschutz			
	Kriterien / Maßnahmen / Standards	Humusaufbau	Pflanzenkohle	Agroforst	Aufforstung	Renaturierung	Nasse Bewirtschaftung	Paludikultur	Moor-PVA
Ablaufkriterien	Zertifizierung: Validierung und Verifizierung	Genauere Dokumentation, Monitoring und Zertifizierung durch unabhängige Institution	Genauere Dokumentation, Monitoring und Zertifizierung durch unabhängige Institution	Genauere Dokumentation, Monitoring und Zertifizierung durch unabhängige Institution	Genauere Dokumentation, Monitoring und Zertifizierung durch unabhängige Institution	Genauere Dokumentation, Monitoring und Zertifizierung durch unabhängige Institution			
	Crediting	Ex-post = zu bevorzugen (relativ genau, wenig Puffer nötig). Ex-ante: ermöglicht finanzielle Absicherung aber größere Unsicherheit, mehr Puffer nötig	Nur ex-post Ansatz möglich, da Berechnung des gebundenen C in der Kohle erst nach Herstellung erfolgt	Ex-post = zu bevorzugen (relativ genau, wenig Puffer nötig). Ex-ante: ermöglicht finanzielle Absicherung aber größere Unsicherheit, mehr Puffer nötig	Ex-post = zu bevorzugen (relativ genau, wenig Puffer nötig). Ex-ante: ermöglicht finanzielle Absicherung aber größere Unsicherheit, mehr Puffer nötig	Ex-post = zu bevorzugen (relativ genau, wenig Puffer nötig). Ex-ante: ermöglicht finanzielle Absicherung aber größere Unsicherheit, mehr Puffer nötig			
	Puffer (Buffer Credits)	Erhebliche Reduktion der vermarkteten Einsparleistung, auch Puffer können Totalverlust nicht ausgleichen; Pool-Lösung zur Abfederung regionaler Trockenereignisse o.ä. um dauerhaft Klimaschutzleistung überall sicherzustellen	10% Sicherheitsabschlag; Pool-Lösung zur Abfederung regionaler Trockenereignisse o.ä. um dauerhaft Klimaschutzleistung überall sicherzustellen	Auch Puffer können Totalverlust nicht ausgleichen; Pool-Lösung zur Abfederung regionaler Trockenereignisse o.ä. um dauerhaft Klimaschutzleistung überall sicherzustellen	Pool-Lösung zur Abfederung regionaler Trockenereignisse o.ä. um dauerhaft Klimaschutzleistung überall sicherzustellen	Pool-Lösung zur Abfederung regionaler Trockenereignisse o.ä. um dauerhaft Klimaschutzleistung überall sicherzustellen			
	Baseline-Ermittlung	C _{org} des Bodens vor der Maßnahme ist die Baseline	Keine Baseline, da zusätzliche Senke	Vorherige Bewirtschaftung, Annahme: Beibehaltung	Nur Neuaufforstungen werden betrachtet, Baseline ist daher vorherige Nutzung/C auf der Fläche vor der Aufforstung	Erstmals Berechnung mit dynamischer Baseline			
	Laufzeit	20, besser 50 Jahre	Kurze Projektlaufzeit ausreichend, wenn richtige Verwendung sichergestellt; Betrachtungszeitraum 100 Jahre	abhängig von Umtriebszeit, mindestens 20 Jahre	längerfristig, ca. 50 Jahre	20-50 Jahre; Torfchwund bedingt die Maximallaufzeit. Bei geringen Torfmächtigkeiten zu Beginn des Projektes ist zusätzlich nur so lange gewährleistet, wie der Torf bei trockener Nutzung vorhanden gewesen wäre. Bei 30cm Torfmächtigkeit ist bei einer durchschnittlichen Torfsackungsrate von 1cm/Jahr die maximale Gültigkeit der Zertifikate auf 30 Jahre beschränkt.			
	Konservatismus	Humusaufbau bis max. 2,6 t CO ₂ -äq/ha*a ist konservativ	Annahme von 0,3% Abbauraten ist konservativ	kann man anwenden; wird gestärkt, wenn wie empfohlen nur (unterirdische) Gehölze zertifiziert werden und nicht Humusaufbau	Reine Zertifizierung von Biomasseaufwuchs stärkt den Konservatismus, da andere Bereiche (Substitution, Waldboden, Produktspeicher) nicht mit berechnet werden	große Einsparungen möglich, daher auch bei konservativer Rechnung viel vermarktete Einsparpotentiale			
	Sonstiges	Einmaliges Auffüllen eines C-Speichers, Potential dort am größten, wo Humusreduktion in der Vergangenheit am größten war. Fairness und Gesamtpotential fraglich?							

Machbarkeitsstudie des technischen Standes einer Pflanzenkohleproduktionsanlage in der Region Donaumoos

Stand: 20.02.2023

Ersteller: Prolignis Unternehmensentwicklung GmbH
Ansprechpartner: Leonhard Wobbe
Friedrichshofener Straße 1
85049 Ingolstadt

Tel. +49 (0)841 8856190
www.prolignis.de

Projektbeteiligte

Projektteam CO₂-regio: Jonas Galdirs (Projektleiter CO₂-regio)
Peter Mießl (Public Relations)
Matthias Haile (Geschäftsführung EEE e.V.)

Projektteam Prolignis: Leonhard Wobbe (Projektleiter)
Helmut Hoffmann (Projektmanagement)
Ulrich Zitzelsberger (Standortanalyse/ -bewertung)
Carolin Zinner (Projektassistenz)

Allgemeine Informationen

Auftraggeber: Energie Effizient Einsetzen e.V.
Sandizell, Asamstraße 18
86529 Schrobenhausen
www.co2-regio.de

Projektzeitraum: September 2021 – November 2022

Inhaltsverzeichnis

Projektbeteiligte.....	2
Allgemeine Informationen.....	2
Inhaltsverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	5
1. Ausgangslage.....	6
2. Zielsetzung und Aufgabenstellung.....	8
3. Stoffkreisläufe der Maßnahmen.....	9
3.1. Verfügbarkeit von Einsatzstoffen.....	9
3.2. Weitere biogene Einsatzstoffe.....	14
3.3. Zwischenfazit und Handlungsempfehlung.....	16
4. Produktdefinition und Technologieauswahl.....	17
4.1. Pflanzenkohle – Definition und Sustainable Development Goals.....	17
4.2. Produktzertifizierung.....	22
4.3. Regionale Anwendungsmöglichkeiten der Pflanzenkohle.....	31
4.4. Produktionsverfahren.....	38
4.5. Anlagenhersteller und -typen.....	41
4.6. Zwischenfazit und Handlungsempfehlungen.....	46
5. Standortidentifikation.....	47
5.1. Vorgehensweise und Standortkriterien.....	47
5.2. Standortanalyse.....	49
5.3. Standortbewertung.....	66
5.4. Zwischenfazit und Handlungsempfehlungen.....	76
6. Einschätzung der standortangepassten Realisierbarkeit.....	77
6.1. Technische Realisierbarkeit und organisatorische Umsetzung.....	77
6.2. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	79
6.3. Zwischenfazit und Handlungsempfehlungen.....	85
7. Fazit und Maßnahmenkatalog mit Handlungsempfehlungen.....	86
8. Schlussbemerkung.....	89

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Negative-Emissionen-Technologien.....	7
Abbildung 2: Strukturierung der Machbarkeitsstudie.....	8
Abbildung 3: Aufkommen holzartiger Einsatzstoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen.....	10
Abbildung 4: Aufkommen und Verwertung von Waldrestholz aus dem Privatwald und Landschaftspflegeholz in den Landkreisen Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen.....	11
Abbildung 5: Herleitung Potenziale Landkreis Aichach-Friedberg.....	13
Abbildung 6: Charakteristika der Pflanzenkohle.....	19
Abbildung 7: Pflanzenkohle betreffende Nachhaltigkeitsziele.....	21
Abbildung 8: Ausschnitt aus der Positivliste der eingesetzten Biomassen.....	24
Abbildung 9: Anwendungsmöglichkeiten der Pflanzenkohle.....	31
Abbildung 10: Verwendung von Pflanzenkohle und Schotter bei Stadtbäumen.....	35
Abbildung 11: Temperaturabhängigkeit der pyrolytischen Karbonisierung von Biomassebestandteilen, thermochemische Vorgänge und entstehende gasförmige Produkte.....	39
Abbildung 12: Anlagencluster.....	42
Abbildung 13: Verfahrensschaubild PYREG.....	43
Abbildung 14: SynCraft Prozessablauf.....	44
Abbildung 15: Polytechnik Green Carbon Prozess.....	45
Abbildung 16: Standorte- Lage in der Zielregion.....	50
Abbildung 17: potenzielle Grundstücke mit Höhenprofile der Gemeinde Todtenweis.....	51
Abbildung 18: Widmung der potenziellen Grundstücke der Gemeinde Todtenweis.....	52
Abbildung 19: Luftbild der Gemeinde Aresing.....	53
Abbildung 20: potenzielles Grundstück mit Höhenprofil der Gemeinde Dinkelshausen.....	54
Abbildung 21: Widmung des potenziellen Grundstücks der Gemeinde Dinkelshausen.....	55
Abbildung 22: potenzielles Grundstück mit Höhenprofil der Stadt Schrobenhausen.....	56
Abbildung 23: Widmung des potenziellen Grundstücks der Stadt Schrobenhausen.....	57
Abbildung 24: potenzielle Grundstücke mit Höhenprofile der Stadt Neuburg a. d. Donau.....	58
Abbildung 25: Widmung der potenziellen Grundstücke der Stadt Neuburg a. d. Donau.....	59
Abbildung 26: potenzielles Grundstück mit Höhenprofil der Gemeinde Ehekirchen.....	60
Abbildung 27: Widmung des potenziellen Grundstücks der Gemeinde Ehekirchen.....	61
Abbildung 28: potenzielles Grundstück mit Höhenprofil der Gemeinde Bergheim.....	62
Abbildung 29: Widmung des potenziellen Grundstücks der Gemeinde Bergheim.....	63
Abbildung 30: potenzielle Grundstücke mit Höhenprofile der Gemeinde Rennertshofen.....	64
Abbildung 31: Widmung der potenziellen Grundstücke der Gemeinde Rennertshofen.....	65
Abbildung 32: Investitionsbetrachtung – Investitionskosten PYREG PX1500.....	79
Abbildung 33: Investitionsbetrachtung - Einnahmen PYREG PX1500.....	80
Abbildung 34: Investitionsbetrachtung - Ausgaben PYREG PX1500.....	81
Abbildung 35: Investitionsbetrachtung – Return on Investment PYREG PX1500.....	81
Abbildung 36: Investitionsbetrachtung - Investitionskosten SynCraft CW1800X2-1000.....	82
Abbildung 37: Investitionsbetrachtung - Einnahmen SynCraft CW1800X2-1000.....	83
Abbildung 38: Investitionsbetrachtung - Ausgaben SynCraft CW1800X2-1000.....	84
Abbildung 39: Investitionsbetrachtung – Return on Investment SynCraft CW1800X2-1000.....	84
Abbildung 40: Stofffluss und Nutzungsmöglichkeiten.....	86

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Potenzialabschätzung Waldrestholz Privatwald und Landschaftspflegeholz.....	12
Tabelle 2: Zusammenfassung Potenzialabschätzungen	16
Tabelle 3: Rechtslage bei der Verwendung von Pflanzenkohle.....	26
Tabelle 4: Zusammenfassung Anlagenhersteller.....	41
Tabelle 5: Standortranking.....	66
Tabelle 6: Standortranking der Gemeinde Todtenweis.....	67
Tabelle 7: Standortranking der Gemeinde Aresing	68
Tabelle 8: Standortranking der Gemeinde Dinkelshausen.....	69
Tabelle 9: Standortranking der Stadt Schrobenhausen.....	70
Tabelle 10: Standortranking der Stadt Neuburg a. d. Donau.....	71
Tabelle 11: Standortranking der Gemeinde Ehekirchen.....	72
Tabelle 12: Standortranking der Gemeinde Bergheim.....	73
Tabelle 13: Standortranking der Gemeinde Rennertshofen.....	74

1. Ausgangslage

In den letzten Jahren häufen sich die Umweltkatastrophen, auch in Deutschland nimmt die Zahl der Extremwetter drastisch zu. Im Sommer 2021 ereignete sich ein Starkregenereignis, bei dem im Westen Deutschlands ganze Dörfer zerstört und mehr als 100 Menschen getötet wurden. Spätestens seit dieser Umweltkatastrophe setzen sich die Menschen noch mehr mit dem Klimawandel und seinen Folgen auseinander, denn die Auswirkungen des Klimawandels sind deutlicher denn je zu spüren. Bereits in den letzten Jahrzehnten wurde die Thematik von der Politik vermehrt aufgegriffen und Maßnahmen getroffen, die der Entwicklung entgegenwirken sollen. Zur Bekämpfung des Klimawandels ist das Mitwirken eines jeden Landes von immenser Wichtigkeit. Diese Problematik bedarf einer weltweiten Aufmerksamkeit und sofortigem Handeln.

Grund für das vermehrte Auftreten von Extremwetterereignissen ist der Anstieg der anthropogene Treibhausgasemissionen. Seit 1980 übertraf jedes Jahrzehnt das jeweils vorausgegangene mit einer höheren Oberflächentemperatur. Dies hat zur Folge, dass Meeresspiegel steigen, Gletscher schmelzen, Umweltkatastrophen zunehmen und Klimazonen verschoben werden. Ändert sich nichts an der Lebensweise der Weltbevölkerung, im speziellen der Industrieländer, wird sich die globale mittlere Oberflächentemperatur bis 2050 um 2,4°C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau erhöhen. Daraus resultieren immer schwerwiegendere Umweltkatastrophen und irreversible Schäden (vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change 2021).

Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken wurde 2015 im Pariser Abkommen von den Vereinten Nationen in der Klimarahmenkonferenz beschlossen, dass sich die Erdtemperatur maximal um 2 °C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit erhöhen darf. Weiterhin sollen Anstrengungen unternommen werden, den Temperaturanstieg auf 1,5 °C zu beschränken, damit die Auswirkungen der Klimaänderungen deutlich reduziert werden (vgl. Vereinte Nationen 2015b). In den letzten Jahren ist ein deutlicher Abwärtstrend der Emissionen erkennbar, dennoch seien die derzeitigen Emissionsminderungen verglichen zur angestrebten Minderung deutlich zu gering, so Bundesminister für Wirtschaft und Klimaschutz Robert Habeck (vgl. ZDFheute Nachrichten 2022).

Die Eindämmung dieses weltweiten Problems ist komplex. Emissionen müssen in allen Bereichen drastisch reduziert werden, dennoch werden diese nie gänzlich vermieden werden können. Um trotzdem schnellstmöglich das 1,5 °C-Ziel und bis 2030 die Klimaneutralität zu erreichen, wurden Technologien für Kohlenstoffsenken entwickelt, welche Emissionen speichern und so der Atmosphäre entziehen können. Diese werden als Negative-Emissionen-Technologien (NET) bezeichnet. Abbildung 1 beschreibt sechs dieser Vermeidungsstrategien. Unter diese fallen Aufforstung und Wiederaufforstung, Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -verpressung, Ozeandüngung, Biokohle, Enhanced Weathering und Luftfilter (vgl. Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) 2018).

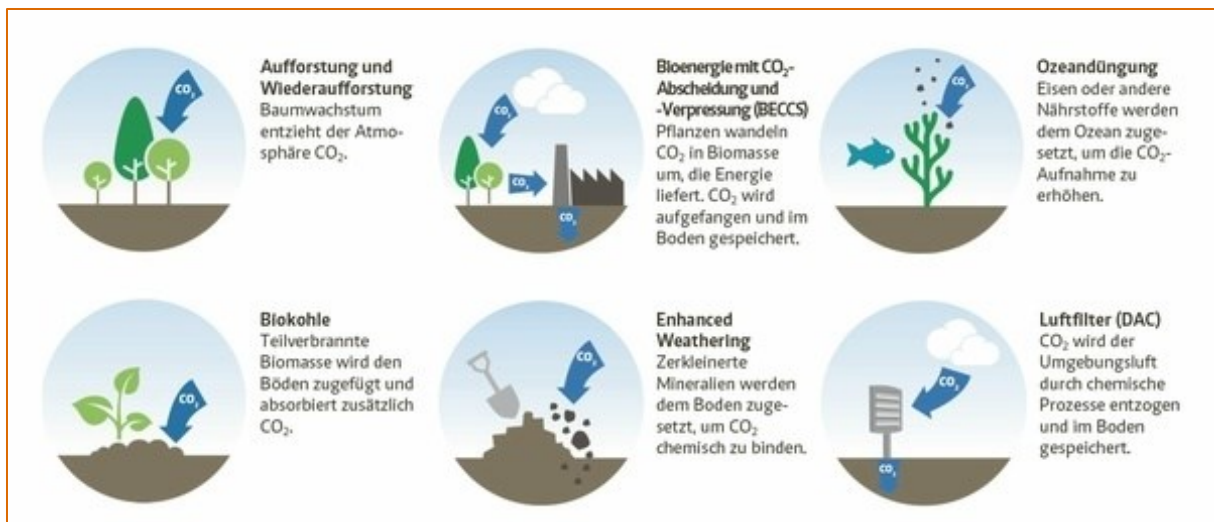


Abbildung 1: Negative-Emissionen-Technologien

Quelle: Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) 2018

Aufgrund dieser Problematiken wurde CO₂-regio mit dem Ziel gegründet eine LEADER-geförderte Machbarkeitsstudie zu Klimaschutzmaßnahmen in der Region zu erstellen. In dem zwei-jährigen Projekt werden verschiedene Möglichkeiten untersucht, wie durch Klimaschutzmaßnahmen einen Beitrag gegen den Klimawandel geleistet werden kann. Mit der Machbarkeitsstudie soll eine öffentlich frei zugängliche Grundlage für einen regionalen CO₂-Ausgleichsmechanismus geschaffen werden. Untersucht und verglichen werden Maßnahmen zur Treibhausgaseinsparung und -vermeidung im Bereich des Moorschutzes, des Humusaufbaus, der Aufforstung und der Verwendung von Pflanzenkohle untereinander und mit der konventionellen Landwirtschaft.

In diesem Bericht wird die Negative-Emissionen-Technologie Biokohle, im Weiteren bezeichnet als Pflanzenkohle, näher betrachtet. Die Produktion und die Verwendung von Pflanzenkohle gilt nachweislich als eine der besten Methoden um das Klimagas CO₂ aus der Atmosphäre zurück zu gewinnen und langfristig zu speichern.

CO₂-regio wird damit eine Chance bieten, die Regionalentwicklung fit für die Zukunft zu machen.

2. Zielsetzung und Aufgabenstellung

Ziel dieser Studie ist die technische Machbarkeit einer Pflanzenkohleproduktionsanlage in der Region Donaumoos als Baustein eines regionalen und freiwilligen Ausgleichsmechanismus zu untersuchen.

Im Fokus stehen die nähere Betrachtung der Stoffkreisläufe im Untersuchungsgebiet (Kapitel 3) sowie die Produktdefinition „Pflanzenkohle“, seiner Zertifizierungs-, Einsatz- und Anwendungsmöglichkeiten (Kapitel 4). Im weiteren Verlauf des Kapitel 4 werden unter der Technologieauswahl unterschiedliche Produktionsverfahren sowie Anlagentypen und -hersteller von Pflanzenkohleproduktionsanlagen betrachtet. Es werden potenzielle Standorte für eine Pflanzenkohleproduktionsanlage ge- und untersucht (Kapitel 5). Eine Einschätzung der standortangepassten Realisierbarkeit der Maßnahmen fasst die technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit zusammen (Kapitel 6).

Insbesondere geht es um erste Fragestellungen bezüglich:

- der Rohstoffversorgung,
- der Produktdefinition,
- der Technologieauswahl,
- der Standortwahl,
- der organisatorischen Umsetzung,
- der wirtschaftlichen Einschätzung.

Die Untersuchungsergebnisse werden zusammengefasst und es wird ein Maßnahmenkatalog zur Einschätzung der standortangepassten Realisierbarkeit mit Handlungsempfehlungen formuliert. Dabei werden die für einen Projekterfolg wesentlichen Erkenntnisse klar benannt.

Die nachfolgende Abbildung 2 stellt die einzelnen Kapitel der Machbarkeitsstudie in ihren Zusammenhängen grafisch dar.

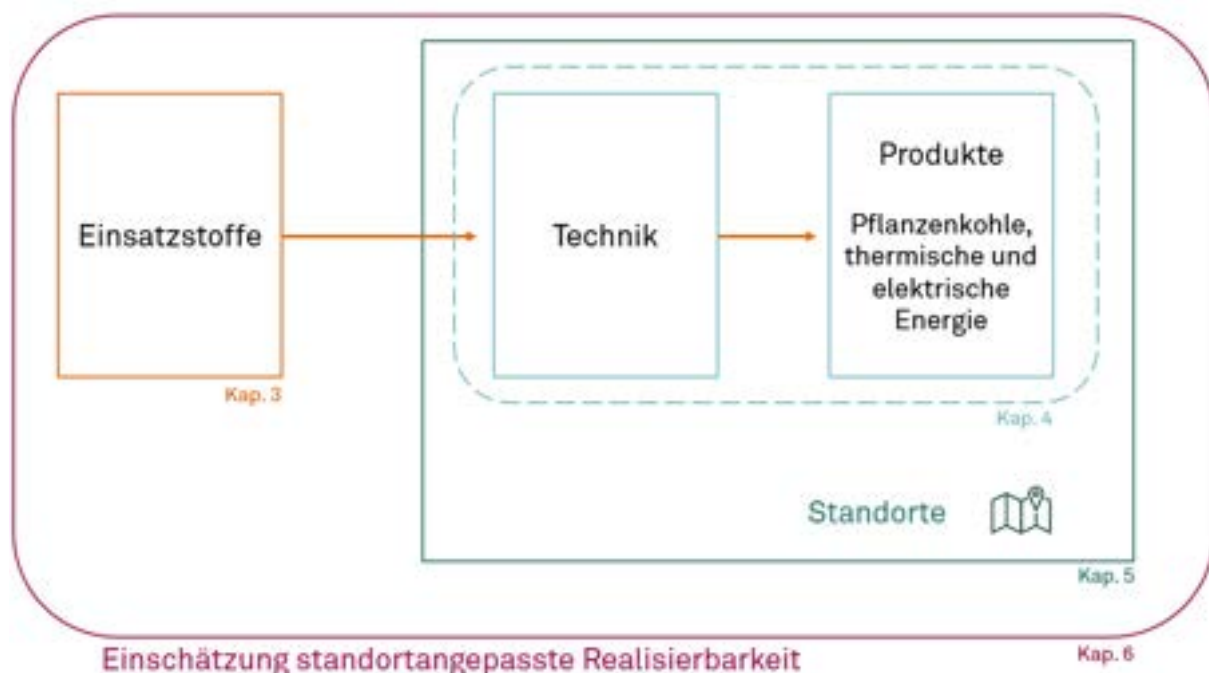


Abbildung 2: Strukturierung der Machbarkeitsstudie
Quelle: eigene Darstellung

3. Stoffkreisläufe der Maßnahmen

Im ersten Kapitel der „Machbarkeitsstudie des technischen Stands einer Pflanzenkohleproduktionsanlage in der Region Donaumoos“ werden mögliche Stoffkreisläufe der Maßnahme analysiert und dargestellt.

Die möglichen Einsatzstoffe werden auf Grundlage der „Studie zum Aufkommen und zu energetischen sowie stofflichen Verwertungsmöglichkeiten biogener Reststoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen“ (Aufkommensstudie), weiterer bereits erfasster Kenntnisse des Auftraggebers und eigener Berechnungen dargestellt.

Weitere, im Projektverlauf diskutierte biogene Einsatzstoffe werden zusammengefasst und eine Nutzungsmöglichkeit abgeschätzt.

3.1. Verfügbarkeit von Einsatzstoffen

Der Endbericht der Aufkommensstudie wurde am 31. März 2020 veröffentlicht. Seitdem konnten erfreulicherweise seitens des Auftraggebers weitere Kooperationspartner wie der Landkreis Aichach-Friedberg und die Stadt Ingolstadt gewonnen werden. Diese Regionen wurden jedoch in der genannten Aufkommensstudie nicht behandelt. Daher wurde gemeinsam mit dem Auftraggeber entschieden, die Aufkommenspotenziale für den Landkreis Aichach-Friedberg auf Grundlage der Basisdaten in der Aufkommensstudie für die unterschiedlichen Einsatzstoffe für die Landkreise Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen qualifiziert zu schätzen bzw. herzuleiten.

Für die Landkreise Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen wurde in der Studie detailliert das Aufkommen der folgenden möglichen, holzartigen Einsatzstoffe analysiert:

- Waldrestholz
- Sägenebenprodukte
- Industrierestholz
- Gebrauchtholz
- Landschaftspflegeholz und kommunale Grünabfälle

Die Aufkommensstudie kommt zu dem Ergebnis, dass in dem Untersuchungsgebiet ein Gesamtaufkommen von rund 58,1 Tsd. Tonnen Frischmasse besteht. Dabei nimmt Waldrestholz aus dem Privatwald mit 38,9 Tsd. Tonnen den größten Teil ein. Gebrauchthölzer haben mit 7,5 Tsd. Tonnen das zweitgrößte und Landschaftspflegeholz mit 5,4 Tsd. Tonnen das drittgrößte Aufkommen. Die drei genannten sowie die weiteren Einsatzstoffe (Industrierestholz und Sägenebenprodukte) sind in der nachfolgenden Abbildung 3 mit dem jeweiligen Aufkommen dargestellt.

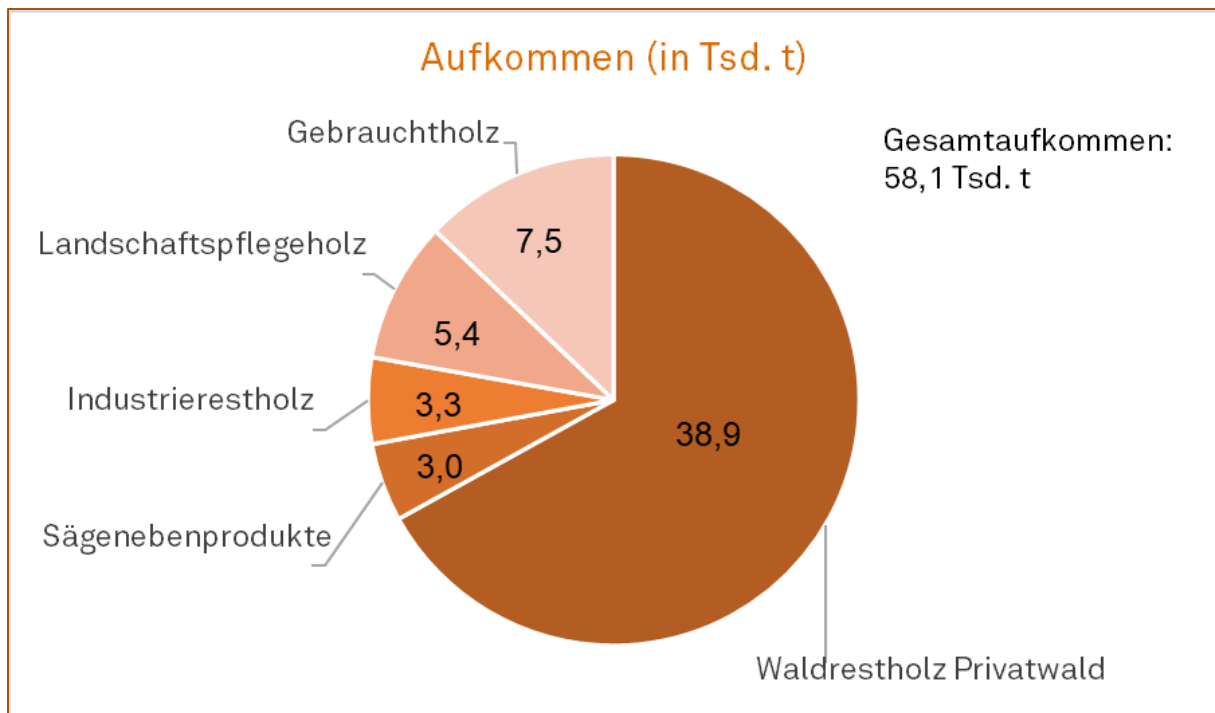


Abbildung 3: Aufkommen holzartiger Einsatzstoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen
 Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Aufkommensstudie

Für eine Abschätzung von potenziellen Einsatzstoffmengen sind die bisherige Verwertung und das Potenzial an bisher ungenutzten holzigen Reststoffmengen relevanter als das reine Aufkommen. Diese bilden die Grundlage für zukünftige Nutzungsmöglichkeiten in einer Pflanzenkohleproduktionsanlage in der Region Donaumoos. Die Studie zeigt auf, dass bei den Einsatzstoffen Waldrestholz aus dem Privatwald und Landschaftspflegeholz grundsätzlich ein Potenzial besteht. Bei Gebrauchtholz, Industrierestholz und Sägenebenprodukten besteht dagegen kein Potenzial.

Die Potenziale bei Waldrestholz aus dem Privatwald setzen sich aus einer möglichen Steigerung des Holzeinschlags, einer Intensivierung der Nutzung und einer Reduzierung des Abflusses in andere Landkreise zusammen. Bei der Steigerung des Einschlags und dem damit einhergehenden Anfall des Koppelprodukts Waldrestholz sowie bei der Intensivierung der Nutzung besteht ein wirtschaftlich-nachhaltiges Potenzial. Ein weiteres Potenzial liegt im bereits anfallenden Waldrestholz, welches aktuell jedoch nicht im Landkreis verwertet wird, sondern in andere Landkreise abfließt.

Die Potenziale bei Landschaftspflegeholz und kommunalem holzigen Grünschnitt bestehen in einem bisher ungenutzten technischen Potenzial laut Aufkommensstudie und der Nutzung des bereits bestehenden Aufkommens. Deutschlandweit, und somit auch in dem Untersuchungsgebiet, ist ein ungenutztes technisches Potenzial vorhanden. Das Landschaftspflegeholz sollte möglichst effizient gesammelt und idealerweise einer thermischen Verwertung, z. B. in einem HolzEnergieWerk, zugeführt werden. Da in einer Pflanzenkohleproduktionsanlage neben der Pflanzenkohle thermische und ggfs. auch elektrische Energie erzeugt und genutzt werden kann, würde diese Nutzung vollkommen dem in der Aufkommensstudie genannten Ziel entsprechen. Das gesamte Aufkommen an

Landschaftspflegeholz und kommunalem holzigen Grünschnitt wird aktuell außerhalb der untersuchten Landkreise Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen in Holz-EnergieWerken verwertet. Aus ökonomischen und ökologischen Gründen kann eine Nutzung in den eigenen Landkreisen sinnvoll sein.

Abbildung 4 stellt das Aufkommen und die Verwertung von Waldrestholz aus dem Privatwald und Landschaftspflegematerial in und außerhalb der untersuchten Landkreise dar.

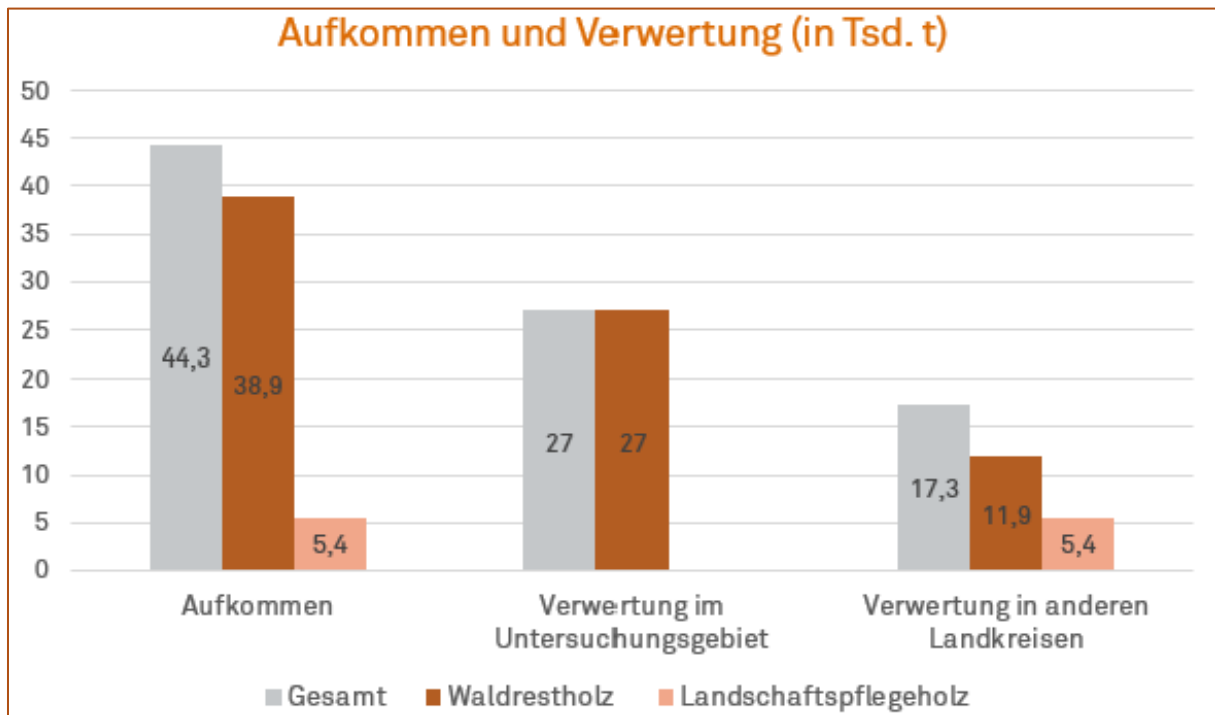


Abbildung 4: Aufkommen und Verwertung von Waldrestholz aus dem Privatwald und Landschaftspflegeholz in den Landkreisen Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen
Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Aufkommensstudie

Für das Projektvorhaben ist von entscheidender Bedeutung, welche Mengen unter Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeit, Konkurrenzdruck etc. zu erhalten sind. Hierbei spricht man von dem sogenannten Abschöpfungspotenzial. Dafür kommen insbesondere beim Waldrestholz aus dem Privatwald und beim Landschaftspflegeholz die Mengen in Frage, die momentan zur Verwertung in andere Landkreise verbracht werden. Als erster, konservativer Ansatz kann ein Abschöpfungspotenzial von 50 % der Mengen, die aktuell in anderen Landkreisen verwertet werden, angenommen werden.

Der gewählte konservative Ansatz soll gewährleisten, dass das Potenzial im Falle der operativen Realisierung auch mit großer Wahrscheinlichkeit umsetzbar ist. Ob höhere Mengen durch die Steigerung des Holzeinschlags und eine Intensivierung der Nutzung dauerhaft realisierbar sind, ist mit Bewirtschaftern von Forstflächen an Einzelflächen zu prüfen.

Für die Landkreise Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen kann jährlich von einem Potenzial von rund **5,95 Tsd. t Waldrestholz aus dem Privatwald** und **2,7 Tsd. t Landschaftspflegeholz**, wie in der nachfolgenden **Tabelle 1** hergeleitet, ausgegangen werden.

Tabelle 1: Potenzialabschätzung Waldrestholz Privatwald und Landschaftspflegeholz
Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Aufkommensstudie

Einsatzstoffe:	Waldrestholz Privatwald	Landschaftspflegeholz
Verwertung in anderen Landkreisen	11,9 Tsd. t/a	5,4 Tsd. t/a
Abschöpfungspotenzial	50 %	50 %
Abschöpfbarer, für das Projektvorhaben nutzbarer Anteil	5,95 Tsd. t/a	2,7 Tsd. t/a

In Summe ergibt dies ein **Potenzial von jährlich rund 8,65 Tsd. t Einsatzstoff** in den Landkreisen **Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen**.

Wie zuvor erläutert wurde für den Landkreis Aichach-Friedberg und die Stadt Ingolstadt mit dem Auftraggeber abgestimmt, dass die Aufkommen und die Potenziale auf Grundlage der Basisdaten der Aufkommensstudie für die unterschiedlichen Einsatzstoffe für die Landkreise Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen qualifiziert hergeleitet bzw. geschätzt werden.

Dazu wurden die relevanten Daten ins Verhältnis gesetzt. Für das Waldrestholz aus dem Privatwald wurde die Waldfläche der Landkreise Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen mit der Waldfläche des Landkreises Aichach-Friedberg ins Verhältnis gesetzt. Für das Landschaftspflegematerial wurden die Einwohnerzahlen ins Verhältnis gesetzt (siehe Abbildung 5).

Waldrestholz Privatwald		
	Waldflächen	Potenzial
Pfaffenhofen a. d. Ilm	18.000 ha	5,95 Tsd. t
Neuburg-Schrobenhausen	16.600 ha	
Summe	34.600 ha	
Aichach-Friedberg	20.000 ha	
Verhältnis Aichach-Friedberg	57,8% Waldfläche Aichach-Friedberg zu Summe Pfaffenhofen/Neuburg-Schrobenhausen	
Potenzial Aichach-Friedberg	3,44 Tsd. t	(57,8 % * 5,95 Tsd. t)
Landschaftspflegeholz		
	Einwohner	Potenzial
Pfaffenhofen a. d. Ilm	130.010	2,7 Tsd. t
Neuburg-Schrobenhausen	98.516	
Summe	228.526	
Aichach-Friedberg	135.689	
Verhältnis Aichach-Friedberg	59,4% Einwohner Aichach-Friedberg zu Summe Pfaffenhofen/Neuburg-Schrobenhausen	
Potenzial Aichach-Friedberg	1,60 Tsd. t	(59,4 % * 2,7 Tsd. t)

Abbildung 5: Herleitung Potenziale Landkreis Aichach-Friedberg
Quelle: eigene Darstellung

Bei den in Abbildung 5 hergeleiteten Potenzialen für den Landkreis Aichach-Friedberg von rund 3,44 Tsd. t Waldrestholz aus dem Privatwald und rund 1,60 Tsd. t Landschaftspflegeholz handelt es sich um das Abschöpfungspotenzial, d. h. um das Potenzial, welches letztendlich unter Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeit, Konkurrenzdruck etc. für das Projektvorhaben zu erhalten ist. In Summe ergibt sich für den Landkreis **Aichach-Friedberg ein Potenzial von rund 5,04 Tsd. t Einsatzstoff**. Diese Werte sind vorbehaltlich der noch ausstehenden Detailabstimmung und Freigabe durch den Auftraggeber.

Die Potenziale für die **Stadt Ingolstadt** wurden mit **0 Tonnen** angesetzt, da die strukturellen Voraussetzungen nicht mit denjenigen der betrachteten Landkreise vergleichbar sind. Die Stadt Ingolstadt hat aufgrund ihres städtischen Charakters eine deutlich unterdurchschnittliche Waldfläche von rund 12 % der Gesamtfläche. Zusätzlich ist das Aufkommen von Landschaftspflegeholz und kommunalem Grünschnitt von Landkreisen nicht direkt auf Städte übertragbar. In der Stadt Ingolstadt fällt sowohl Waldrestholz als auch Landschaftspflegeholz an. Um den konservativen Ansatz fortzuführen, wird das Potenzial jedoch mit 0 Tonnen bewertet.

3.2. Weitere biogene Einsatzstoffe

Im Projektverlauf wurden mehrmals weitere biogene Einsatzstoffe aus Paludikulturen und Grüngut diskutiert.

Paludikulturen

Bei Paludikulturen handelt es sich um die land- und forstwirtschaftliche Nutzung von nas- sen oder wiedervernässten Nieder- und Hochmoorböden. Dabei werden durch angepasste Pflanzenarten und entsprechende Technik Biomasseproduktion und Moorschutz verbun- den. Geeignete Paludikultur-Pflanzen sind halmgutartige Pflanzen wie Seggen und Rohr- glanzgras.

Beim Projektpartner Hochschule Weihenstephan-Triesdorf werden im Rahmen eines wei- teren Forschungsprojekts mit dem Titel MOORuse Verwertungspotenziale von anfallender Biomasse erforscht. Dabei wurden u.a. die Pelletierung und Verbrennung von Material aus Paludikulturen getestet. Dies geschah im Testmaßstab am Technologie- und Forschungs- zentrum in Straubing. Bei den Verbrennungsversuchen wurden erhöhte Emissionen an NO_x und Gesamtstaub bei der Verbrennung sowie eine höhere Schlackebildung festgestellt. Da das Gesamtprojekt noch nicht abgeschlossen ist, liegt noch keinen Abschlussbericht vor.

Aus technischer Sicht der Machbarkeit ist die Pyrolyse von Material aus Paludikulturen erst weiter zu erforschen und zu untersuchen.

Kurz vor Abschluss dieser Machbarkeitsstudie konnten durch den Auftraggeber Analy- seergebnisse und dazugehörige Erläuterungen zu pyrolysiertem Rohrganzglas zur Verfü- gung gestellt werden. Dabei wurden 5 Eigenschaften der Pflanzenkohle aus Rohrglanzgras getestet und dargelegt:

- Kohlenstoffgehalt und landwirtschaftliche Anwendung
- PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe)
- pH-Wert
- Schwermetallgehalte
- Nährstoffgehalte

Der vom Labor ermittelte Kohlenstoffgehalt zwischen 60 – 65 % ist als nicht besonders hoch einzuschätzen. Die deutsche Düngemittelverordnung sowie die Richtlinie des Euro- pean Biochar Certificate (EBC) gibt momentan folgendes vor: „Deutschland verlangt der- zeit einen Mindestgehalt an Kohlenstoff von 80 % für Pflanzenkohle («Holzkohle»), die aus unbehandeltem Holz hergestellt werden muss.“ Eine landwirtschaftliche Anwendung Pflanzenkohle aus Rohrglanzgras ist daher aktuell „als schwierig einzuschätzen“. Weitere Informationen zu dem European Biochar Certificate und den rechtlichen Rahmenbedin- gungen für den Einsatz von Pflanzenkohle sind in Kapitel 4.2 Produktzertifizierung aufge- führt.

Der ermittelte Wert für die Summe aller PAKs (mögliche krebserregende Stoffe) lag bei 0,3 mg/kg und stellt keine Nutzungseinschränkung dar.

Der getestete pH-Wert von 12,2 ist auffällig hoch und befindet sich am Ende der Werteskala (Maximum = 14). Die Pflanzenkohle ist somit hoch basisch und könnte geeignet sein, um den pH-Wert versauerter Böden zu erhöhen und damit zu verbessern.

Die Analyse der Schwermetallgehalte hat ergeben, dass bei Arsen und Blei, je nach beabsichtigtem Anwendungsbereich und Einsatzzweck, die Grenzwerte des European Biochar Certificate überschritten werden.

Die Nährstoffgehalte wurden analysiert, da diese bei einer Anwendung in der Landwirtschaft und der Tierhaltung angegeben werden und daher bekannt sein müssen.

Zur technischen Nutzbarkeit von Rohrglanzgras in einer Pflanzenkohleproduktionsanlage wurden keine Angaben gemacht.

Grüngut des Landschaftspflegeverband Aichach-Friedberg

Beim Landschaftspflegeverband Aichach-Friedberg fallen im Rahmen der jährlichen Mäharbeiten rund 7.000 Kubikmeter Mähgut an, wovon rund 3.500 Kubikmeter sinnvoll gesammelt werden können. Das Mähgut stammt von Wiesen, Nasswiesen, Magerrasen, Hochstaudenfluren, Schilfröhricht u.ä. Flächen, weshalb ein für die Pflanzenkohleproduktion notwendiger holziger Anteil einerseits zu gering und andererseits jährliche stark schwankend ist. Analog zu Material aus Paludikulturen besteht hier Forschungs- und Versuchsbedarf, ob Mähgut in Pflanzenkohleproduktionsanlagen eingesetzt werden kann.

Zusammenfassend kann für Material aus Paludikulturen sowie von Mähgut festgehalten werden, dass zum aktuellen Zeitpunkt kein Einsatz dieser Materialien im Produktionsmaßstab bekannt ist.

Potenzielle Nutzungsmöglichkeiten sollten weiter erforscht und untersucht werden. Zum einen besteht Forschungsbedarf bei technischen Fragestellungen, wie Ernteverfahren, Pelletierung sowie Auswirkungen auf die Anlagentechnik und den Pyrolyseprozess bei Einsatz dieser Materialien. Die bisher in anderen Forschungsvorhaben gewonnenen Ergebnisse bei Verbrennungsversuchen könnten durch Pyrolyseversuche im Testmaßstab sowie im Produktionsmaßstab an bestehenden Pyrolyseanlagen weiter untersucht werden. Zum anderen besteht Untersuchungsbedarf bei organisatorischen und ökonomischen Fragestellungen, die teilweise mit den technischen Fragestellungen zusammenhängen. Die Konkretisierung der regional verfügbaren Mengen und der saisonale Anfall sowie die Bewertung der Ernte- und Pelletierkosten bieten hier einen Untersuchungsansatz. Darauf aufbauend könnten die Materialkosten und mögliche Vergütungspotenziale für beteiligte Landwirte beziffert werden. Gemeinsam mit den zuvor genannten Untersuchungsgebieten kann der Kohlenstoffbindungskreisläufe genauer bestimmt und berechnet werden. Dazu bietet sich die Erstellung einer Ökobilanz für eine Pyrolyseanlage unter Nutzung regional verfügbarer Biomassen an.

3.3. Zwischenfazit und Handlungsempfehlung

Tabelle 2 fasst die Potenziale der Landkreise Pfaffenhofen a. d. Ilm, Neuburg-Schrobenhausen und Aichach-Friedberg zusammen.

Tabelle 2: Zusammenfassung Potenzialabschätzungen
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die Aufkommensstudie

	Waldrestholz Privatwald	Landschaftspflegeholz
Landkreise Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen	5,95 Tsd. t/a	2,7 Tsd. t/a
Landkreis Aichach-Friedberg	3,44 Tsd. t/a	1,6 Tsd. t/a
Stadt Ingolstadt	-	-
Summe	9,39 Tsd. t/a	4,3 Tsd. t/a

In Summe ergibt sich ein Potenzial von rund **13,69 Tsd. t Einsatzstoffen** in den drei Landkreisen. Für die weiteren Schritte der Machbarkeitsstudie kann eine ausreichende Verfügbarkeit von Einsatzstoffen angenommen werden. Die Nutzung regional verfügbarer Einsatzstoffe in den eigenen Landkreisen kann aus ökonomischen und ökologischen Gründen sinnvoll sein. Vermiedene bzw. kürzere Transportentfernungen können sowohl die Kosten als auch die Emissionen senken.

Handlungsempfehlungen

- Bei positivem Projektfortschritt, wie der positiven Einschätzung der technischen Machbarkeit einer Pflanzenkohleproduktionsanlage an einem konkreten Anlagenstandorten, sollten mit relevanten Akteuren in den Teilmärkten Waldrestholz aus dem Privatwald und Landschaftspflegeholz erste Sondierungsgespräche geführt werden. Akteure im Bereich Waldrestholz aus dem Privatwald sind regionale Waldbesitzervereinigungen und Forstbetriebsgemeinschaften. Beim Landschaftspflegeholz sind dies u.a. von den Kommunen und Landkreisen beauftragte Firmen. Die Sondierungsgespräche sollen zum einen die praktische und dauerhafte Umsetzung der Mengenpotenziale validieren und zum anderen auch als Grundlage für notwendige Korrekturen in den Beschaffungsszenarien dienen.
- Die Forschung zu Einsatzmöglichkeiten von Material aus Paludikulturen und Grün- gut sollte weiterverfolgt werden. Bei zukünftig technischer Einsetzbarkeit dieser Stoffe bietet die Region ein gutes Potenzial zur Materialbereitstellung.

4. Produktdefinition und Technologieauswahl

Dieses Kapitel befasst sich zu Beginn mit der Definition des Begriffs und Stoffs „Pflanzenkohle“ und bietet eine Einordnung als Negative-Emissionen-Technologie sowie die Einbettung in die Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen, den sog. Sustainable Development Goals (SDG).

Im Weiteren wird auf die verschiedenen, möglichen Produkte und die Zertifizierung dieser eingegangen. Die Einsatz- und Anwendungsmöglichkeiten von Pflanzenkohle werden dargestellt.

Abschließend werden die unterschiedlichen Produktionsverfahren sowie Anlagentypen und -hersteller von Pflanzenkohleproduktionsanlagen behandelt.

4.1. Pflanzenkohle – Definition und Sustainable Development Goals

Die Verkohlung von pflanzlichen Materialien unter weitestgehendem Sauerstoffentzug (klassische Holzkohleherstellung in handaufgerichteten Meilern) hat eine lange historische Tradition. Moderne anlagentechnische Herstellungsprozesse ermöglichen die Lenkung, Steuerung und Überwachung der chemischen und physikalischen Vorgänge während des Herstellungsprozesses und eröffnen damit die Möglichkeit höchste Produktqualitäten wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll herzustellen.

Bislang gibt es noch keine einheitliche Definition von Pflanzenkohle in Deutschland. In der österreichischen Norm ÖNORM S 2211 wird Pflanzenkohle wie folgt definiert:

Definition:

Pflanzenkohle

Durch Pyrolyse von pflanzlicher Biomasse hergestellte Kohle mit einem Gehalt an organischem Kohlenstoff von mehr als 50 % der Trockenmasse.

Quelle: ÖNORM S 2211

Die Pyrolyse hat zum Ziel durch thermische Karbonisierung langfristig Kohlenstoff zu speichern. Die wichtigsten Parameter sind hierbei Sauerstoffausschluss und Temperaturen zwischen 350 °C und 1.000 °C (vgl. European Biochar Certificate (EBC)).

Unter pflanzlicher Biomasse werden Materialien wie Holz, Grünabfälle oder Heckenschnitt verstanden. Je nach Qualität der eingesetzten Stoffe und der Parameter bei der Herstellung variiert die Qualität der hergestellten Pflanzenkohle. Um die Sicherstellung der C-Senke zu garantieren ist die thermochemische Verwendung und somit die vollständige Verbrennung von Pflanzenkohle untersagt. Die Nutzungsmöglichkeiten umfassen die Verwendung der stofflichen Nutzung (vgl. Fachverband Pflanzenkohle). Praxisbeispiele werden in Kapitel 4.3 aufgereiht.

Je nach Zertifizierung können sich die einzusetzenden Eingangsstoffe unterscheiden. In Kapitel 4.2 wird eine europäische Zertifizierung, das European Biochar Certificate, näher erläutert, an welcher diese Machbarkeitsstudie angelehnt ist. Alle eingesetzten Biomassen können in der Positivliste des EBC nachgelesen werden. Von besonderer Bedeutung für diesen Bericht sind vor allem die Biomassen aus den Kategorien „Landwirtschaft“, „Forstwirtschaft und Holzverarbeitung“ und „Landschaftspflege“, welche in Kapitel 3 ausführlich auf ihr Aufkommen in den potenziellen Regionen überprüft wurden.

Pflanzenkohleherstellung

Biomasse kann durch verschiedene Verfahren karbonisiert werden. In der Machbarkeitsstudie wird jedoch nur die Herstellung durch die Pyrolyse berücksichtigt.

Bei der Pflanzenkohleherstellung durch die Pyrolyse werden organische Bestandteile unter Sauerstoffausschluss thermisch zersetzt. Der Prozess der vollständigen Verbrennung wird dabei umgangen, wodurch ein Kohlegerüst entsteht. Je nach Anlagentyp und -hersteller variieren jedoch die exakten Parameter wie Temperatur. Genauere Informationen sind in den Kapiteln 4.4 Produktionsverfahren und -technologie und 4.5 Anlagentypen und -hersteller zu finden.

Wird in diesem Bericht Pflanzenkohle erwähnt, ist immer Pyrolysekohle gemeint. Alternativ gibt es Pflanzenkohle aus Hydrothermalen Karbonisierung (HTC). Dabei wird das eingesetzte Ausgangsmaterial in wässriger Phase und unter erhöhtem Druck in Kohle umgewandelt.

Produkteigenschaften von Pflanzenkohle

Abbildung 6 zeigt einige Charakteristika von Pflanzenkohle mit ihren resultierenden positiven Eigenschaften auf. Besonders im Bereich der Landwirtschaft, im genaueren der Bodenanwendung, sind diese Aspekte deutlich erkennbar.

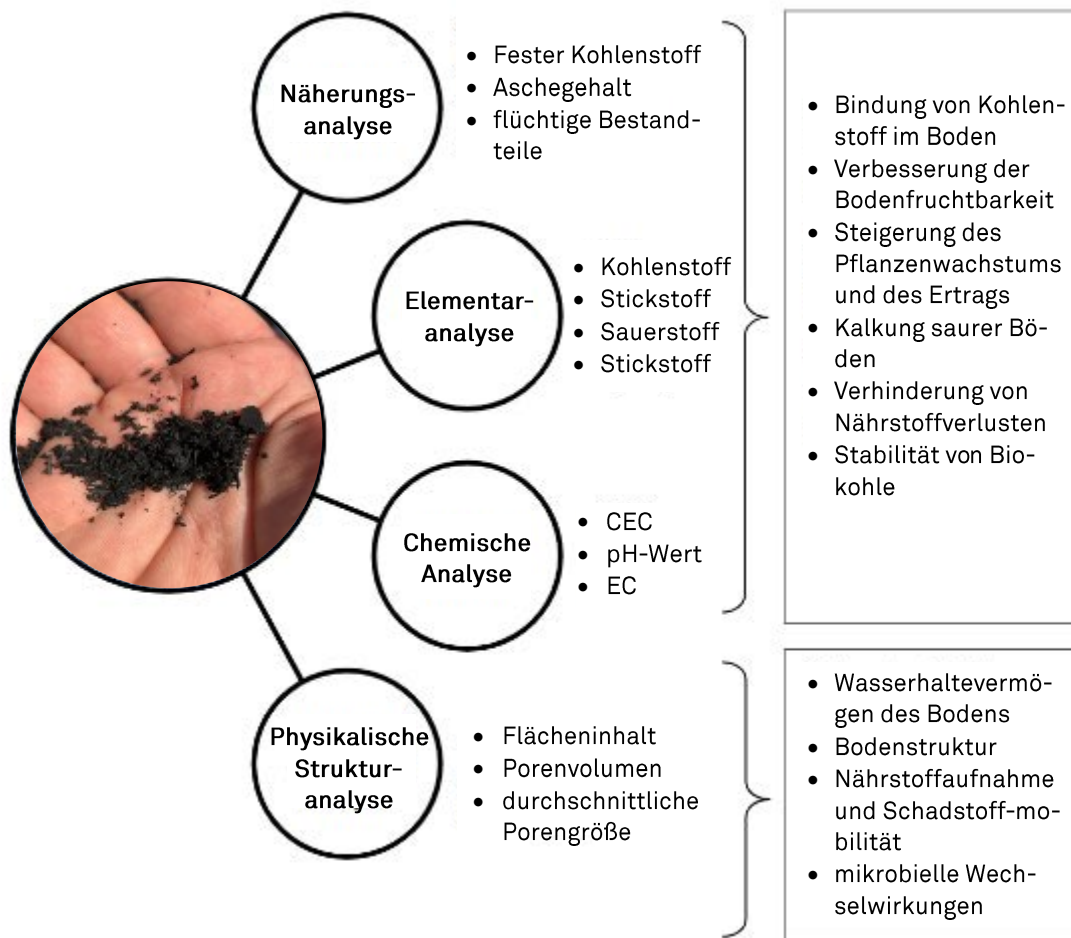


Abbildung 6: Charakteristika der Pflanzenkohle
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Al-Wabel et al.

Die Elementarzusammensetzung der Pflanzenkohle besteht aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff. Je nach eingesetzter Biomasse und Prozesstemperaturen verändert sich der Anteil der verschiedenen Elemente, was wiederum direkten Einfluss auf den Anteil des Asche- wie auch Kohlenstoffgehalts hat (vgl. Al-Wabel et al.). Bei den enthaltenen Nährstoffen wie Phosphor, Schwefel, Magnesium oder Eisen ist ebenfalls ein linearer Anstieg der Nährstoffgehalte bei steigenden Prozesstemperaturen erkennbar (vgl. Lehmann und Joseph). Damit die Pflanzenkohle ihre Wirkung ausbringen und die Nährstoffe abgeben kann, ist zunächst eine biologische Aktivierung von Nöten. Dazu sollte die Pflanzenkohle vor Ausbringung in den Boden mit Nährstoffen und Wasser aufgeladen, mit Mikroorganismen angereichert und durch Oxidation gealtert werden. Mögliche Vorgehensweisen sind beispielsweise die Vermischung mit Kompost, mit Viehmist oder mit Flüssigdünger (vgl. Schmidt).

Die Stabilität im Boden wird aus den O/C- und H/C-Verhältnissen abgeleitet. Im Gegensatz zu den Nährstoffanteilen sinkt sowohl O/C als auch H/C mit zunehmender Temperatur. Die optimalen Verhältnisse liegen bei $O/C \leq 0,4$ und bei $H/C \leq 0,6$ (vgl. Schimmelpfening und Glaser). Der pH-Wert der Pflanzenkohle wird im Laufe der Pyrolyse basischer, da unter den flüchtigen Bestandteilen auch saure funktionelle Gruppen enthalten sind. Bei Anwendung in den Boden kann so der pH-Wert von sauren Böden erhöht werden (vgl. Quicker und Weber). Ein weiterer wichtiger Wert ist die Kationenaustauschkapazität (CEC). Dieser Wert

besagt, wie stark Kationen in den Boden gebunden sind. Diese positiv geladenen Nährstoffe werden an die Pflanzenkohleoberfläche gebunden, wodurch sie frei verfügbar für die Pflanzen sind (vgl. Lehmann und Joseph). Allerdings ist diese gegen Ende der Pyrolyse meist geringer als bei niedrigen Temperaturen zu Beginn (vgl. Al-Wabel et al.). Je höher die CEC ist, desto besser kann das Auswaschen von mineralischen wie organischen Nährstoffen verhindert werden. Ebenfalls führt Pflanzenkohle aufgrund derer zu einer höheren Nährstoffverfügbarkeit im Boden, fixiert die Nährstoffe besser und bindet Schadstoffe. Die neu fixierten Nährstoffe bilden Lebensräume für Mikroorganismen (vgl. Schmidt 2011). In Verbindung mit Düngemittel hat Pflanzenkohle einen positiven Einfluss auf die Ertragssteigerung (vgl. Glaser et al.).

Eine der wichtigsten Eigenschaften der Pflanzenkohle ist ihre große innere Oberfläche. Während der Pyrolyse werden flüchtige Bestandteile in den Poren der Zellen abgebaut, wodurch lediglich eine große innere Zellstruktur mit hohlem Innenraum übrigbleibt. Die Fläche nimmt während der Pyrolyse stetig zu. Aufgrund dieser Entwicklung kann Pflanzenkohle als Absorber oder Langzeitdünger agieren (vgl. Quicker und Weber). Die Struktur der Poren ändert sich hingegen nur leicht. Mikroporen (Durchmesser < 2 nm) haben Einfluss auf die Vergrößerung der Oberfläche, Mesoporen (Durchmesser zwischen 2 nm und 50 nm) stehen im Zusammenhang mit einer verbesserten Absorptionsfähigkeit von Wasser und Makroporen (Durchmesser > 50 nm) steigern die Luftzufuhr und Wasserleitung im Boden. Je länger die Pyrolyse dauert, desto mehr Mikroporen entstehen (vgl. Lehmann und Joseph). Die innere Oberfläche und die Porosität führen dazu, dass Pflanzenkohle ein Vielfaches des eigenen Gewichts aufnehmen und Wasser speichern kann (Wasserhaltekapazität) (vgl. Schmidt, Lehmann und Joseph). Die steigende Temperatur während der Pyrolyse hat ebenfalls Einfluss auf die Partikelgröße. Je nach eingesetzter Biomasse nimmt die Partikelgröße im Laufe des Prozesses ab. Grund der Reduzierung sind Schwund und Abrieb (vgl. Lehmann und Joseph).

EXKURS: Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen

Um die Klimaziele zu erreichen und die Erderwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen, sind Technologien notwendig, welche CO₂ der Atmosphäre entziehen und dauerhaft binden. Diese werden als Negative-Emissionen-Technologien, kurz NET, bezeichnet. Pflanzenkohle gehört mit ihren nachhaltigen Eigenschaften zu diesen Technologien. Diese positiven Aspekte der Pflanzenkohle können außerdem den Nachhaltigkeitszielen (Sustainable Development Goals – SDG) zugeteilt werden. 2015 wurden 17 Ziele in der Agenda 2030 verabschiedet, welche zur Förderung nachhaltigen Friedens und Wohlstands und zum Schutz des Planeten dienen. Dabei stehen die Bekämpfung der Armut und die Reduzierung von Ungleichheiten in allen Ländern im Vordergrund. Die Pflanzenkohletechnologie weist bei acht der 17 Ziele Schnittstellen mit den jeweiligen Unterzielen auf. Abbildung 7 zeigt die selektierten SDGs.



Abbildung 7: Pflanzenkohle betreffende Nachhaltigkeitsziele
 Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Bundesregierung – Nachhaltigkeit

Im Folgenden werden die Überschneidungen kurz erläutert:

Ziel 2 – Kein Hunger: Aufgrund von Kationenaustauschkapazität, Nährstofffixierung und Mikroorganismen wird die Bodenqualität verbessert. Diese positiven Auswirkungen auf den Boden führen wiederum zu einer Verbesserung des Pflanzenwachstums und der Erwirtschaftung eines Mehrertrages. Des Weiteren wird durch die CO₂-Speicherung in den Pflanzen zur Eindämmung des Klimawandels beigetragen.

Ziel 6 – Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen: Die Fähigkeit der Filtration der Pflanzenkohle verbessert sowohl die Qualität des Trinkwassers als auch die Qualität weiterer Gewässer. Im Klärwerk wird die Aktivkohle zur Abwasseraufbereitung und Filtration von Schadstoffen verwendet. Mit der Steigerung der gesäuberten Gewässer steigt der Schutz der verbundenen Ökosysteme.

Ziel 7 – Bezahlbare und saubere Energie: Bei der Pflanzenkohleherstellung entsteht eine große Menge Abwärme. Diese Abwärme kann beispielsweise als Fernwärme weiterverwendet werden oder mit Hilfe eines Generators zu elektrischen Strom umgewandelt werden. Dadurch steigt der Anteil der erneuerbaren Energien im inländischen Energiemix.

Ziel 9 – Industrie, Innovation und Infrastruktur: Die Verwendung von Pflanzenkohle in der Industrie ermöglicht eine nachhaltige Infrastruktur durch Einsatz im Bausektor. Die Technologie der Pflanzenkohleherstellung bringt selbst in den am wenigsten entwickelten Ländern Chance auf neue und innovative Techniken, die zum einen das Land stärken und zum anderen dem Klimawandel entgegenwirken sollen.

Ziel 11 – Nachhaltige Städte und Gemeinden: Die Verwendung von Bioabfall, Grünschnitt, etc. als Eingangsstoff bei der Herstellung von Pflanzenkohle wie auch der Einsatz in Grünflächen tragen zur Senkung der Umweltbelastung pro Kopf und zur Verbesserung der Luftqualität aufgrund der Filtration von Schadstoffen und Speicherung des

Kohlenstoffdioxids bei. Des Weiteren werden fossile Wärmeträger durch die Nutzung bei der Herstellung entstehenden Abwärme verringert und die nachhaltige Bauweise mittels Verwendung von Pflanzenkohle in Baustoffen gestärkt.

Ziel 12 – Nachhaltige/r Konsum und Produktion: Der verantwortungsbewusste Umgang mit den Ressourcen wird bei der Herstellung der Pflanzenkohle sichergestellt. Eingesetzt werden je nach Zertifizierung ausschließlich nachhaltige Biomasse. Die eingesetzten Stoffe können außerdem zur Reduzierung des Abfallaufkommens beitragen.

Ziel 13 – Maßnahmen zum Klimaschutz: Aufgrund ihrer Schwammfunktion kann Pflanzenkohle die Widerstandsfähigkeit gegen Naturkatastrophen stärken. Kleinere Überschwemmungen werden beispielsweise verhindert. Des Weiteren dient Pflanzenkohle als Negative-Emissionen-Technologie, was bedeutet, dass umweltschädlichen Emissionen eingespeichert werden und Pflanzenkohle somit bei korrekter Ausführung den Status „klimapositiv“ und „CO₂-Senke“ trägt. Bei Verwendung der erzeugten Abwärme bzw. die Umwandlung in Strom wird außerdem zu einer Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien beigetragen.

Ziel 15 – Leben an Land: Pflanzenkohle bietet sowohl Lebensraum für Nährstoffe wie auch für Kleinstlebewesen im Boden. Dies wiederum verbessert die Bodenstruktur und fördert die nachhaltige Waldbewirtschaftung, wenn als Einsatzstoff Kalamitätenholz verwendet wird.

4.2. Produktzertifizierung

Aufgrund der positiven Auswirkungen der Pflanzenkohle, welche beispielsweise soeben bei den Nachhaltigkeitszielen aufgeführt wurden, erstreckt sich die Möglichkeit, qualitativ hochwertige Pflanzenkohle zertifizieren zu lassen. Ergebnis der Pflanzenkohleherstellung soll der Vertrieb dieser Kohle sein. Dies wird vor allem durch das European Biochar Certificate – kurz EBC – ermöglicht.

Für die Erlangung des Europäischen Pflanzenkohle Zertifikates bietet Carbon Standard International eine wissenschaftlich fundierte, praxisnahe und gesetzeskonforme Kontrollgrundlage an. Durch das EBC kann die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle durch die Kontrolle der eingesetzten Biomassen sichergestellt werden. Damit können Pflanzenkohleproduzenten die Qualität der Pflanzenkohle gegenüber Anwendern und Behörden nachweisen und garantieren.

Das Ziel der EBC-Richtlinien besteht in der Gewährleistung einer wissenschaftlich stichhaltigen, gesetzlich abgesicherten, wirtschaftlich verantwortbaren und praktisch umsetzbaren Kontrolle der Produktion und Qualität von Pflanzenkohle. Für Anwender von Pflanzenkohle und Produkten auf Basis von Pflanzenkohlen soll eine transparente und nachvollziehbare Kontrolle und Qualitätsgarantie ermöglicht werden. Darunter fällt außerdem die Sicherstellung von Arbeitssicherheit und betrieblichem Umweltschutz bei der Erstellung von Pflanzenkohle durch die Einhaltung nationaler und lokaler Emissionsvorschriften wie auch einer sinnvoller Nutzung der überschüssigen Wärme bei der Pyrolyse. Weiter garantiert das EBC die Produktsicherheit der Pflanzenkohle. Die Positivliste für die

Ausgangsstoffe und die regelmäßige chemische Analyse der Pflanzenkohle in akkreditierten Laboren nach der Probenahme durch einen externen Probenehmer dienen hierfür als Grundlage (vgl. EBC-Richtlinien).

Kohlenstoffsенke

Die Sequestrierung des Kohlenstoffs (C-Senke) stellt wohl die wichtigste Eigenschaft der Pflanzenkohle dar. Nach Haubold-Rosar et al. (2016) wird sie definiert als die Speicherung von Kohlenstoff in einem anderen Kohlenstoffreservoir als der Atmosphäre. Der Wert variiert je nach eingesetzter Biomasse und externen Faktoren wie dem Kohlenstoffaufwand von Düngung, dem verbrauchten Kraftstoff und der Energie beim Betreiben der Pyrolyseanlage.

Lehmann und Joseph (2015) verweist nach Auswertung mehrerer Studien auf ein Minderepotenzial von 0,4 bis 1,2 t CO₂-Äquivalent pro Tonne trockene Ausgangsbiomasse. In den Richtlinien zur Zertifizierung des C-Senken Potentials von Pflanzenkohle hingegen wird bei einem Beispiel ein C-Senken-Potenzial von 1,85 t CO₂-Äquivalent pro Tonne Ausgangsbiomasse berechnet. Dabei muss berücksichtigt werden, dass in diesem Beispiel der Wassergehalt der Biomasse 25 % beträgt und nicht wie bei dem vorherigen Potenzial ein trockener Ausgangsstoff als Grundlage dient.

Als Grundlage für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit in Kapitel 6.2 wird der berechnete Wert der Handelsplattform Carbonfuture für hochwertige und wirkungsvolle Kohlenstoffsenken-Credits verwendet. Dieser sagt aus, dass eine Tonne Pflanzenkohle ein Bindungspotenzial von 3,66 t CO₂ hat. Dieser Wert wurde anhand der Molaren Masse von Kohlenstoffdioxid zu Kohlenstoff berechnet und ist der wissenschaftlich fundierte Wert bei einem Kohlenstoffgehalt von 100 % in der Pflanzenkohle. Abzüglich der CO₂-Belastungen entlang der Wertschöpfungskette bis zur endgültigen Bodeneinbringung kann der aktuelle Gegenwert von 2,59 t CO₂ monetarisiert werden.

Um den aktiven Entzug von CO₂ aus der Atmosphäre zu garantieren, muss eine lückenlose und chargengenaue Verfolgung jeder sequestrierten Einheit Kohlenstoff gewährleistet werden, von der Entfernung aus der Atmosphäre über alle nötigen Transporte und Transformation hin zur finalen Speicherung.

Zulässige Biomasse gemäß EBC

Zur Herstellung von Pflanzenkohle dürfen ausschließlich Biomassen und keine fossilen Kohlenstoffe verwendet werden. Welche Biomassen zulässig sind, ergibt sich aus der EBC-Positivliste zulässiger Biomassen zur Herstellung von Pflanzenkohlen (siehe Abbildung 8).

Biomassen

Herkunft	Ausgangsmaterial
Landwirtschaft: Biomasse von landwirtschaftlichen Betrieben, einschließlich Reststoffen und Biomassen, die gezielt für die Herstellung von Pflanzenkohle angebaut werden.	Einjährige Energiepflanzen (z.B. Mais, Raps, Zuckerrüben, Sonnenblumen), die spezifisch für die energetische oder stoffliche Biomassenutzung angebaut wurden (NAWARO).
	Mehrfährige Energiepflanzen (z.B. Miscanthus, durchwachsene Süpflie, Wiesenschnitt), die spezifisch für die energetische oder stoffliche Biomassenutzung angebaut werden (NAWARO).
	Holzige Biomasse aus Kurzumtriebsplantagen (KUP)
	Baum-, Reben- und Strauchschnitt
	Ernterückstände wie Stroh, Kraut, Blätter, Spelzen, Strünke
	Altstroh, und Getreidestaub
	Gemüse
	Saatgut
Forstwirtschaft und Holzverarbeitung: Naturbelassene Rinde und Holz, unbehandelt oder mechanisch behandelt, aus forstwirtschaftlichen Betrieben, Sägewerken oder ähnlichen Betrieben	Rinde
	Holzschäl- und Häckselgut, nur mechanisch behandeltes Holz (reines Feuerholz)
	Holz, Holzreste aus mechanischer Bearbeitung (Altholz A1)
	Sägemehl, Sägespäne, Holzwohle aus nicht-chemisch behandeltem Holz
Landschaftspflege: Reststoffe, die in Gemeinden, beim Unterhalt von Grundstücken, im GaLa-Bau und bei Naturschutzvereinen anfallen	Laub
	Wurzelstöcke
	Schnittgut aus Naturschutzpflege
	Landschaftspflegematerial allgemein

Abbildung 8:Ausschnitt aus der Positivliste der eingesetzten Biomassen
 Quelle: EBC Positivliste

In der Positivliste werden die unterschiedlichen Ausgangsstoffe den Zertifizierungs-klassen zugeordnet.

Produktkategorien gemäß EBC

Die Zertifizierungs-klassen bestimmen, welche Voraussetzungen bei den verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten gelten. Das EBC teilt in sechs verschiedene Kategorien ein:

- **EBC-Futter:** Es erfüllt alle Anforderungen der EU-Futtermittelverordnung und ist sinnvoll gemeinsam mit der GMP+ Zertifizierung anzuwenden. Außerdem darf es als Bodenverbesserungsmittel verwendet werden, wenn die erforderlichen zusätzlichen Zertifizierungsparameter von EBC-Agro/EBC-AgroBio erfüllt sind.
- **EBC-Agro:** Es erfüllt alle Anforderungen der EU-Düngemittelverordnung. Deutschland verlangt einen Mindestgehalt an Kohlenstoff von 80 % für Holzkohle, welche aus unbehandeltem Holz hergestellt werden muss.
- **EBC-AgroBio:** Der Unterschied zwischen EBC-Agro und EBC-AgroBio ist, das letzteres alle Anforderungen der Verordnung der EU-Kommission über den ökologischen Landbau erfüllt. Alles weitere ist mit den Anforderungen des EBC-Agro gleichzusetzen.
- **EBC-Urban:** Dies ist Standard für die Verwendung von Pflanzenkohle bei der Baumbepflanzung, bei der Pflege von Parks, der Verschönerung von Gehwegen, für Zierpflanzen, bei der Regenwasserableitung und -filtration, für Sanierung kontaminierter Böden, Sedimenten oder Grundwasser, für die Produktion von Zierpflanzen und für Baumschulen. Es unterliegt nicht der landwirtschaftlichen Gesetzgebung, wodurch es nicht als Bodenverbesserungsmittel für Nahrungs- oder Futtermittelproduktion verwendet werden darf. Empfohlen wird die EBC-Agro/EBC-AgroBio-Qualität, denn dann darf es auch in der städtischen Boden-anwendung verwendet werden.
- **EBC-Gebrauchsmaterial:** Dies meint Pflanzenkohle für Produkte mit direktem Hautkontakt zum Verbraucher oder zum Lebensmittel. Beispiel hierfür sind Kaffeebecher, Computergehäuse, Zahnbürsten, Teppiche, Textilien, Blumentöpfe, Wasserrohre. Ausgeschlossen sind Medizin- und Gesundheitsprodukte oder Lebensmittel. Es ist nicht zur landwirtschaftlichen Nutzung oder Boden-anwendung, Bodensanierung oder Rekultivierung von Bergwerken erlaubt, nur für B2B.
- **EBC-Rohstoff:** Es definiert Pflanzenkohle als nachhaltiger Rohstoff. Der übrigen Stoffe der Pyrolyse gelten als Abfall.

Neben den Einsatzstoffen unterscheiden sich ebenso die Eigenschaften innerhalb der Zertifizierungs-klassen. Die Übersicht über die wichtigsten analytischen Parameter für die EBC-Pflanzenkohle sind in den Richtlinien des EBC zu finden. Enthalten sind dabei eine Elementaranalyse, verschiedene physikalische Parameter, Thermogravimetrische Analyse, Nährstoffe, Grenzwerte für Schwermetalle wie auch organische Schadstoffe.

Rechtlicher Rahmen für den Einsatz von Pflanzenkohle

Der rechtliche Rahmen bei der Verwendung von Pflanzenkohle in Deutschland und in der Europäischen Union umfasst entsprechend der Einsatzbereiche drei Absatzmärkte: Landwirtschaft, den Bausektor und den industriellen Markt. Jedoch ist keiner vollständig ausgereift. Lediglich im Sektor „Landwirtschaft“ besteht bereits eine rechtliche Grundlage. Tabelle 3 fasst die Bereiche mit den jeweils gültigen Rechtsvorschriften und deren derzeitigen Stand zusammen.

Tabelle 3: Rechtslage bei der Verwendung von Pflanzenkohle
Quelle: eigene Darstellung

Absatzmarkt	Rechtsvorschrift	Status Quo
Landwirtschaft	EU-Düngemittelverordnung (Verordnung (EU) 2019/1009)	Neuer Rechtsakt der Verordnung Mitte 2021 → Pyrolyseprodukte (z. B. Pflanzenkohle) wurden bei organischen Düngemitteln aufgenommen
	Nationale Düngemittelverordnung (DüMV)	Kohle aus Holz als Kultursubstrat oder Trägersubstanz für Düngemittel erlaubt
	EU-Futtermittelverordnung (Verordnung (EG) 767/2009)	Verweis auf Katalog der Einzelfuttermittel → Einzelfuttermittelstoff: pflanzliche Kohle (aus Verkohlung von Pflanzenmasse)
	Nationale Futtermittelverordnung (FuttMV)	Verweis auf alten Katalog der Einzelfuttermittel → keine Aufführung von pflanzlicher Kohle
Bausektor	Keine Rechtsvorschrift vorhanden, nur Norm zur Betonherstellung vorgegeben	Bisher keine Verweise auf Verordnungen oder Normen zum Einsatz von Pflanzenkohle
Aktivkohle im industriellen Markt	Keine Rechtsvorschrift vorhanden, nur Normen vorgegeben Beispiel: Einsatz von Aktivkohle zur Entfernung organischer Stoffe bei der Trinkwasseraufbereitung	Bisher keine Verweise auf Verordnungen oder Normen zum Einsatz von Aktivkohle aus pflanzlicher Biomasse

Einsatz in der Boden Anwendung

In der Verordnung (EU) 2019/1009 des europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 mit Vorschriften für die Bereitstellung von EU-Düngeprodukten auf dem Markt und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1069/2009 und (EG) Nr. 1107/2009 sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 2003/2003 (ABl. L 170) (zukünftig zitiert als Verordnung (EU) 2019/1009) ist zunächst Pflanzenkohle nicht als Düngemittel aufgeführt. Gemäß Artikel 42 Absatz 1 der Verordnung (EU) 2019/1009 hält sich die Kommission offen, die Anhänge II, III und IV durch den Erlass delegierter Rechtsakte zu ändern. Dadurch lässt sie sich die Möglichkeit zur Anpassung der genannten Anhänge an den technischen Fortschritt und zur Erleichterung des Zugangs zum Binnenmarkt mit freiem Verkehr für EU-Düngeprodukte offen. Die EU-Düngeprodukte müssen dafür Potenzial vorweisen, Gegenstand eines umfangreichen Handels auf dem Binnenmarkt zu sein und sicherstellen, dass kein Risiko für die Gesundheit für Menschen, Tiere oder Pflanzen wie auch die

agronomische Wirksamkeit vorliegt. In Artikel 42 Absatz 2 verpflichtet sich die Kommission unverzüglich nach Verabschiedung der Verordnung (EU) 2019/1009 Struvit, Biokohle und Ascheprodukte nach den genannten Kriterien zu überprüfen und die Produkte bei positiver Einschätzung in Anhang II als neue Komponentenmaterialkategorien aufzunehmen. Die aufzunehmenden Materialien dürfen nach Artikel 42 Absatz 3 nur dann aufgeführt werden, wenn sie ihre Abfalleigenschaft aufgrund eines Verwertungsverfahrens verloren haben. Mitte 2021 wurde schließlich die delegierte Verordnung (EU) .../...vom 7.7.2021 zur Änderung der Anhänge II, III und IV der Verordnung (EU) 2019/1009 des Europäischen Parlaments und des Rates zwecks Aufnahme von durch Pyrolyse oder Vergasung gewonnenen Materialien als Komponentenmaterialkategorie in EU-Düngemittel (C(2021) 4764 final, S. 1) (zukünftig zitiert als delegierte Verordnung (EU)) erlassen, die besagt, dass Produkte aus Pyrolyse und Vergasung erstmalig in die europäische Düngemittelverordnung aufgenommen werden. Seit Inkrafttreten der europäischen Düngemittelverordnung (Verordnung (EU) 2019/1009) am 16. Juli 2022 darf die Pflanzenkohle als aus Pyrolyse hergestelltes Produkt nach europäischem Recht als organisches Düngemittel angesehen und verwendet werden. In der Begründung der delegierten Verordnung (EU) wird außerdem die Nichtaufnahme von Klärschlamm in die Liste der Eingangsmaterialien bestimmt, da noch keine vollständigen Informationen über möglich enthaltene Kontaminanten vorliegen. Stoffe für Pyrolyse dürfen nur in der Liste der Eingangsstoffe aufgeführt werden, wenn alle Risiken des jeweiligen Stoffes bekannt sind.

Auf europäischer Ebene ist die Verwendung von Pflanzenkohle rechtlich bereits in einer weiten Bandbreite vertreten, die nationale Umsetzung weist allerdings deutliche Verzögerungen auf. Die deutsche Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln, Düngemittelverordnung vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2482), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 2. Oktober 2019 (BGBl. I S. 1414) geändert worden ist (zukünftig zitiert als DüMV) erfasst lediglich unter der Anlage 2 Tabelle 7 Kohle als Hauptbestandteil für Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Wirtschaftsdünger, Kultursubstrate oder Pflanzenhilfsmittel. Der Ausgangsstoff Kohle zählt zu pflanzlichen Stoffen und wird in der Tabelle unter der Nummer 7.1.10 weiter erläutert. Zugelassen im Bereich Kohle sind Braunkohle, Leonardit, Xylith (nicht als Rückstand aus vorherigen Produktions- oder Verarbeitungsprozessen) und Holzkohle mit einem Kohlenstoffgehalt von mindestens 80 % Kohlenstoff in der Trockenmasse, hergestellt aus chemisch unbehandeltem Holz. Weiter werden drei Verwendungsmöglichkeiten vorgegeben: zum einen dürfen die Kohlen bei Kultursubstrate als Ausgangsstoff eingesetzt werden, außerdem sind diese als Trägersubstanz mit Zugabe von Nährstoffen für zugelassene Düngemittel erlaubt und zum anderen können Xylith und Leonardit als Bodenhilfsstoff fungieren.

Einsatz im Futtermittel

Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, ist die zweite rechtliche Möglichkeit die Einbringung in Futtermittel. Die dafür ausgewiesene Verordnung ist die Verordnung (EG) Nr. 767/2009 des europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über das Inverkehrbringen und die Verwendung von Futtermitteln, zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Richtlinien 79/373/EWG des Rates, 80/511/EWG der Kommission, 82/471/EWG des Rates, 83/228/EWG des Rates, 93/74/EWG des Rates, 93/113/EG des Rates und 96/25/EG des

Rates und der Entscheidung 2004/217/EG der Kommission (ABl. L 229) (zukünftig zitiert als Verordnung (EG) 767/2009). Gestützt auf die Verordnung (EG) 767/2009 wurde die Verordnung (EU) Nr. 68/2013 der Kommission vom 16. Januar 2013 zum Katalog der Einzelfuttermittel (ABl. L 29) (zukünftig zitiert als Verordnung (EU) 68/2013) verabschiedet, in welcher alle erlaubten Einzelfuttermittel in der Landwirtschaft aufgelistet sind. Im Anhang Teil C, dem Verzeichnis der Einzelfuttermittel, wird unter „7. Andere Pflanzen, Algen und daraus gewonnene Erzeugnisse“ pflanzliche Kohle [Holzkohle] mit der Nummer 7.13.1 aufgeführt. Das bedeutet, dass aus Pflanzenmassen verkohlte Erzeugnisse unter der Bezeichnung pflanzliche Kohle als Tierfutter verwendet werden dürfen. Das eingesetzte Futtermittel darf nach Verordnung (EG) 767/2009 nicht aus Materialien bestehen, welche in der Verwendung in der Tierernährung beschränkt oder verboten ist. Diese werden aufgeführt in Anhang III. Darunter fallen beispielsweise Holz, das mit Holzschutzmitteln behandelt wurde oder fester Siedlungsmüll. Auf deutscher Ebene ist die Futtermittelverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 29. August 2016 (BGBl. I S. 2004), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 16. Juli 2020 (BGBl. I S. 1700) geändert worden ist (zukünftig genannt als FuttMV), die gesetzgebende Verordnung. Die FuttMV verweist dabei auf den Vorgänger der Verordnung (EU) 68/2013, die Verordnung (EU) Nr. 242/2010 der Kommission vom 19. März 2010 zur Erstellung eines Katalogs der Einzelfuttermittel (ABl. L 77/17) (zukünftig genannt als Verordnung (EU) 242/2010). Die Unterschiede dieser beiden Kataloge sind einige noch nicht aufgeführte Ausgangserzeugnisse im Anhang der Verordnung (EU) 242/2010. Unter diesen fehlenden Einzelfuttermitteln befindet sich auch die in Verordnung (EU) 68/2013 aufgeführte pflanzliche Kohle.

Einsatz in der Industrie

Die Rechtslage zu den industriellen Anwendungsmöglichkeiten ist allerdings nicht zu vergleichen mit den landwirtschaftlichen Absatzmärkten. Da die Forschung im Bereich der Verwendung von Pflanzenkohle im Bausektor noch nicht so weit fortgeschritten ist, wurden noch keine Verordnungen oder Richtlinien verabschiedet. Um dennoch die Einsatzstoffe und ihre Eigenschaften mit denen von Beton zu vergleichen, kann die Norm zur Betonherstellung (DIN EN 206-1 (Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität) bzw. DIN 1045-2 (Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton)) herangezogen werden. Ähnlich ist es im Bereich Aktivkohle im industriellen Sektor. Zwar gibt es sehr viele Normen zum Einsatz von Aktivkohle beispielsweise zur Trinkwasseraufbereitung (DVGW W 239 Einsatz von Aktivkohle zur Entfernung organischer Stoffe bei der Trinkwasseraufbereitung) oder zur Abwasseraufbereitung in Klärwerken (DWA-M 285-2 Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen - Teil 2: Einsatz von Aktivkohle - Verfahrensgrundsätze und Bemessung), allerdings ist noch nicht festgelegt, aus wie viel Anteil Pflanzenkohle die Aktivkohlehergestellt werden muss.

Im Bereich der Verwendung der Pflanzenkohle im Boden wird deutlich, dass in der DüMV bisher im Vergleich zur europäischen Rechtsgrundlage nur ein Bruchteil der Einsatzstoffe als Düngemittel erfasst ist. So sind neben der Verwendung von Holzkohle keine weiteren Erwähnungen bezogen auf mögliche Einsätze der Pflanzenkohle in der gesamten Verordnung zu finden.

Dieser Unterschied zwischen europäischem und nationalem Recht ist neben dem Düngereich auch in der Futtersparte zu finden. Im Gegensatz zur Verordnung (EG) 767/2009, in

welche die Fütterung mit Pflanzenkohle bereits im Katalog aufgenommen wurde, ist diese in der FuttmV rechtlich noch nicht erfasst. Dennoch wird Pflanzenkohle in Deutschland produziert. Damit die Herstellung und der Verkauf der Futterkohle rechtens ablaufen, wird als Gesetzesgrundlage auf die europäische Verordnung (EG) 767/2009 verwiesen. Oftmals wird als Zusatz das freiwillige Zertifikat des European Biochar Certificate als Rechtsgrundlage gesehen, welches wiederum im europäischen Recht ihren Grundsatz findet.

Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass die rechtliche Einordnung der Pflanzenkohle teilweise bereits eine große Bandbreite umfasst. Besonders in der Europäischen Union ist ein deutlicher Aufwärtstrend erkennbar, Deutschland hingegen hängt noch deutlich hinterher.

Zertifizierungsprozess EBC

Um das European Biochar Certificate zu erhalten, muss einmal pro Jahr eine Kontrolle durchgeführt werden. Als akkreditierte Kontrollstellen stehen bio.inspecta AG und q.inspecta GmbH zur Auswahl. Jeder Pflanzenkohlehersteller muss gesamtheitlich als EBC-Produzent zertifiziert werden. Dies ist unabhängig davon, ob sich nur eine Produktionscharge, mehrere oder alle Chargen für eines der EBC-Zertifikate qualifizieren. Sollte ein EBC-zertifizierter Hersteller eine Charge produzieren, die aufgrund der Nichteinhaltung von Grenzwerten nicht nach EBC-Rohstoff zertifiziert werden kann, so muss der Hersteller die ordnungsgemäße Entsorgung dieses Abfalls gemäß den lokalen oder nationalen Vorschriften nachweisen. Andernfalls kann die Zertifizierung der Anlage dauerhaft entzogen werden. Produziert der Anlagenbetreiber weniger als 10 Tonnen Pflanzenkohle pro Jahr, wird er vom jährlichen Kontrollbesuch entbunden. Eine Selbstdeklarierung und weitere Verarbeitungsprotokolle sind in diesem Fall ausreichend.

Zur Anmeldung registriert sich das Unternehmen auf der EBC-Website. Daraufhin unterstützt Carbon Standards International im Zertifizierungsprozess, indem er das technische Voraudit durchführt.

Soll eine Zertifizierung bei einem Pflanzenkohle-Produzenten durchgeführt werden, bietet das EBC ein Online-Betriebsbuch, in welchem alle nötigen Schritte und Aufgaben aufgelistet sind. Dies umfasst:

- Organisation der Betriebsdokumentation
- Ablauf der jährlichen Kontrollbesuche
- Verantwortungsbereiche des EBC-Qualitätsmanagers
- Anforderungen für den Arbeitsschutz
- Ablaufpläne für die repräsentative Probenahme
- Ablaufplan und Dokumentation für die Entnahme und Lagerung der Rückstellproben
- Zusätzliche Analysen kritischer oder stark variierender Parameter (z. B. PAK, Schwermetalle, Fremdstoffe in den Biomassen etc.)
- Bestimmung des Trockensubstanzgehalts für jede einzelne Verpackungseinheit, sofern das C-Senken-Potenzial für die einzelnen Chargen bestimmt werden soll

Eine weitere Anforderung ist die Benennung eines Qualitätsmanagers, welcher im ständigen Kontakt mit der Kontrollstelle und Carbon Standards International steht. Dessen Aufgaben sind Maßnahmen zur Sicherung und Lenkung der Pflanzenkohle-Qualität und deren Dokumentation umzusetzen wie auch die Teilnahme an externen Schulungen durch das EBC zur Herstellung, Qualitätssicherung und Anwendung von Pflanzenkohle. Diese Schulung muss im ersten Jahr der Zertifizierung und weiterhin einmal pro Zertifizierungsperiode durchgeführt werden.

Produktionscharge

Jeder Produktionscharge wird eine eindeutige ID-Nummer mit zugehörigem QR-Code zugewiesen. Die Produktionscharge dauert maximal ein Jahr und wird bei der ersten Registrierung innerhalb der ersten zwei Monate nach Anmeldung durch einen akkreditierten Probennehmer repräsentativ beprobt. Während der Produktion ist eine Schwankung von 20 % der Pyrolysetemperatur wie auch der Zusammensetzung der Biomassen zu tolerieren. Bei Ablauf der Produktionscharge muss die darauffolgende Charge wieder auf der EBC-Webseite angemeldet werden.

EBC zertifizierte Betriebe

Herstellende Betriebe	Als herstellende Betriebe werden Betriebe bezeichnet, die Pyrolyse-Anlagen betreiben und zertifizierte Pflanzenkohle nach den EBC-Richtlinien herstellen. Wird zudem die Pflanzenkohle durch weitere nicht pyrolytische Verfahrensschritte aufgearbeitet, ist eine Zertifizierung als weiterverarbeitender Betrieb notwendig. Die Inspektion wird vor Ort jährlich als Erst- bzw. Kontrollaudit durchgeführt.
Weiterverarbeitende Betriebe und Händler	Verarbeitende Betriebe kaufen oder produzieren EBC-zertifizierte Pflanzenkohle. Diese wird beispielsweise durch Mischen, Aktivieren oder Veredeln zu neuen, pflanzenkohle-basierten Produkten verarbeitet. Die Inspektion für die Zertifizierung findet vor Ort statt, sobald mehr als 10 Tonnen Pflanzenkohle pro Jahr anfallen.
Händler von verpackter Ware	Ist der zertifizierte Hersteller auf der Verpackung genannt, ist für den Händler der Pflanzenkohle keine Zertifizierung nötig. Verfügt der Hersteller allerdings nicht über eine Zertifizierung, so muss der Hersteller, die ID-Nummer und der QR-Code rückverfolgbar sein.
Händler von verpackten Waren unter Eigenmarken	Eine Zertifizierung ist nötig, wenn der Händler die Ware als Eigenmarke vertreibt, also ohne Daten des Herstellers. Wird die Ware umetikettiert, sodass der Hersteller nicht mehr erkenntlich ist, so muss der in Verkehr bringende Betrieb EBC-zertifiziert sein.

Je nach Auslegung des Betriebes müssen unterschiedliche Anforderungen beachtet werden. Da mögliches Ziel dieses Projektes ist, eine eigene Pflanzenkohleproduktion in der Region zu errichten und dessen Produkte zu vertreiben, ist eine Zertifizierung der Pflanzenkohle als herstellender Betrieb und Händler dringend notwendig.

Handlungsempfehlung

Für die praktische Umsetzung im Anschluss der Machbarkeitsstudie empfiehlt das Projektteam bei der Produktzertifizierung das European Biochar Certificate (EBC) zu wählen. Werden alle Voraussetzungen erfüllt, kann davon ausgegangen werden, dass die Pflanzenkohle je nach Ausgangsstoff in allen Sektoren eingesetzt werden darf. Dazu sind vor allem Biomassen aus den Bereichen Forstwirtschaft und Landschaftspflege geeignet, welche auf ihre Verfügbarkeit in Kapitel 3 „Stoffkreisläufe der Maßnahmen“ geprüft wurden. Diese bringen neben der eben genannten Sicherheit auch den größten wirtschaftlichen Ertrag.

4.3. Regionale Anwendungsmöglichkeiten der Pflanzenkohle

Je nach Zertifizierung der Pflanzenkohle in der jeweiligen Produktkategorie lässt sich diese in verschiedensten Bereichen anwenden. In Kapitel 4.2 Produktzertifizierung wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen für unterschiedliche Anwendungssektoren bereits erläutert. In der Abbildung 9 werden sechs verschiedene Bereiche grafisch dargestellt, in welchen Pflanzenkohle einen positiven Effekt auf Leben, Klima und Umwelt haben. Diese umfassen Wasserwirtschaft, Boden, Landwirtschaft, Wärme, Strom und (Bau-)Industrie.

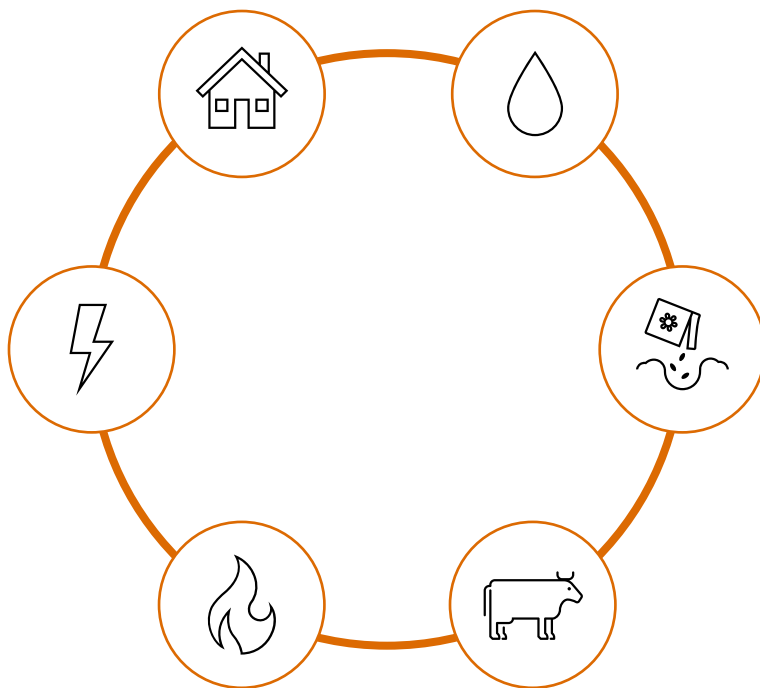


Abbildung 9: Anwendungsmöglichkeiten der Pflanzenkohle
Quelle: eigene Darstellung

In den letzten Jahren nahm die Verwendung von Pflanzenkohle zur Reduzierung bzw. Speicherung von Kohlenstoffdioxid immer größere Maße an. Während die Vorteile der Nutzung in der Landwirtschaft oder in der Medizin bereits seit Jahrtausenden bekannt sind, entwickelt sich die Anwendung der Pflanzenkohle in anderen Sparten, wie dem Bausektor oder der Kosmetik, erst seit den letzten Jahren.

Landwirtschaft

Obwohl der Ursprung der Pflanzenkohle in der Landwirtschaft auf die sogenannte Terra Preta zurückreicht, befassen sich Forscher erst seit rund 15 Jahren wieder genauer mit der Thematik. Terra Preta bezeichnet die Amazonasschwarzerde, zu finden in Brasilien nahe den Flüssen des Amazonasbeckens. Diese Bodenart erweist sich als fruchtbarer sowie nährstoff- und humusreicher als die Böden des Urwalds. Weitere Vorteile liegen in der erhöhten Wasserspeicherkapazität und Diversität von Mikroorganismen, Lebewesen und Pflanzen (vgl. Quicker und Weber). Die Landwirtschaft erzielt wohl den größten Vorteil in der Verwendung von Pflanzenkohle. Im Gegensatz zu den folgenden Sektoren ist der Einsatz in diesem Sektor schon weit erprobt. Er umfasst einen breit gestreuten Bereich, in welchem Pflanzenkohle eingesetzt werden kann. Dieser reicht von Bodenverbesserung am Feld über Einstreu im Stall bis hin zur Futtermittelbeimischung für Tiere.

Bodenverbesserung

Wird die auf den Feldern ausgebrachte Gülle mit Pflanzenkohle versetzt, können Wasser, Nährstoffe und Stickstoff aufgrund ihrer Beschaffenheit vermehrt aufgenommen und gespeichert werden. Gleiches gilt für die Bildung von Mikroorganismen. Angewendet wird diese Technik, indem während des Aufrührens der Gülle die Pflanzenkohle miteingebracht und verrührt wird. Da Pflanzenkohle keine Aktivität ohne Aufladung zeigt, benötigt es eine gewisse Zeit, bis die Pflanzenkohle wirkt. Je nach Temperatur ist die Reifezeit unterschiedlich, je höher die Temperatur, desto kürzer die Aufladedauer (vgl. EM-Technologie). Aus der Verwendung der Pflanzenkohle im Boden erschließen sich viele weitere Vorteile. Als oftmals genannter Klimaretter sequestriert Pflanzenkohle Kohlenstoff und sorgt dafür, dass dieser nicht mehr entweichen kann. Die Kohle bleibt dabei stabil im Boden vorhanden (vgl. Fachverband Pflanzenkohle). Die Verweildauer von Pflanzenkohle liegt mit einem H/C-Verhältnis von unter 0,4 und einer Inkubationstemperatur von 10 °C bei mehr als 1000 Jahren. Demzufolge wird in 100 Jahren immer noch 95% der Pflanzenkohle vorhanden sein (vgl. Quicker und Weber). Trockenperioden können wegen des größeren Wasserspeichervermögens einfacher überstanden werden. Des Weiteren führen Nährstoff- und Humusaufbau aufgrund der guten Bodenstruktur zu verbessertem Wachstum und mehr Vielfalt von Flora und Fauna. Wegen der vieljährigen Stabilität im Boden spart der Landwirt 50 % des herkömmlichen Düngers, da er die Gesamtmasse an Dünger pro Jahr deutlich reduzieren kann. Ebenfalls werden durch den Anteil an Pflanzenkohle in den oberen Erdschichten Auswaschungen der Nährstoffe ins Grundwasser, was zu einem geringeren Anteil an Nitrat im Grundwasser führt. Als schöner Nebeneffekt für die Bevölkerung reduziert die Einbringung von Pflanzenkohle auch die Geruchsbelästigung durch die Gülle auf den Feldern (vgl. EM-Technologie).

Fütterung

Seit circa 2010 wird Pflanzenkohle wieder als Zusatzstoff in der Futtermittelherstellung untergemischt. Es umfasst dabei eine große Bandbreite von Rindern und Schweine über Schafe und Ziegen bis hin zu Katzen oder Fischen. Der Nutzen dahinter ist vielfältig. Zum einen gelangt die Pflanzenkohle durch die Verdauung bei beispielweisen Kühen ohne Mehraufwand als Gülle auf die Felder und wirkt wie im Punkt vorher beschrieben als Bodenverbesserer. Absolute Gehaltswerte von wichtigen Inhaltsstoffen des Bodens wie Kohlenstoff, Stickstoff, Magnesium, Calcium, Kalium, Silizium, Schwefel werden gesteigert und können den Ertrag und die Produktivität des Anbaus auf dem Feld deutlich steigern. Zum anderen kann im Bereich der Zuchtviehhaltung die Einnahme von Pflanzenkohle zu einer Gewichtszunahme beitragen, was vermehrt bei Stieren für Steaks oder bei Hühnern zur Schlachtung etabliert wurde. Im Gegensatz zu herkömmlichen Arzneimitteln, die wiederum oftmals diesen gewünschten Effekt reduzieren, wirkt Pflanzenkohle im Futtermittel als Gesundheitsförderer. Dadurch wird in die Vermehrung von Krankheitserregern eingegriffen und Antibiotikarückstände gebunden. So wird ebenfalls den Medikamentenrückständen auf den Äckern entgegengewirkt, welche meist wieder ausgeschieden werden und Bestandteil des Kreislaufs der Gülle sind. Demzufolge erreichen diese Stoffe durch Auswaschungen an Regentagen das Grundwasser oder Gewässer und führen zu Verschmutzungen im Wasser (vgl. Bates und Draper).

Stalleinstreu

Jahrhundertlang wurden Sand, Kies, Sägemehl, Stroh oder Späne als Stalleinstreu verwendet. Jedoch stehen diese Materialien aufgrund von Kosten oder Gesundheitsschädlichkeit immer mehr in Diskussion. So wird der Einsatzstoff Sand beispielsweise immer teurer und ein Gipszusatzstoff, der zur Reduktion von Gerüchen und zur Verringerung von Krankheitserregern beigemischt wird, ist sehr gefährdend für Mensch und Tier. Die Nutzung von Pflanzenkohle als Einstreu bietet hingegen einige Vorteile. Wie auf den Äckern nimmt sie auch in den Ställen Gerüche auf. Des Weiteren reduziert sich der Bedarf an Einstreu deutlich, da sich die Zeit zwischen dem erneuten Einstreuen verlängert. Muss das gesamte Einstreu ausgewechselt werden, kann dieses wieder als Dünger auf den Feldern ausgebracht werden (vgl. Bates und Draper).

Zusammenfassend wird ersichtlich, dass Pflanzenkohle in der Landwirtschaft einige Vorteile zu bieten hat. Neben der Verbesserung des Bodens und der daraus resultierenden Steigerung des Ertrages aber auch des Bodenlebens und der Reduzierung der Düngerkosten, kann auch das Leben und die Gesundheit der Tiere erheblich verbessert werden. Zudem kann die Schonung der Umwelt aufgrund geringerer Emissionen einen Beitrag zu einer nachhaltigeren Welt leisten.

Bausektor

Baustoff

Ein Weiterer, derzeit allerdings noch nicht erprobter Sektor, ist die Bausparte. Trotzdem weist auch dieser Bereich eine große Möglichkeit auf, zu einer nachhaltigeren und ökologisch saubereren Welt beizutragen, denn 8 % der weltweiten Treibhausgasemissionen lassen sich auf den Baustoff Beton zurückführen (vgl. Harald Bier). Als Grundverständnis muss bekannt sein, dass Beton eine Mischung aus Zement, Gesteinskörnung, Wasser und Zusatzstoffen ist. Erforscht wurde nun, ob dieser Zement teilweise von Pflanzenkohle ersetzt werden kann. Im Jahr 2020 hielt Julia Roth vom Unternehmen Carbon Instead, welches sich auf Pflanzenkohleeinsätze spezialisiert hat, einen Vortrag beim Fachkongress Pflanzenkohle über Pflanzenkohle als Additiv in Baumaterialien. Da immer mehr Probleme bei der Verwendung von Beton auftreten, wie beispielsweise die steigende Nachfrage oder die steigenden Preise der Kohlenstoffemissionen, begann die Forschung zum Einsatz von Pflanzenkohle. Zement erwies sich als das teuerste Bestandteil des Betons, weshalb dieser Stoff ersetzt werden sollte. Insgesamt wurden neun Eigenschaften untersucht, auf Basis derer der kohlenstoffarme Beton erprobt wurde. Dabei handelt es sich um den Kohlenstoffgehalt, die Zusammensetzung der anorganischen Bestandteile, die Oberfläche, die Porosität, die mechanischen Stabilität, die Partikelgröße, die chemischen Stabilität, die thermische Leitfähigkeit und den pH-Wert. Dem Team rund um Julia Roth, Johanna Fatorelli und Ankita Mitra gelang es nach langer Forschung, eine Betonart herzustellen, die alle Anforderungen der Baumaterialien erfüllt und durch den Einsatz von Pflanzenkohle als klimaschonender deklariert werden kann. Im Vergleich zum herkömmlichen Beton besitzt der entwickelte verbesserte Materialeigenschaften, er reduziert den CO₂-Fußabdruck und ist kostenneutral für den Endkunden (vgl. Fachverband Pflanzenkohle).

Eine weitere erfolgreiche Forschung in diesem Bereich ist die CarStorCon® Technologie von Axel Preuss. CarStorCon® ist die Abkürzung für Carbon Storage Concrete und steht für das fertige Produkt – den Beton mit Zugabe von Pflanzenkohle. In diesem Produkt wurden 15 % des Additivs Clim@Add als Ersatz für Zement eingesetzt (vgl. Axel Preuß). 98 % dieses Additivs werden aus technischem Kohlenstoff gewonnen, welcher als Nebenprodukt bei klimaschonenden Energiesysteme entsteht (vgl. Harald Bier). Durch die Zugabe ist es möglich, klimafreundliche Beton in einer Transportbetonmischung herzustellen. Auch dieses Produkt birgt im Vergleich zum herkömmlichen Beton einige Potenziale. So weisen Druckfestigkeit, Schallschutz, Wärmedammverhalten und feuchteregulierende Eigenschaften verbesserte Werte auf (vgl. Axel Preuß). Aufgrund der Einsparung des Zements und der Kohlenstoffspeicherung durch die Pflanzenkohle kann dieser Beton als langfristige und nachhaltige Klimasenke eingesetzt werden. Die Marktreife dieses Produkts soll durch die Übernahme von In2ovation und dessen Vermarktungskonzept gewährleistet werden (vgl. Harald Bier).

Der erste Weg für diese nachhaltige und klimafreundliche Technologie ist nun durch verschiedene Projekte geebnet. Es liegt also an der Umsetzung und der letztendlichen Nachfrage, ob der nachhaltige Beton im Kampf beim Klimaschutz behilflich sein kann.

Stadtbaumpflanzung

Die eben aufgeführten positiven Eigenschaften der Pflanzenkohle werden neben Landwirtschaft und Industrie mittlerweile auch in Städte zum Klimaschutz eingesetzt. Dabei wird die Pflanzenkohle in den Boden eingebracht, um das Wachstum der Bäume zu stärken. Die eingesetzte Kohle kann zum einen dazu führen, dass Wasser, Nährstoffe und Spurenelemente für Trockenperioden gespeichert werden und zum anderen, dass sich Wurzeln weiter ausbreiten können.

Vorreiter ist die schwedische Stadt Stockholm, doch auch in Deutschland lassen sich vermehrt Projekte zur Pflanzenkohleverwendung im städtischen Raum finden. So beispielsweise in Calw in Baden-Württemberg. Angewandt wird dabei die Vorgehensweise mit Lochbohrungen nahe der Wurzeln. Löcher werden dort gebohrt, wo Wurzeln in der Nähe vermutet werden. Dadurch soll eine schnelle und bessere Aufnahme und Speicherung von Wasser und Nährstoffen garantiert werden. Die Löcher werden also nicht direkt am Baum gebohrt, sondern ein wenig entfernt, wo die Hauptnährstoffaufnahme des Baumes stattfindet (vgl. Fachverband Pflanzenkohle und Bianca Rousek).

Eine andere gewinnbringende Möglichkeit Pflanzenkohle einzusetzen ist die Vermischung mit Schotter im Boden (siehe Abbildung 10). In dieser Schicht hat der Baum mehr Platz, seine Wurzeln auszubreiten, als unter gewöhnlichen Straßen- und Bodentypen. Meist wird der Stadtbaum in einer Art Blumentopf in den Boden eingesetzt, wodurch der Wurzelraum sehr beengt ist. Bei dieser neuen Pflanzweise wird bereits beim Bau der Straße bzw. des Untergrundes darauf geachtet, dass unter der Teerschicht eine Mischung aus Schotter und Pflanzenkohle als Unterboden eingesetzt wird. Diese Porenstruktur birgt Raum zur Ausdehnung der Wurzeln. Zwei verschiedene Anwendungen sind möglich, unterschieden wird nach nasser und trockener Einbauweise. Bei der nassen Einbauweise wird eine 30 cm Schotterschicht aus sehr groben Schotter verdichtet und anschließend Pflanzenkohle eingewaschen, bis der Großteil der Poren gefüllt ist. Dieser Vorgang wird bei drei bis vier Schichten wiederholt. Die trockene Einbauweise ist die einfachere und zeitsparendere der beiden. Hierbei wird das Feinsubstrat mit dem Schotter im Verhältnis 4:1 vorgemischt und als Gesamtgemenge in den Boden eingeführt.

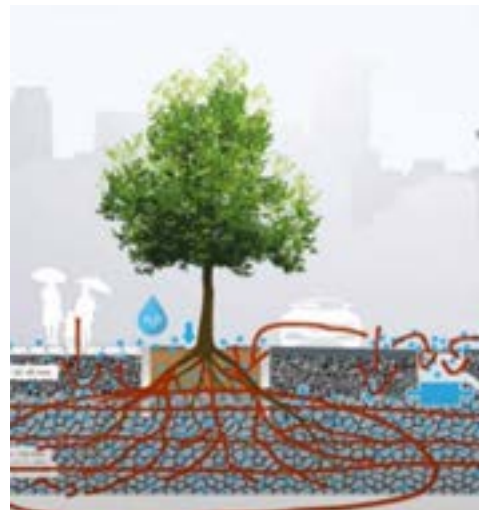


Abbildung 10: Verwendung von Pflanzenkohle und Schotter bei Stadtbäumen
Quelle: Sonnenerde

Vorteil der Stadtbäume ist die Klimatisierung der Stadt. Das Wasser der Bäume verdunstet und führt so dazu, dass in den Gebieten die Lufttemperatur um ein paar Grad niedriger ist. Die Verwendung der Pflanzenkohle im Boden führt dazu, dass die Bäume nicht nach 15 – 20 Jahren gefällt werden müssen, sondern dass sie einige Jahre länger gesund leben und so mehr CO₂ binden (vgl. Sonnenerde).

Aktivkohle im industriellen Markt

Bereits vor 300 Jahren wurde Holzkohle (lat. *carbo vegetabilis*) zur Arzneimittelprüfung eingesetzt. Verwendet wurde damals meist Holz von Birken, in der heutigen Homöopathie ist allerdings auch oft Buchenholz zu finden. Da die Holzkohle eine antiseptische und desodorierende Wirkung aufweist, wurde sie beispielsweise bei Hautgeschwüren oder für Mundspülungen verwendet. Weitere homöopathische Anwendungsmöglichkeiten der Kohle waren bei Verdauungsschwächen, Blähungen und Aufstoßen (vgl. Pascoe pharmazeutische Präparate GmbH). Diese Wirkung war schon den alten Griechen vor über 3000 Jahren bekannt (vgl. Lara Malberger). Im frühen 19. Jahrhundert gab es erste Studien zur klinischen Anwendung von Holzkohle. Diese ergaben, dass durch die Einnahme unmittelbar Giftstoffe im Magen adsorbiert werden können. Ebenso können Stoffe aus dem Blutkreislauf durch die Verwendung von Holzkohle zurückgeholt werden (vgl. Quicker und Weber). In der heutigen Medizin wird Pflanzenkohle in Form von Kohletabletten verwendet. In diesem Fall wird von Aktivkohle oder medizinischer Kohle (*carbo medicinalis*) gesprochen. Wegen ihrer großen inneren Oberfläche wird die Kohle als Adsorptionsmittel in Chemie und Medizin, in der Wasser- und Abwasseraufbereitung und auch in der Lüftungs- und Klimatechnik verwendet (vgl. Lara Malberger). In der Apotheke ist Aktivkohle in Pulverform zur Herstellung einer Suspension zu finden, ebenfalls wird es oft in Rettungswägen mitgeführt. Eingesetzt wird es beispielsweise bei Vergiftungen. Zwar ist die prozentuale Verwendung bei Vergiftungen mit 4,37 % relativ gering, in absoluten Zahlen ergab sich im Jahr 2016 aber dennoch ein Wert von 11.746 Anwendungen bei insgesamt 270.000 Vergiftungen. Die Aktivkohle wird als Pulver oder Granulat mit Flüssigkeit vermischt und kann so oral in den Körper aufgenommen werden. Bei leichten Beschwerden wie Durchfall genügt eine Dosis von 250 Milligramm, bei schwereren, wie zum Beispiel die eben genannte Vergiftung, muss eine größere Menge eingenommen werden. Bei Kindern beläuft sich der Wert auf circa 0,5 bis 1 Gramm pro Kilogramm Körpergewicht, bei Erwachsenen auf 50 Gramm. Ist die Menge des Giftes bekannt, muss die Aktivkohle in 10- bis 40-fachem Überschuss zum Gift verabreicht werden. Je nach Wirkstoff der Vergiftung ist eine bestimmte Zeit vorgeschrieben, bis zu welchem Zeitpunkt die Aktivkohle spätestens eingenommen werden muss, um ihre Wirkung entfalten zu können. Aktivkohle findet aber auch immer mehr Verwendung in der Kosmetikbranche. In den Jahren 2013 bis 2017 ist der Verkauf von Produkten im Bereich der Kosmetik und Pflege nahezu um das Dreifache gestiegen. Dabei handelt es sich um Produkte wie Gesichtsmasken, Shampoos und Duschgels, Seifen oder Zahnpasta. Der Inhaltsstoff Aktivkohle soll beispielsweise zu helleren Zähnen oder zu einem reinen, ebenmäßigen Hautbild ohne Hautfettablagerungen führen. Allerdings ist dieser Bereich noch nicht vollständig erforscht und der Beweis, dass diese Produkte ihre Marketingversprechen einhalten, steht noch aus (vgl. Kurt Grillenberger). Eine weitere industrielle Einsatzmöglichkeit findet ihre Anwendung in der vierten Reinigungsstufe der Kläranlagen. Aufgrund der großen Oberfläche ist Pflanzenkohle in der Lage, Spuren- und Schadstoffe aus dem Abwasser zu filtern. Dazu wird nach der dritten Reinigungsstufe pulverisierte Aktivkohle dem Wasser zugefügt. Konnte die Mikroverunreinigungen an die Kohle angelagert werden, sinkt die Aktivkohle im Sedimentationsbecken ab und trennt sich so wieder vom Ausgangsstoff (vgl. Jörg Römer). Diese Filterfunktion wird nicht nur zum Säubern von Abwässern verwendet, auch bei der Trinkwasseraufbereitung wird Aktivkohle

eingesetzt. Der Anwendungsablauf ist in Form von Pulverkohle oder granulierter Kohle ähnlich wie im Klärwerk. Die drei Hauptaufgaben in der Filtration sind die Abtrennung von partikulären Stoffen, die Adsorption von Mikroverunreinigungen und natürlicher organischer Stoffe und der biologische Abbau gut abbaubarer organischer Stoffe. Dabei weist die pulverisierte Form größeres Potenzial auf als der Aktivkohlefilter (vgl. Markus Boller).

Verwendung von Abwärme und Strom

Je nach Anlagentypen wird bereits Wärme und/oder Strom bei der Pflanzenkohleherstellung zusätzlich als Output hergestellt. Allerdings kann auch die Abwärme weiterverwendet werden. Diese Wärme kann entweder in für andere industrielle Prozesse wieder genutzt werden oder in ein Nah- oder Fernwärmenetz eingespeist werden. Ist eine ORC-Turbine nachgeschaltet wird außerdem Strom erzeugt (vgl. Wudag). Vorteile dieser weiteren Nutzung der Pyrolyseanlage ist der doppelte Gewinn, der Klimaschutz durch die Reststoffnutzung und die Erhöhung der erneuerbaren Energie im Gesamtenergiemix des Landes (vgl. Fachverband Pflanzenkohle).

Fazit: Wirkung gegen den Klimawandel

All diese Nutzungsmöglichkeiten haben eins gemeinsam: jede einzelne Verwendungsmöglichkeit unterstützt beim Ziel der Eindämmung des Klimawandels. Die Pflanzenkohle passt sich so an die Klimaänderungen an, indem sie nicht nur als CO₂-neutral sondern als CO₂-negativ deklariert wird. Dies geschieht, da Kohlenstoff im Boden gespeichert und fixiert wird und beständig dem Boden über Jahrhunderte erhalten bleibt. Dieser Kohlenstoff wird somit gänzlich der Atmosphäre entzogen.

Neben der Kohlenstoffsенке tragen auch alle weiteren zuvor aufgereihten positiven Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten zur Wirkung gegen den Klimawandel bei. Sei es aufgrund der Nutzungsmöglichkeit als Dünger und als Baustoffersatz oder aber auch wegen der Erzeugung erneuerbarer und CO₂-sparender Energie als Wärme und Strom bei der Herstellung selbst.

4.4. Produktionsverfahren

Pyrolyseprozess

Biomasse kann durch verschiedene Verfahren karbonisiert werden. Neben unterschiedlichen Pyrolyseverfahren kann Biomasse durch hydrothermale Prozesse (HTC-Verfahren) und Verbrennung karbonisiert werden. In der Machbarkeitsstudie wird aus den nachfolgenden Gründen nur die Herstellung durch die Pyrolyse berücksichtigt.

- Bei der Verbrennung ist das Ziel einen möglichst vollständigen Ausbrand des eingesetzten Materials zu erreichen. Außer der anfallenden Asche bleiben nach einer vollständigen Oxidation des Materials keine Reststoffe übrig. Da bei der Verbrennung keine Kohle anfällt wird im Folgenden nicht weiter darauf eingegangen.
- Das HTC-Verfahren (hydrothermale Karbonisierung) wird auch als wässrige Verkoklung bezeichnet. Dabei wird das eingesetzte Ausgangsmaterial in wässriger Phase und unter erhöhtem Druck in Kohle umgewandelt. Das entstandene Produkt wird als „Hydrokohle“ bezeichnet. Hydrokohlen sind vorwiegend zur energetischen Nutzung vorgesehen und gelten nach Richtlinien des European Biochar Certificates nicht als Pflanzenkohle (Bohner et al., 2017; Radloff, 2016). Aus diesem Grund wird im Folgenden nicht näher auf die hydrothermale Karbonisierung (HTC) eingegangen.

Pflanzenkohle entsteht durch eine thermische Zersetzung der organischen Bestandteile der Biomasse unter Ausschluss von Sauerstoff und bei Temperaturen bis 700 – 1.000°C (vgl. Lehmann und Joseph). Diese Voraussetzungen führen dazu, dass die Biomasse nicht vollständig verbrennt, sondern verkohlt und der Kohlenstoff in der Pflanzenkohle gebunden bleibt. Diese Erhöhung des Kohlenstoffgehalts geschieht als Folge von Abspaltung von in der Biomasse enthaltenem Wasser, CO₂ und weiterer sauerstoffhaltiger Stoffe. Nachdem der eingesetzte Ausgangsstoff seine Flüssigkeit verloren hat und getrocknet ist, spalten sich kovalente Bindungen aufgrund der ansteigenden Temperaturen auf. Daraufhin bilden sich organische Verbindungen, die sich vom Partikel abwenden und ein- oder mehrstufig kondensiert werden. Je nach Temperatur, Verweilzeit und Ausgangsstoff setzen sich die Produkte der Pyrolyse unterschiedlich zusammen. Diese unterscheiden sich in:

- flüssige Produkte, wie Bio- und Pyrolyseöle,
- feste Produkte, wie Pflanzenkohle und
- gasförmige Produkte

Biomasse setzt sich im überwiegenden aus Lignin, Hemicellulose und Cellulose zusammen. Abbildung 11 zeigt die Zersetzung dieser drei Bestandteile nach Abhängigkeit der Temperaturen und welche Produkte bei der Entgasung dabei entstehen. Es wird daraus erkenntlich, dass ab ca. 250 °C bis 300 °C die Hauptentgasung und somit die Spaltung der Moleküle zuerst bei Hemicellulose beginnt, gefolgt von Lignin und Cellulose. Je höher die Temperaturen steigen, desto mehr flüchtige Verbindungen spalten sich ab und ein kohlenstoffhaltiger Feststoff bleibt zurück (vgl. Quicker und Weber).

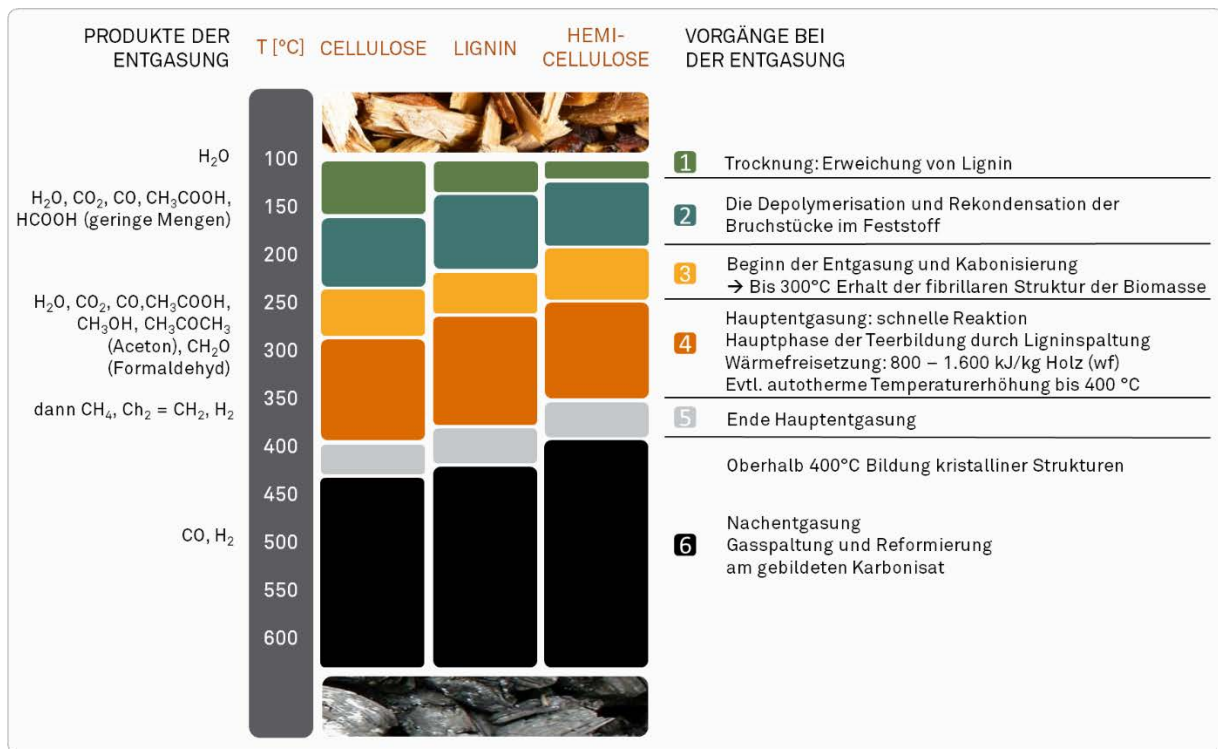


Abbildung 11: Temperaturabhängigkeit der pyrolytischen Karbonisierung von Biomassebestandteilen, thermochemische Vorgänge und entstehende gasförmige Produkte
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Quicker und Weber

Der Grund für die Reihenfolge der Entgasung der drei Bestandteile ist auf die Struktur zurückzuführen. Während Cellulose aufgrund ihrer unverzweigten Ketten thermisch sehr stabil ist und dadurch erst bei höheren Temperaturen karbonisiert, ist Lignin hingegen wie ein dreidimensionales Netzwerk aufgebaut, was dazu führt, dass es bereits in einem Bereich zwischen 200 °C und 400 °C gespalten wird. Am ehesten reagiert Hemicellulose. Im Gegensatz zur Cellulose besteht Hemicellulose aus verzweigten Ketten, was die frühe Entgasung erklärt (vgl. Quicker und Weber).

Herstellungsverfahren

Das pyrolytische Verfahren wird unterteilt in die schnelle und langsame Pyrolyse. Der wesentliche Unterschied neben den Pyrolyseparametern ist das erzeugte Produkt. Während das Ergebnis der schnellen Pyrolyse ein flüssiges Hauptprodukt darstellt, entsteht bei der langsamen Pyrolyse ein kohlenstoffähnlicher Festbrennstoff. Der Begriff „schnelle Pyrolyse“ umfasst die Flash-Pyrolyse und die mittelschnelle Pyrolyse, unter langsamer Pyrolyse werden die Verfahren der Holzkohlerzeugung und der Torrefizierung verstanden (vgl. Kaltschmitt et al.).

Die schnelle Pyrolyse. Seit ca. 30 Jahren ist die schnelle Pyrolyse in Entwicklung. Ziel der schnellen Pyrolyse ist die Steigerung des Ertrags des Bioöls. Als Bioöl werden die flüssigen Produkte bezeichnet, welche bei dieser Art der Pyrolyse entstehen. Besonders wichtig dabei ist, dass der Wärme- und Stofftransport schnellstmöglich durchgeführt wird. Das bedeutet eine schnelle bzw. mittelschnelle Aufheizung von kleinen Biomassepartikel

(< 3 mm) auf eine Temperatur von 450 °C bis 500 °C. Außerdem soll die Biomasse vollständig von Koks entfernt werden. Die Ausbeute des Bioöls ist von der Abkühlungszeit der Dämpfe abhängig, je schneller desto mehr Ertrag wird sichergestellt (vgl. Kaltschmitt et al.).

Die langsame Pyrolyse. Bei der langsamen Pyrolyse muss zwischen Verkohlung und Torrefizierung unterschieden werden. Die Verkohlung findet bei ca. 500 °C statt, bei welcher als Endprodukt aufgrund der nahezu vollständigen Pyrolyse Holzkohle bzw. Pflanzenkohle gewonnen wird. Neben dem festen Produkt entstehen unter anderem noch leichtflüchtige Bestandteile wie Methanol oder Carbonyle. Diese Art der Pyrolyse wird bereits seit Jahrtausenden verwendet und auch heute findet sie beispielsweise bei der Herstellung von Pflanzenkohle Anwendung.

Torrefizierung hingegen ist eine Trocknung und Pyrolyse bei Temperaturen unter 300 °C ohne vollständiger pyrolytischer Zersetzung. Die Verweilzeit im Reaktor beträgt hierbei bis zu 60 Minuten bei geringer Aufheizungsgeschwindigkeit. Ziel dieser unvollständigen langsamen Pyrolyse ist die Verbesserung der torrefizierten Biomasseeigenschaften. Diese Verbesserungen können sein: Erhöhung des Heizwertes und der Energiedichte, Verbesserung der Mahlbarkeit, Verringerung der Wasseraufnahme und keine biologische Aktivität (vgl. Kaltschmitt et al.).

Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie wird die Herstellung von Pflanzenkohle mittels langsamer Pyrolyse betrachtet und im Weiteren die die Herstellungsverfahren, Anlagenhersteller und -typen behandelt.

Anlagentechnisch gibt es unterschiedliche Ansätze, die je nach Einsatzmaterial und -menge sowie der gewünschten Qualität bzw. dem gewünschten Einsatzzweck des Produkts verfolgt werden können.

So gibt es Verfahren, bei denen das Einsatzmaterial chargenweise in einzelnen sogenannten Pyrolysereaktoren unter weitestgehendem Luftabschluss zu Pyrolysegas einerseits und zu Pflanzenkohlen andererseits getrennt wird. Diese Verfahren werden auch als Batch-Verfahren bezeichnet. Das Pyrolysegas wird abgeführt und zur Temperaturbereitstellung für den Herstellungsprozess genutzt. Die Kohlen verbleiben im Reaktor. Anwendungsbeispiel und häufigster Einsatzzweck dürfte zurzeit die Herstellung von hochwertigen Grillkohlen sein. Als Vorteil der Chargenverarbeitung ist der „nahtlose“ Wechsel von Einsatzmaterialien zu sehen, da jeder Einzelreaktor über eine eigene Temperatursteuerung und Verweildauer zum gewünschten Produkt verarbeitet werden kann.

Bei den Durchlaufverfahren führen die Hersteller die Inputmaterialien durch feststehende Reaktoren. Das Verfahren zeigt seine Stärken und findet dort seine Anwendung, wo jeweils größere Mengen gleichartiger Inputmaterialien, wie zum Beispiel (Fein-)Anteile aus der Holz hackschnitzel- oder Grüngutaufbereitung zu definierten Produkten aufgearbeitet werden.

Unabhängig von der Verfahrensauswahl entsteht bei der Herstellung von Pflanzenkohlen überschüssige thermische Energie, die genutzt werden kann, um die Wirtschaftlichkeit des geplanten Projektes zu steigern. Bei Bedarf und entsprechend großer Auslegung kann je nach Anlagenhersteller auch eine Stromproduktion integriert werden.

4.5. Anlagenhersteller und -typen

Der Markt der Anlagenhersteller sowie deren Anlagentypen hat sich in den vergangenen Jahren sehr dynamisch entwickelt. Es haben sich verschiedene Anlagenhersteller im Markt für Pflanzenkohleproduktionsanlagen etabliert. Jede dieser Firmen hat inzwischen mehrere Anlagen errichtet und in Betrieb. Dazu betreten mehrere neue industrielle Akteure in den Markt.

Ein Großteil der Anlagenhersteller bietet unterschiedlichen Anlagengrößen an. Die Entwicklung geht dabei branchenübergreifend hin zu größeren Anlagen mit einer Produktionskapazität von jeweils über 500 t/a.

Die nachfolgende Tabelle 4 fasst die etablierten Anlagenhersteller mit ihren jeweiligen Mengenspektren an Input- bzw. Einsatzstoffen und den resultierenden Produktionsmengen an Pflanzenkohle zusammen.

Tabelle 4: Zusammenfassung Anlagenhersteller
Quelle: eigene Darstellung

Hersteller	Input Einsatzstoffe * [t _{atro} /a]	Output Pflanzenkohle * [t/a]
Biomacon**	150 – 1.900	37 - 453
cts Carbon Technik Schuster	1.200 – 4.800	400 – 1.600
Carbofex	3.500	1.000
ETAI Ecotechnologies	k.A.	3.000
Polytechnik	32.000	8.000
PYREG	950 – 2.400	200 - 750
SynCraft	1.120 – 5.640	220 - 1.000

* Circa-Angabe bei 8.000 Betriebsstunden

** der Vollständigkeit halber aufgeführt; aufgrund der aktuellen Lieferzeit von 2-3 Jahren keine Berücksichtigung im weiteren Verlauf

Bei allen Anlagenherstellern gilt, dass sich die Verfügbarkeit und der Preis derzeit nur kurzfristig im Auftragsfalle fixiert lässt.

Die unterschiedlichen Anlagentypen lassen sich bündeln und daraus drei herstellerunabhängige Kategorien bilden:

- Landwirtschaftliche Anlagen
- Gewerbliche Anlagen (energieoptimiert)
- Industrielle Anlagen

Die Kategorien sind in Abbildung 12 grafisch dargestellt und werden nachfolgend erläutert:

Landwirtschaftliche * Anlagen	Gewerbliche Anlagen * (energieoptimiert)	Industrielle * Anlagen
		
Pyrolyse im Durchlaufverfahren	Pyrolyse im Durchlaufverfahren	Pyrolyse im Batch-Verfahren
550 kW thermisch	1.400 kW thermisch	5.000 kW thermisch
	1.000 kW elektrisch	1.100 kW elektrisch
550 t/a Output Kohlen	900 t/a Output Kohlen	8.000 t/a Output Kohlen
1.800 t/a CO ₂ -Speicherpotential	2.700 t/a CO ₂ -Speicherpotential	24.000 t/a CO ₂ -Speicherpotential

* Circa-Angaben zur Verständnisbildung

Abbildung 12: Anlagencluster
Quelle: eigene Darstellung

Die jährliche Produktionsmenge an Pflanzenkohle definiert die Kategorien. Die Kategorie landwirtschaftliche Anlagen beinhaltet Produktionsanlagen mit einer Produktionskapazität von 0-599 Tonnen Pflanzenkohle pro Jahr, die Kategorie gewerbliche Anlagen beinhaltet Produktionsanlagen mit einer Produktionskapazität von 600-1.999 Tonnen Pflanzenkohle pro Jahr und die Kategorie industrielle Anlagen beinhaltet Produktionsanlagen mit einer Produktionskapazität von größer 2.000 Tonnen Pflanzenkohle pro Jahr.

In Abbildung 12 sind je Kategorie die Informationen einer exemplarischen Anlage mit Produktionsverfahren, der Produktionskapazität von Pflanzenkohle und dem damit einhergehenden CO₂-Speicherpotenzial sowie der thermischen und ggfs. elektrischen Leistung dargestellt. Für die kleine Kategorie wurden die Anlage der Firma PYREG, Modell PX1500, gewählt. In der mittleren Kategorie „gewerbliche Anlagen“ wurde das Modell CW1800X2-1000 der Firma SynCraft genutzt. Für die große Kategorie „industrielle Anlagen“ wurde das Modell K_8000ta_CHP1100 der Firma Polytechnik verwendet.

Diese drei Modelle zur Pflanzenkohleherstellung werden nachfolgend kurz erläutert und im weiteren Projektverlauf – der Identifikation möglicher Standorte und der Einschätzung der standortangepassten Machbarkeit – genutzt.

PYREG PX1500

Bei dem Modell PX1500 der Firma PYREG handelt es sich um eine Pflanzkohleproduktionsanlage mit angeschlossener Wärmeproduktion. Strom wird mit dieser Anlage nicht produziert. Die Anlage besteht aus dem Vorlagebehälter, zwei Dosierschnecken, zwei Zellenradschleusen, den beiden Doppelschnecken-Reaktoren mit Doppelmantel, einem Prozessgaszyklon, einer Brennkammer, einem Abgaszyklon, einem Abgaswärmetauscher zur Warmwasserbereitung zwei Abgasgebläsen, einem Verbrennungsluftgebläse, einem Abgasrückführungsgebläse und dem Kamin. Abbildung 13 zeigt das Verfahrensschaubild der PX1500.

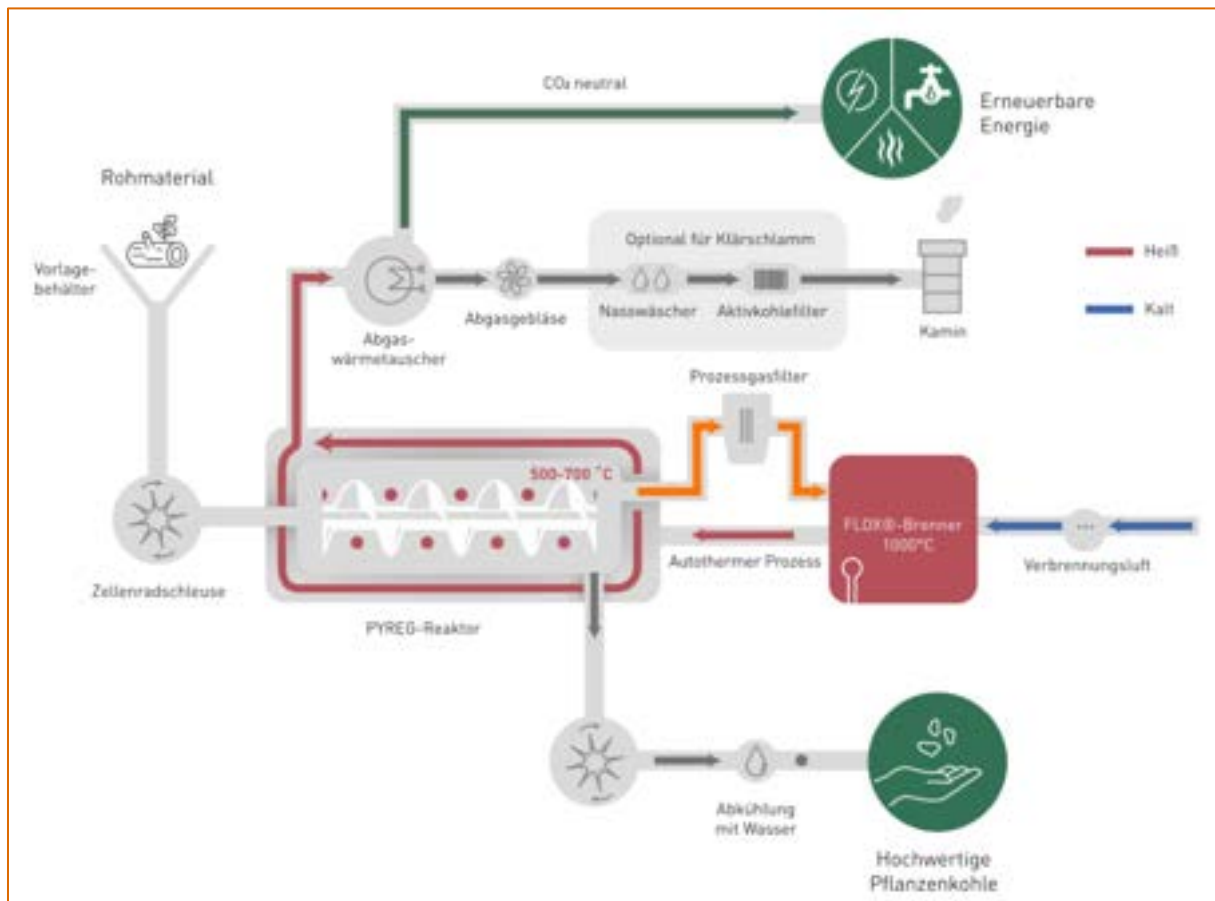


Abbildung 13: Verfahrensschaubild PYREG
Quelle: PYREG

Im automatisierten Betrieb wird im Durchlaufverfahren kontinuierlich Pflanzkohle und thermische Energie produziert. Die Produktionskapazität an Pflanzkohle liegt bei rund 550 t/a, in Abhängigkeit der Qualität der Einsatzstoffe und des Anlagenbetriebs. Zusätzlich ist eine thermische Leistung von 550 kW bei einer Vorlauftemperatur von maximal 140 °C verfügbar. Dies ergibt bei 8.000 Betriebsstunden eine mögliche Wärmemenge von 4.400 MWh.

SynCraft CW1800X2-1000

Die Firma SynCraft bietet mit der CW1800X2-1000 eine Pflanzkohleproduktionsanlage mit dem Schwerpunkt der Erzeugung von Wärme und Strom an. Die Anlage besteht Der erste Schritt bildet die Pyrolyse ab, bei welcher prinzipiell verschiedene, teilweise sehr komplexe Reaktion ablaufen. Vereinfacht zusammengefasst, wird bei der pyrolytischen Zersetzung von Holz unter Sauerstoffausschluss aus der Zellulose Koks und Pyrolysegas erzeugt (Kaltschmitt et al. 2016). Im Weiteren werden die in der Pyrolyse erzeugten Produkte möglichst vollständig vergast und damit das Produktgas hergestellt. Die Vergasung findet im patentierten Schwebebettreaktor statt. Das Produktgas wird über Filter gereinigt, welcher nicht umgesetzte Kohlenstoffpartikel aus dem Produktgas abscheidet. Hier wird dem Prozess die Pflanzkohle entnommen. Das heiße Produktgas wird anschließend in einem Wärmetauscher abgekühlt und letztendlich in einem Gaswäscher auf die Anforderungen für die Verbrennung im Blockheizkraftwerk gebracht. In diesem kann das Produktgas nun endgültig verbrannt werden, wobei elektrischer Strom und Wärme erzeugt werden. Abbildung 14 zeigt den beschriebenen Prozessablauf.

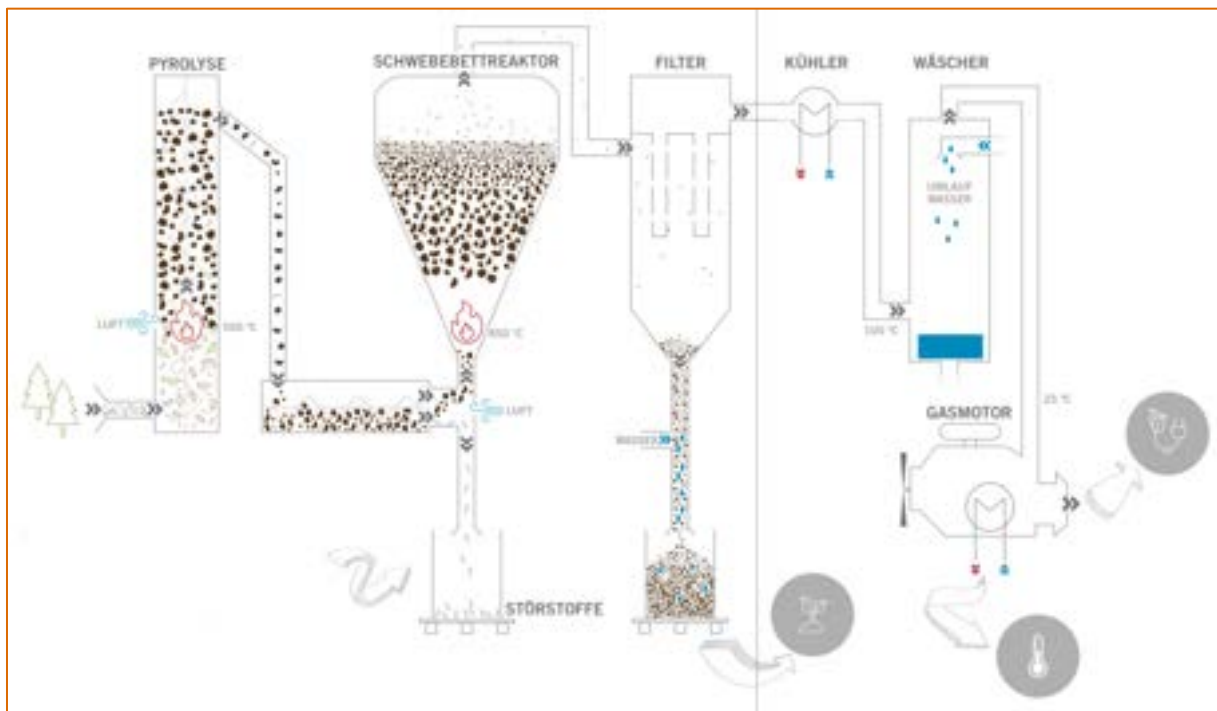


Abbildung 14: SynCraft Prozessablauf
Quelle: SynCraft

Im automatisierten Betrieb wird im Durchlaufverfahren kontinuierlich Pflanzkohle, thermische und elektrische Energie produziert. Die Produktionskapazität an Pflanzkohle liegt, in Abhängigkeit der Qualität der Einsatzstoffe und des Anlagenbetriebs, bei rund 900 t/a. Zusätzlich ist eine thermische Leistung von 1.400 kW und eine elektrische Leistung von 1.000 kW verfügbar. Dies ergibt bei 8.000 Betriebsstunden eine mögliche Wärmemenge von 10.400 MWh und eine mögliche Strommenge von 8.000 MWh.

Polytechnik K_8000ta_CHP1100

Bei der Anlage der Firma Polytechnik handelt es sich um eine Pflanzenkohleproduktionsanlage mit nachgeschalteter Wärme- und Stromproduktion. Dabei wird eine weitgehend automatisierte Anlage zur vollständigen Verkohlung vorwiegend holzartiger Einsatzstoffe betrieben. Die Verkohlung findet in einem Batch-Verfahren statt: Die Einsatzstoffe werden dabei getrocknet, in Retorten gefüllt, vorgewärmt, in einem Reaktor verkohlt, abgekühlt und abschließend in der Endfertigung in definierte Liefergebilde verladen. Abbildung 15 stellt den Prozess der Firma Polytechnik grafisch dar.

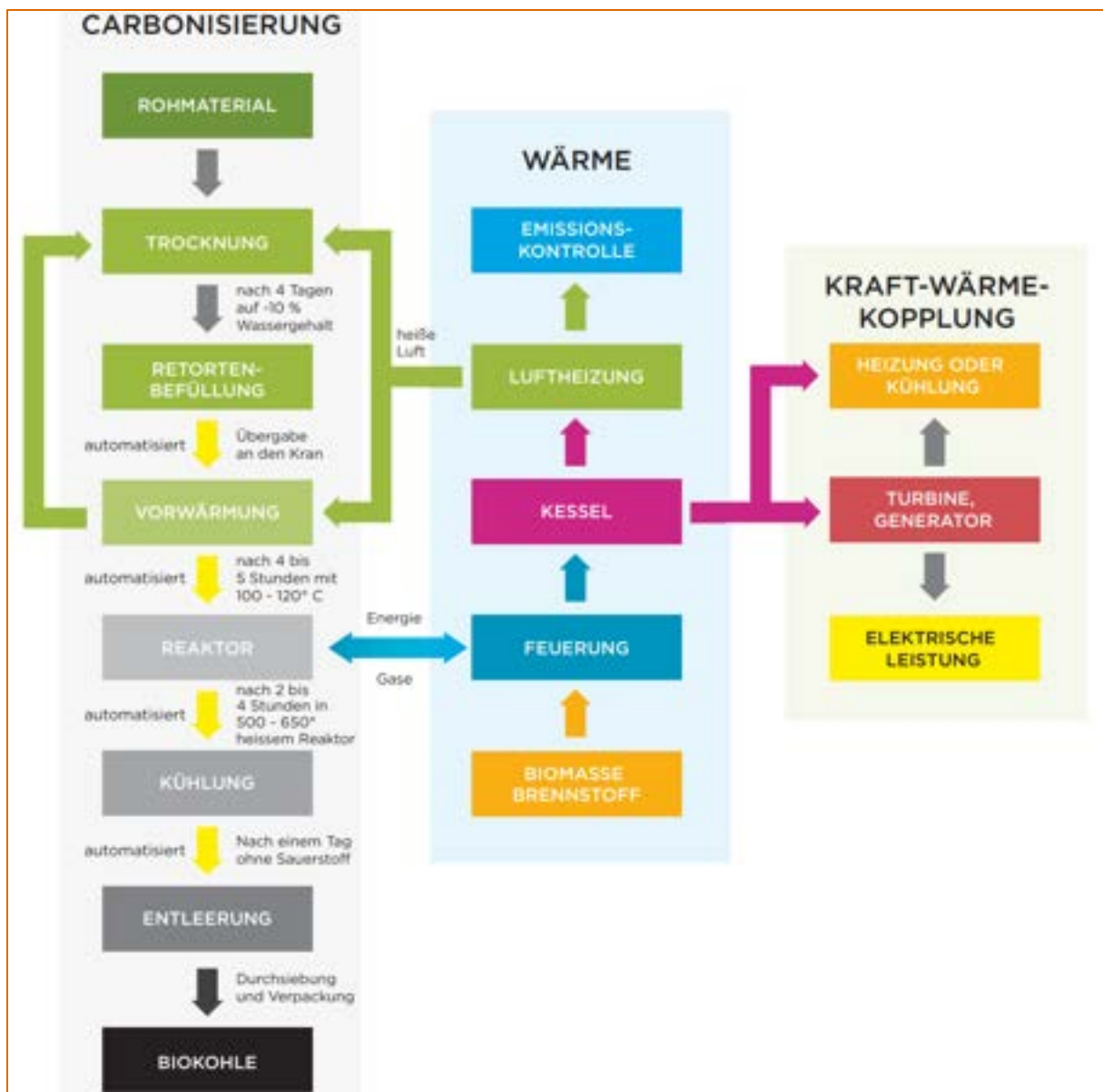


Abbildung 15: Polytechnik Green Carbon Prozess
Quelle: Biomass Polytechnik

Im Batch-Betrieb können pro Jahr bis zu 8.000 Tonnen Pflanzenkohle produziert werden. Zusätzlich ist eine thermische Leistung von rund 5.000 kW und eine elektrische Leistung von 1.100 kW verfügbar. Dies ergibt bei 8.000 Betriebsstunden eine mögliche Wärmemenge von 40.000 MWh und eine mögliche Strommenge von 8.800 MWh.

4.6. Zwischenfazit und Handlungsempfehlungen

Die Pflanzenkohle umfasst mit ihren zahlreichen positiven chemischen und physikalischen Eigenschaften eine große Bandbreite an Einsatzmöglichkeiten. Sowohl für den Einsatz in der Landwirtschaft, in der Industrie als auch im Energiesektor kann sie eine wichtige Rolle beim Kampf gegen den Klimawandel spielen.

Insgesamt weisen acht Nachhaltigkeitsziele Kompatibilität mit Pflanzenkohlen auf. Diese zeigen, welche positiven Auswirkungen Pflanzenkohle auf die drei Nachhaltigkeitssäulen haben können. Nicht nur als Boden- und Tierwohlverbesserer sondern auch als erneuerbarer Einsatz in der Baustoffindustrie tragen die Produkte als Kohlenstoffsenke zum Kampf gegen Klimawandel bei. Pflanzenkohle ist somit ein echter Allrounder was nachhaltiges Wirtschaften betrifft.

Als Produktzertifizierung ist das Europäische Biokohlen Zertifikat (EBC) bereits etabliert. Durch die Einsatzstoffe und Qualität der Kohle wird die Pflanzenkohle dem jeweiligen Verwendungszweck aufgrund der erreichten Kategorien zugeteilt. Je qualitativ hochwertiger das Ausgangsmaterial ist, desto breiter sind die Einsatzmöglichkeiten der Produktcharge.

In den vergangenen Jahren haben sich mehrere Anlagenhersteller mit unterschiedlichen Anlagengrößen im Markt etabliert. Die Anlagentechnik ist ausgereift und hat sich durch inzwischen jahrelangen Anlagenbetrieb bewährt. Die Anlagenhersteller bieten Pflanzenkohleproduktionsanlagen mit einer Produktionskapazität bis zu mehreren tausend Tonnen pro Jahr an. Die Entwicklung geht dabei branchenübergreifend hin zu größeren Anlagen. Es wurden Anlagenkategorien gebildet, die im weiteren Projektverlauf anhand von exemplarischen Anlagenmodellen für die Standortidentifikation und die Einschätzung der standortangepassten Machbarkeit genutzt wurden.

Handlungsempfehlungen

- Zum Betreiben und Handeln von Pflanzenkohle empfiehlt Prolignis den Standard auf EBC-zertifizierte Kohlen zu setzen. Besonders im Bereich der Landwirtschaft ist die Verwendung von Pflanzenkohle bereits erprobt und teilweise rechtlich abgesichert, wodurch die Herstellung von EBC-Futterkohle und EBC-Kohle zur Einbringung in den Boden zum jetzigen Zeitpunkt am werthaltigsten ist. Es ist sinnvoll, die Entwicklung der weiteren Anwendungssektoren weiterhin zu verfolgen.
- Es wird des Weiteren empfohlen, die rechtlichen Rahmenbedingungen und die Entwicklung der weiteren Anwendungsmöglichkeiten weiter zu verfolgen. Neben der Landwirtschaft bieten sich besonders im Bereich der Bauindustrie große Chancen, Kohlenstoff dauerhaft zu binden und konventionelle Stoffe nachhaltiger zu gestalten.
- Als Produktions- und Herstellungsverfahren ist die langsame Pyrolyse am besten für die Produktion von qualitativ hochwertigen Pflanzenkohlen geeignet und daher zu empfehlen. Die Marktentwicklung im Bereich Anlagenhersteller und -technik sowie der Trend zu größeren Produktionsanlagen ist zu beobachten.
- Bei positiver Umsetzungsentscheidung sollten Gespräche mit möglichen Anlagelieferanten geführt werden, um die aktuellen Verfügbarkeiten bzw. Lieferzeiten sowie die Markt- und Preisentwicklungen abschätzen und bewerten zu können.

5. Standortidentifikation

Im folgenden Kapitel wird die mögliche Standortwahl für eine Pflanzenkohleproduktionsanlage behandelt. Dazu werden die Vorgehensweise und die Standortkriterien definiert. Im Anschluss werden eine strukturierte Analyse und Bewertung potenzieller Standorte durchgeführt.

5.1. Vorgehensweise und Standortkriterien

Für einen geeigneten Standort zur Errichtung einer Pflanzenkohleproduktionsanlage sollen Grundstücke, welche als potenzielle Flächen für dieses Projekt genannt werden, auf deren „Eignung“ präqualifiziert, d.h. untersucht, eingeschätzt, bewertet und verglichen werden. Die gewonnenen Erkenntnisse werden zusammen mit deren Einschätzung und einer Empfehlung an den Auftraggeber in diesem Bericht zusammengefasst und übergeben.

Die Standortanalyse enthält eine Präqualifikation aller Standorte. Um eine Standortvorauswahl treffen zu können, werden Standorte hierbei durch mögliche K.O.-Kriterien ausgeschlossen. Anschließend werden definierte Mindestanforderungen geprüft, wodurch die Anzahl der Standortalternativen weiter eingegrenzt wird.

Die K.O.-Kriterien sind für dieses Projekt zum einen die **Grundstücksgröße** von mindestens 7.000 m² und zum anderen die **potenzielle Wärmeabnahme** von Warmwasser mit einer Temperatur von 90-95°C.

Wenn sich ein Standort in der Präqualifikationsphase als geeignet erwiesen hat, werden weitere Informationen aus Vorgesprächen mit den Grundstückseigentümern, der Gemeinde und potenziellen Wärmeabnehmern gesammelt. Hierzu wird eine Nutzwertanalyse (Scoring-Modell) erstellt.

In dieser Nutzwertanalyse (Standortranking) werden quantitative und qualitative Standortkriterien definiert und gewichtet. Die gesammelten Informationen zu den einzelnen Standorten werden anschließend bewertet.

Vorgehensweise

Bei der Standortauswahl wurde wie folgt vorgegangen: Zunächst wurde ein Schreiben an die Wirtschaftsförderer der jeweiligen Landkreise gesendet. Ebenso wurden Vorschläge für potenzielle Standorte beim EEE e.V. eingeholt. Ziel hierbei ist es potenzielle geeignete Grundstücke für das Vorhaben angeboten zu bekommen. Diese werden nach Erhalt analysiert, über eine Standortbewertungsmatrix vergleichbar gemacht und als Ergebnis in ein Ranking gebracht.

Folgende Standortsuchkriterien wurden für einen möglichen Standort zur Installation einer Pyrolyseanlage aufgestellt. Diese sind als grundlegende Voraussetzungen anzusehen:

Standortkriterien

- **Fläche / Grundstück**
Die Grundstücksgröße sollte mindestens 0,7 ha bis zu 1,0 ha betragen. Dabei sollte die geometrische Form idealerweise rechteckig sein.
- **Erwerbsmodell Grundstück**
Die Möglichkeiten des Kaufes, der Erbpacht, als auch die der Pacht ist für den Erwerb des Grundstücks denkbar.
- **Widmung**
Die ideale Widmung des Grundstückes ist ein ausgewiesenes Industriegebiet.
- **Anbindegebot**
Das Landesentwicklungsprogramm (LEP) Bayern gibt unter 3.3 Vermeidung von Zersiedelung – Anbindegebot vor, dass neue Siedlungsflächen möglichst in Anbindung an geeignete Siedlungseinheiten auszuweisen sind. Je nach Widmung des potenziellen Grundstücks ist das Anbindegebot ein wichtiger Aspekt für die Realisierung des Vorhabens.
- **Wärmeabsatz /-senke**
Ein kontinuierlicher, ganzjähriger Wärmeabsatz von rund 500 kW bis zu 1.000 kW mit einer Vorlauftemperatur von ca. 90-95°C sollte bestenfalls am Standort vorhanden sein.
- **Stromnetz**
Eine Spitzenleistung von ca. 75 kW bis zu 250 kW muss über das öffentliche Stromnetz dauerhaft zur Verfügung stehen. Die Leistung wird benötigt, um die Pyrolyseanlage am Standort prozesssicher betreiben zu können.
- **Wasser / Abwasser**
Der Wasserbedarf für die Anlage, als auch das Abwasseraufkommen beträgt je nach Anlagengröße zwischen 1 m³ und 6 m³ pro Arbeitstag.
- **Erdgas**
Pro Jahr werden ca. 4.700 kg Erdgas zum Betrieb der Anlage benötigt. Dies kann sowohl durch einen Anschluss an das öffentliche Gasnetz als auch durch die Bereitstellung von Propangasflaschen sichergestellt werden.
- **Anforderungen an Verkehrswege**
Es ist eine Anbindung an das öffentliche Straßennetz nötig. Eine Anbindung an das Schienen- bzw. Wasserstraßennetz ist hingegen nicht notwendig.

5.2. Standortanalyse

Standortfaktoren

Die Standortanalyse wird in zwei Teile gegliedert: Präqualifikation und Qualifikation, wobei im Rahmen der Machbarkeitsstudie nur der erste Teil betrachtet werden konnte. Folgende Standortfaktoren bilden die Basis für den Standortvergleich. Hierbei stellen die rot markierten Faktoren die zuvor genannten K.O.-Kriterien dar:

Präqualifikation:

- Größe
- Geometrie
- Topographie
- Widmung
- Anschlussgebot
- Erweiterungsmöglichkeiten
- Windrichtung
- Entfernung der potenziellen Abnehmer
- Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung
- Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)
- Potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 – 95 °C

Standorte

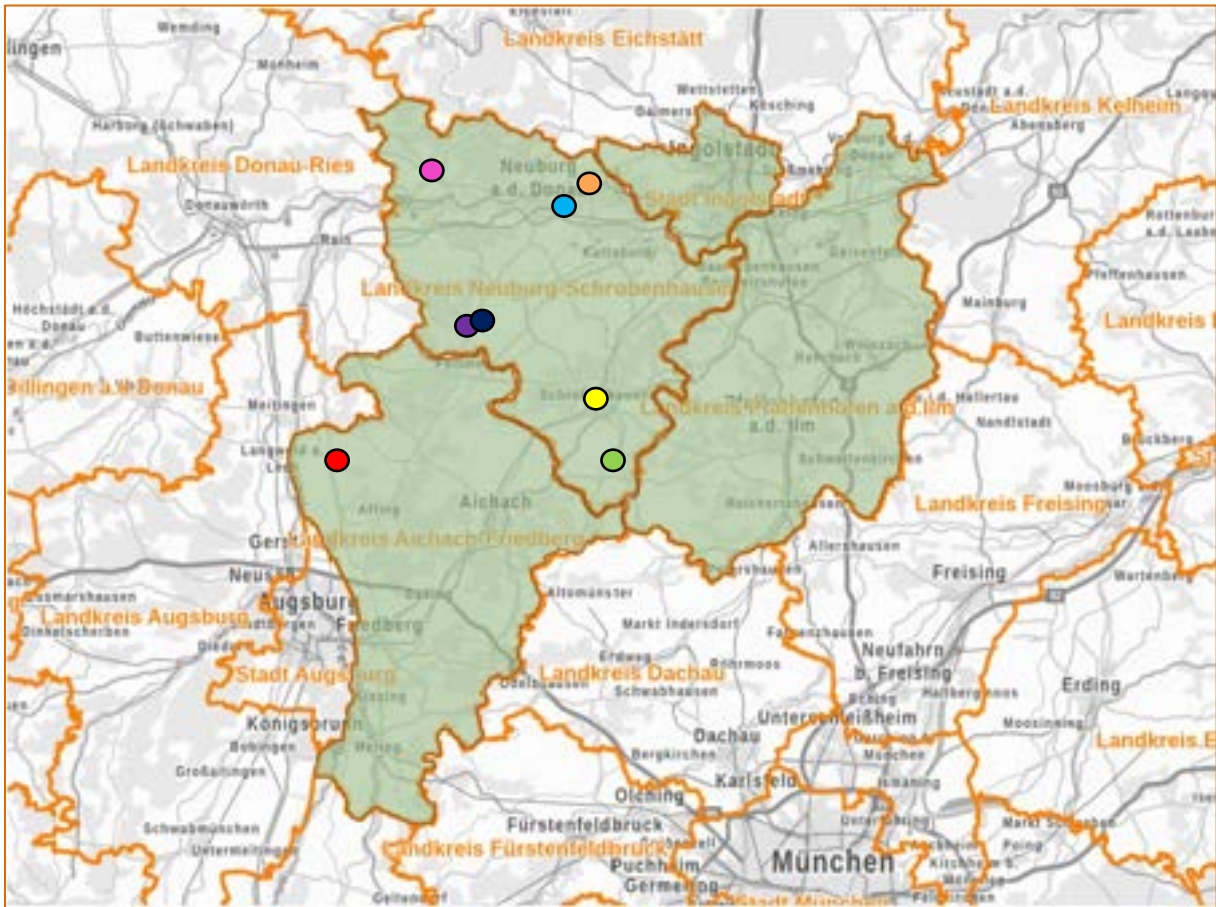


Abbildung 16: Standorte- Lage in der Zielregion

Quelle: eigene Darstellung

- Gemeinde Todtenweis – Landkreis Aichach-Friedberg
- Gemeinde Aresing – Landkreis Neuburg-Schrobenhausen
- Gemeinde Dinkelshausen – Landkreis Neuburg-Schrobenhausen
- Stadt Schrobenhausen – Landkreis Neuburg-Schrobenhausen
- Stadt Neuburg a. d. Donau – Landkreis Neuburg-Schrobenhausen
- Gemeinde Ehekirchen – Landkreis Neuburg-Schrobenhausen
- Gemeinde Bergheim – Landkreis Neuburg-Schrobenhausen
- Gemeinde Rennertshofen – Landkreis Neuburg-Schrobenhausen

Alle Standorte, welche in der Abbildung 16 auf einer Karte dargestellt sind, wurden von den Wirtschaftsförderern der Landkreise oder vom Verein „Energie effizient einsetzen“ (EEE e.V.) vorgeschlagen. Die Grundstückseigentümer und Unternehmen für potenzielle Wärmeabnahmen wurden darüber nicht informiert.

Die ersten fünf Standorte wurden von EEE e.V. in das Projekt eingebracht gestellt. Die weiteren Standorte wurden durch die Wirtschaftsförderer der einzelnen Landkreise herangebracht.

Gemeinde Todtenweis

Grundstücksgröße und -geometrie:



Abbildung 17: potenzielle Grundstücke mit Höhenprofile der Gemeinde Todtenweis
Quelle: Bayernatlas

Widmung:



Abbildung 18: Widmung der potenziellen Grundstücke der Gemeinde Todtenweis
Quelle: Bayernatlas

Die beiden Grundstücke mit den Flurnummern 2245 und 2248 der Gemarkung/Gemeinde Todtenweis liegen im Landkreis Aichach-Friedberg. Die Flur 2245 hat eine Fläche von ca. 12.700 m², die Flur 2248 hat eine Fläche von ca. 5.300 m². Die beiden Flächen summiert haben somit eine Gesamtfläche von ca. 1,8 ha. Der Höhenunterschied ist mit rund 1,8 m relativ gering. Die Entfernung der beiden Grundstücke zum potenziellen Wärmeabnehmer beträgt ca. 300 m.

Die beiden Flächen sind als landwirtschaftliche Flächen – Ackerland gewidmet. Durch die direkte Anordnung der Flächen neben der ortsansässigen Kläranlage, welche als Industrie-/Gewerbefläche gewidmet ist, ist das Anbindegebot hierbei erfüllt.

Gemeinde Aresing

Bei der ersten Besprechung mit dem Auftraggeber hat sich herausgestellt, dass keine potenziellen Grundstücke vorhanden sind. Das neue Gewerbegebiet müsste nach Süden erweitert werden. Wärmedaten liegen ebenfalls nicht vor. Aus diesen Gründen wurden die Analyse und Bewertung dieses Standortes in Abstimmung mit dem Auftraggeber nicht weiter ausgeführt.



Abbildung 19: Luftbild der Gemeinde Aresing
Quelle: Bayernatlas

Gemeinde Dinkelshausen

Grundstücksgröße und -geometrie:



Abbildung 20: potenzielles Grundstück mit Höhenprofil der Gemeinde Dinkelshausen
Quelle: Bayernatlas

Widmung:



Abbildung 21: Widmung des potenziellen Grundstücks der Gemeinde Dinkelshausen
Quelle: Bayernatlas

Das Grundstück der Gemarkung/Gemeinde Dinkelshausen befindet sich im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen in Oberbayern. Die Fläche beträgt ca. 6.140 m². Der Höhenunterschied ist mit 1,4 m ziemlich gering.

Das Grundstück ist als Industrie und Gewerbefläche gewidmet. Aufgrund dieser Lage ist ein Anbindegebot nicht notwendig. Ein potenzieller Wärmeabnehmer wurde dem Projektteam allerdings noch nicht mitgeteilt.

Stadt Schrobenhausen

Grundstücksgröße und -geometrie:

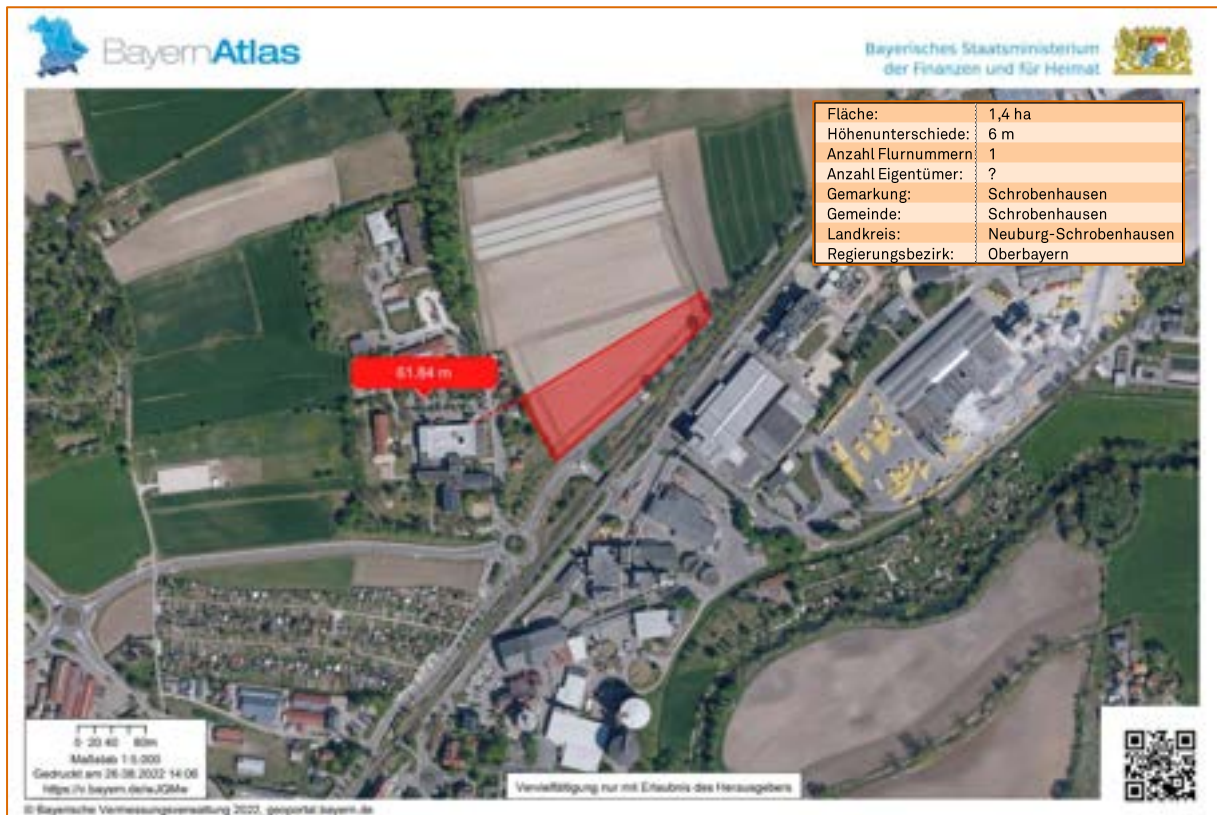


Abbildung 22: potenzielles Grundstück mit Höhenprofil der Stadt Schrobenhausen
Quelle: Bayernatlas

Widmung:



Abbildung 23: Widmung des potenziellen Grundstücks der Stadt Schrobenhausen
Quelle: Bayernatlas

Das Grundstück mit der Flurnummer 1344 und einer Fläche von ca. 14.000 m² liegt neben dem Gewerbegebiet der Stadt Schrobenhausen im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen. Innerhalb dieser Fläche ist ein Höhenunterschied von ca. 6 m. Als potenzieller Wärmeabnehmer wird seitens des Auftraggebers das ortsansässige Krankenhaus erdacht, welches direkt gegenüber der vorgeschlagenen Fläche liegt. Aktuell liegen allerdings keine Daten vor. Dies könnte im Nachgang weiter geprüft werden. Es liegen Daten eines großen Industrieunternehmens vor, dieser benötigt allerdings eine große Menge an Dampf.

Die ausgewählte Fläche entspricht der Widmung eines Ackerlandes. Aufgrund der anliegenden Industrie ist das Anbindegebot erfüllt.

Stadt Neuburg a. d. Donau

Grundstücksgröße und -geometrie:

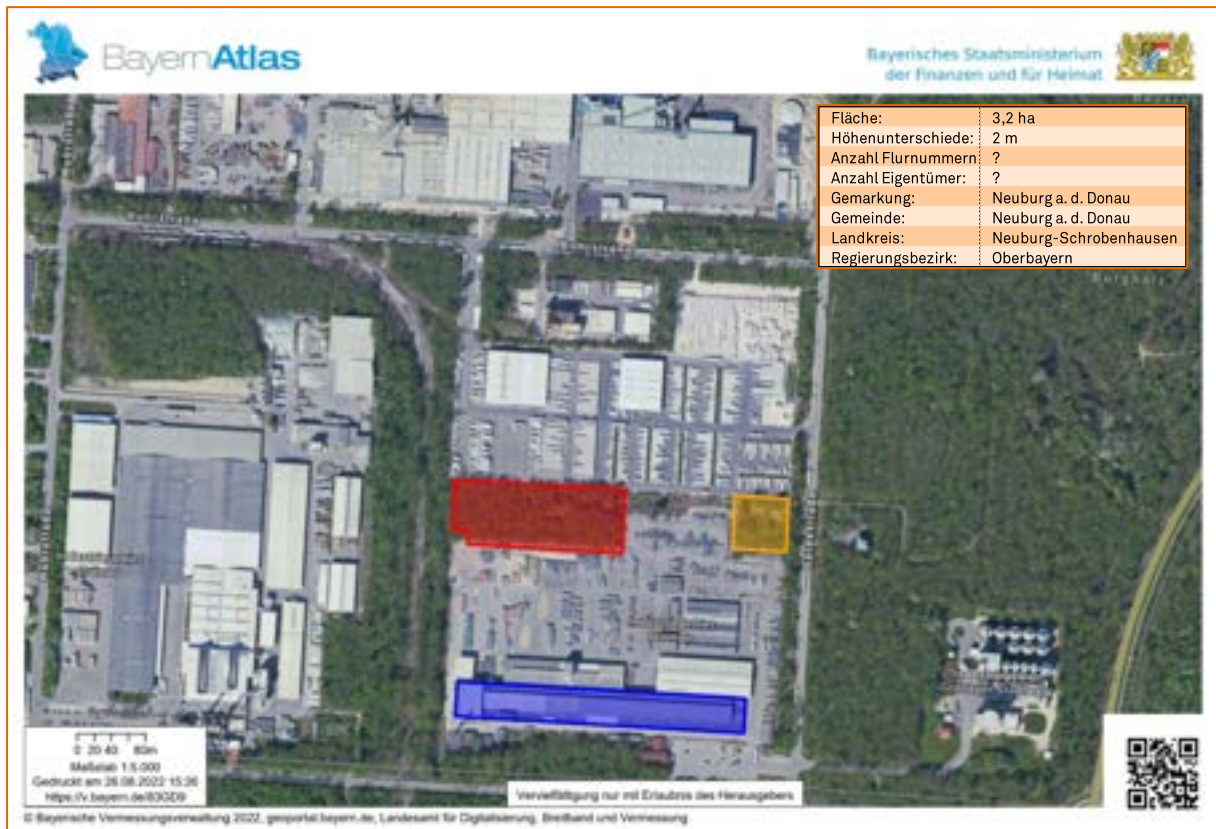


Abbildung 24: potenzielle Grundstücke mit Höhenprofile der Stadt Neuburg a. d. Donau
Quelle: Bayernatlas

Widmung:

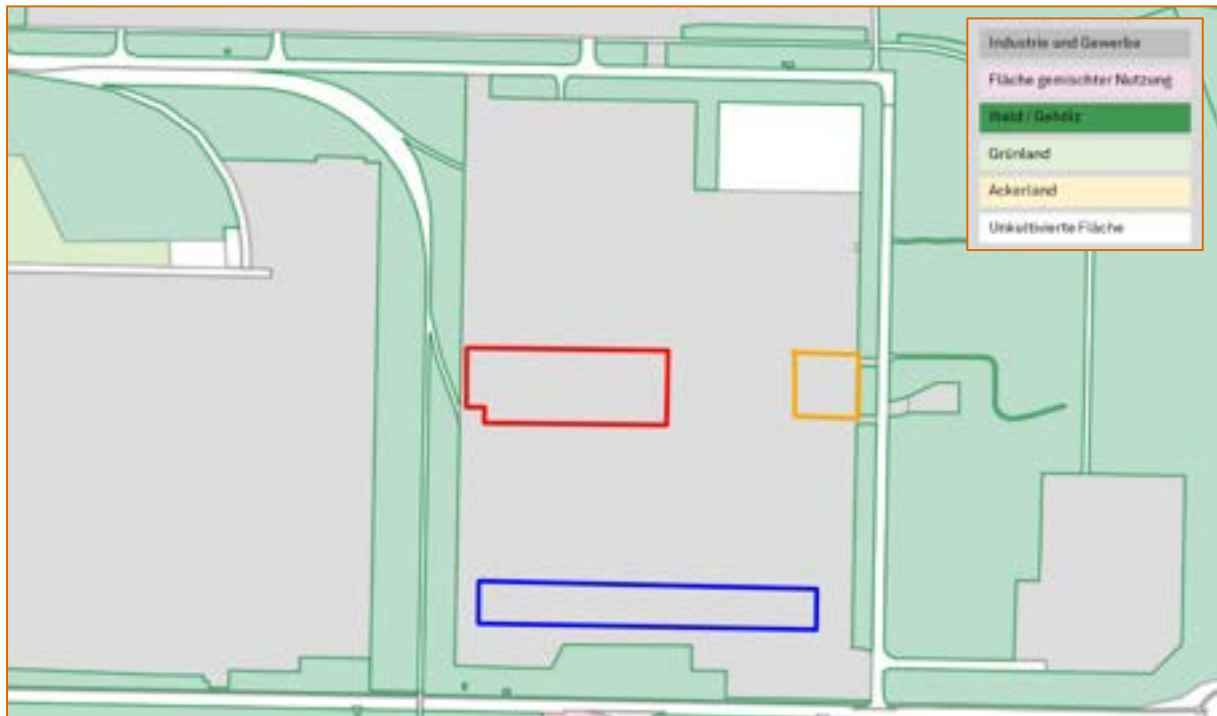


Abbildung 25: Widmung der potenziellen Grundstücke der Stadt Neuburg a. d. Donau
Quelle: Bayernatlas

Die beiden oberen Flächen mit der Flurnummer 4885/62 (rot und gelb markiert) wie auch die Fläche, welche ein bereits bestehendes Gebäude ist (blau), liegen in der Stadt Neuburg a. d. Donau im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen. Die Flächen haben eine Gesamtgröße von 3,2 ha. Einzelne umfassen die Grundstücke ca. 13.300 m², 4.000 m² und 15.000 m². Der maximale Höhenunterschied der drei Grundstücken liegt bei 2 m und ist somit als gering einzustufen.

Die Grundstücke liegen in einem Gewerbegebiet und entsprechen somit der Widmung Industrie und Gewerbe. Das Anbindegebot ist aufgrund der Lage im Gewerbegebiet nicht notwendig. Die Entfernung zu einem potenziellen Wärmelieferanten ist bisher unklar.

Gemeinde Ehekirchen

Grundstücksgröße und -geometrie:



Abbildung 26: potenzielles Grundstück mit Höhenprofil der Gemeinde Ehekirchen
Quelle: Bayernatlas

Widmung:

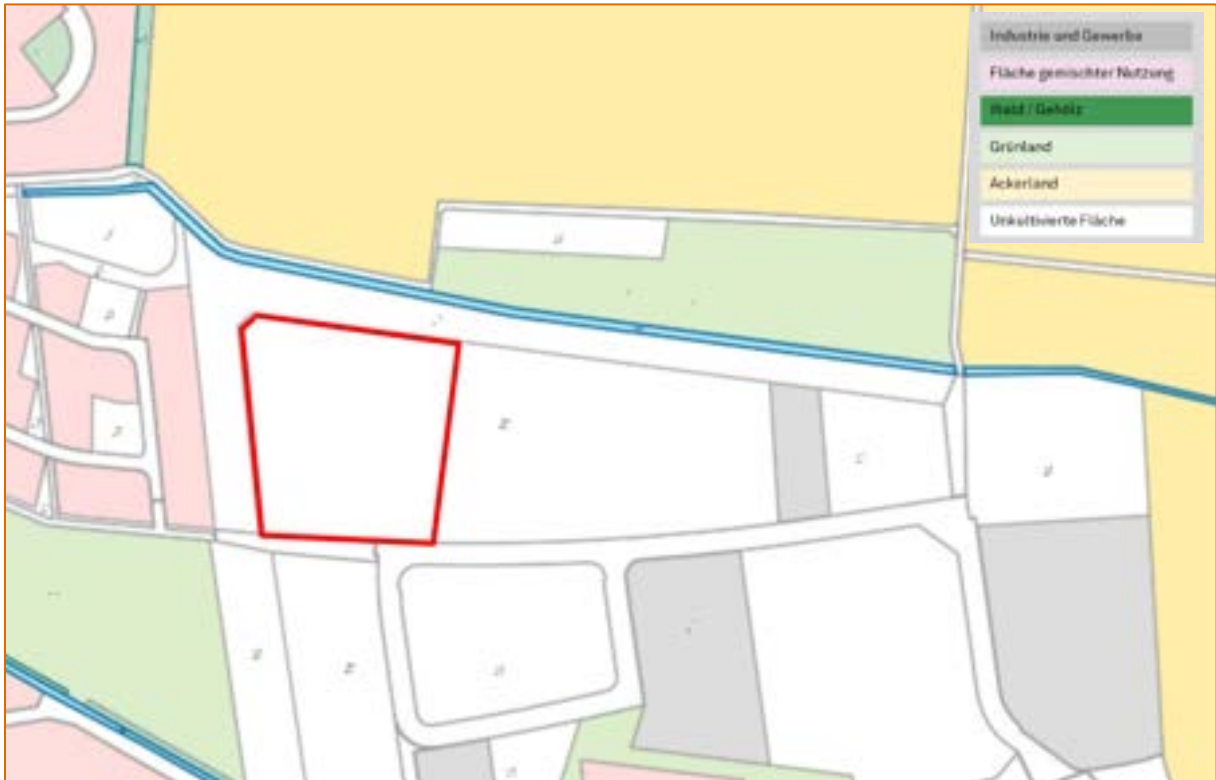


Abbildung 27: Widmung des potenziellen Grundstücks der Gemeinde Ehekirchen
Quelle: Bayernatlas

Das Grundstück mit der Flurnummer 934/33 der Gemarkung/Gemeinde Ehekirchen liegt im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen. Die Flur hat eine Fläche von ca. 10.500 m². Der Höhenunterschied ist mit rund 1,2 m relativ gering. Eine sichere Wärmeabnahme ist nicht bekannt.

Im Bayernatlas ist die Fläche ist noch als unkultivierte Fläche gewidmet, auf dem Bebauungsplan wurde diese Widmung jedoch bereits als Gewerbegebiet ersetzt. Durch das entstandene Gewerbegebiet Wallertshofen ist das Anbindegebot hierbei erfüllt.

Gemeinde Bergheim

Grundstücksgröße und -geometrie:



Abbildung 28: potenzielles Grundstück mit Höhenprofil der Gemeinde Bergheim
Quelle: Bayernatlas

Widmung:

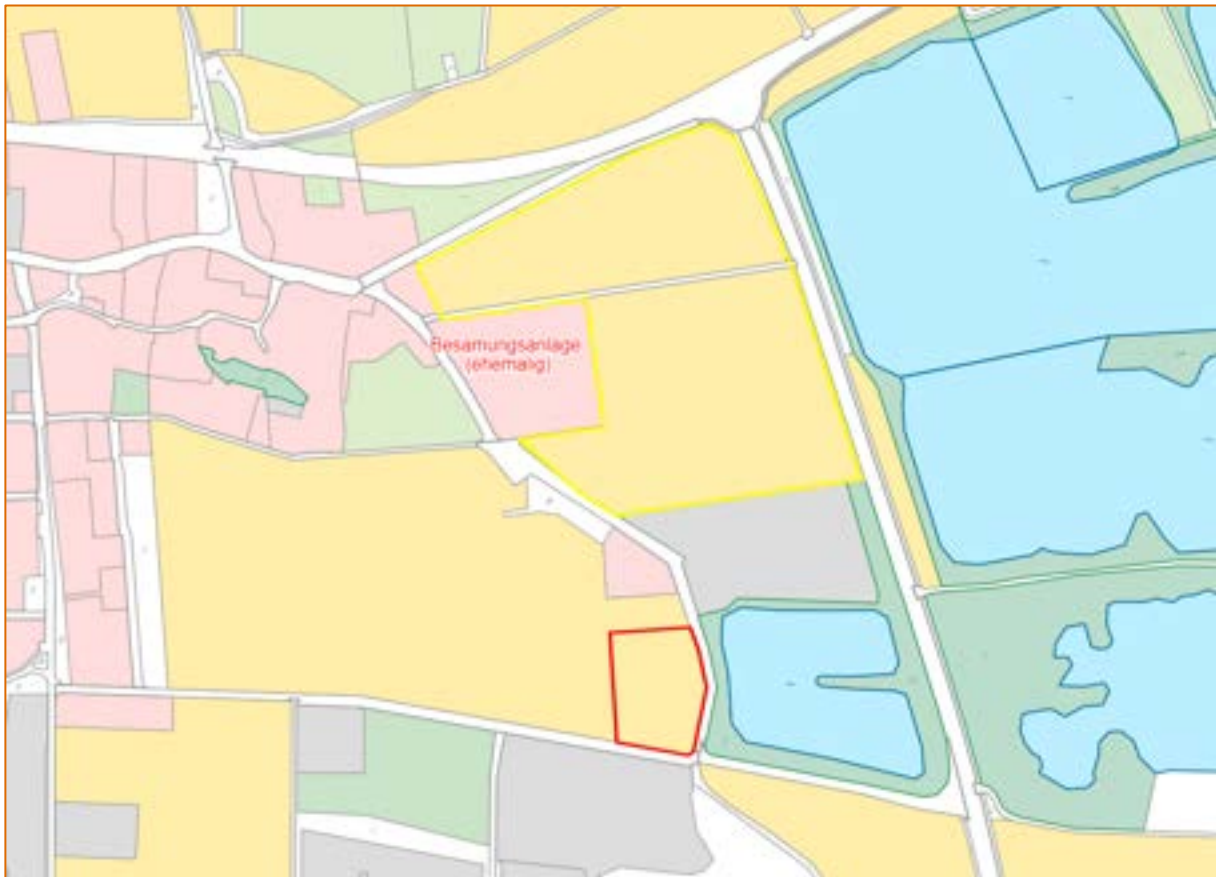


Abbildung 29: Widmung des potenziellen Grundstücks der Gemeinde Bergheim
Quelle: Bayernatlas

In der Gemeinde Bergheim im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen findet sich ein potenzielles Grundstück mit ca. 8.000 m². Derzeit ist im Gespräch, dass die Gemeinde erweitert werden soll. Diese Vergrößerung bietet Möglichkeiten, die bei der Pflanzenkohleherstellung entstehende Wärme abzunehmen. Auf dem Grundstück mit der Flur 170 liegt der Höhenunterschied bei 1,5 m.

Die Fläche ist im Bayernatlas als landwirtschaftliche Fläche – Ackerland gewidmet. Auf der Internetseite der Gemeinde wurde der Bebauungsplan veröffentlicht, in welchem die Fläche als Gewerbegebiet gewidmet ist. Aufgrund der nördlich davon liegenden Kläranlage ist das Anbindegebot ebenfalls gesichert.

Gemeinde Rennertshofen

Grundstücksgröße und -geometrie:

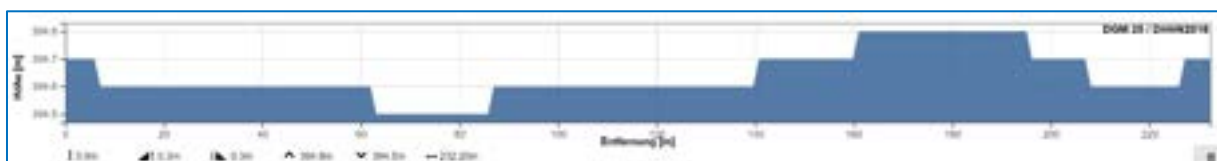


Abbildung 30: potenzielle Grundstücke mit Höhenprofile der Gemeinde Rennertshofen
Quelle: Bayernatlas

Widmung:

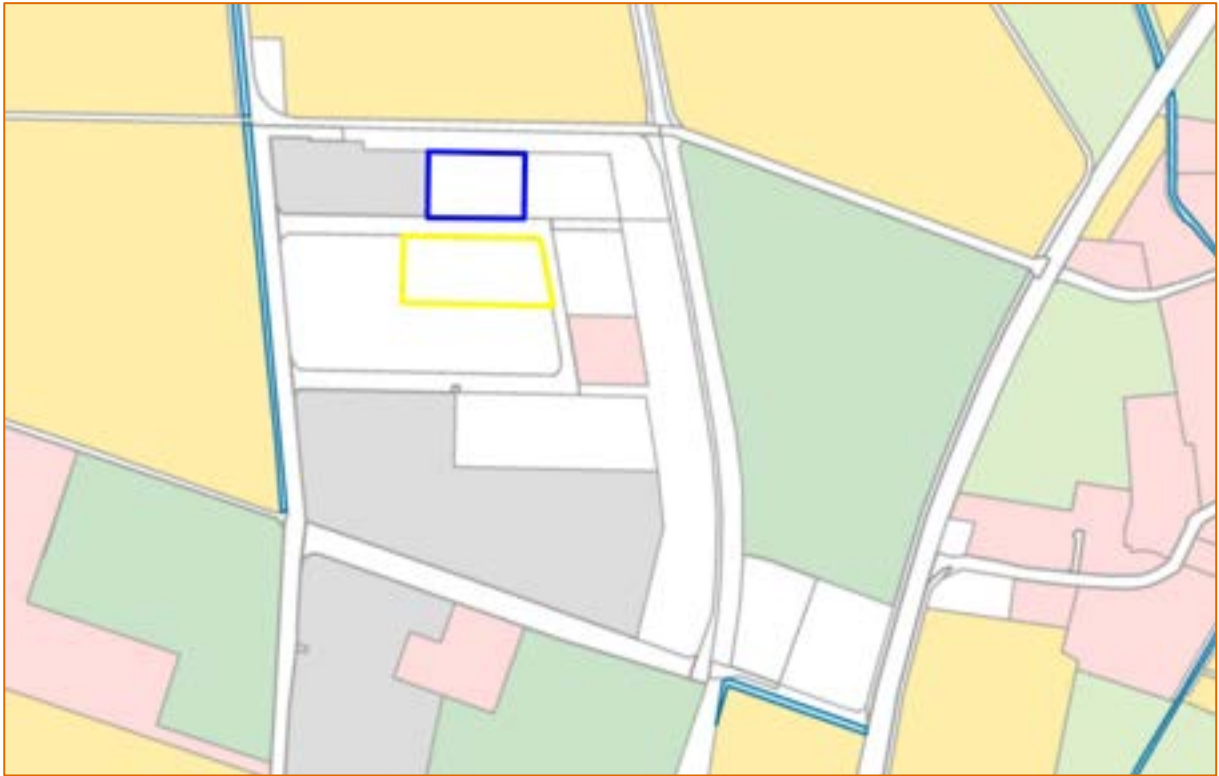


Abbildung 31: Widmung der potenziellen Grundstücke der Gemeinde Rennertshofen
Quelle: Bayernatlas

In der Gemeinde/Gemarkung Rennertshofen im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen liegen zwei potenzielle Standorte, die gemeinsam die erforderliche Größe erfüllen. Mit Flächen von 3.200 m² (Flurnummer 573/6) und 5.000 m² (574/7) wird eine Gesamtgröße von ca. 0,8 ha erreicht. Der Höhenunterschied in beiden Grundstücken beträgt 0,3 m. Die Entfernung zum potenziellen Wärmeabnehmer beträgt ca. 280 m.

Laut Bayernatlas sind beide Flächen bis jetzt als unkultivierte Fläche gewidmet, auf der Internetseite der Gemeinde wurde allerdings ein Bebauungsplan veröffentlicht, welcher die Grundstücke in einem Gewerbegebiet zeigen. Aufgrund der Lage im Gewerbegebiet erfüllen die Grundstücke das Anbindegebot.

5.3. Standortbewertung

Die Bewertung der Standorte bezieht sich auf ein Ranking, welches auf den in Kapitel 5.1 aufgeführten Faktoren beruht (siehe Tabelle 5). Allen Faktoren des Rankings wurden Beurteilungen (1 – 3) zugeordnet, welche wiederum mit Wertungen zwischen 5 % und 25 % verrechnet wurden. Aus dessen Produkten wurde jeweils eine Endsumme gebildet. Je kleiner dabei das Endergebnis ist, desto geeigneter ist der jeweilige Standort für die Errichtung einer Pflanzenkohleanlage.

Zur besseren Veranschaulichung geht jedem Standort das Standortranking für die jeweilige Fläche voraus. Im Anschluss wird dessen Bewertung genauer erläutert.

Tabelle 5: Standortranking
Quelle: eigene Darstellung

	Gewichtung	1	2	3	
Prä-Qualifikation					
Größe	20%	> 1	1 - 0,7	< 0,7	[ha]
Geometrie	10%	rechteckig	vier Ecken, nicht 90°	mehr oder weniger als vier Ecken	
Topographie	5%	< 3	3 - 5	> 5	[m]
Widmung	10%	Industrie	Gewerbe	Landwirtschaft	
Anschlussgebot	5%	ja		nein	
Erweiterungsmöglichkeiten	5%	ja		nein	
Windrichtung	5%	positiv		negativ	
Entfernung der potenziellen Abnehmer	5%	< 250	250 - 500	> 500	[m]
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	5%	> 500	250 - 500	< 250	[m]
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße	5%	< 3	3 - 5	> 5	[km] Luftlinie
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	25%	> 1000	500 - 1000	< 500	[kW]

Gemeinde Todtenweis

Tabelle 6: Standortranking der Gemeinde Todtenweis

Quelle: eigene Darstellung

Dokumente Rating		Todtenweis	
	Einheit		
PLZ:		86447	
Fläche:	[ha]	1,8 (beide Grundstücke)	
Topographie:	[m]	1,8	
Anzahl Flurnummern:	[Stk]	2	
Anzahl Eigentümer:	[Stk]		
Gemarkung:		Todtenweis	
Gemeinde:		Aichach-Friedberg	
Landkreis:		Schwaben	
Regierungsbezirk:		Bayern	
Bürgermeister:		Konrad Carl	
Entfernung der potenziellen Abnehmer	[m]	260	
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	[m]	440	
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)	[km]	3,8 (B 2)	
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	[kW]		
Standortranking		Todtenweis	
	Gewichtung	Beurteilung	Wertung
Prä-Qualifikation			
Größe	20%	1	0,2
Geometrie	10%	1	0,1
Topographie	5%	1	0,05
Widmung	10%	3	0,3
Anschlussgebot	5%	1	0,05
Erweiterungsmöglichkeiten	5%	1	0,05
Windrichtung	5%	1	0,05
Entfernung der potenziellen Abnehmer	5%	2	0,1
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	5%	2	0,1
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)	5%	2	0,1
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	25%	3	0,75
Summe:	100%		1,85

Nahezu alle Faktoren erfüllen die Anforderungen für die Errichtung einer Pflanzenkohleanlage. Allerdings muss ein K.O.-Kriterium, die Wärmeabnahme, mit der schlechtesten Beurteilung bewertet werden, was zum jetzigen Zeitpunkt diesen Standort, welcher dem Projektteam durch die Auftraggeber angetragen wurde, ausschließt. Sowohl die obere Fläche als auch beide Flächen gemeinsam erfüllen die Anforderungen an das erforderliche Grundstück, sowohl in der Größe als auch der Geometrie und Topografie. Lediglich die Widmung müsste geändert werden. Bis auf die Wärmeabnahme werden alle weiteren Kriterien mit gut erfüllt. Als potenzieller Wärmekunde war zu Beginn der Machbarkeitsstudie die nahegelegene Konservenfabrik Durach erdacht. Allerdings liegen dem Projektteam zum Zeitpunkt der Berichterstellung keine Wärmedaten des Unternehmens vor. Sowohl durch das Team von EEE e.V. als auch durch das Gespräch mit dem Bürgermeister Konrad Carl konnten keine Informationen herangezogen werden. Um auf diesem Standort die Pflanzenkohleherstellung weiter zu verfolgen, muss nach Fertigstellung und Abgabe des Berichts weiter versucht werden, die Wärmedaten des Unternehmens zu erlangen und zu bewerten sowie weitere Wärmeabnehmer zu finden.

Gemeinde Dinkelshausen

Tabelle 8: Standortranking der Gemeinde Dinkelshausen

Quelle: eigene Darstellung

Dokumente Rating		Dinkelshausen	
	Einheit		
PLZ:		86669	
Fläche:	[ha]	0,614	
Topographie:	[m]	1,4	
Anzahl Flurnummern:	[Stk]		
Anzahl Eigentümer:	[Stk]		
Gemarkung:		Ehekirchen	
Gemeinde:		Neuburg-Schrobenhausen	
Landkreis:		Oberbayern	
Regierungsbezirk:		Bayern	
Bürgermeister:		Günther Gamisch	
Entfernung der potenziellen Abnehmer	[m]	100	
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	[m]	1000	
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)	[km]	8 (B 16)	
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	[kW]	270	
Standortranking		Dinkelshausen	
	Gewichtung	Beurteilung	Wertung
Prä-Qualifikation			
Größe	20%	3	0,6
Geometrie	10%	1	0,1
Topographie	5%	1	0,05
Widmung	10%	1	0,1
Anschlussgebot	5%	1	0,05
Erweiterungsmöglichkeiten	5%	3	0,15
Windrichtung	5%	1	0,05
Entfernung der potenziellen Abnehmer	5%	1	0,05
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	5%	1	0,05
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)	5%	3	0,15
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	25%	3	0,75
Summe:	100%		2,1

Der Standort in Dinkelshausen fällt aufgrund der Nichteinhaltung der zwei K.O.-Kriterien (Grundstücksgröße und Wärmeabnahme) aus dem Ranking. Mit einer Grundstücksgröße von lediglich 0,6 ha unterschreitet er die vorgesehene Mindestgröße für das Projekt. Auch liegt der Standort mit den gemeldeten 270 kW Wärmebedarf unter dem gesuchten Bedarf von 500 kW.

Ohne weitere Informationen durch den EEE e.V., ohne Erweiterungsmöglichkeiten und weitere Wärmeabnehmer ist Dinkelshausen somit nicht geeignet und fällt als potenzieller Standort weg.

Stadt Schrobenhausen

Tabelle 9: Standortranking der Stadt Schrobenhausen

Quelle: eigene Darstellung

Dokumente Rating		Schrobenhausen	
	Einheit		
PLZ:		86529	
Fläche:	[ha]	1,4	
Topographie:	[m]	5	
Anzahl Flurnummern:	[Stk]		
Anzahl Eigentümer:	[Stk]	1	
Gemarkung:		Schrobenhausen	
Gemeinde:		Neuburg-Schrobenhausen	
Landkreis:		Oberbayern	
Regierungsbezirk:		Bayern	
Bundesland:		Harald Reisner	
Bürgermeister:		100 (KH) / 300 (SS)	
Entfernung der potenziellen Abnehmer	[m]	400	
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	[m]	2 (B 300)	
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)	[km]		
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	[kW]		
Standortranking		Schrobenhausen	
	Gewichtung	Beurteilung	Wertung
Prä-Qualifikation			
Größe	20%	1	0,2
Geometrie	10%	1	0,1
Topographie	5%	2	0,1
Widmung	10%	3	0,3
Anschlussgebot	5%	1	0,05
Erweiterungsmöglichkeiten	5%	1	0,05
Windrichtung	5%	1	0,05
Entfernung der potenziellen Abnehmer	5%	1	0,05
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	5%	2	0,1
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)	5%	1	0,05
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	25%	3	0,75
Summe:	100%		1,8

Das Grundstück in Schrobenhausen befindet sich zwischen einem Krankenhaus und einem Gewerbegebiet, die Fläche selbst wird allerdings bisher landwirtschaftlich genutzt. Grundsätzlich erfüllen die meisten Kriterien die Erwartungen an ein potenzielles Grundstück, jedoch ist auch hier – neben der Widmung – die potenzielle Wärmeabnahme kritisch zu hinterfragen. Das Team von CO₂-regio konnte dem Projektteam lediglich Rohdaten zum Wärmebedarf des ansässigen Unternehmens Südstärke darlegen. Diese umfassen die Lastgänge Strom und Gas wie den Dampfverbrauch je Anlage. Mit den betrachteten Anlagenhersteller und -typen ist es nicht möglich, den benötigten Dampf zu erzeugen. Weitere Daten über andere mögliche Wärmeabnehmer liegen dem Projektteam ebenfalls nicht vor.

Wie beim ersten Standort müssten auch hier sowohl beim Krankenhaus wie auch bei den übrigen ansässigen Unternehmen die Wärmeauslastung hinterfragt werden. Eine weitere Frage ist, ob das landwirtschaftliche gewidmete und genutzte Grundstück zur Verfügung steht. Dies muss beim Eigentümer abgeklärt werden.

Stadt Neuburg a. d. Donau

Tabelle 10: Standortranking der Stadt Neuburg a. d. Donau

Quelle: eigene Darstellung

Dokumente Rating		Neuburg	
	Einheit		
PLZ:		86633	
Fläche:	[ha]	1,3 Halle, 1,9 Freifläche	
Topographie:	[m]	2	
Anzahl Flurnummern:	[Stk]		
Anzahl Eigentümer:	[Stk]		
Gemarkung:			
Gemeinde:		Neuburg an der Donau	
Landkreis:		Neuburg-Schrobenhausen	
Regierungsbezirk:		Oberbayern	
Bundesland:		Bayern	
Bürgermeister:		Dr. Bernhard Gmehling	
Entfernung der potenziellen Abnehmer	[m]	150 bzw. 240	
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	[m]	750	
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)	[km]	2,5 (B 16)	
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	[kW]		
Standortranking		Neuburg	
	Gewichtung	Beurteilung	Wertung
Prä-Qualifikation			
Größe	20%	1	0,2
Geometrie	10%	1	0,1
Topographie	5%	1	0,05
Widmung	10%	1	0,1
Anschlussgebot	5%	1	0,05
Erweiterungsmöglichkeiten	5%	1	0,05
Windrichtung	5%	1	0,05
Entfernung der potenziellen Abnehmer	5%	3	0,15
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	5%	1	0,05
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)	5%	1	0,05
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	25%	3	0,75
Summe:	100%		1,6

Zunächst scheint der Standort im Industriegebiet in der Stadt Neuburg a. d. Donau die meisten Kriterien zu erfüllen und schneidet dadurch erstaunlich gut im Ranking ab. Grundstücksgröße, Geometrie, Topographie, Widmung, Anschlussgebot, Erweiterungsmöglichkeiten, Windrichtung und die Entfernungen zu den nächstgelegenen Wohnbebauungen wie auch der nächstgelegenen höherrangigen Straße konnten mit der besten Punktezahl beurteilt werden. Es konnte jedoch kein potenzieller Wärmeabnehmer identifiziert werden.

Zu Beginn der Standortsuche wurden die benachbarte Firma Rockwool und eine Glasfabrik als potenzieller Wärmeabnehmer gehandelt. Bei einer weiteren Recherche stellte sich jedoch heraus, dass diese nicht wie gedacht Wärme benötigen, sondern selbst produzieren und in das kommunale Wärmenetz der Stadtwerke Neuburg a. d. Donau einspeisen. Somit sind diese als potenzielle Konkurrenten gegenüber einer Pflanzenkohleproduktionsanlage im Blick auf Wärmeabsatz zu betrachten. Der bisher fehlende Wärmeabnehmer stellt das derzeitige K.O.-Kriterium dar.

Das Projektteam hat Kontakt mit dem Bürgermeister der Gemeinde Ehekirchen aufgenommen, um weitere Informationen bzgl. möglicher Wärmeabnehmer und -daten zu erhalten. Nach einer Abstimmung mit dem Bürgermeister Günther Gamisch stellte die Gemeinde Ehekirchen dem Projektteam Informationen über die weiteren Grundstückserwerber des Gewerbegebiets wie auch zu weiteren Erweiterungsmöglichkeiten zur Verfügung. Diese Daten wurde im Nachgang gesichtet und bewertet. Eine Abschätzung der möglichen Wärmebedarfe auf Grundlage dieser Daten gestaltet sich schwierig. Zusammen mit der Prüfung der Vorgaben aus dem Bebauungsplan kommt das Projektteam dem Ergebnis, dass eine Pflanzenkohleproduktionsanlage mit angeschlossener CO₂-neutralen Wärmeversorgung auf dem freien Grundstück nach aktuellem Kenntnisstand nicht möglich ist.

Gemeinde Bergheim

Tabelle 12: Standortranking der Gemeinde Bergheim
Quelle: eigene Darstellung

Dokumente Rating		Bergheim	
	Einheit		
PLZ:		86673	
Fläche:	[ha]	0,8	
Topographie:	[m]	2	
Anzahl Flurnummern:	[Stk]	1	
Anzahl Eigentümer:	[Stk]		
Gemarkung:			
Gemeinde:		Bergheim	
Landkreis:		Neuburg-Schrobenhausen	
Regierungsbezirk:		Oberbayern	
Bundesland:		Bayern	
Bürgermeister:		Tobias Gensberger	
Entfernung der potenziellen Abnehmer	[m]		
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	[m]	280	
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)	[km]	4,5 (B 16)	
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	[kW]		
Standortranking		Bergheim	
	Gewichtung	Beurteilung	Wertung
Prä-Qualifikation			
Größe	20%	2	0,4
Geometrie	10%	3	0,3
Topographie	5%	1	0,05
Widmung	10%	2	0,2
Anschlussgebot	5%	1	0,05
Erweiterungsmöglichkeiten	5%	1	0,05
Windrichtung	5%	1	0,05
Entfernung der potenziellen Abnehmer	5%	2	0,1
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	5%	2	0,1
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)	5%	2	0,1
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	25%	2	0,5
Summe:	100%		1,9

Wie der vorherige Standort schneidet auch dieser im Mittelfeld ab. Dies liegt allerdings nicht daran, dass einige Faktoren mit der schlechtesten Note abschneiden, sondern, dass die meisten Punkte mit einer zwei bewertet werden. Lediglich die Geometrie des Standortes erhält eine drei, da das Grundstück nicht die perfekte quadratische Form besitzt. Mit einer Größe von 0,8 ha bewegt sich die Fläche noch im möglichen Bereich.

Wie in Kapitel 5.2 erwähnt, wird nordöstlich des Grundstücks eine Gemeindeerweiterung geplant. Laut dem Geschäftsstellenleiter der Verwaltungsgemeinschaft Neuburg a. d. Donau Herrn Gössl ist es daher möglich, eine kleine Anlage mit einer thermischen Leistung von 500 kW zu errichten, da diese Wärmemenge potenziell abgenommen werden kann. Somit ist der Standort Bergheim zum jetzigen Stand der einzige Standort mit einer ausreichenden möglichen Wärmeabnahme.

Gemeinde Rennertshofen

Tabelle 13: Standortranking der Gemeinde Rennertshofen
Quelle: eigene Darstellung

Dokumente Rating		Rennertshofen	
	Einheit		
PLZ:		86643	
Fläche:	[ha]	0,8	
Topographie:	[m]	0,4	
Anzahl Flurnummern:	[Stk]	2	
Anzahl Eigentümer:	[Stk]		
Gemarkung:		Rennertshofen	
Gemeinde:		Neuburg-Schrobenhausen	
Landkreis:		Oberbayern	
Regierungsbezirk:		Bayern	
Bürgermeister:		Georg Hirschbeck	
Entfernung der potenziellen Abnehmer	[m]	250	
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	[m]	250	
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)	[km]	5 (B 16)	
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	[kW]		
Standortranking		Rennertshofen	
	Gewichtung	Beurteilung	Wertung
Prä-Qualifikation			
Größe	20%	2	0,4
Geometrie	10%	1	0,1
Topographie	5%	1	0,05
Widmung	10%	2	0,2
Anschlussgebot	5%	1	0,05
Erweiterungsmöglichkeiten	5%	3	0,15
Windrichtung	5%	1	0,05
Entfernung der potenziellen Abnehmer	5%	3	0,15
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	5%	2	0,1
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)	5%	2	0,1
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	25%	3	0,75
Summe:	100%		2,1

Der Standort Rennertshofen liegt mit einer Wertung von 2,1 ebenfalls auf einem mittleren Niveau. Um die notwendige Flächengröße zu erreichen, müssen alle Bauten auf beiden Grundstücke errichtet werden. Diese werden durch eine Straße getrennt. Da bereits weitere Grundstücke im Gewerbegebiet verkauft sind, ist es nicht möglich, die Fläche bei Bedarf zu erweitern.

Für die kommunalen Liegenschaften konnten Informationen über die Wärmebedarfe zur Verfügung gestellt werden. Diese liegen bei rund 560 MWh pro Jahr. Die Anschlussleistung liegt bei 350 kW bis 400 kW. Durch die saisonal unterschiedlichen Bedarfe wird diese Leistung nur an kalten Wintertagen benötigt. Im Sommer besteht nur ein sehr niedriger Bedarf. Ob Betriebe im angrenzenden Gewerbegebiet, welche bisher am Gasnetz angeschlossen sind, zu erneuerbarer Wärme wechseln und somit potenzielle Wärmeabnehmer wären, ist noch zu klären. Auf Grundlage der genannten Wärmebedarfe ist eine Pflanzkohleproduktionsanlage mit angeschlossener CO₂-neutralen Wärmeversorgung auf dem freien Grundstück in dem Gewerbegebiet nach aktuellem Kenntnisstand nicht möglich.

Da ohne die Wärmebetrachtung der Standort gut erscheint, ist es sinnvoll, auch hier weitere Gespräche mit dem Bürgermeister und dem Gemeinderat zu führen. Dadurch können weitere Daten über potenzielle Wärmeabnehmer eruiert werden. Hierbei liegt Potenzial, sobald Gewerbebetriebe im bestehenden, südlichen Gebiet angeschlossen und versorgt werden könnten. Über Abfragen der Gewerbebetriebe können deren Energiebedarfe und deren Interesse an einer Umstellung auf eine CO₂-neutralen Wärmeversorgung erfragt werden.

5.4. Zwischenfazit und Handlungsempfehlungen

Die durchgeführte Standortidentifikation brachte einen potenziellen Standort für eine Pflanzkohleproduktionsanlage in der Gemeinde Bergheim hervor.

Zu Beginn der Bearbeitung konnten dem Projektteam vom Auftraggeber erfreulicherweise fünf potenzielle Standorte zur Verfügung gestellt werden. Wie allerdings in der weiteren Analyse erkenntlich wurde, schnitt keiner dieser fünf Standorte so ab, dass er nach Ende der Machbarkeitsstudie weiterverfolgt werden sollte. Die Anfrage über die Wirtschaftsförderung der Landkreise stellte Kontakt zu weiteren potenziellen Standorten her, wovon drei analysiert und bewertet werden konnten. Fast alle Standorte eint der Fakt, dass keine sichere Wärmeabnahme bekannt ist bzw. zu wenig Wärme benötigt wird. Da dies allerdings als K.O.-Kriterium festgelegt wurde, kommen nach aktuellem Informationsstand sieben der acht untersuchten Standorte nicht als potenzielle Standorte für eine Pflanzkohleproduktionsanlage in Betracht.

Trotz fehlendem Wärmeabsatz haben die Standorte Todtenweis, Schrobenhausen, Neuburg, Ehekirchen und Rennertshofen Chancen geeignete Standorte zu werden, wenn weitere Informationen über Wärmebedarfe ermittelt werden können. Das Projektteam sieht bei diesen Standorten aufgrund ihrer sonstigen guten Wertungen ein geringes Umsetzungspotenzial.

Handlungsempfehlungen

- Das Projektteam empfiehlt dem Auftraggeber den Standort Bergheim weiter zu verfolgen und mit dem Bürgermeister und dem Geschäftsstellenleiter der Gemeinde in Verbindung treten. Mit einer Gesamtwertung von 1,9 erfüllt der Standort alle Anforderungen, die zu Beginn der Machbarkeitsstudie als Kriterien festgelegt wurden. Das Projektteam sieht an diesem Standort zum jetzigen Zeitpunkt die größten Chancen zur Errichtung einer Pflanzkohleproduktionsanlage im Untersuchungsgebiet.
- Prolignis empfiehlt mit den Gemeinden Todtenweis, Schrobenhausen, Neuburg, Ehekirchen und Rennertshofen weiterhin im Gespräch zu bleiben, um über neue Daten und Entwicklungen über ggfs. bestehende Wärmebedarfe informiert zu werden.
- Des Weiteren wird empfohlen, den nächsten Schritt – die Qualifikation des jeweiligen Standortes – zu prüfen. Hierbei sind zu klären: die Anzahl der Eigentümer, der Grundstückspreis und der Wärmebedarf. Dieser wird unterteilt in Jahresbedarf, Lastgang und Spitzenleistung.

6. Einschätzung der standortangepassten Realisierbarkeit

In Kapitel 6. werden die in den vorherigen Kapiteln ermittelten Informationen zu verfügbarer Anlagentechnologie mit weiteren Daten zur technischen Realisierbarkeit vor Ort zusammengeführt. Gemeinsam mit einer wirtschaftlichen Einschätzung wird die Realisierbarkeit einer Pflanzenkohleproduktionsanlage in der Region ermittelt.

6.1. Technische Realisierbarkeit und organisatorische Umsetzung

Eine Pflanzenkohleproduktionsanlage besteht im Wesentlichen aus:

- Einsatzstofflogistik mit Anlieferbereich, Lagerflächen für Einsatzstoffe, Schubboden bzw. Vorlagecontainer
- Pflanzenkohleproduktionsanlage mit Energieerzeugung und -nutzung und Kohleförderung und -abfüllung
- Sonstige Nebeneinrichtungen

Nachfolgend wird nicht auf die Kategorie industrielle Anlagen eingegangen, da momentan eine Realisierung aufgrund der großen thermischen Leistung und der fehlenden Nutzungsmöglichkeit in der Region als nicht möglich eingeschätzt wird.

Brennstoffanlieferung, -lagerung und -transport

Vor der Annahme erfolgt die Überprüfung der Qualität und der Begleitpapiere der angelieferten Einsatzstoffe. Die Einsatzstoffe werden in der Regel bereits komplett aufbereitet angeliefert. Eine Zerkleinerung vor Ort ist nicht vorgesehen. Der Wassergehalt der Einsatzstoffe variiert witterungsbedingt im Jahresdurchschnitt von ca. 30 bis 55 %, womit sich ein Heizwert von durchschnittlich 2,5 kWh/kg Einsatzstoff ergibt. Bei einer Feuerungswärmeleistung von 1,49 MW bei der PYREG PX1500 bzw. 3,527 MW bei der SynCraft CW1800X2-1000 über eine Laufzeit von 8.000 jährlichen Betriebsstunden beläuft sich die benötigte Einsatzstoffmenge auf rund 2.400 t_{atro} p.a. (PYREG PX1500) bzw. 5.640 t_{atro} p.a. (SynCraft CW1800X2-1000).

Bei Waldrestholz und Landschaftspflegematerial als Einsatzstoffe kann ein durchschnittliches Anliefervolumen von rund 85 m³ je LKW angesetzt werden. Je nach Anlagendimensionierung und damit Einsatzstoffbedarf ist mit ca. 4 LKW/Woche (PYREG PX1500) bzw. 9 LKW/Woche (SynCraft CW1800X2-1000) zu rechnen. Bei kleinteiligerer Anlieferung bspw. mittels landwirtschaftlicher Fahrzeuge reduziert sie das Volumen jeder Anlieferung und damit steigt die Anzahl der Anlieferungen entsprechend. Einschließlich Betriebsmittelanlieferung und Abtransport der produzierten Pflanzenkohle ist mit einer Gesamtfrequenz von ca. 5 bzw. 10 LKW/Woche zu rechnen.

Das angelieferte Material wird nach Passieren der Waage direkt mittels Walking-Floor-LKW oder Container-Fahrzeugen den Lagerboxen oder dem Freilager zugeführt. Von dort wird das Material bedarfsgerecht mit Hilfe eines Radladers oder Teleskopladers dem Schubboden bzw. Vorlagecontainer zugeführt, bevor es innerhalb der Anlage zur Pyrolyse transportiert wird.

Energieerzeugung und -nutzung

An dieser Stelle sei auf die in Kapitel 4.5 aufgeführten Anlagen der Kategorien verwiesen. Dort sind die Verfahrens- und Prozessabläufe innerhalb der Pflanzkohleproduktionsanlagen ausgeführt und grafisch dargestellt.

Die in der Pflanzkohleproduktionsanlagen erzeugte Wärmeenergie wird über eine am Standort zu errichtende Wärmeauskopplung einem Wärmenetz mit Abnehmern zugeführt. Diese Wärmeauskopplung bildet die Systemgrenze. Das Thema Wärmenetz mit ggfs. separat zu errichtenden Gebäude mit Netzpumpen, Druckhaltung und Pufferspeichern ist gesondert zur Pflanzkohleproduktionsanlage zu betrachten.

Die bei entsprechender Anlagenauswahl im Generator erzeugte elektrische Leistung wird am Anlagenstandort in das öffentliche Netz eingespeist.

Produkte

Die produzierte Pflanzkohle wird mit einer einstellbaren Menge Wasser konditioniert, um zum einen die Temperatur und zum anderen die Staubbildung zu reduzieren. Nach erfolgter Mischung wird die befeuchtete Pflanzkohle durch eine Fördereinrichtung zur Abfüllung transportiert. In der Regel wird die Pflanzkohle in sogenannte Bigbags abgefüllt. Bigbags sind flexibler Schüttgutbehälter und werden bei der Befüllung mit Pflanzkohle mit einem Volumen zwischen 1,0 und 1,8 m³ verwendet.

Die Abfüllstation wird so ausgelegt, dass ein durchgehender Anlagenbetrieb über ungefähr 3 Tage erreicht werden kann. Nach dieser Zeitspanne müssen die Bigbags (beispielsweise mit einem Gabelstapler) gewechselt werden.

Sonstige Nebeneinrichtungen

Ein Gebäude mit Leitwarte, Betriebs- und Sozialräumen ist für den operativen Betrieb notwendig. Leittechnisch wird die Anlage von einer zu errichtenden Schaltwarte am Standort überwacht und betrieben. Mittels Fernzugriff ist der Zugriff auf die Anlage für autorisierte Personen von extern möglich. Betriebs- und Sozialräume sind für die Verwaltung und das technische Anlagenpersonal zu errichten.

Die befüllten Bigbags werden in einem Lager gesammelt und die produzierte Pflanzkohle wird je nach Anwendungsfall vor Ort weiterverarbeitet oder gebündelt mit dem LKW zur weiteren Verarbeitung abtransportiert. Je nach Anwendungsfall sind die Lagerkapazitäten auszulegen. Die Bigbags sind witterungsgeschützt zu lagern. Dazu ist mindestens eine Überdachung, besser noch eine Lagerhalle aufzustellen.

Technisch sind die genannten wesentlichen Bestandteile am Markt verfügbar und damit realisierbar. Die Verfahrensabläufe vor Ort sind branchenüblich und bewährt. Organisatorisch sind die Tätigkeiten vor Ort mit einem technischen Personal von ein bis vier Personen sowie einem organisatorischen und kaufmännischen Personal wie Betriebsleitung und Verwaltung von weiteren drei bis fünf Personen zu gewährleisten.

Um die Bestandteile am Standort einer Pflanzkohleproduktionsanlage technisch wie organisatorisch umsetzen zu können, ist eine ausreichende Fläche notwendig. Wie in den Standortkriterien in Kapitel 5.1 definiert, sind Flächen von einer Größe von rund 0,7 – 1,0 ha als geeignet anzusehen.

6.2. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Auf den nachfolgenden Seiten wird die wirtschaftliche Realisierbarkeit von Pflanzenkohleproduktionsanlagen behandelt. Zuerst wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand der in Kapitel 4.5 exemplarisch ausgewählten Anlage PYREG PX1500 dargestellt. Im Anschluss wird für die Kategorie gewerbliche Anlagen eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die gewählte SynCraft CW1800X2-1000 durchgeführt. Für die Kategorie industrielle Anlagen wird aktuell keine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt. Grund hierfür ist die momentane Einschätzung, dass eine Anlage dieser Größenklasse aufgrund des großen thermischen Outputs und der fehlenden Nutzungsmöglichkeit in der Region als nicht möglich eingeschätzt wird.

Anlagentechnische Angebote werden in den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf Basis von Richtpreisangeboten gewürdigt. Bei allen Anlagenherstellern gilt, dass sich die Verfügbarkeit und der Preis derzeit nur kurzfristig im Auftragsfalle fixiert lässt. Die Preise können sich aufgrund der derzeitigen Situation kurzfristig und dynamisch ändern.

Bei den weiteren Kosten- wie Erlöspositionen wurden die Werte näherungsweise berechnet, aus vorliegenden Richtpreisangeboten übernommen oder durch Expertengespräche ermittelt. Auch hier muss beachtet werden, dass sich die Werte aufgrund der aktuellen Situation kurzfristig ändern können. Die genauen Kosten- und Erlöspositionen müssen jeweils im konkreten Projektfall geprüft und konkretisiert werden.

Insgesamt wurde bei den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ein eher konservativer Ansatz gewählt. Zudem wurden keine Fördermittel berücksichtigt, durch welche sich Wirtschaftlichkeit verbessert würde.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung landwirtschaftliche Anlage (PYREG PX1500)

Das Investitionsvolumen für eine PYREG PX1500 Pflanzenkohleanlage beträgt insgesamt knapp 4.000.000 EUR. Es setzt sich aus mehreren Einzelpositionen zusammen (siehe Abbildung 32).

Investitionsvolumen			
Kaufpreis Anlage Pflanzenkohle		1.906.888,00	EUR
Grundstückskosten	Grundstückgröße	5.500	m ²
	Grundstückskosten pro m ²	160,00	EUR/m ²
		880.000,00	EUR
Gebäude		450.000,00	EUR
Bewegliche Güter		120.000,00	EUR
Zwischensumme		3.356.888,00	EUR
Projektentwicklung, -management, -steuerung		10%	
	Summe	335.688,80	EUR
Risikopuffer		10%	
	Summe	335.688,80	EUR
Gesamtinvestitionskosten mit Gebäude und Grundstück		4.028.265,60	EUR

Abbildung 32: Investitionsbetrachtung – Investitionskosten PYREG PX1500
Quelle: eigene Darstellung

Der Kaufpreis der Pflanzkohleanlage wurde in einem Richtpreisangebot direkt beim Anlagenhersteller angefragt. Die Berechnung der Grundstückskosten erfolgte über die Addition des Platzbedarfs der Anlage inkl. aller notwendiger Komponenten (z. B. Lager für Einsatzstoffe und Produkte) mit den durchschnittlichen Grundstückskosten pro m². Bei der Ermittlung der Kosten für das Gebäude wurde der benötigte umbaute Raum für die Pflanzkohleanlage abgeschätzt (1.000 m³) und mit den durchschnittlichen Kosten von 450,00 EUR je Kubikmeter umbauter Raum ermittelt. Zusätzlich wurden 120.000 EUR für bewegliche Güter angesetzt, hierunter fällt beispielsweise ein Radlader. Die Summe der Teilbeträge ergibt die Zwischensumme, über welche die Beträge für Projektentwicklung, -management und -steuerung und der Risikopuffer (jeweils 10 % der Zwischensumme und damit rund 335.680 EUR) berechnet wurden.

Einnahmen	
Energie	
Strom	0 MWh
Erlös pro MWh	160,00 EUR/MWh
Summe	0,00 EUR
Wärme	4.400 MWh
Erlös pro MWh	90,00 EUR/MWh
Summe	396.000,00 EUR
Pflanzkohle	
Pflanzkohle	550 t
Erlös pro t	700,00 EUR/t
Summe	385.000,00 EUR
CO ₂ -Sequestrierung	2,50 t CO ₂ /t Kohle
	1.375,00 t CO ₂ eq
CO ₂ -Zertifikate (nach Einbringung in Boden)	Erlös pro t CO ₂ eq 125,00 EUR/t (in Boden eingebracht)
Anteil Bodeneinbringung	100%
Summe	171.875,00 EUR
Einnahmen gesamt	952.875,00 EUR

Abbildung 33: Investitionsbetrachtung - Einnahmen PYREG PX1500
Quelle: eigene Darstellung

Die Einnahmen der PYREG PX1500 Pflanzkohleanlage setzen sich zusammen aus Erlösen für die erzeugte Energie (in diesem Fall Wärme, da kein Strom produziert wird), für die produzierte Pflanzkohle sowie dem Zertifikatsverkauf (siehe Abbildung 33).

Die Einnahmen für die Wärme wurden über die angenommene Jahresproduktion von 4.400 MWh multipliziert mit einem Wärmepreis von 90,00 EUR/MWh errechnet. Hier gilt es zu beachten, dass keine Verlegung von Wärmenetzen oder ähnliches eingepreist ist, sondern lediglich die Wärme „frei Grundstücksgrenze“ berücksichtigt ist. Die jährlich produzierte Menge an Pflanzkohle von 550 t (Annahme im Anlagendatenblatt des Herstellers) wird zum derzeitig angesetzten Marktpreis von 700,00 EUR/t verkauft. Angenommen wird hierbei, dass die verkaufte Pflanzkohle zu 100 % in den Boden eingebracht wird. Daher können aus dem Zertifikatsverkauf weitere Einnahmen von 125,00 EUR/t CO₂ eq erwirtschaftet werden. Bei der angenommenen Jahreskapazität von 550 t Pflanzkohle und einer CO₂-Sequestrierungsrate von 2,50 t CO₂/t Kohle können insgesamt 1.375 t CO₂ eq gebunden werden. Der Erlös aus dem direkten Verkauf der Pflanzkohle kann je nach Vertriebsart stark variieren.

Insgesamt ergeben sich daraus Einnahmen in Höhe von etwa 950.000 EUR p.a.

Ausgaben	
Betriebs- und Verwaltungskosten	
Materialeinsatz	
Materialeinsatz pro Stunde	0,298 t _{atro} /h
Betriebsstunden	8.000 h/a
Materialeinsatz pro Jahr	2.384 t _{atro} /a
Brennstoffpreis	150,00 EUR/t _{atro}
	357.600,00 EUR
Betriebsstoffe (Strom, Gas, Diesel, Verpackung, Hilfs- und Betriebsstoffe)	200.000,00 EUR
Personalkosten (technisches Personal vor Ort)	80.000,00 EUR
Wartung und Instandsetzung	2,5%
	Summe 47.672,20 EUR
Sonstige Kosten (Mieten, Versicherung, SSA, sonstige Verwaltungskosten)	1,5%
	Summe 28.603,32 EUR
Kaufmännische und organisatorische Betriebsführung (inkl. Personal außer technische Mitarbeiter vor Ort)	90.000,00 EUR
Betriebs- und Verwaltungskosten gesamt	803.875,52 EUR

Abbildung 34: Investitionsbetrachtung - Ausgaben PYREG PX1500
Quelle: eigene Darstellung

Den möglichen Erlösen stehen Ausgaben für Material-, Betriebs- und Verwaltungskosten sowie weiteren Kosten gegenüber (siehe Abbildung 34).

Die Menge der Einsatzstoffe pro Jahr wurde anhand des vom Hersteller angegebenen Materialeinsatzes pro Stunde (0,298 t_{atro}/h) multipliziert mit 8.000 Betriebsstunden im Jahr errechnet. Es wurde ein Materialpreis von 150,00 EUR/t_{atro} angenommen. Da am Brennstoffmarkt derzeit eine hohe Unsicherheit herrscht, kann diese Annahme nur als grobe Näherung angesehen werden und muss im konkreten Projektfall überprüft werden. Die Kosten für Betriebsstoffe (z. B. Strom und Diesel), Personalkosten für technisches Personal vor Ort sowie die Kosten für die kaufmännische und organisatorische Betriebsführung wurden auf Basis von Erfahrungswerten angesetzt. Für die Wartung und Instandsetzung der Pflanzkohleanlage wurden 2,5 % des technischen Anlageninvestments (Kaufpreis der Pflanzkohleanlage) angenommen. Sonstige Kosten (z. B. Mieten, Versicherung) wurden mit 1,5 % des Kaufpreises berücksichtigt.

Insgesamt ergeben sich jährliche Ausgaben von rund 800.000 EUR für eine PYREG PX1500 Pflanzkohleanlage.

Umsatzrentabilität (Gewinn/Umsatz)	0,16
Kapitalumschlag (Umsatz/Investiertes Kapital)	0,24
ROI	4%

Abbildung 35: Investitionsbetrachtung – Return on Investment PYREG PX1500
Quelle: eigene Darstellung

Durch den Kapitaleinsatz kann bei einer PYREG PX1500 Pflanzkohleanlage eine Rendite von 4 % erzielt werden.

An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass in dieser vereinfachten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung keine Absetzung für Abnutzungen (AfA) berücksichtigt wurde. Dies sollte in

einer genaueren Einzelfallbetrachtung für konkrete Projektstandorte vorgenommen werden.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung gewerbliche Anlage (SynCraft CW1800X2-1000)

Das Investitionsvolumen für eine SynCraft CW1800X2-1000 Pflanzkohleanlage beträgt insgesamt knapp 12.350.000 EUR. Es setzt sich aus mehreren Einzelpositionen zusammen (siehe Abbildung 36).

Investitionsvolumen		
Kaufpreis Anlage Pflanzkohle		5.667.900,00 EUR
Grundstückskosten	Grundstückgröße	8.000 m ²
	Grundstückskosten pro m ²	160,00 EUR/m ²
	Grundstückskosten	1.280.000,00 EUR
Gebäude (in EUR)		2.721.600,00 EUR
Bewegliche Güter		200.000,00 EUR
Zwischensumme		9.869.500,00 EUR
Projektentwicklung, -management, -steuerung		15%
	Summe	1.480.425,00 EUR
Risikopuffer		10%
	Summe	986.950,00 EUR
Gesamtinvestitionskosten mit Gebäude und Grundstück		12.336.875,00 EUR

Abbildung 36: Investitionsbetrachtung - Investitionskosten SynCraft CW1800X2-1000
Quelle: eigene Darstellung

Der Kaufpreis der Pflanzkohleanlage wurde in einem Richtpreisangebot direkt beim Anlagenhersteller angefragt. Die Berechnung der Grundstückskosten erfolgte über die Addition des Platzbedarfs der Anlage inkl. aller notwendiger Komponenten (z. B. Lager für Einsatzstoffe und Produkte) mit den durchschnittlichen Grundstückskosten pro m². Bei der Ermittlung der Kosten für das Gebäude wurde der benötigte umbaute Raum für die Pflanzkohleanlage aus der Skizze des Richtpreisangebots übernommen und mit den durchschnittlichen Kosten von 450,00 EUR je Kubikmeter umbauter Raum ermittelt. Zusätzlich wurden 200.000 EUR für bewegliche Güter angenommen, hierunter fällt beispielsweise ein Radlader. Die Summe der Teilbeträge ergibt die Zwischensumme, über welche die Beträge für Projektentwicklung, -management und -steuerung (15 % der Zwischensumme bzw. rund 1.480.425 EUR) und der Risikopuffer (10 % der Zwischensumme bzw. 986.950 EUR) berechnet wurden.

Die Einnahmen der SynCraft CW1800X2-1000 Pflanzkohleanlage setzen sich zusammen aus Erlösen für die erzeugte Energie (Strom sowie Wärme), für die produzierte Pflanzkohle sowie dem Zertifikatsverkauf (siehe Abbildung 37).

Einnahmen			
Energie			
Strom			
		8.000	MWh
Erlös pro MWh		160,00	EUR/MWh
Summe		1.280.000,00	EUR
Wärme			
		10.400	MWh
Erlös pro MWh		90,00	EUR/MWh
Summe		936.000,00	EUR
Pflanzkohle			
Pflanzkohle			
		900	t
Erlös pro t		700,00	EUR/t
Summe		630.000,00	EUR
CO ₂ -Sequestrierung			
		2,50	t CO ₂ /t Kohle
		2.250,00	t CO ₂ eq
CO ₂ -Zertifikate (nach Einbringung in Boden)			
	Erlös pro t CO ₂ eq	125,00	EUR/t (in Boden angebracht)
	Anteil Bodeneinbringung	100%	
	Summe	281.250,00	EUR
Einnahmen gesamt			3.127.250,00 EUR

Abbildung 37: Investitionsbetrachtung - Einnahmen SynCraft CW1800X2-1000
Quelle: eigene Darstellung

Bei der Berechnung der Erlöse aus dem Stromverkauf wurde der Stromoutput der Pflanzkohleanlage in MWh mit 160,00 EUR/MWh multipliziert. Dies entspricht in etwa der aktuellen Vergütung gemäß Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG). Bei der Berechnung ist auch eine Berücksichtigung des aktuellen Börsenstrompreises möglich, welcher derzeit deutlich höher als die garantierte EEG-Vergütung liegt. Aufgrund der Volatilität und der sich daraus ergebenden Planungsunsicherheit wurde hier jedoch konservativ die EEG-Einspeisevergütung berücksichtigt. Die Einnahmen für die Wärme wurden über die angenommene Jahresproduktion von 10.400 MWh (aus dem Richtpreisangebot) multipliziert mit einem Wärmepreis von 90,00 EUR/MWh errechnet. Hier gilt es zu beachten, dass keine Verlegung von Wärmenetzen oder ähnliches eingepreist ist, sondern lediglich der Verkauf der Wärme „frei Grundstücksgrenze“. Die jährlich produzierte Menge an Pflanzkohle von 900 t (Annahme im Anlagendatenblatt des Herstellers) wird zum derzeitigen Marktpreis von etwa 700,00 EUR/t verkauft. Angenommen wird hierbei, dass die verkaufte Pflanzkohle zu 100 % in den Boden eingebracht wird. Daher können aus dem Zertifikatsverkauf weitere Einnahmen von 125,00 EUR/t CO₂ eq erwirtschaftet werden. Bei der angenommenen Jahreskapazität von 900 t Pflanzkohle und einer CO₂-Sequestrierungsrate von 2,50 t CO₂/t Kohle können insgesamt 2.250 t CO₂ eq gebunden werden. Der Erlös aus dem direkten Verkauf der Pflanzkohle kann je nach Vertriebsart stark variieren.

Insgesamt ergeben sich Einnahmen in Höhe von etwa 3.000.000 EUR p.a.

Ausgaben	
Betriebs- und Verwaltungskosten	
Materialeinsatz	
Materialeinsatz pro Stunde	0,705 t _{atro} /h
Betriebsstunden	8.000 h/a
Materialeinsatz pro Jahr	5,640 t _{atro} /a
Brennstoffpreis	170,00 EUR/t _{atro}
	958.800,00 EUR
Betriebsstoffe (Strom, Gas, Diesel, Verpackung, Hilfs- und Betriebsstoffe)	500.000,00 EUR
Personalkosten (technisches Personal vor Ort)	160.000,00 EUR
Wartung und Instandsetzung	2,5%
	Summe 141.697,50 EUR
Sonstige Kosten (Mieten, Versicherung, S&A, sonstige Verwaltungskosten)	1,5%
	Summe 85.018,50 EUR
Kaufmännische und organisatorische Betriebsführung (inkl. Personal außer technische Mitarbeiter vor Ort)	300.000,00 EUR
Betriebs- und Verwaltungskosten gesamt	2.145.516,00 EUR

Abbildung 38: Investitionsbetrachtung - Ausgaben SynCraft CW1800X2-1000
Quelle: eigene Darstellung

Den möglichen Erlösen stehen Ausgaben für Material-, Betriebs- und Verwaltungskosten sowie weitere Kosten (siehe Abbildung 38).

Die Menge der Einsatzstoffe pro Jahr wurde anhand des vom Hersteller angegebenen Materialeinsatzes pro Stunde ($0,705 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{h}$) multipliziert mit 8.000 Betriebsstunden im Jahr errechnet. Es wurde ein Brennstoffpreis von $170,00 \text{ EUR}/\text{t}_{\text{atro}}$ angenommen. Dieser liegt aufgrund der anlagenspezifischen Brennstoffanforderungen aus der Brennstoffspezifikation $20,00 \text{ EUR}$ höher als bei der PYREG PX1500. Da am Brennstoffmarkt derzeit eine hohe Unsicherheit herrscht, kann die Annahme nur als grobe Näherung angesehen werden und muss im konkreten Fall überprüft werden. Die Kosten für Betriebsstoffe (z. B. Strom und Diesel), Personalkosten für technisches Personal vor Ort sowie die Kosten für die kaufmännische und organisatorische Betriebsführung wurden auf Basis von Erfahrungswerten angenommen. Für die Wartung und Instandsetzung der Pflanzkohleanlage wurden $2,5 \%$ des technischen Anlageninvestments (Kaufpreis der Pflanzkohleanlage) angenommen. Sonstige Kosten (z. B. Mieten, Versicherung) wurden mit $1,5 \%$ des Kaufpreises berücksichtigt.

Insgesamt ergeben sich jährliche Ausgaben von rund $2.150.000 \text{ EUR}$ für eine SynCraft CW1800X2-1000 Pflanzkohleanlage.

Umsatzrentabilität (Gewinn/Umsatz)	0,31
Kapitalumschlag (Umsatz/investiertes Kapital)	0,25
ROI	8%

Abbildung 39: Investitionsbetrachtung – Return on Investment SynCraft CW1800X2-1000
Quelle: eigene Darstellung

Durch den Kapitaleinsatz kann bei einer SynCraft CW1800X2-1000 Pflanzkohleanlage eine Rendite von 8% erzielt werden.

An dieser Stelle weisen wir ebenfalls darauf hin, dass in dieser vereinfachten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung keine Absetzung für Abnutzung (AfA) berücksichtigt wurde. Dies sollte in einer genaueren Einzelfallbetrachtung für konkrete Projektstandorte vorgenommen werden.

6.3. Zwischenfazit und Handlungsempfehlungen

Die Einsatzstofflogistik mit Anlieferbereich, Lagerflächen für Einsatzstoffe, Schubboden bzw. Vorlagecontainer, die Pflanzenkohleproduktionsanlage mit Energieerzeugung und -nutzung und Kohleförderung und -abfüllung und die sonstige Nebeneinrichtungen sind am Markt verfügbar und die dazugehörigen Verfahrens- und Prozessabläufe sind verfügbar und branchenbewährt. Die technische Realisierbarkeit und die organisatorische Umsetzung einer Pflanzenkohleproduktionsanlage in der Region ist somit möglich.

Bei den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen handelt es sich um vereinfachte Betrachtungsweisen. Trotz dessen zeigen sie, dass eine Wirtschaftlichkeit bei landwirtschaftlichen Anlagen und bei gewerblichen Anlagen grundsätzlich gegeben ist. Die Kalkulationen wurden jeweils anhand der exemplarisch für die Kategorien ausgewählten Anlagen der Firmen SynCraft und PYREG durchgeführt. Dabei wurde insgesamt ein eher konservativer Ansatz gewählt. Zudem wurden keine Fördermittel berücksichtigt, durch welche sich die Wirtschaftlichkeit verbessert würde.

Handlungsempfehlungen

- Mit Konkretisierung eines potenziellen Grundstücks sollte darauf ein Blocklayout geplant werden, um die technische Realisierbarkeit und die organisatorische Umsetzbarkeit aufzeigen zu können.
- Im weiteren Projektfortschritt sind die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen weiter zu entwickeln und zu verfeinern mit dem Ziel businessplan-taugliche Wirtschaftlichkeitsrechnungen zu erhalten.
- Fördermittel hätten einen deutlich positiven Effekt auf die Wirtschaftlichkeit. Es sollte zeitnah geprüft werden, ob entsprechende Förderprogramme zur Verfügung stehen und daraus Fördermittel akquiriert werden können.

7. Fazit und Maßnahmenkatalog mit Handlungsempfehlungen

Die Untersuchung der technischen Machbarkeit einer Pflanzenkohleproduktionsanlage in der Region Donaumoos als Baustein eines regionalen und freiwilligen Ausgleichsmechanismus hat ergeben, dass die Umsetzung einer solchen Anlage möglich ist.

Die nähere Betrachtung der Stoffkreisläufe im Untersuchungsgebiet hat ergeben, dass ausreichend Biomasse in Form von Waldrestholz und Landschaftspflegeholz vorhanden ist. In Summe besteht ein Potenzial von rund 13,69 Tsd. t Einsatzstoffen in den drei Landkreisen. Die Nutzung regional verfügbarer Einsatzstoffe in den eigenen Landkreisen kann aus ökonomischen und ökologischen Gründen sinnvoll sein. Vermiedene bzw. kürzere Transportentfernungen können sowohl die Kosten als auch die Emissionen senken.

Aus diesen verfügbaren Einsatzstoffen ist die Herstellung hochwertiger Pflanzenkohle, die nach dem European Biochar Certification zertifiziert werden kann, möglich. Die Pflanzenkohle umfasst mit ihren zahlreichen positiven chemischen und physikalischen Eigenschaften eine große Bandbreite an Einsatzmöglichkeiten. Sowohl für den Einsatz in der Landwirtschaft, in der Industrie als auch im Energiesektor kann sie eine wichtige Rolle beim Kampf gegen den Klimawandel spielen. Durch die Einsatzstoffe und Qualität der Kohle wird die Pflanzenkohle dem jeweiligen Verwendungszweck aufgrund der erreichten Kategorien zugeteilt. Je qualitativ hochwertiger das Ausgangsmaterial ist, desto breiter sind die Einsatzmöglichkeiten der Produktcharge. Die Herstellung und Nutzung von Pflanzenkohle weist Schnittstellen bei acht der 17 Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development Goals) der Vereinten Nationen auf. Pflanzenkohle ist somit ein echter Allrounder was nachhaltiges Wirtschaften betrifft.

Die nachfolgende Abbildung 40 soll den Zusammenhang und den Stofffluss von den Einsatzstoffen über die Anlagentechnik zu den Anwendungsmöglichkeiten der Pflanzenkohleprodukte grafisch darstellen.

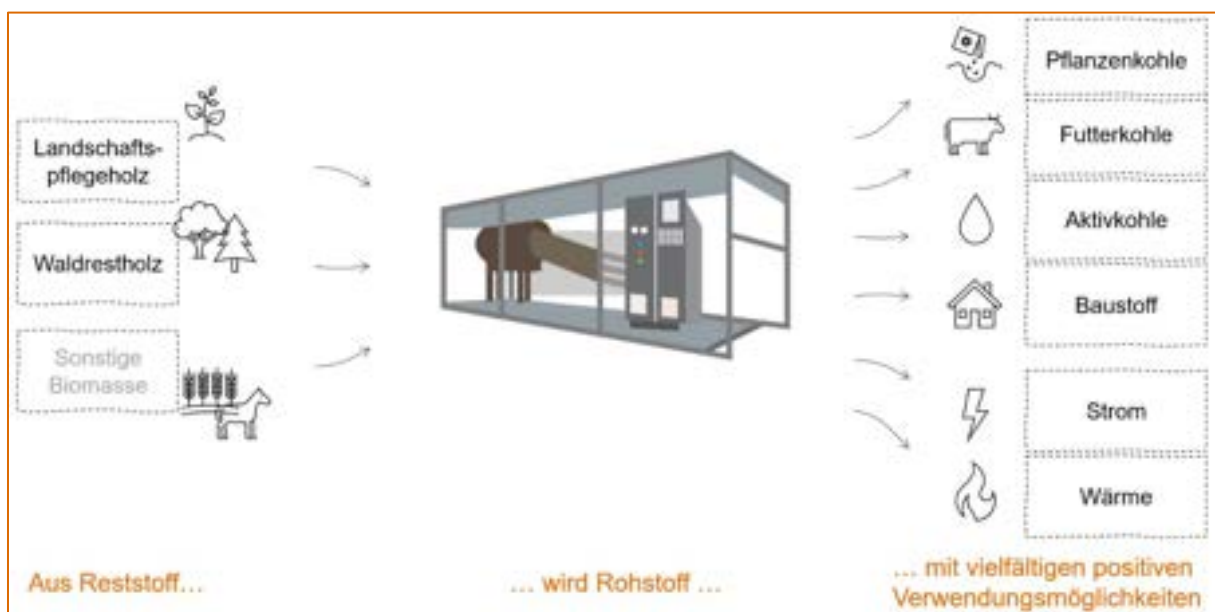


Abbildung 40: Stofffluss und Nutzungsmöglichkeiten
Quelle: eigene Darstellung

Bewährte Anlagentechnikanbieter stehen zur Verfügung. In den vergangenen Jahren haben sich mehrere Anlagenhersteller mit unterschiedlichen Anlagengrößen im Markt etabliert. Die Anlagentechnik ist ausgereift und hat sich durch inzwischen jahrelangen Anlagenbetrieb bewährt. Die Anlagenhersteller bieten Pflanzkohleproduktionsanlagen mit einer Produktionskapazität bis zu mehreren tausend Tonnen pro Jahr an. Die Marktverfügbarkeit und die Preise sind derzeit nur kurzfristig im Auftragsfalle zu fixieren. Die Entwicklung geht dabei branchenübergreifend hin zu größeren Anlagen. Es wurden Anlagenkategorien gebildet, die im weiteren Projektverlauf anhand von exemplarischen Anlagenmodellen für die Standortidentifikation und die Einschätzung der standortangepassten Machbarkeit genutzt wurden.

Die Suche nach geeigneten Standorten zur Errichtung einer Pflanzkohleanlage erwies sich als herausfordernd, da oft der benötigte Wärmeabsatz an den Standorten fehlte. Nach Sichtung und Bewertung aller erhaltenen Information kommt zum derzeitigen Standpunkt eine Fläche in der Gemeinde Bergheim in Betracht.

Die technische Realisierbarkeit und die organisatorische Umsetzung einer Pflanzkohleproduktionsanlage in der Region ist möglich. Die vereinfachten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zeigen, dass eine Wirtschaftlichkeit bei landwirtschaftlichen Anlagen und bei gewerblichen Anlagen grundsätzlich gegeben ist. Momentan wurden keine Fördermittel berücksichtigt und grundsätzlich konservativen Ansätze gewählt. Diese beiden Faktoren bieten Verbesserungspotenzial in einer weiteren Entwicklung des Projekts und dessen Wirtschaftlichkeit.

Maßnahmenkatalog Handlungsempfehlungen

- Bei positiver Umsetzungsentscheidung sollten mit relevanten Akteuren in den Teilmärkten Waldrestholz aus dem Privatwald und Landschaftspflegeholz erste Sondierungsgespräche geführt werden. Akteure im Bereich Waldrestholz aus dem Privatwald sind regionale Waldbesitzervereinigungen und Forstbetriebsgemeinschaften. Beim Landschaftspflegeholz sind dies u.a. von den Kommunen und Landkreisen beauftragte Firmen.
Die Sondierungsgespräche sollen zum einen die praktische und dauerhafte Umsetzung der Mengenpotenziale validieren und zum anderen auch als Grundlage für notwendige Korrekturen in den Beschaffungsszenarien dienen.
- Die Forschung zu Einsatzmöglichkeiten von Material aus Paludikulturen und Grüngut sollte weiterverfolgt werden. Bei zukünftig technischer Einsetzbarkeit dieser Stoffe bietet die Region ein gutes Potenzial zur Materialbereitstellung.
- Für die mögliche Produktzertifizierung ist das European Biochar Certificate empfehlenswert. Werden alle Voraussetzungen erfüllt, kann davon ausgegangen werden, dass die Pflanzkohle je nach Ausgangsstoff in allen Sektoren eingesetzt werden darf. Dazu sind vor allem Biomassen aus den Bereichen Forstwirtschaft und Landschaftspflege geeignet, welche gemäß Untersuchung in der Projektregion ausreichend verfügbar sind.
- Zum Betreiben und Handeln von Pflanzkohle empfiehlt Prolignis den Standard auf EBC-zertifizierte Kohlen zu setzen. Besonders im Bereich der Landwirtschaft ist die Verwendung von Pflanzkohle bereits erprobt und teilweise rechtlich abgesichert, wodurch die Herstellung von EBC-Futterkohle und EBC-Kohle zur

Einbringung in den Boden zum jetzigen Zeitpunkt am werthaltigsten ist. Es ist sinnvoll, die Entwicklung der weiteren Anwendungssektoren weiterhin zu verfolgen.

- Es wird des Weiteren empfohlen, die rechtlichen Rahmenbedingungen und die Entwicklung der weiteren Anwendungsmöglichkeiten weiter zu verfolgen. Neben der Landwirtschaft bieten sich besonders im Bereich der Bauindustrie große Chancen, Kohlenstoff dauerhaft zu binden und konventionelle Stoffe nachhaltiger zu gestalten.
- Als Produktions- und Herstellungsverfahren ist die langsame Pyrolyse am besten für die Produktion von qualitativ hochwertigen Pflanzenkohlen geeignet und daher zu empfehlen. Die Marktentwicklung im Bereich Anlagenhersteller und -technik sowie der Trend zu größeren Produktionsanlagen ist zu beobachten.
- Es sollten Gespräche mit möglichen Anlagenlieferanten geführt werden, um die aktuellen Verfügbarkeiten bzw. Lieferzeiten sowie die Markt- und Preisentwicklungen abschätzen und bewerten zu können.
- Das Projektteam empfiehlt dem Auftraggeber, den Standort Bergheim weiter zu verfolgen und mit dem Bürgermeister und dem Geschäftsstellenleiter der Gemeinde in Verbindung treten. Mit einer Gesamtwertung von 1,9 erfüllt er alle Anforderungen, die zu Beginn der Machbarkeitsstudie als Kriterien festgelegt wurden. Das Projektteam sieht an diesem Standort zum jetzigen Zeitpunkt die größten Chancen zur Errichtung einer Pflanzenkohleproduktionsanlage im Untersuchungsgebiet.
- Prolignis empfiehlt mit den Gemeinden Todtenweis, Schrobenhausen, Neuburg, Ehekirchen und Rennertshofen weiterhin im Gespräch zu bleiben, um über neue Daten und Entwicklungen über ggfs. bestehende Wärmebedarfe informiert zu werden.
- Des Weiteren wird empfohlen, den nächsten Schritt – die Qualifikation des jeweiligen Standortes – zu prüfen. Hierbei sind zu klären: die Anzahl der Eigentümer, der Grundstückspreis und der Wärmebedarf. Dieser wird unterteilt in Jahresbedarf, Lastgang und Spitzenleistung.
- Mit Konkretisierung eines potenziellen Grundstücks sollte darauf ein Blocklayout geplant werden, um die technische Realisierbarkeit und die organisatorische Umsetzbarkeit aufzeigen zu können.
- Im weiteren Projektfortschritt sind die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen weiter zu entwickeln und zu verfeinern mit dem Ziel businessplan-taugliche Wirtschaftlichkeitsrechnungen zu erhalten.
- Fördermittel hätten einen deutlich positiven Effekt auf die Wirtschaftlichkeit. Es sollte zeitnah geprüft werden, ob entsprechende Förderprogramme zur Verfügung stehen und daraus Fördermittel akquiriert werden können.

8. Schlussbemerkung

Die im Rahmen der Zusammenarbeit, für die wir uns nochmals ausdrücklich bedanken möchten, gewonnenen Erkenntnisse zeigen unserer Meinung nach für den Auftraggeber Energie Effizient Einsetzen e.V. positive Entwicklungspotentiale für eine Pflanzkohleproduktionsanlage auf. Die technische Machbarkeit ist gegeben.

Für eine eventuelle Projektumsetzung können wir je nach Bedarf Projektmanagement-, Projektsteuerungs- und Unternehmensentwicklungsleistungen anbieten und wenn gewünscht und sinnvoll auch die Betriebsführung übernehmen.

Das Prolignis Team bedankt sich für Ihr Vertrauen.

Leonhard Wobbe

Projektleiter

Prolignis Unternehmensentwicklung GmbH