

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 (Projektassistentz)

Allgemeine Informationen

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

Projektzeitraum: September 2021 – November 2022

Inhaltsverzeichnis

Projektspezifische	2
Allgemeine Informationen	2
Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	5
1. Ausgangslage	6
2. Zielsetzung und Aufgabenstellung	8
3. Stoffkreislaufe der Maßnahmen	9
3.1 Verfügbarkeit von Einsatzstoffen	9
3.2 Weitere mögliche Einsatzstoffe	14
3.3 Zwischenfort und Handlungssempfehlung	16
4. Produktdefinition und Technologieauswahl	17
4.1 Pflanzenkunde - Definition und Standardcode Development Code	17
4.2 Produktifizierung	22
4.3 Regionale Anwendungsmöglichkeiten der Pflanzenkunde	31
4.4 Produktionsverfahren	38
4.5 Anlagenersteller und -typen	41
4.6 Zwischenfort und Handlungssempfehlungen	46
5. Standortidentifikation	47
5.1 Vorgehensweise und Standortkriterien	47
5.2 Standortanalyse	49
5.3 Standortbewertung	66
5.4 Zwischenfort und Handlungssempfehlungen	76
6. Einschätzung der standortangepassten Realisierbarkeit	77
6.1 Technische Realisierbarkeit und organisatorische Umsetzung	77
6.2 Wirtschaftlichkeitsberechnung	79
6.3 Zwischenfort und Handlungssempfehlungen	85
7. Fazit und Maßnahmenkatalog mit Handlungssempfehlungen	86
8. Schlussbemerkung	88

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Negative Emissionen: Technologien	7
Abbildung 2 Strukturierung der Wälderkreislaube	8
Abbildung 3 Aufkommen Holz zu Lager-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 Herstellung Autenziale Landkreis Aichach-Friedberg	13
Abbildung 6 Charakteristika der Pflanzenkunde	19
Abbildung 7 Pflanzenkunde betreffende Nachhaltigkeitsziele	21
Abbildung 8 Ausschnitt aus der „Liste der eingesetzten Biomasse“	24
Abbildung 9 Anwendungsmöglichkeiten der Pflanzenkunde	31
Abbildung 10 Verwendung von Pflanzenkunde und Sammel bei Stadtbäumen	35
Abbildung 11 Temperaturabhängigkeit der cyclischen Aufbonisierung von Biomassebestandteilen: thermochemische Vorgänge und entstehende gasförmige Produkte	39
Abbildung 12 Anlagenmuster	42
Abbildung 13 Verfahrensschaubild PY III G	43
Abbildung 14 SynGrat Prozessschubild	44
Abbildung 15 Polytechnik Green Carbon Prozess	45
Abbildung 16 Standard-Tage in der Zielregion	50
Abbildung 17 potenzielle Grundstücke mit Höhenprofil der Gemeinde Eddersweiss	51
Abbildung 18 Widmung der potenziellen Grundstücke der Gemeinde Eddersweiss	52
Abbildung 19 Luftbild der Gemeinde Aresing	53
Abbildung 20 potenzielles Grundstück mit Höhenprofil der Gemeinde Hinkelshausen	54
Abbildung 21 Widmung des potenziellen Grundstücks der Gemeinde Hinkelshausen	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 Höhenprofil 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 Berghelm	62
Abbildung 29 Widmung des potenziellen Grundstücks der Gemeinde Berghelm	63
Abbildung 30 potenzielle Grundstücke mit Höhenprofil der Gemeinde Bernershofen	64
Abbildung 31 Widmung der potenziellen Grundstücke der Gemeinde Bernershofen	65
Abbildung 32 Investitionsbeobachtung – Investitionskosten PYIII G PX1500	79
Abbildung 33 Investitionsbeobachtung – Inzinsieren PYIII G PX1500	80
Abbildung 34 Investitionsbeobachtung – Ausgaben PYIII G PX1500	81
Abbildung 35 Investitionsbeobachtung – Return on Investment, PYIII G PX1500	81
Abbildung 36 Investitionsbeobachtung – Investitionskosten SynGrat GW1800X2 1000	82
Abbildung 37 Investitionsbeobachtung – Inzinsieren SynGrat GW1800X2 1000	83
Abbildung 38 Investitionsbeobachtung – Ausgaben SynGrat GW1800X2 1000	84
Abbildung 39 Investitionsbeobachtung – Return on Investment, SynGrat GW1800X2 1000	84
Abbildung 40 Stofffluss und Nutzungsmöglichkeiten	86

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Potenz- und geschätzte Waldrestholz- / Privatwald- und Landschaftspflegeholz.....	12
Tabelle 2: 7. Zusammenfassung Potenzzielabschätzungen.....	16
Tabelle 3: Rechtslage bei der Verwendung von Pflanzerkohle.....	26
Tabelle 4: 7. Zusammenfassung Anlagengemessener.....	71
Tabelle 5: Standortranking.....	66
Tabelle 6: Standortranking der Gemeinde Todtenweis.....	67
Tabelle 7: Standortranking der Gemeinde Aresing.....	68
Tabelle 8: Standortranking der Gemeinde Dinkelhausen.....	69
Tabelle 9: Standortranking der Stadt Schrobenhausen.....	70
Tabelle 10: Standortranking der Stadt Neubeubing und Donaustauf.....	71
Tabelle 11: Standortranking der Gemeinde Mering.....	72
Tabelle 12: Standortranking der Gemeinde Bergheim.....	73
Tabelle 13: Standortranking der Gemeinde Benninghofen.....	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 Kohlenstoffsensken 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).

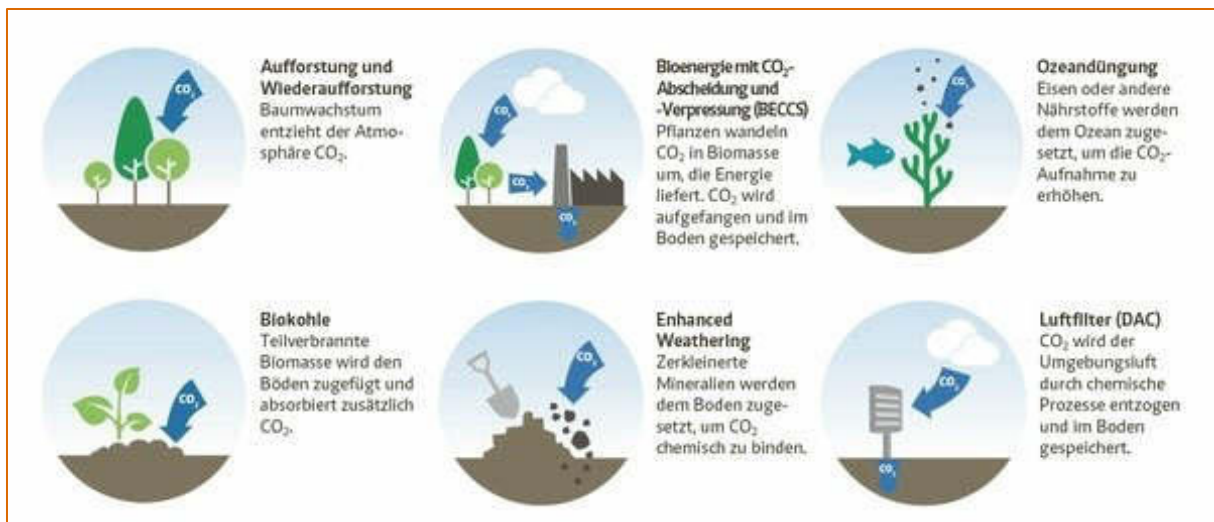


Abbildung 1: Negative-Emissionen-Technologien

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.

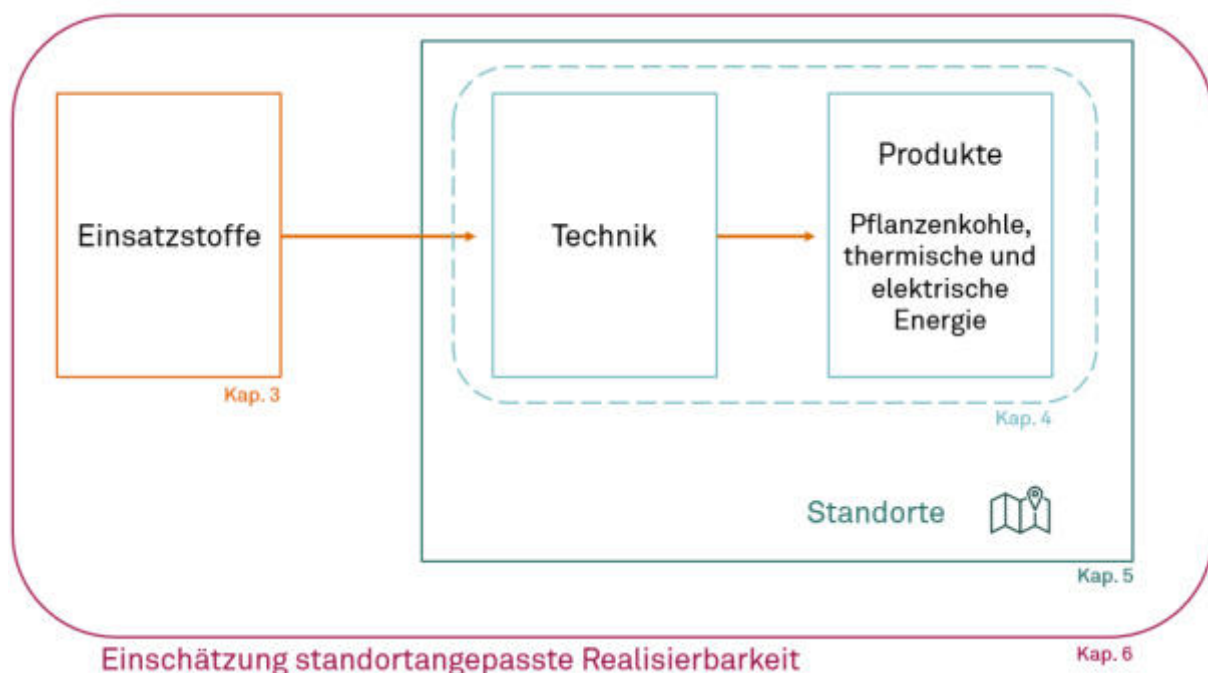


Abbildung 2: Strukturierung der Machbarkeitsstudie
Quelle: eigene Darstellung

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.

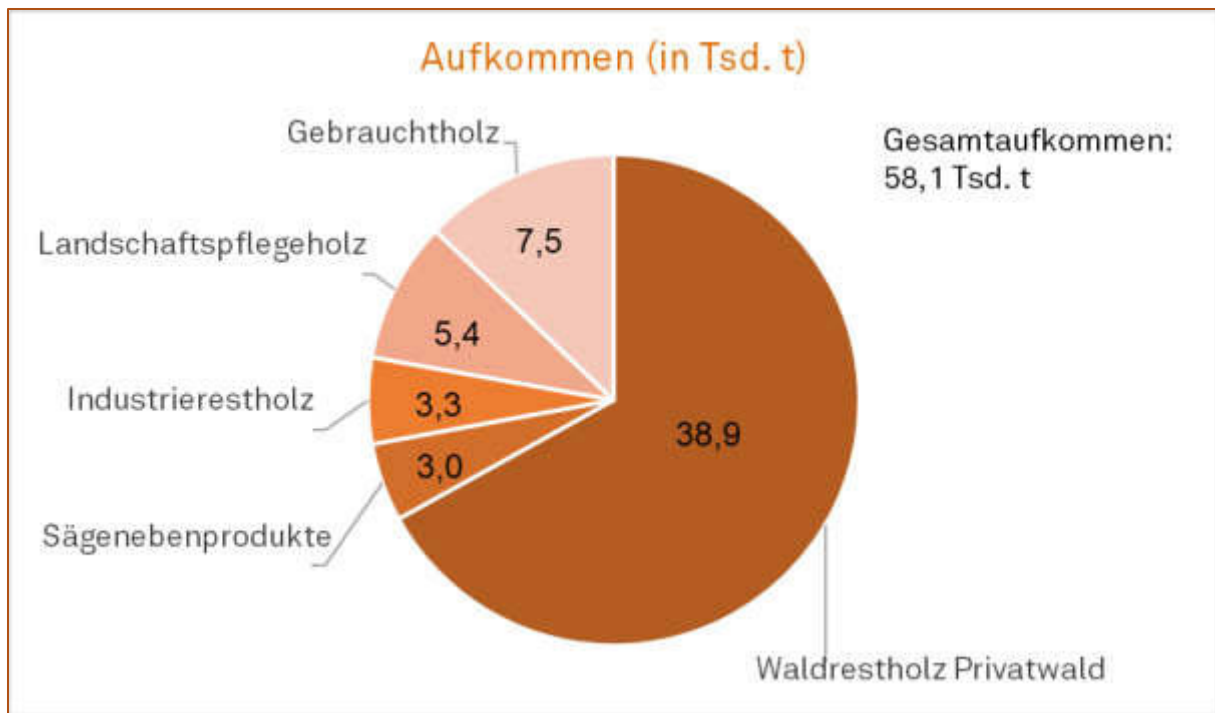


Abbildung 3: Aufkommen holzartiger Einsatzstoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen
 Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Aufkommensstudie

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.

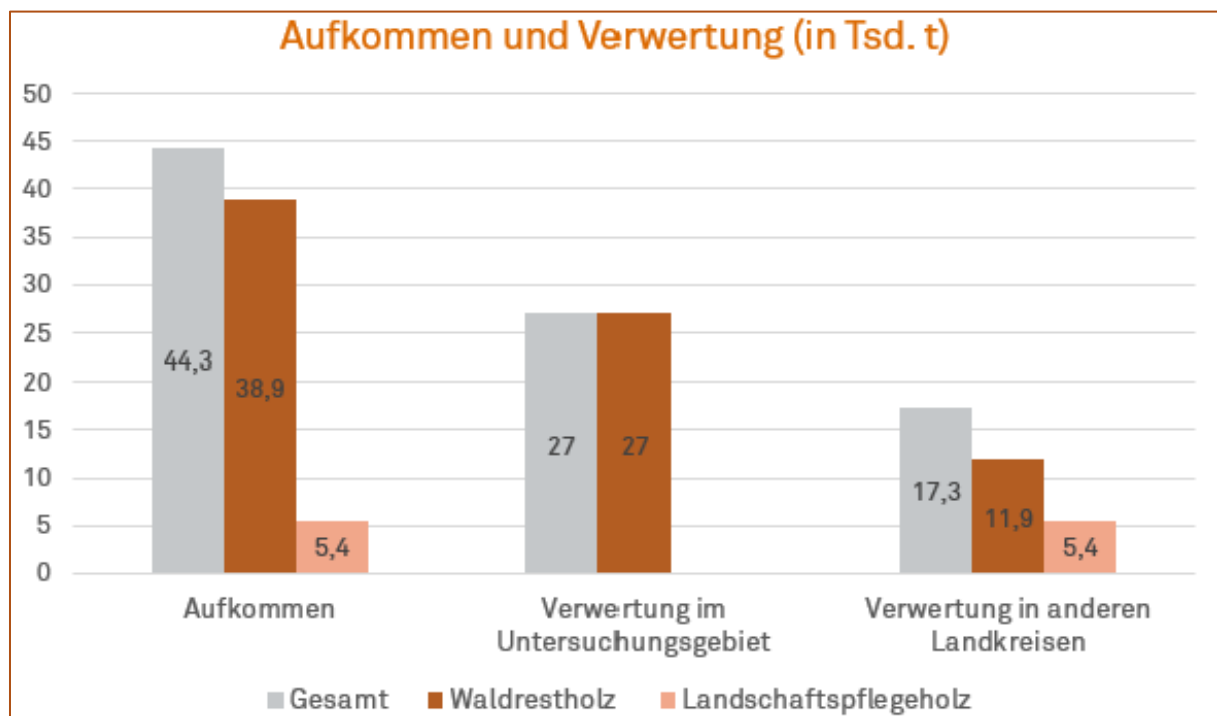


Abbildung 4: Aufkommen und Verwertung von Waldrestholz aus dem Privatwald und Landschaftspflegeholz in den Landkreisen Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen
Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Aufkommensstudie

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 Rohrglanzgras.

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.

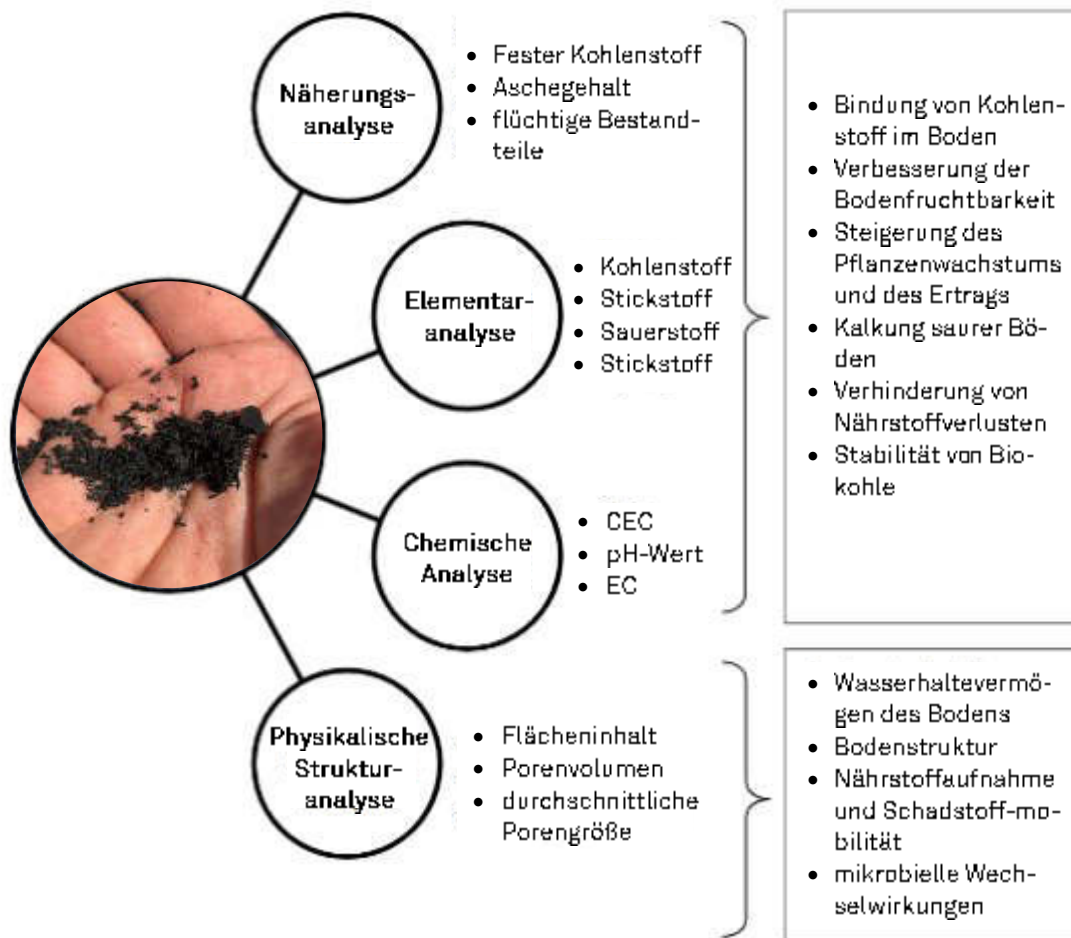


Abbildung 6: Charakteristika der Pflanzenkohle
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Al-Wabel et al.

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 Minde rungspotenzial 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 Silphie, 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, Sägespane, Holzwole 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: EBCPositivliste

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, Boden-sanierung 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-Düngeprodukte (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 Düngbereich 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, pflanzenkohlebasierten 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.

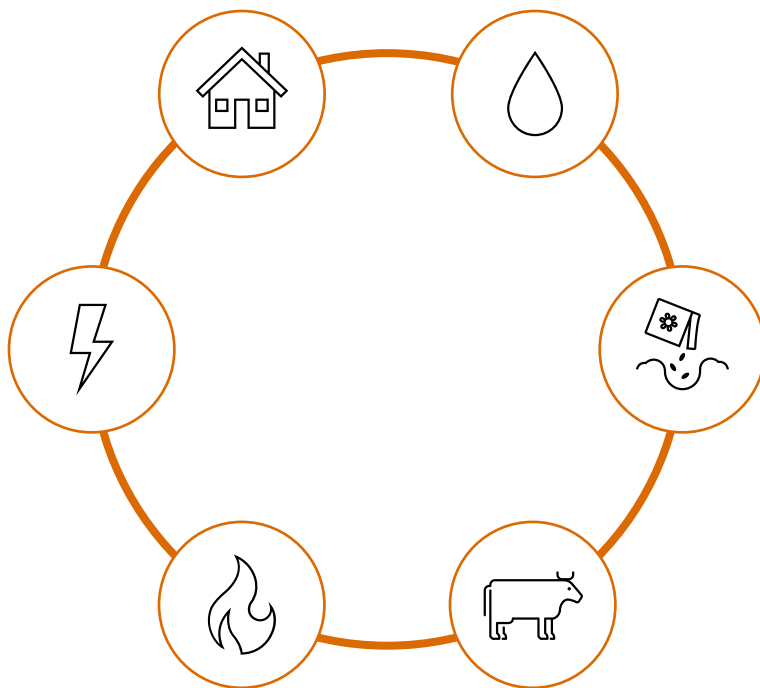


Abbildung 9: Anwendungsmöglichkeiten der Pflanzenkohle
Quelle: eigene Darstellung

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 Teerschiicht 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.

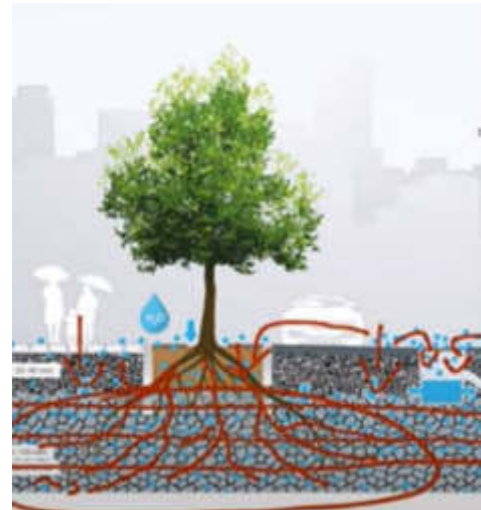


Abbildung 10: Verwendung von Pflanzenkohle und Schotter bei Stadtbäumen
Quelle: Sonnenerde

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).

Industrie

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 Verkohlung 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).

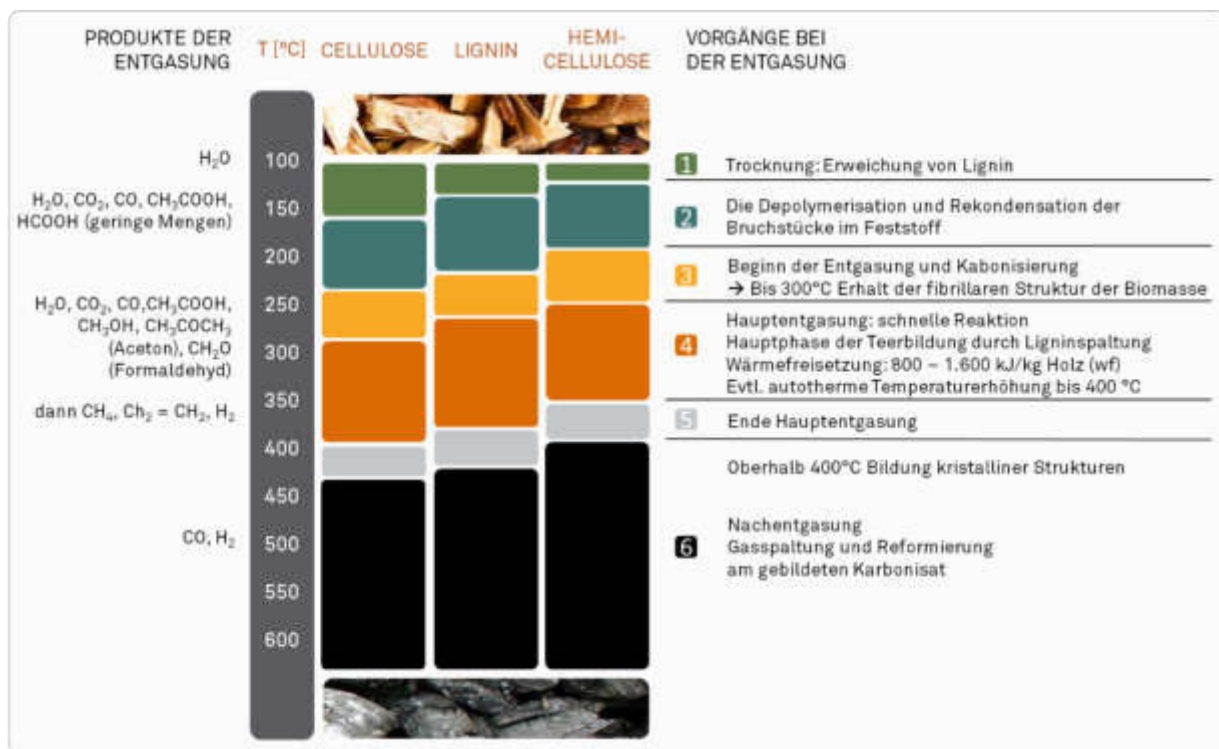


Abbildung 11: Temperaturabhängigkeit der pyrolytischen Karbonisierung von Biomassebestandteilen, thermochemische Vorgänge und entstehende gasförmige Produkte
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Quicker und Weber

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 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 Holzhackschnitzel- 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 Pflanzkohle definiert die Kategorien. Die Kategorie **landwirtschaftliche Anlagen** beinhaltet Produktionsanlagen mit einer Produktionskapazität von 0-599 Tonnen Pflanzkohle pro Jahr, die Kategorie **gewerbliche Anlagen** beinhaltet Produktionsanlagen mit einer Produktionskapazität von 600-1.999 Tonnen Pflanzkohle pro Jahr und die Kategorie **industrielle Anlagen** beinhaltet Produktionsanlagen mit einer Produktionskapazität von größer 2.000 Tonnen Pflanzkohle pro Jahr.

In Abbildung 12 sind je Kategorie die Informationen einer exemplarischen Anlage mit Produktionsverfahren, der Produktionskapazität von Pflanzkohle 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 Pflanzkohleherstellung 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.

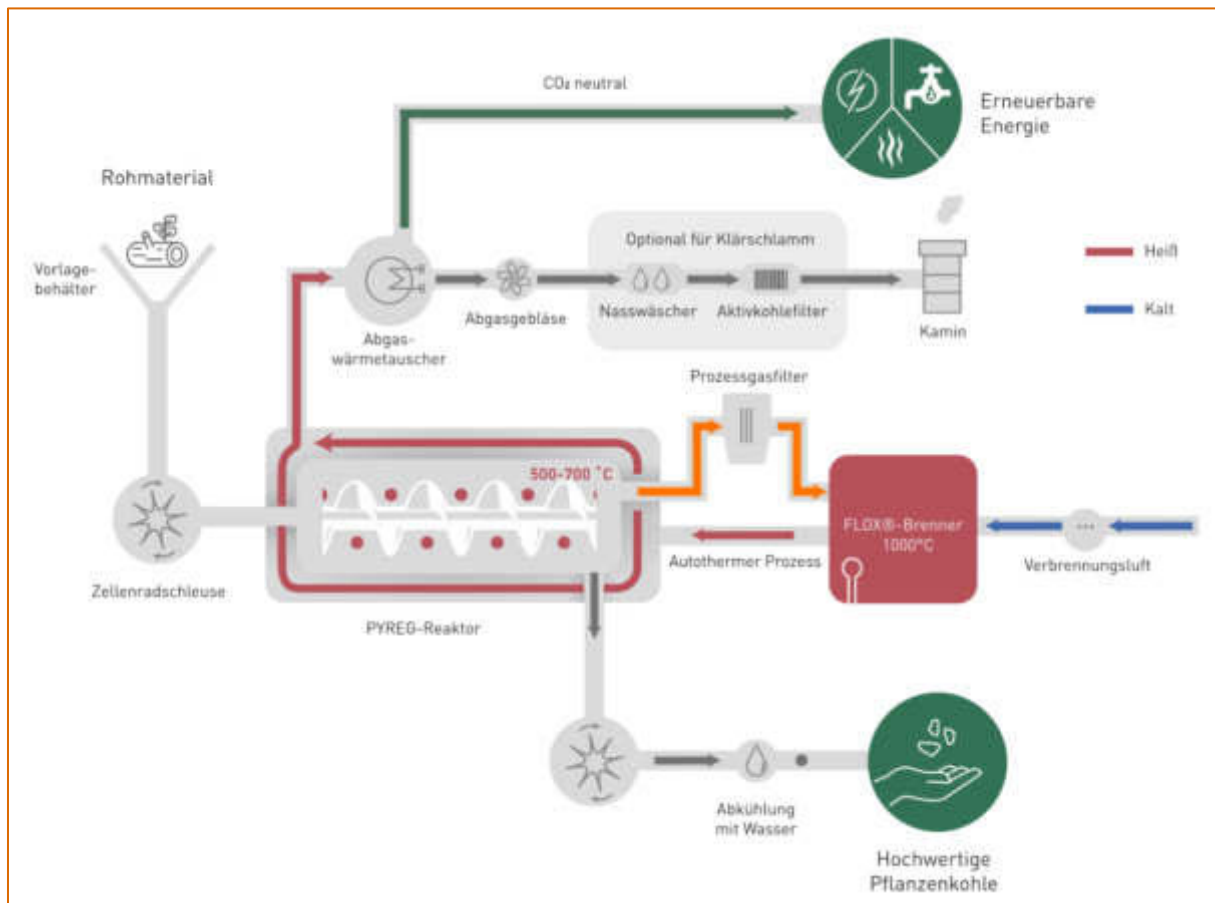


Abbildung 13: Verfahrensschaubild PYREG
Quelle: PYREG

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 Pflanzenkohleproduktionsanlage mit dem Schwerpunkt der Erzeugung von Wärme und Strom an. Die Anlage besteht aus folgenden Schritten: Der erste Schritt bildet die Pyrolyse ab, bei welcher prinzipiell verschiedene, teilweise sehr komplexe Reaktionen 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 Pflanzenkohle 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.

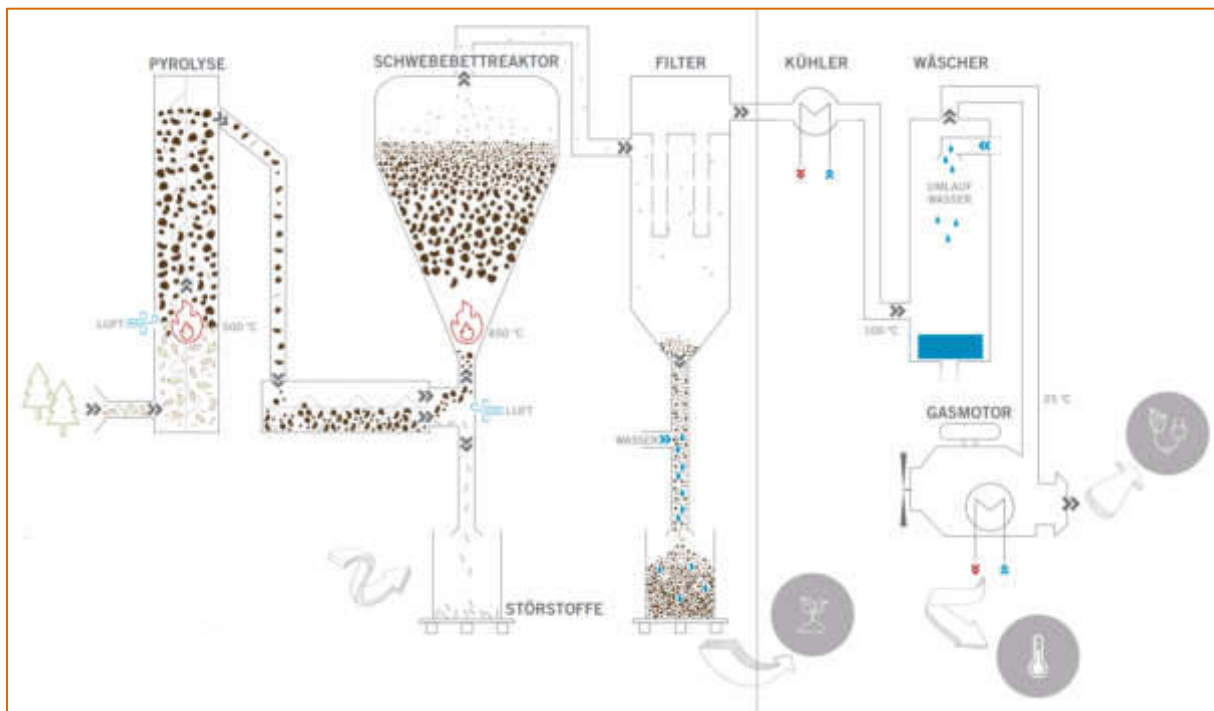


Abbildung 14: SynCraft Prozessablauf
Quelle: SynCraft

Im automatisierten Betrieb wird im Durchlaufverfahren kontinuierlich Pflanzenkohle, thermische und elektrische Energie produziert. Die Produktionskapazität an Pflanzenkohle 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.

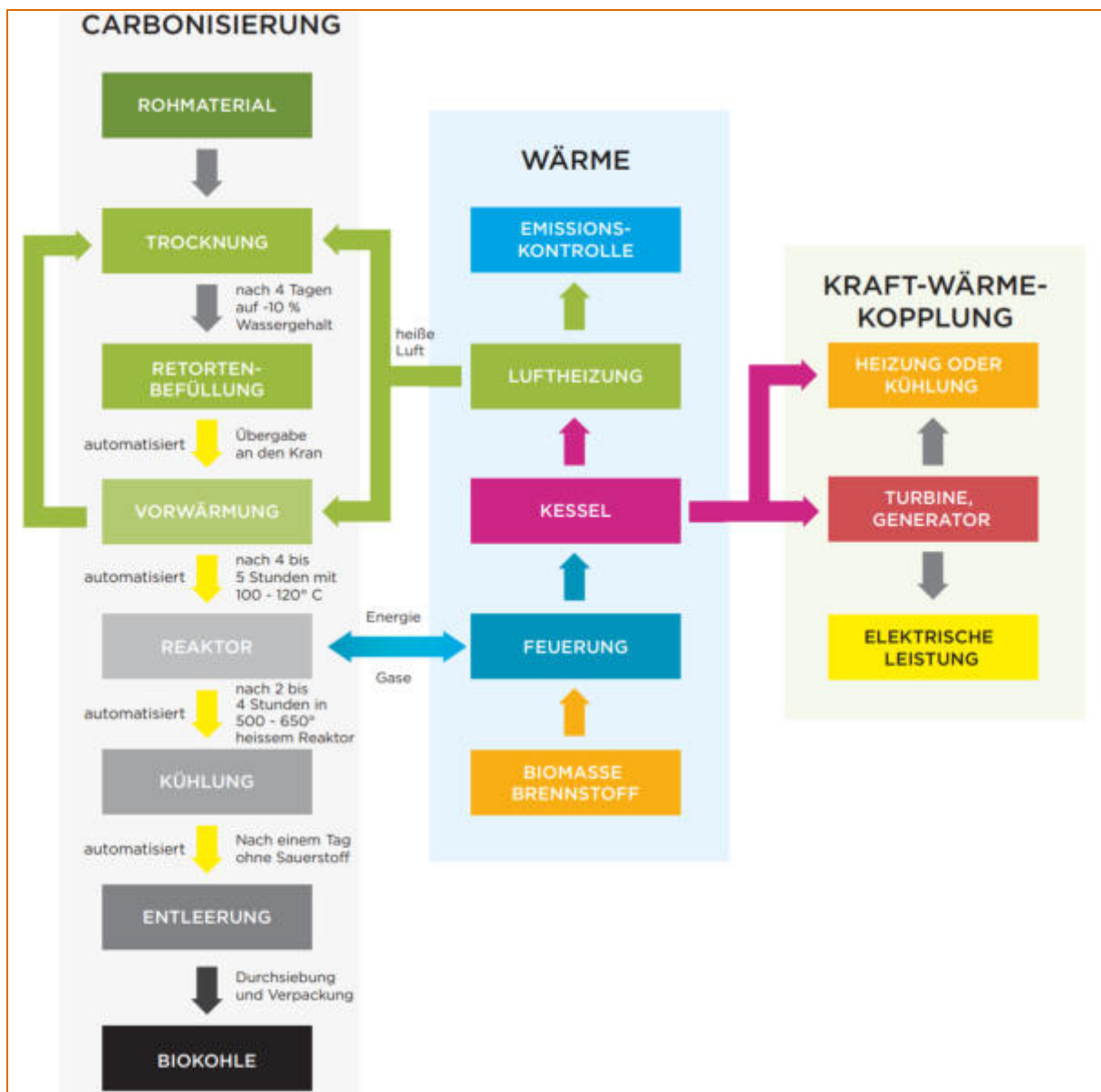


Abbildung 15: Polytechnik Green Carbon Prozess
Quelle: Biomass Polytechnik

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

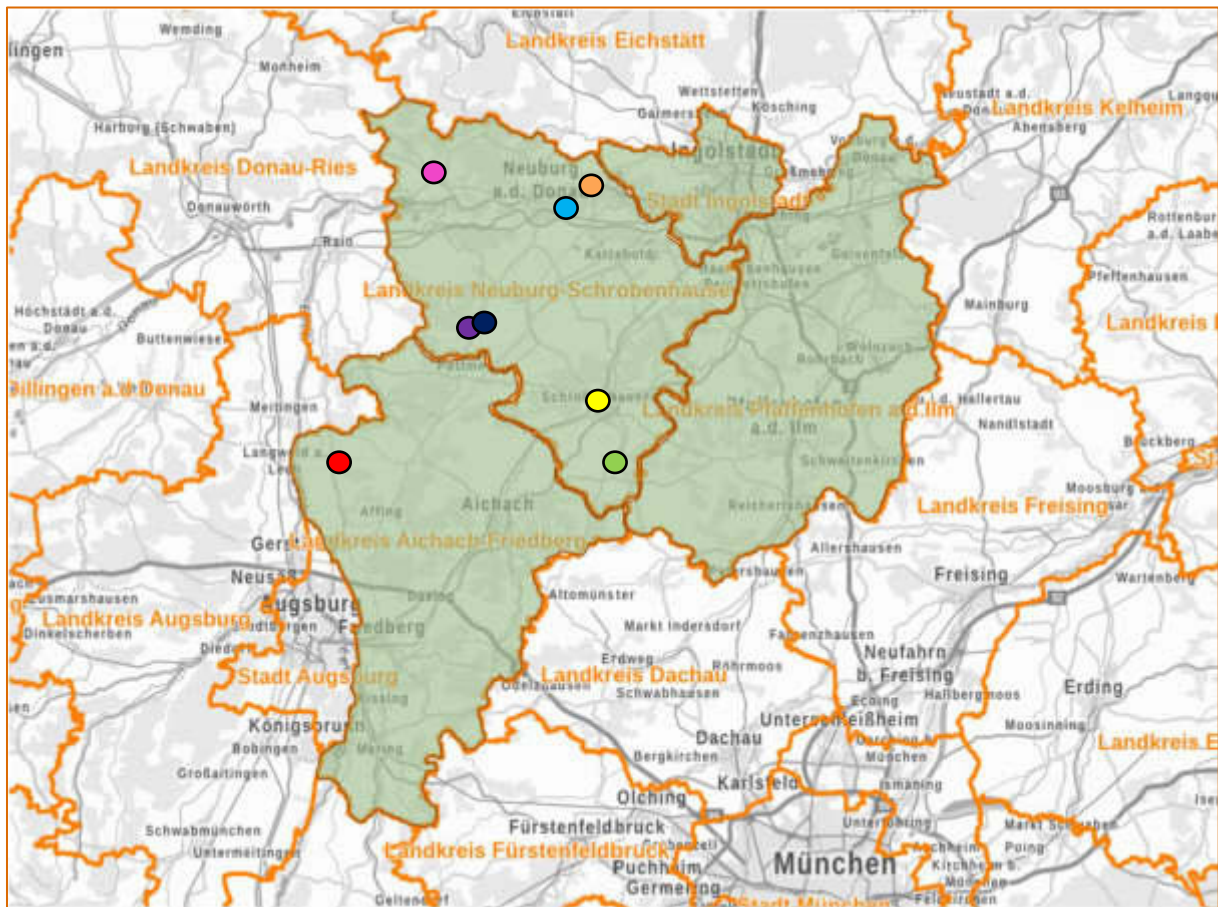


Abbildung 16: Standorte- Lage in der Zielregion

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 herangezogen.

Gemeinde Todtenweis

Grundstücksgröße und -geometrie:

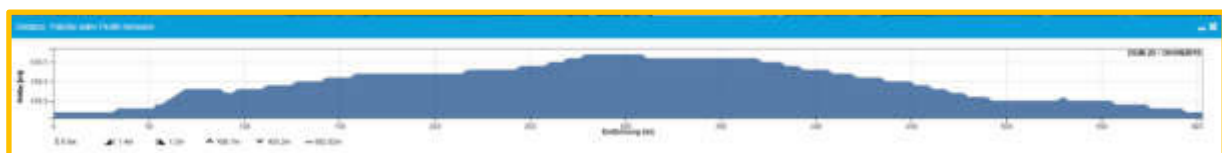
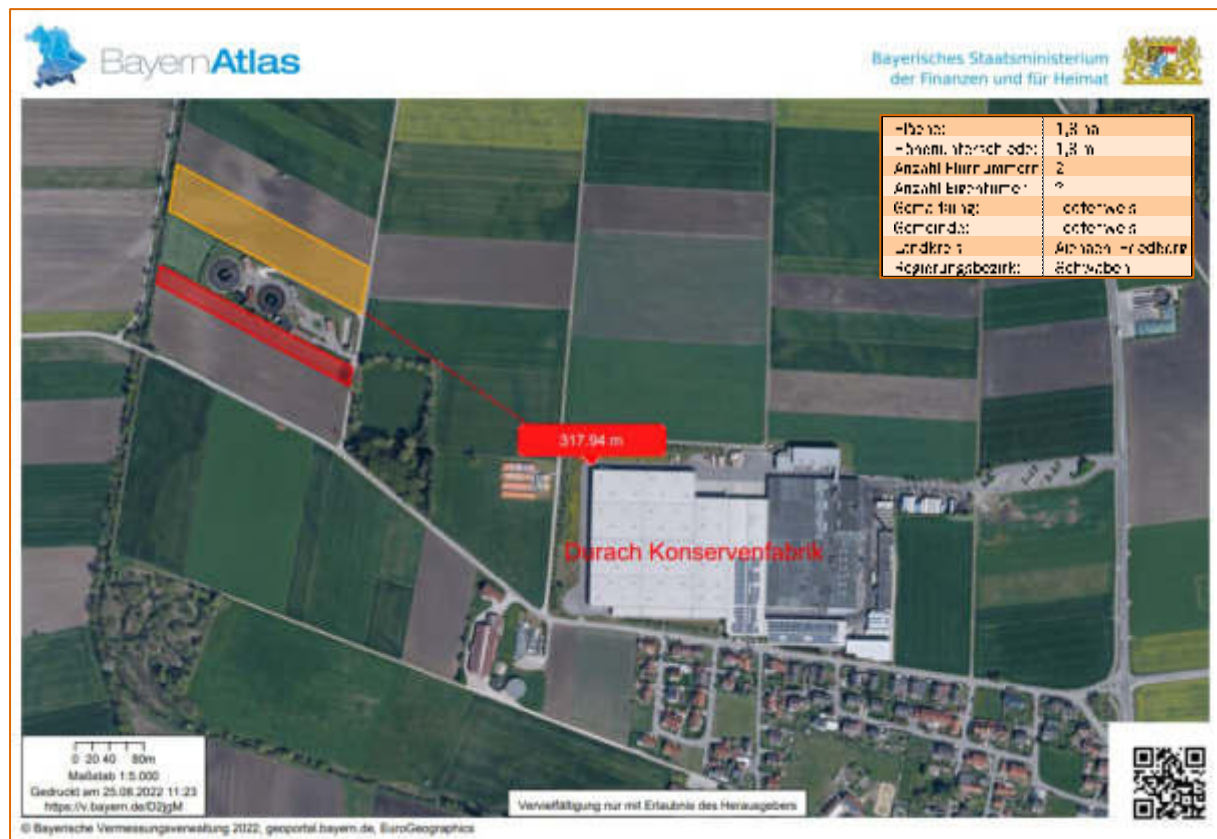


Abbildung 17: potenzielle Grundstücke mit Höhenprofile der Gemeinde Todtenweis
Quelle: Bayernatlas

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:

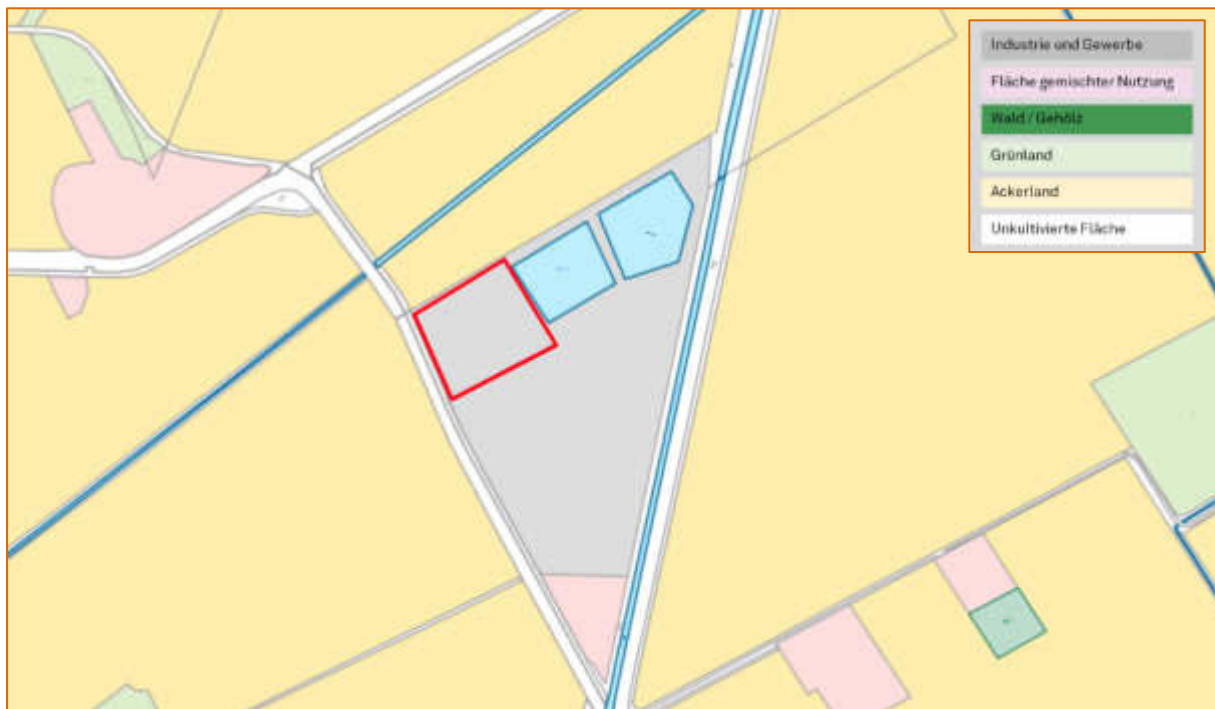


Abbildung 21: Widmung des potenziellen Grundstücks der Gemeinde Dinkelshausen
Quelle: Bayernatlas

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:

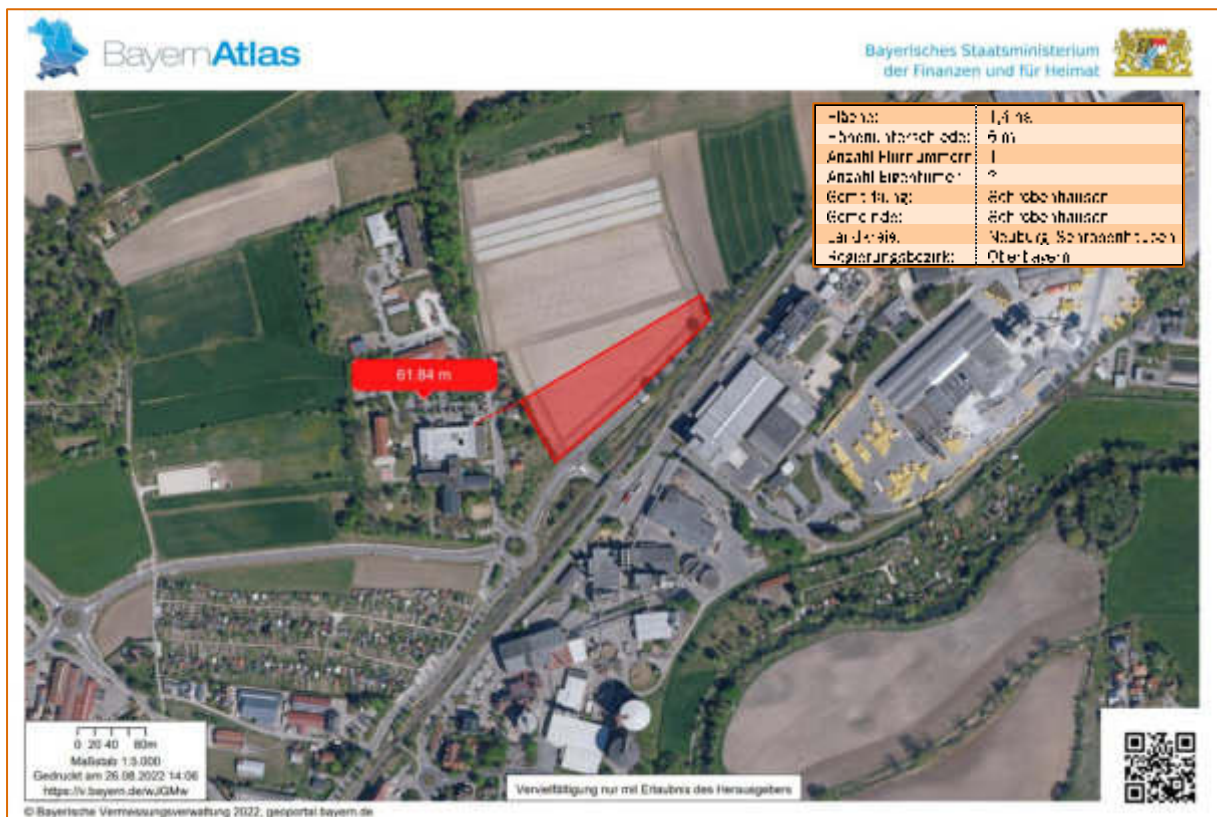


Abbildung 22: potenzielles Grundstück mit Höhenprofil der Stadt Schrobenhausen

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:

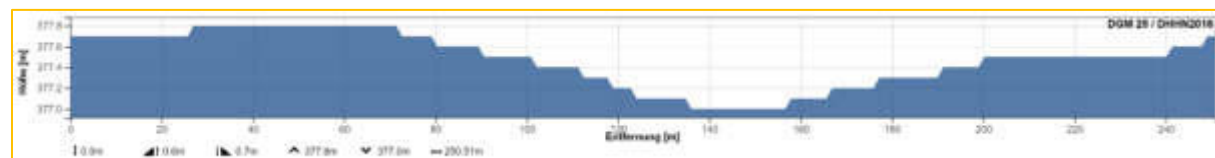
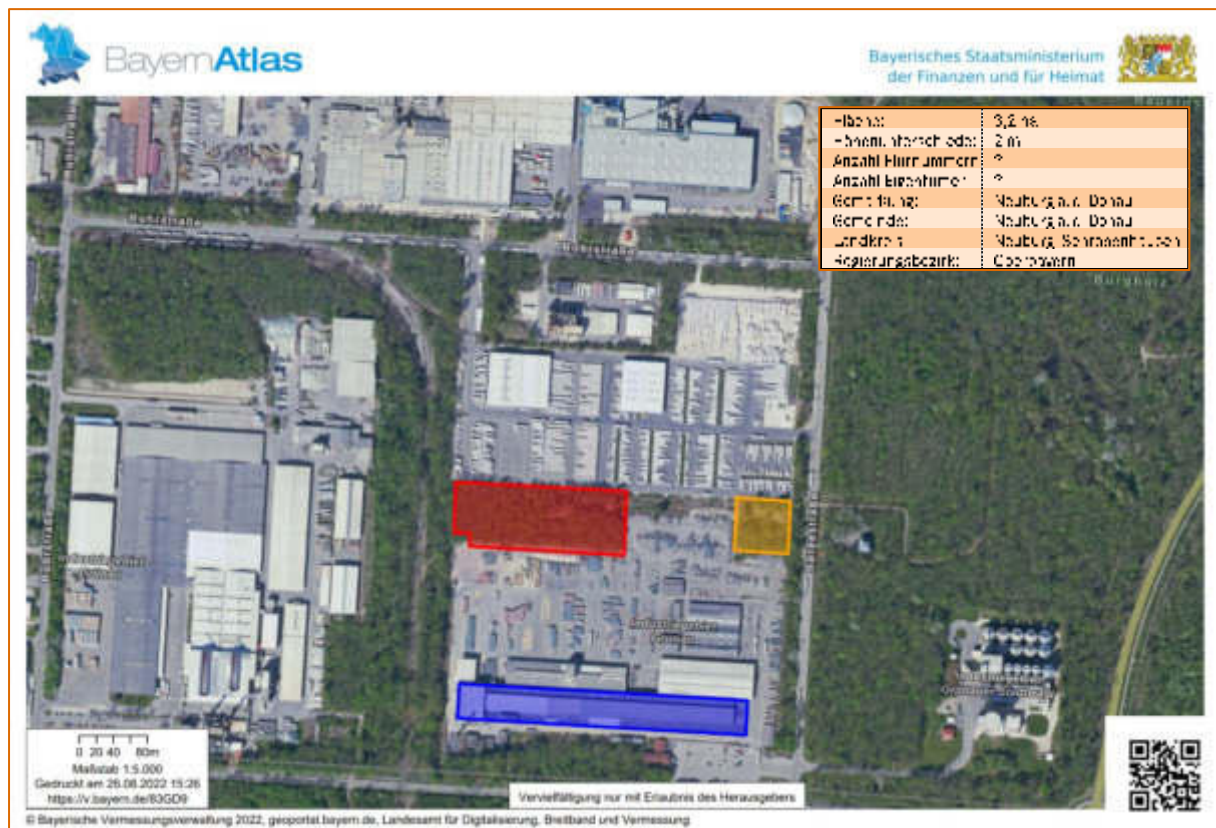


Abbildung 24: potenzielle Grundstücke mit Höhenprofile der Stadt Neuburg a. d. Donau
Quelle: Bayernatlas

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:

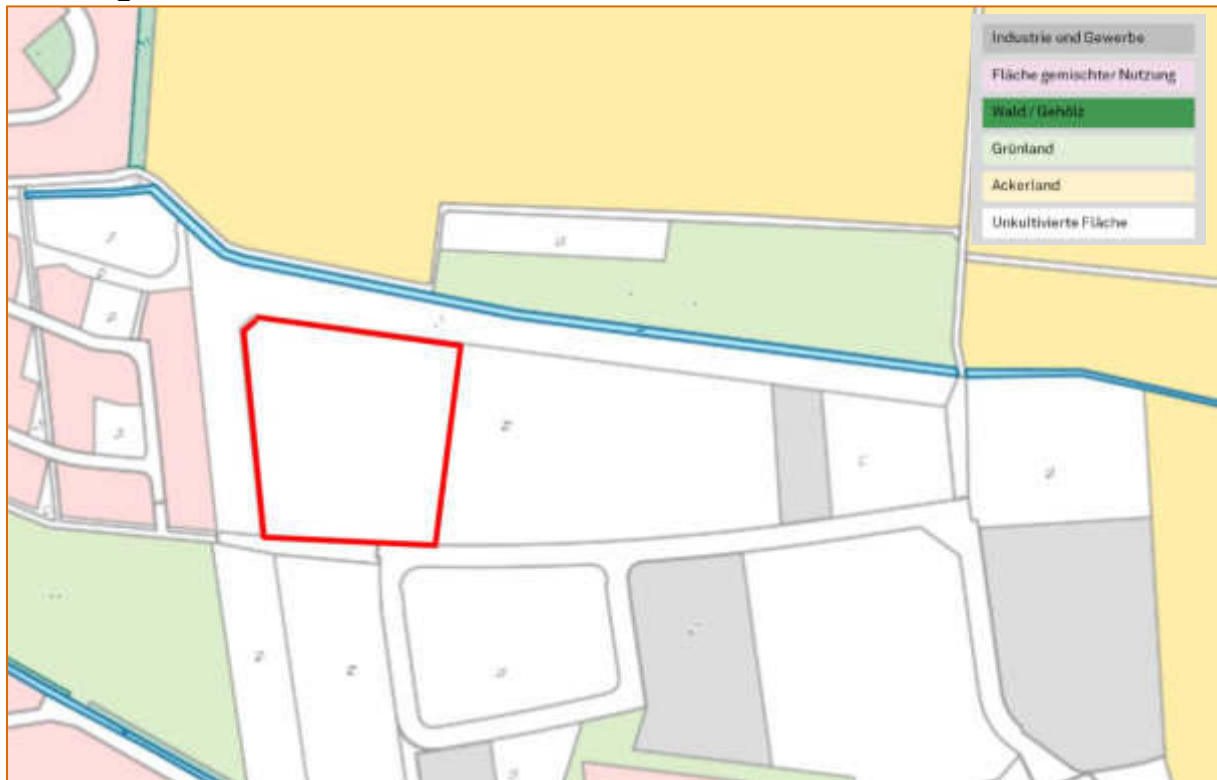


Abbildung 27: Widmung des potenziellen Grundstücks der Gemeinde Ehekirchen
Quelle: Bayernatlas

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:

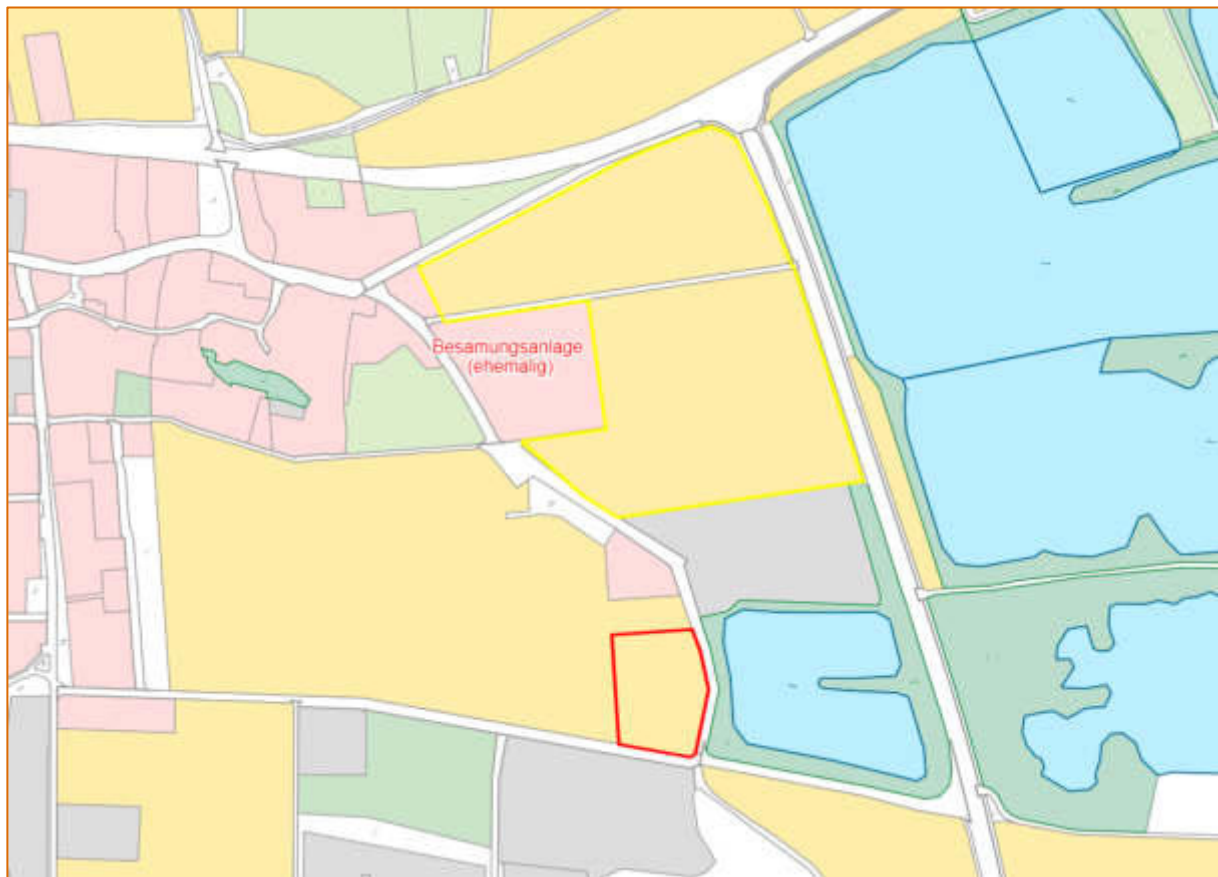


Abbildung 29: Widmung des potenziellen Grundstücks der Gemeinde Bergheim
Quelle: Bayernatlas

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:

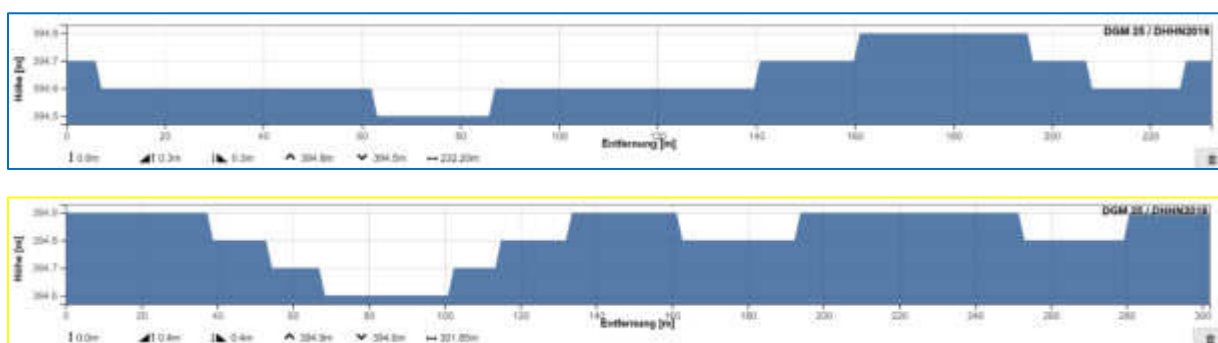


Abbildung 30: potenzielle Grundstücke mit Höhenprofile der Gemeinde Rennertshofen
Quelle: Bayernatlas

Widmung:

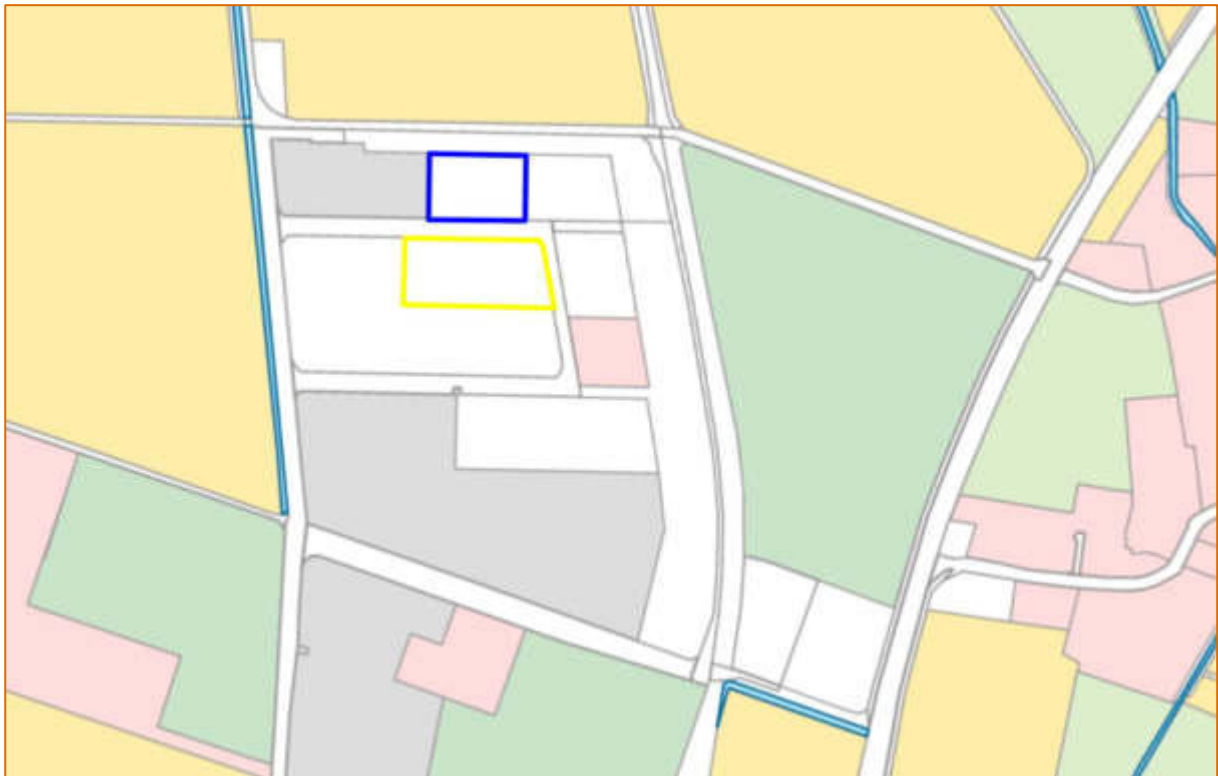


Abbildung 31: Widmung der potenziellen Grundstücke der Gemeinde Rennertshofen
Quelle: Bayernatlas

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:			
Gemeinde:		Todtenweis	
Landkreis:		Aichach-Friedberg	
Regierungsbezirk:		Schwaben	
Bundesland:		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
Pra-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 Aresing

Tabelle 7: Standortranking der Gemeinde Aresing

Quelle: eigene Darstellung

Dokumente Rating		Aresing	
	Einheit		
PLZ:		86561	
Fläche:	[ha]	-	
Topographie:	[m]	-	
Anzahl Flurnummern:	[Stk]		
Anzahl Eigentümer:	[Stk]		
Gemarkung:		Aresing	
Gemeinde:		Neuburg-Schrobenhausen	
Landkreis:		Oberbayern	
Regierungsbezirk:		Bayern	
Bürgermeister:		Klaus Angermeier	
Entfernung der potenziellen Abnehmer	[m]	100	
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	[m]	570	
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)	[km]	4 (B 300)	
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	[kW]		
Standortranking		Aresing	
	Gewichtung	Beurteilung	Wertung
Prä-Qualifikation			
Größe	20%	3	0,6
Geometrie	10%	3	0,3
Topographie	5%	3	0,15
Widmung	10%	3	0,3
Anschlussgebot	5%	3	0,15
Erweiterungsmöglichkeiten	5%	3	0,15
Windrichtung	5%	3	0,15
Entfernung der potenziellen Abnehmer	5%	3	0,15
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	5%	3	0,15
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)	5%	2	0,1
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	25%	3	0,75
Summe:	100%		2,95

In der Gemeinde Aresing wurde schließlich kein passendes Grundstück identifiziert. Aus diesem Grund musste im Ranking nahezu jede Position mit der schlechtesten Bewertung (3) ausgewiesen werden. Lediglich die Entfernung zur nächstgelegenen höherrangigen Straße wurde nicht mit der schlechtesten Note bewertet.

Zusammengefasst bedeutet dies, dass dieser Standort nach aktuellem Stand keine Möglichkeiten bietet, eine Pflanzenkohleproduktionsanlage zu errichten.

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:		Gunther 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
Pra-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
Pra-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
Pra-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.

Zum Zeitpunkt der Berichterstellung ist die Errichtung einer Pflanzenkohleproduktionsanlage auf diesem Standort auszuschließen. Wenn jedoch weitere Wärmedaten vorliegen und diese nach einer Bewertung für geeignet betrachtet werden, könnte eine Möglichkeit bestehen, eine Anlage auf dieser Fläche zu errichten.

Gemeinde Ehekirchen

Tabelle 11: Standortranking der Gemeinde Ehekirchen

Quelle: eigene Darstellung

Dokumente Rating		Ehekirchen	
	Einheit		
PLZ:		86676	
Fläche:	[ha]	1,05	
Topographie:	[m]	1,2	
Anzahl Flurnummern:	[Stk]	1	
Anzahl Eigentümer:	[Stk]		
Gemarkung:		Ehekirchen	
Gemeinde:		Neuburg-Schrobenhausen	
Landkreis:		Oberbayern	
Regierungsbezirk:		Bayern	
Bundesland:		Gunther Gamisch	
Bürgermeister:			
Entfernung der potenziellen Abnehmer	[m]		
Entfernung zu nächstgelegener Wohnbebauung	[m]	20	
Entfernung nächstgelegene höherrangige Straße (B + BAB)	[km]	8,5 (B 16)	
potenzielle Wärmeabnahme Warmwasser 90 - 95 °C	[kW]		
Standortranking		Ehekirchen	
	Gewichtung	Beurteilung	Wertung
Pra-Qualifikation			
Größe	20%	1	0,2
Geometrie	10%	2	0,2
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%	3	0,15
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 potenzielle Standort der Gemeinde Ehekirchen schneidet beim Ranking mittelmäßig ab. Während die Größe, Topographie, Widmung und Anschlussgebot den Anforderungen entsprechen, sprechen dennoch einige Faktoren gegen das Grundstück. Direkt an der Fläche liegt auf der westlichen Seite eine Wohnbebauung. Dies schließt eine mögliche Erweiterung aus. Der Verkehrsanschluss liegt weiter entfernt, daher musste dieser Faktoren mit der schlechtesten Punktezahl bewertet werden.

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
Pra-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:			
Gemeinde:		Rennertshofen	
Landkreis:		Neuburg-Schrobenhausen	
Regierungsbezirk:		Oberbayern	
Bundesland:		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 Landkreisleitete 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_{atrs} p.a. (PYREG PX1500) bzw. 5.640 t_{atrs} 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 Pflanzkohleproduktionsanlagen 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 Pflanzkohleanlage beträgt insgesamt knapp 4.000.000 EUR. Es setzt sich aus mehreren Einzelpositionen zusammen (siehe Abbildung 32).

Investitionsvolumen			
Kaufpreis Anlage Pflanzkohle		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)		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 CO₂eq 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 CO₂eq 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 _{atrs} /h
Betriebsstunden	8.000 h/a
Materialeinsatz pro Jahr	2.384 t _{atrs} /a
Brennstoffpreis	150,00 EUR/t _{atrs}
	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, SBA, 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_{atrs}/h) multipliziert mit 8.000 Betriebsstunden im Jahr errechnet. Es wurde ein Materialpreis von 150,00 EUR/t_{atrs} 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 eingebracht)
	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 <input type="text" value="0,705"/> t _{atrz} /h Betriebsstunden <input type="text" value="8.000"/> h/a Materialeinsatz pro Jahr <input type="text" value="5.640"/> t _{atrz} /a Brennstoffpreis <input type="text" value="170,00"/> EUR/t _{atrz} <input type="text" value="958.800,00"/> EUR
Betriebsstoffe (Strom, Gas, Diesel, Verpackung, Hilfs- und Betriebsstoffe)	<input type="text" value="500.000,00"/> EUR
Personalkosten (technisches Personal vor Ort)	<input type="text" value="160.000,00"/> EUR
Wartung und Instandsetzung	<input type="text" value="2,5%"/>
	Summe <input type="text" value="141.697,50"/> EUR
Sonstige Kosten (Mieten, Versicherung, SBA, sonstige Verwaltungskosten)	<input type="text" value="1,5%"/>
	Summe <input type="text" value="85.018,50"/> EUR
Kaufmännische und organisatorische Betriebsführung (inkl. Personal außer technische Mitarbeiter vor Ort)	<input type="text" value="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 t_{atrz}/h) multipliziert mit 8.000 Betriebsstunden im Jahr errechnet. Es wurde ein Brennstoffpreis von 170,00 EUR/t_{atrz} angenommen. Dieser liegt aufgrund der anlagenspezifischen Brennstoffanforderungen aus der Brennstoffspezifikation 20,00 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 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 Pflanzkohleproduktionsanlage 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 Pflanzkohleproduktionsanlage 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.

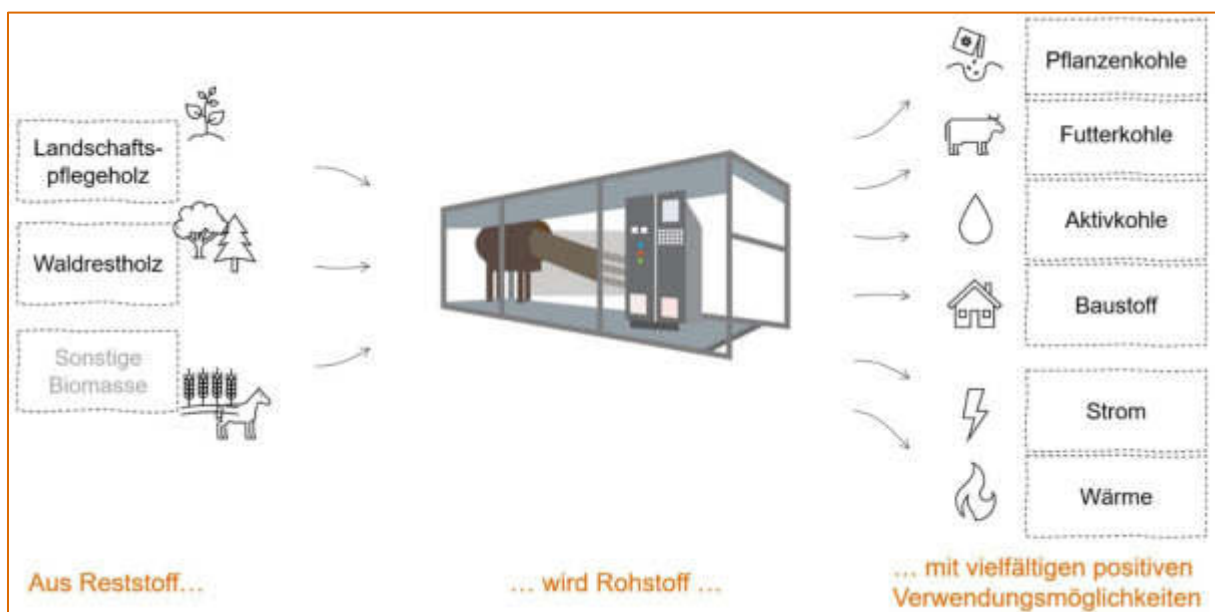


Abbildung 40: Stofffluss und Nutzungsmöglichkeiten
Quelle: eigene Darstellung

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 Informationen 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