



# ABSCHLUSSBERICHT SONDIERUNGSPHASE

Forschungsvorhaben IBÖ07 - thebiocharstory

Wahl, Anne & Sternkopf, Freya

TUD, Fakultät Umweltwissenschaften, Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft

Projektleitung: Prof. Christina Dornack

Datum: 31.01.2022



## Inhaltsverzeichnis

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Einleitung .....</b>                                                 | <b>1</b>  |
| 1.1 Ziel der Sondierungsphase.....                                         | 1         |
| 1.2 Struktur und Arbeitsplan der Sondierungsphase .....                    | 1         |
| 1.3 Thematische Einführung zu Pflanzenkohle und Beladungslösungen .....    | 2         |
| <b>2 Ökonomische und Marketingaspekte (AP 1).....</b>                      | <b>3</b>  |
| 2.1 Marktanalyse (AP 1.1 und AP 1.2) .....                                 | 3         |
| 2.1.1 Produktanalyse .....                                                 | 4         |
| 2.1.2 Beschreibung des Zielmarktes .....                                   | 5         |
| 2.1.3 Untersuchung von Marktgröße und -entwicklung nach Absatzmärkten..... | 7         |
| 2.1.3.1 Ökologische Landwirtschaft.....                                    | 10        |
| 2.1.3.2 Konventionelle Landwirtschaft .....                                | 11        |
| 2.1.3.3 Weinanbau .....                                                    | 11        |
| 2.1.3.4 Produktionsgartenbau.....                                          | 12        |
| 2.1.3.4.1 Spargelanbau .....                                               | 13        |
| 2.1.3.4.2 Erdbeeranbau .....                                               | 13        |
| 2.1.3.4.3 Garten- und Landschaftsbau (GaLaBau).....                        | 13        |
| 2.1.3.5 Kompostbetriebe.....                                               | 14        |
| 2.1.3.6 Tierhaltende Betriebe .....                                        | 14        |
| 2.1.3.6.1 Geflügelhaltung.....                                             | 17        |
| 2.1.3.6.2 Schweine- und Rinderhaltung.....                                 | 18        |
| 2.1.3.6.3 Pferdhaltung .....                                               | 19        |
| 2.1.3.7 Bodenrestaurierung und Humusaufbau .....                           | 20        |
| 2.1.3.8 Stadt- und Straßenbäume .....                                      | 21        |
| 2.1.3.9 Klärwerk.....                                                      | 22        |
| 2.1.3.10 Biogasanlagen .....                                               | 23        |
| 2.1.4 Analyse des Beschaffungsmarktes (AP 2.4).....                        | 23        |
| 2.1.5 Wettbewerbsanalyse .....                                             | 26        |
| 2.1.6 Analyse des Arbeitsmarktes .....                                     | 29        |
| 2.1.7 Ermittlung Marktpotential .....                                      | 31        |
| 2.2 Finanzanalyse (AP 1.3) .....                                           | 34        |
| 2.3 Marketing- und Kommunikationsstrategie (AP 1.4) .....                  | 40        |
| <b>3 Technische Aspekte (AP 2).....</b>                                    | <b>41</b> |
| 3.1 Untersuchung der Beschaffenheit von Pflanzenkohle (AP 2.1) .....       | 41        |

|                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.1 European Biochar Certificate (EBC) .....                                                       | 42        |
| 3.1.2 Relevante Parameter für die Pflanzenkohlebeschaffenheit .....                                  | 43        |
| 3.1.3 Pyrolyseanlagen und Abwärmenutzung .....                                                       | 45        |
| 3.2 Spezifikation der Anwendung (AP 2.2) .....                                                       | 47        |
| 3.2.1 Ergebnisse der theoretischen Untersuchung zur Beladung von Pflanzenkohle                       | 47        |
| 3.2.1.1 Bedeutung der Beladung von Pflanzenkohle .....                                               | 47        |
| 3.2.1.2 Prinzipien der Beladung von Pflanzenkohle .....                                              | 48        |
| 3.2.1.3 Wirkung der Beladung .....                                                                   | 48        |
| 3.2.1.4 Biochemische Eigenschaften.....                                                              | 50        |
| 3.2.1.5 Nährstoffwert von Pflanzenkohle .....                                                        | 50        |
| 3.2.1.6 Wirkung von beladener Pflanzenkohle auf Boden und Feldfrüchte .....                          | 51        |
| 3.2.2 Ergebnisse der Laborversuche der Sondierungsphase .....                                        | 53        |
| 3.2.2.1 Einleitung in die Laborversuche in der Sondierungsphase .....                                | 53        |
| 3.2.2.2 Erkenntnisse aus der Herstellung der Beladungslösungen .....                                 | 54        |
| 3.2.2.3 Erkenntnisse aus den Kresseversuchen.....                                                    | 55        |
| 3.2.2.4 Erkenntnisse aus den Kohlrabiversuchen.....                                                  | 55        |
| 3.2.2.5 Ausblick .....                                                                               | 58        |
| 3.3 Bodenuntersuchung (AP 2.3) .....                                                                 | 58        |
| 3.3.1 Düngegesetz und Nährstoffhaushalt.....                                                         | 58        |
| 3.3.2 Mikrobiom und Humusaufbau .....                                                                | 59        |
| 3.3.3 Bodenprobenahme in der Machbarkeitsphase .....                                                 | 60        |
| 3.4 Untersuchung der Bandbreite der Produkte (AP 2.4) .....                                          | 61        |
| <b>4 Vorbereitung der Machbarkeitsphase und Validierung der gesammelten Erkenntnisse (AP 3).....</b> | <b>62</b> |
| 4.1 Ziele.....                                                                                       | 63        |
| 4.2 Stand der Wissenschaft und Technik; bisherige Arbeiten.....                                      | 64        |
| 4.3 Ausführliche Beschreibung des Arbeitsplans.....                                                  | 65        |
| 4.4 Verwertungsplan.....                                                                             | 71        |
| 4.5 Arbeitsteilung/Zusammenarbeit mit Dritten.....                                                   | 72        |
| <b>5 Bildung eines Netzwerkes und Ermittlung von Partnern für die Machbarkeitsphase (AP 4).....</b>  | <b>73</b> |
| 5.1 Projektpartner für die Machbarkeitsphase .....                                                   | 73        |
| 5.2 Beirat für die Machbarkeitsphase .....                                                           | 74        |
| 5.3 Weitere Netzwerke .....                                                                          | 76        |
| <b>Literaturverzeichnis.....</b>                                                                     | <b>77</b> |

## **Abkürzungsverzeichnis**

Abb. – Abbildung

AP – Arbeitspaket

IAK – Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft

BMBF - Bundesministeriums für Bildung und Forschung

KMUs – Kleine und Mittlere Unternehmen

BWZ - Bodenwertzahl

GaLaBau – Garten- und Landschaftsbau

KAK - Kationenaustauschkapazität

AMF - Arbuskuläre Mykorrhizapilze

EBC - European Biochar Certificate

## 1. Einleitung

### 1.1 Ziel der Sondierungsphase

Im Rahmen der Sondierungsphase wurde die Produktidee einer organischen und veganen Beladungslösung für aus Pyrolyse hergestellter Pflanzenkohle ausgearbeitet, im Labormaßstab erprobt und unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zusammen mit der Herstellung von Pflanzenkohle analysiert. Dies beinhaltete sowohl eine detaillierte Markt- und Finanzanalyse, sowie die Ausarbeitung einer Verwertungs- und Marketingstrategie. Es wurde zudem die schutzrechtliche Situation im Zusammenhang mit der Entwicklung eines Rezeptes für die Beladungslösung betrachtet.

Zudem wurde die Machbarkeitsphase vorbereitet, in der eine großtechnische Umsetzung inkl. Feldversuchen vorgesehen ist. Es wurden zwei Partner (KMUs) gewonnen, die in der Machbarkeitsphase mit dem Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft der TU Dresden kooperieren. Ebenfalls wurde ein Beirat und ein breites Netzwerk aufgebaut. Die wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen Anne Wahl (B.Sc. Abfallwirtschaft, M.Sc. Umweltmanagement) und Freya Sternkopf (B.Sc. Biotechnologie, M.Sc. Management) vereinen biologische, technische und wirtschaftliche Expertise und werden die Machbarkeitsphase gemeinsam bearbeiten.

### 1.2 Struktur und Arbeitsplan der Sondierungsphase

Die Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) „Ideenwettbewerb - Neue Produkte für die Bioökonomie“ ist Teil der Nationalen Bioökonomiestrategie. Ziel der Förderung ist es eine niederschwellige Möglichkeit für (Nachwuchs-)Wissenschaftler\*innen zu schaffen, um Produktideen für eine Bioökonomie zu entwickeln und eine kommerzielle Anwendung vorzubereiten. Das Projektziel von „thebiocharstory“ in der Sondierungsphase ist die Entwicklung eines Prototyps einer regional optimierten, beladenen Pflanzenkohle für landwirtschaftliche Anwendungen. In Abbildung 1 ist der Projektrahmen der Sondierungsphase von „thebiocharstory“ dargestellt.

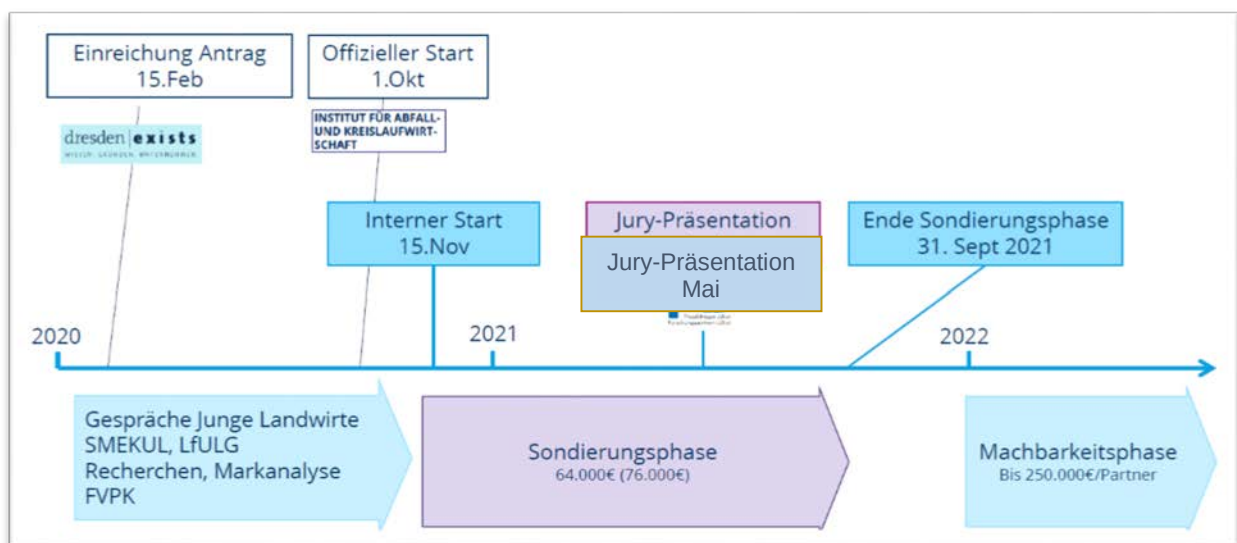


Abb. 1: Projektrahmen der Sondierungsphase von „thebiocharstory“ im Zuge des BMBF geförderten Ideenwettbewerbs – Neue Produkte für die Bioökonomie

Aufgrund der Covid-19 Pandemie erfolgte die Jury-Präsentation im Mai online über die Abgabe eines Videos und eines zehn seitigen Antrages für die Machbarkeitsphase. Die positive Evaluierung verbunden mit der Zusage zum Einreichen eines Vollartrages für die Machbarkeitsphase wurde zum Projektende Ende September 2021 ausgesprochen.

In Abbildung 2 sind die bearbeiteten Arbeitspakete im zeitlichen Verlauf dargestellt. Es haben sich leichte Änderungen zu dem vorgesehenen Zeitplan ergeben, unter anderem wegen des verspäteten Projektstarts. Alle AP konnten aber innerhalb der Sondierungsphase bearbeitet und abgeschlossen werden. Aufgrund einer zu erwartenden Gesetzesänderung im Sommer 2022 wurde das AP 2.1 nur verkürzt bearbeitet, während geplant ist, in der Machbarkeitsphase die Pflanzenkohle Beschaffenheit bei verschiedenen Ausgangsstoffen intensiver zu untersuchen und zu bewerten.

| Nov<br>2020                                                                          | Dez<br>2020 | Jan<br>2021 | Feb<br>2021 | Mär<br>2021 | Apr<br>2021 | Mai<br>2021                                                            | Jun<br>2021 | Jul<br>2021 | Aug<br>2021 | Sep<br>2021 |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| AP 1.1 Analyse des Marktes                                                           |             |             |             |             |             |                                                                        |             |             |             |             |
| AP 1.2 Analyse der Zielgruppen                                                       |             |             |             |             |             |                                                                        |             |             |             |             |
| AP 1.3 Untersuchung der Ökonomie und Finanzplanung                                   |             |             |             |             |             |                                                                        |             |             |             |             |
|                                                                                      |             |             |             |             |             | AP 1.4 Erarbeitung einer ersten Marketing- und Kommunikationsstrategie |             |             |             |             |
| AP 2.1 Untersuchung der Beschaffenheit von PK                                        |             |             |             |             |             |                                                                        |             |             |             |             |
| AP 2.2 Spezifikation der Anwendung                                                   |             |             |             |             |             |                                                                        |             |             |             |             |
| AP 2.3 Literaturrecherche zu Bodenuntersuchungen                                     |             |             |             |             |             |                                                                        |             |             |             |             |
|                                                                                      |             |             |             |             |             | AP 2.4 Untersuchung der Bandbreite der Produkte                        |             |             |             |             |
| AP 3 Vorbereitung der Machbarkeitsphase und Validierung der gesammelten Erkenntnisse |             |             |             |             |             |                                                                        |             |             |             |             |
| AP 4 Bildung eines Netzwerkes & Ermittlung von Partnern für die Machbarkeitsphase    |             |             |             |             |             |                                                                        |             |             |             |             |

Abb. 2: Arbeitspakete der Sondierungsphase von „thebiocharstory“ im zeitlichen Verlauf ihrer Bearbeitung

Eine detaillierte Übersicht über den Inhalt der AP und der zugeordneten Meilensteine, wie im Antrag formuliert, ist im Anhang abgebildet.

### 1.3 Thematische Einführung zu Pflanzenkohle und Beladungslösungen

Die Landwirtschaft ist nicht nur Treiber des Klimawandels, sondern auch stark von den Folgen der Klimakrise betroffen. Eine Anpassung der Anbausysteme an den Klimawandel ist dringend notwendig. Hierzu kann die Nutzung von beladener Pflanzenkohle beitragen, indem sie als Bodenverbesserer stabilere und widerstandsfähigere Systeme etabliert und langfristig Kohlenstoff im (Acker-)Boden speichert. Dass beladene Pflanzenkohle den Aufbau organischer Bodensubstanz induziert und zu Ertragsstabilisierung bzw. -steigerungen führt, ist nachgewiesen [1-4]. Beladene Pflanzenkohle ist ein Schlüssel zum Eintritt in eine regenerative, nachhaltige Landwirtschaft mit regionalen Wirtschaftskreisläufen. Ihr Einsatz verhindert Ausgasungen und -waschungen von Treibhausgasen aus landwirtschaftlichen Flächen und bei (Massen-)Tierhaltung, erhöht die

Wasserspeicherkapazität, puffert Dürreperioden und wirkt Wüstenbildung entgegen. [35] Der Fachverband für Pflanzenkohle e.V. listet über 50 Einsatzgebiete von Pflanzenkohlen. Im Projekt lag der Fokus auf der Pflanzenkohlen-Anwendung in der Landwirtschaft und dem Einsatz von beladener Pflanzenkohle als Bodenverbesserer. Vorteile der Anwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft, die in späteren Kapiteln ausführlich betrachtet werden, sind:

- Verbesserung der Tiergesundheit
- Senkung der Geruchsemissionen im Stall und auf den Feldern
- Verbesserung der Bodenqualität (Mikrobielle Aktivität, Durchlüftung, ggf. pH Anpassung) und Steigerung des landwirtschaftlichen Ertrags durch:
  - Erhöhung der Düngewirksamkeit der Gülle
  - Speicherung der pflanzenverfügbaren Nährstoffe und Erhöhung des Wasserhaltevermögens des Bodens
  - Förderung des Aufbaus von Humus/ organischer Bodensubstanz
- Substitution von Mineraldünger
- Erhöhung des Wirkungsgrades von Biogasanlagen durch Kaskadennutzung der Pflanzenkohle als Futterkohle oder als direkte Eingabe in den Fermenter
- Verringerung der Nitratauswaschung aus dem Boden (Gewässerschutz)
- durch Kohlenstoffeinlagerung wirkt die Pflanzenkohle als Kohlenstoff-Senke

Zudem gibt es weitere mögliche Anwendungsgebiete von Pflanzenkohle:

- Im Garten- und Landschaftsbau
  - Bodenverbesserung, Substitution von Torf
  - Pflanzung von Stadtbäumen (Wurzellock-Stoff, Stockholm Modell)
- Im Produktions- und Hobbygartenbau
  - Bodenverbesserung,
  - Substitution von Torf
  - Verbessert und beschleunigt die Kompostierung durch höhere mikrobielle Aktivität
- In Kläranlagen
  - Aktivkohle aus problematischer Produktion kann durch Pflanzenkohle substituiert werden
- In Kompostanlagen
  - Verbessert und beschleunigt die Kompostierung durch höhere mikrobielle Aktivität [46]
- Industrielle Anwendungen
  - Beimischung in Beton
  - Katalysatoren, z.B. nanokomposit-Katalysatoren auf Basis von Pflanzenkohle zur Entfernung von endokrinen Disruptoren

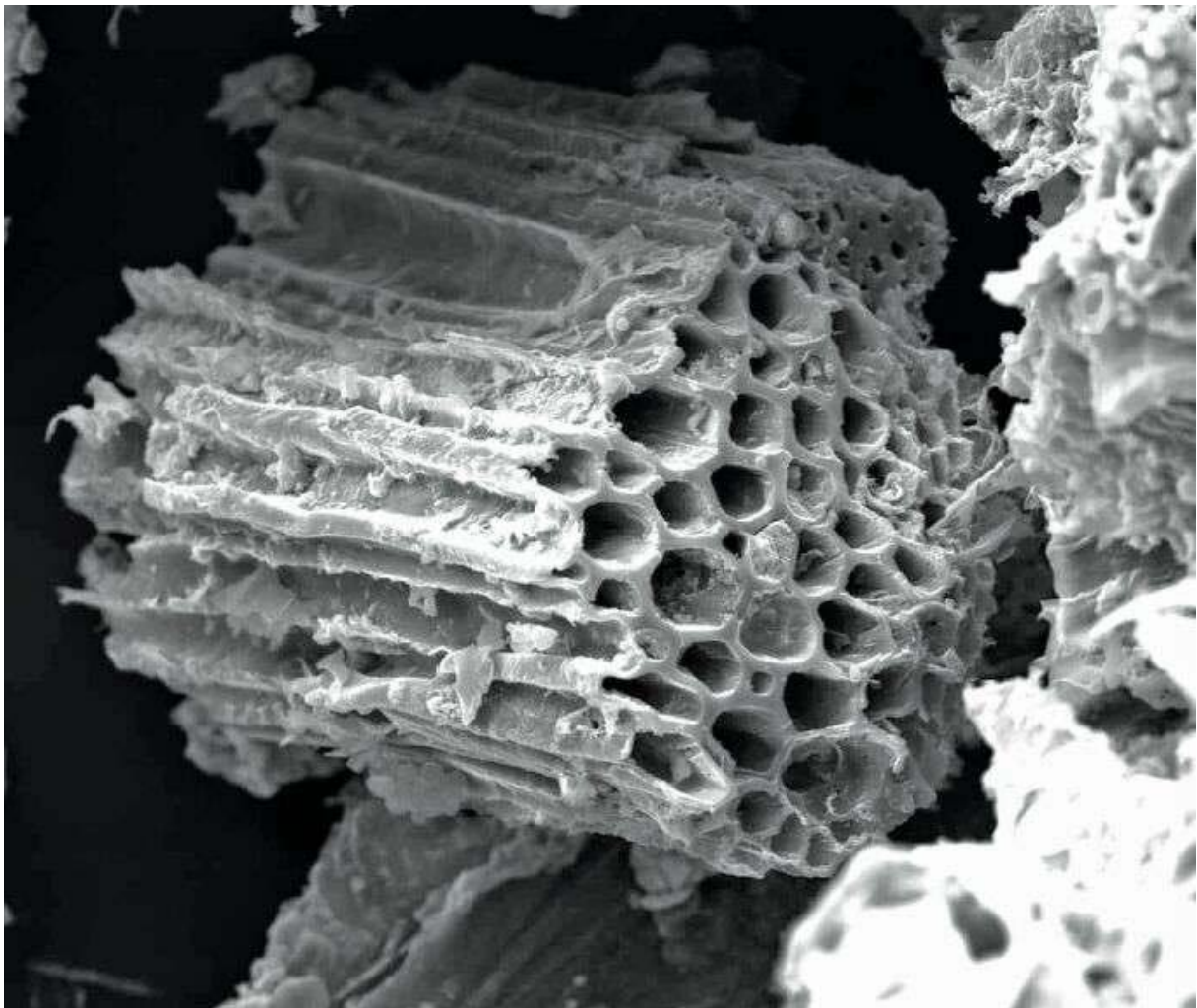
## **2 Ökonomische und Marketingaspekte (AP 1)**

### **2.1 Marktanalyse (AP 1.1 und AP 1.2)**

In der Sondierungsphase wurde eine umfassende Marktanalyse vorgenommen. Die Ergebnisse finden sich zusammengefasst in den folgenden Kapiteln.

### 2.1.1 Produktanalyse

Pflanzenkohle ist ein poröser auf Kohlenstoff basierender Stoff, der durch Pyrolyse aus organischem Material hergestellt wird. Beim Einsatz in der Landwirtschaft sind durch zahlreiche Studien signifikante positive Veränderungen von Ertrag und Bodeneigenschaften gemessen worden [1-4]. Durch ihre biologische Stabilität eignet sich Pflanzenkohle nicht nur als langfristige Kohlenstoffsенke [5], sondern entfaltet auch über längere Zeiträume ihre Düngewirkung [6-7]. Die poröse Struktur der Pflanzenkohle, gut zu erkennen in der Abbildung 3, macht sie zu einem wertvollen Habitat für Bodenorganismen wie Pilze und Bakterien [45]. Die flüssigen und gasförmigen Nebenprodukte der Pyrolyse können zur Energiegewinnung verwendet werden [8-9], ebenso wie die anfallende thermische Energie kommerziell genutzt werden kann (und sollte) [10]. Da es sich bei der Pflanzenkohle jedoch um das gewünschte Hauptprodukt handelt, spielen die Nebenprodukte und ihre Anwendungen in dieser Analyse zunächst untergeordnete Rolle.



*Abb. 3: REM Aufnahme von Pflanzenkohle von McLaughlin and Pyle [36]*

Die hohen Herstellungskosten, die insbesondere durch die hohen Investitionskosten für hochwertige Pyrolyseanlagen zustanden kommen, verhindern bisher einen breiteren Marktdurchbruch [13, 111]. In zahlreichen Studien ist die mangelnde Wirtschaftlichkeit belegt, insbesondere in der Anwendung von Pflanzenkohle bei den sogenannten Cash-Crops wie den gängigen Getreidearten, die international an

der Börse gehandelt werden und daher starken wirtschaftlichen Druck ausgesetzt sind [11-13]. Häufig fehlt das Wissen hinsichtlich der der Ertragsstabilisierung bzw. -steigerung nach einmaliger Einbringung in den Boden. Um Pflanzenkohle als langfristige Kohlenstoffsенke anerkennen zu lassen und vom Emissionshandel finanziell zu profitieren, ist eine langfristig angelegte Nutzung erforderlich [14-15]. Unter diesen Randbedingungen kann Pflanzenkohle sich auf dem klassischen Markt für Düngemittel und Bodenverbesserer, die zu niedrigeren Preisen auf dem Markt verfügbar sind, behaupten. In der Literatur wird von einer Stabilität von 68% der Pflanzenkohle über mehr als 100 Jahre ausgegangen, dabei erzielt Pflanzenkohle aus Holz oder Nussschalen sogar bessere Ergebnisse [16-17]. Somit ist die (finanzielle) Anerkennung als Kohlenstoffsенke durchaus legitimiert und wird über C-Senken Zertifikate (z.B. von Carbonfuture) umgesetzt [18].

Es existieren bereits einige erfolgreiche Unternehmen, die Pflanzenkohle im landwirtschaftlichen Bereich vermarkten (s. Kap. 3). Das Potential liegt dabei eher bei Spezialanwendungen, z.B. im Wein-, Obst- und Gemüseanbau, als Substrat für Stadtbäume oder bei der Restaurierung von geschädigten Böden. Anwendungen als Einstreu und Futterzusatz sind ebenfalls vielversprechend und ermöglichen eine Kaskadennutzung [5]. Der gezielte Einsatz z.B. in Wurzelrillen statt einer Flächenausbringung reduziert die Menge an einzusetzender Pflanzenkohle erheblich bei identischer Wirksamkeit, so dass eine massive Senkung des anwendungsbezogenen Preises für Landwirtschaftsbetriebe möglich ist [20]. Kaskadennutzungen, z.B. vom Futter zum Einstreu und schließlich zur Düngung, reduzieren die Kosten für den Verbraucher und sollten daher gefördert werden [5].

Aufgrund der komplexen Zusammenhänge und den vielfältigen Optionen zum Pflanzenkohleeinsatz ist es notwendig, ein attraktives und umfassendes Beratungsangebot in die Pflanzenkohlevermarktung aufzubauen. Mit Zusatzangeboten wie Bodenanalysen und einer Abstimmung auf die Anbaumethoden und Anwendungsgebiete kann so eine optimierte Anwendung realisiert werden, sodass sich Pflanzenkohle auf den Markt der Bodenverbesserer etablieren kann.

### **2.1.2 Beschreibung des Zielmarktes**

Der analysierte Zielmarkt in diesem Projekt ist die Landwirtschaft. Etwaige Absatzmärkte für Pflanzenkohle in der Industrie und in der Abwasserbehandlung werden bewusst ausgeklammert [21]. Zielgruppe für den Einsatz von Pflanzenkohle sind sowohl ökologisch zertifizierte wie auch konventionelle landwirtschaftliche Betriebe. Pflanzenkohle ist für beide Märkte zugelassen, sofern das Ausgangsmaterial aus Holz besteht [22]. Ein weiterer interessanter Absatzmarkt stellen Betriebe mit Viehzucht, da diese eine Kaskadennutzung ermöglichen, indem die Pflanzenkohle erst als Futterzusatz und/oder Einstreu verwendet wird und der entstehende Festmist anschließend als Düngemittel ausgebracht wird.. Weiterhin zählen Betriebe mit höherpreisigen Anbaufrüchten wie Wein oder Gemüse zur Zielgruppe, bei denen sich eine Ertragssteigerung durch Pflanzenkohle schneller rentiert.

Nach Angaben von NovoCarbo verkaufen Großhändler 700-800 t Pflanzenkohle pro Jahr. Händler für Endkunden verkaufen ca. 300 t/a an die Landwirtschaft in Bayern, mit steigender Tendenz. Deutschlandweit gibt es rund 300 000 landwirtschaftliche Betriebe. Prognosen zufolge könnte der globale Pflanzenkohlemarkt bis 2025 ca. 3,1

Mrd. USD erreichen, das sind 2,8 Mrd. € [97]. Aktuell wird eine Tonne EBC zertifizierte Pflanzkohle mit 400 € bis 800 € gehandelt, je nach Qualität und Einsatzgebiet.

Aufgrund des Gewichtes und der Menge des Ausgangsmaterials und des Pyrolyseproduktes, sollte der Geschäftsbereich bestenfalls auf einen Radius von 80 bis 100 km um die Produktionsstätte begrenzt bleiben. Nach Roberts et. al [10] steigen die Kosten um 0,80 \$ pro 10 km Transport von den Substraten für die Pyrolyse. Dies ist aufgrund der Menge relevanter als der Transport der (trockenen) Pflanzkohle. Auf die ökologische Bilanz hat der Transport nur einen geringen Effekt, bei einem Transport über 1.000 km sinkt die Treibhausgas Reduktion um 28% im Vergleich zu einem 15 km Transport [10]. Eine Übersicht über die Auswirkung des Transportes auf den Umsatz, den Netto-Energie Gehalt und den Netto Treibhausgas Emissionen von Roberts et al. ist in Abbildung 4 dargestellt.

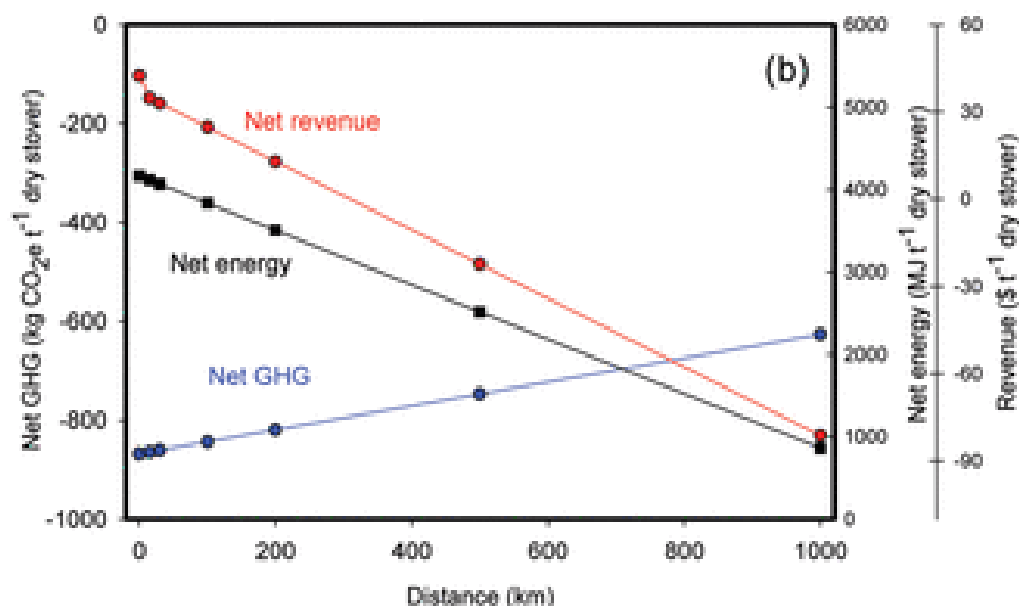


Abb. 4: Darstellung der Auswirkungen der Transportdistanz vom Pyrolyse Substrat von Roberts et. al [10]

Zu beachten ist, dass auf den bevorzugten Gebieten in der Lausitz/ Nord-Östlich von Dresden, Sandboden vorherrscht und eine starke Tendenz zu Dürreproblemen und Trockenheit erkennbar ist. Da Pflanzkohle, basierend auf den Wasserspeicherqualitäten, besonders gute Resultate auf trockenen und sandigen sowie ausgelaugten Böden erzielt [23], ist der Standort als im ökologischen Sinne günstig einzuschätzen. So hat der Projektpartner Agrargenossenschaft See eG bei einer Fläche von 1.860 ha eine durchschnittliche Ackerzahl von 29 Bodenpunkten auf lehmigen Sand und ist somit typisch für die Region. Der Standort des Partners für die Machbarkeitsphase ist in Abbildung 5 gekennzeichnet. Eric Krems, Geschäftsführer des Bauernverbandes Oberlausitz, bestätigt den Bedarf an Bodenverbesserern in der Region. Aufgrund des geringen Umsatzes auf den sandigen Böden dürfen die Kosten für eine Aufwertung des Bodens allerdings nur sehr gering sein für die Landwirt\*innen. Um den optimalen Standort der Pyrolyseanlage zu bestimmen müssen Faktoren wie geringe Transportwege von Substrat und Produkt, eine gewinnbringende Abwärmenutzung und eine möglichst starke Kaskadennutzung der Pflanzkohle berücksichtigt werden.

Als Fallbeispiel wurde der Produktionsstandort Crostwitz in Erwägung gezogen (Abbildung 5), welcher nahe der innovationsfreundlichen Gemeinde Nebelschütz liegt. Die Gemeinde Crostwitz ist direkt an einem Autobahnzubringer der A4 gelegen und in Nähe zum Bahnhof Kamenz. Die Abwärmenutzung sollte durch eine separate Trocknungsanlage zur Lohntrocknung sichergestellt werden. Dafür kann ein Dienstleistungsmodell in Frage kommen, das zum Beispiel die Klee-Trocknung für ein regionales Unternehmen übernehmen soll.



Abb. 5: Darstellungen der Lage der Gemeinde Crostwitz

Eine größtmögliche Praxisnähe soll die Ergebnisse der Feldversuche nahe an den Bedarfen der regionalen Märkte gestalten. Dabei helfen die hervorragend vernetzten Partner und Beiräte des Projektes. Ein Vorteil des Standortes in der Lausitz ist die Verbindung von deutschen, sorbischen, polnischen und tschechischen Märkten.

### 2.1.3 Untersuchung von Marktgröße und -entwicklung nach Absatzmärkten

Die Verschlechterung der Bodenqualität kann in der europäischen Union pro Jahr Kosten von bis zu 38 Milliarden Euro verursachen [24]. Die Schäden, die durch den Klimawandel entstehen können, sollte die 1,5 K Temperaturerhöhung überschritten werden, liegen nochmals darüber [25]. Demnach kann der wirtschaftliche Bedarf an einem sowohl den Boden verbessernden, als auch der Klimawandelanpassung und – Abschwächung dienenden Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft als hoch angesehen werden. Die Verschlechterung der Bodenqualität kann in der europäischen Union pro Jahr Kosten von bis zu 38 Milliarden Euro verursachen [24]. Original Terra Preta enthält ca. 150 g Kohlenstoff pro kg Boden, also 6-7% der Originalmasse. Die Ausbringung ist abhängig von Bodengüte und angebauten Nutzpflanzen. Die empfohlenen Ausbringungsmengen reichen von 1-20 t/ha. In Abbildung 6 ist die bisherige Marktentwicklung für Pflanzenkohle bis 2020 abgebildet. Im Jahr 2020 waren 72 Pflanzenkohle-Produktionsanlagen in der EU in Betrieb mit einer Produktionskapazität von 20 Tsd. t Pflanzenkohle. Deutschland und Schweden

dominieren den Produktionsmarkt. Für 2021 wird ein Zubau von mind. 28 Anlagen vom European Biochar Industry Consortium erwartet, mit einer gesamten Produktionskapazität von 40 Tsd. t Pflanzenkohle in Europa, wobei das Marktwachstum von großen (500 1.999 t) und sehr großen (> 2.000 t) Pyrolyse Anlagen dominiert wird. [37]

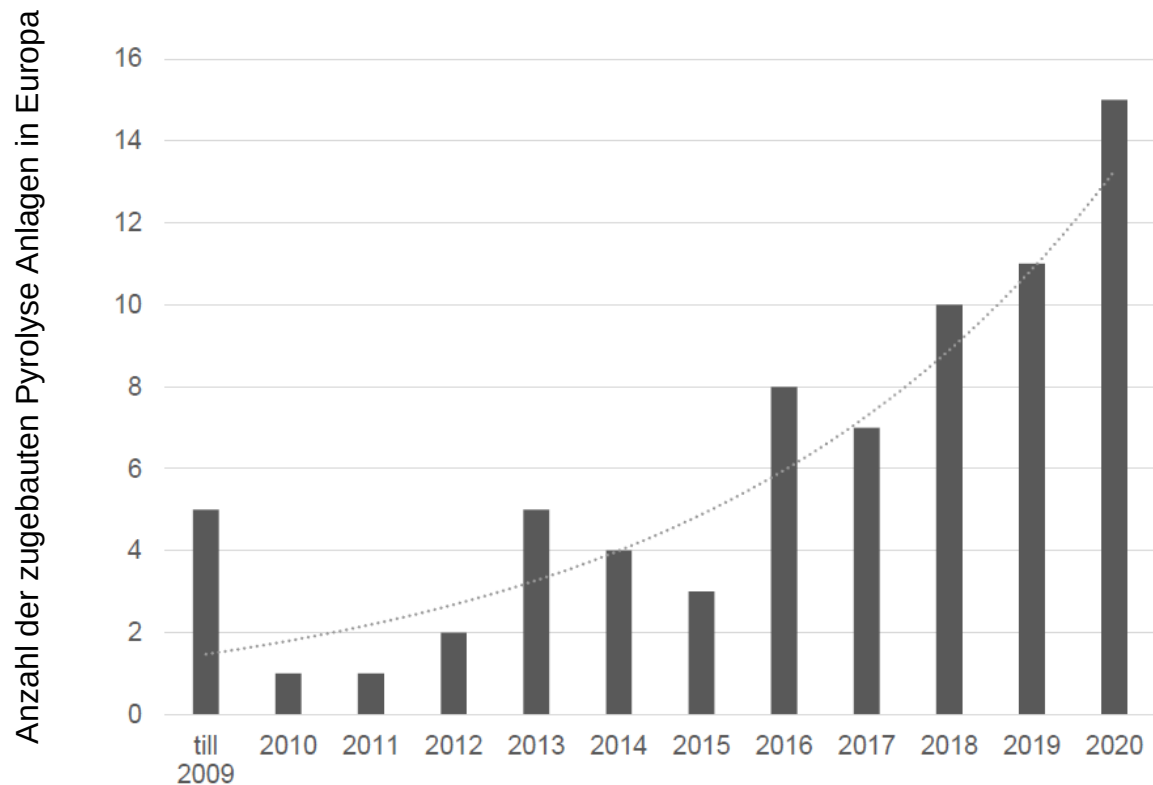


Abb. 6: Darstellung der Marktentwicklung vom European Biochar Industry Consortium [37]

Neben der positiven Prognose und dem bisherigen Wachstum, gibt es einige mögliche Risiken, die bei Markteintritt berücksichtigt werden müssen:

- **Rechtliche Risiken:** Hohe Qualitätsanforderungen an die Pflanzenkohle (EBC Zertifizierung), langwierige Genehmigungsverfahren, Beschränkungen beim Substrat für die Pyrolyse und bei der Anwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft vom Gesetzgeber sowie strenge Rahmenrichtlinien im ökologischen Anbau. Neue Gesetzgebung der EU erfolgt im Sommer 2022 und wird voraussichtlich eine Vielzahl weiterer Substrate für die Pflanzenkohleproduktion mittels Pyrolyse erlauben.
- **Substrat:** Knappheit an verfügbarem und geeignetem Substrat, Preisschwankungen (wie bei dem aktuellen massiven Preisanstieg von Holz), Qualitätsschwankungen, Konkurrenzsituation mit Verbrauchern von Holz von niedriger Qualität (Energiewirtschaft, Papierindustrie, Pressholzproduktion). Große Lagerflächen sind nötig um einen konstanten Durchsatz der Pyrolyseanlage zu gewährleisten.

- Prozess: Kosten Pyrolyseanlage und Reparaturen sind hoch aufgrund der hohen Nachfrage und dem Prototyp-Status der meisten Anlagen. Begleitanlagen z.B. fürs Zerkleinern und Pelletieren müssen auf die Anlage abgestimmt werden, was sich in den Kosten niederschlägt. Zudem fehlt Personal/Knowhow für die Bedienung, da es bisher nur wenig technisches Personal mit Erfahrung in der Bedienung von Pyrolyseanlagen gibt. Das Fehlen geeigneter Abwärmenutzung kann ebenfalls problematisch sein und die ökologische und ökonomische Rentabilität stark beeinflussen. Die Versicherung für großtechnische Anlagen wie kontinuierlichen Pyrolyseanlagen sind teuer, bei einer Genehmigung als Energie/Wärme Kraftwerk lassen sich diese Kosten reduzieren.
- Produkt: Qualitätsschwankungen sind aufgrund des Substrates schwer zu vermeiden. Eine Durchmischung und Pelletierung des Substrates würde die Qualitätsschwankungen reduzieren, jedoch die Bearbeitungskosten erhöhen. Preisschwankungen auf dem Pflanzenkohlenmarkt sind zu erwarten, da der Absatzmarkt bisher klein ist, zwar aktuell stark wächst, bei Krisen jedoch schnell zusammenfallen kann. Zudem drängen immer neue Pflanzenkohle Produzenten auf den Markt und ein Eintritt von Großkonzernen wie BASF oder Bayer ist durchaus denkbar in den nächsten Jahren und würde massiven Druck auf die bisher meist kleinen Hersteller ausüben. Bei fehlenden Möglichkeiten zur Kaskadennutzung ist die Rentabilität für die Nutzer\*innen stark eingeschränkt. Aktuell entstehen schnell weite Transportwege, da der Absatz in Skandinavien, insbesondere in Schweden, sehr hoch ist. Dies stellt besondere Anforderungen an die Logistik sowie an die Kostenstruktur und die Ökobilanz der Pflanzenkohle. Bei Absatzproblemen ist viel Lagerfläche nötig, da Pflanzenkohle eine geringe Dichte aufweist und die Pyrolyseanlage kontinuierlich im Tonnen Maßstab Pflanzenkohle produziert. Die unterschiedlichen Anforderungen bei vielfältiger Kundschaft, wie Kommunen (Stadtbäume), Gartenbaubetriebe (GaLaBau), konventionelle und ökologische Landwirtschaft etc. sind eine Herausforderung im Marketing und bei der Produktqualität. Zudem gibt es teils negative PR, zum Beispiel von Umweltverbänden oder konventionellen Bodenverbesserer-Herstellern
- Personal: Schwierige Personalfindung für technische Betreuung und Logistik/Transport, einmal aufgrund der geringen Anzahl an geschulten Personal für Pyrolyseanlagen, zweitens durch den Standort in einer gering entwickelten Region mit Fachkräftemangel. Krankheit und Elternschaft bei dünner Personaldecke können zudem ein Problem darstellen. Insbesondere letzteres ist bei einem Gründungsteam im Alter zwischen 26 bis 30 Jahren einzukalkulieren.

Diese Risiken im Blick behaltend, gibt es dennoch eine Vielzahl an Absatzmärkten, die für den Verkauf von Pflanzenkohle in Betracht gezogen werden können. Die Abbildung 7 wurde für einen übersichtlichen Vergleich der attraktiv erscheinenden Absatzmärkte für Pflanzenkohle im landwirtschaftlichen Bereich erstellt.

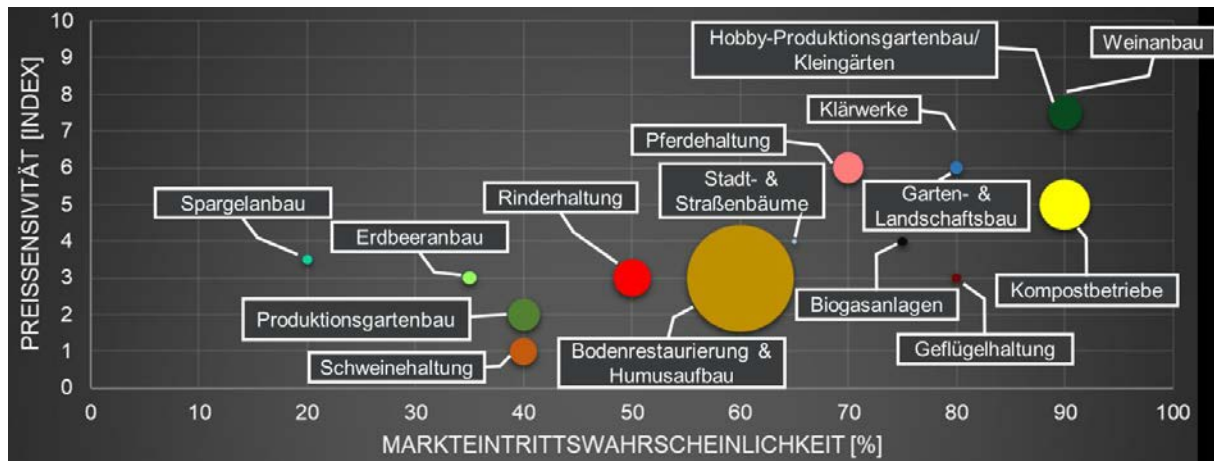


Abb. 7: Verschiedene Marktnischen für Pflanzenkohle im Vergleich: Volumen = theoretische Marktgröße in t/a; Preissensitivität Index = 0 ‚extrem Preissensibel‘ bis 10 ‚Preis spielt keine Rolle‘

Wie die Markteintrittswahrscheinlichkeit beruht die Berechnung der Preissensitivität (Abb. 3) auf den geführten Interviews. Die vier Marktnischen, die am besten abschneiden, sind der Hobby-Produktionsgartenbau/Kleingärten mit einem max. Marktvolumen von 45.000 t/a, Pferdehaltung (37.230 t/a), GaLaBau (7 188 t/a) und Kompostbetriebe (100.000 t/a). Der Verkauf in Klärwerke (40 t/a) und im Weinanbau (59 t/a) ist zwar attraktiv, umfasst aber nur sehr geringe Volumina.

In den weiteren Kapiteln werden die möglichen Absatzmärkte genauer untersucht und vorgestellt. Die Informationen beruhen auf ausführlichen Recherchen sowie strukturierten Expert\*innen-Interviews.

### 2.1.3.1 Ökologische Landwirtschaft

In der ökologischen Landwirtschaft dürfen chemische Dünger nicht eingesetzt werden, was den Konkurrenzdruck auf Pflanzenkohle senkt. Zudem ist es in ökologischen Betrieben oft üblich, sowohl Vieh zu halten, als auch Agrarprodukte anzubauen, sodass die Kaskadennutzung innerhalb eines Betriebes erfolgen kann. Da für bio-zertifizierte Produkte höhere Preise angesetzt werden, wirkt sich zudem eine Ertragssteigerung schneller positiv aus. Bei den Anbaumethoden und Gerätschaften sind ökologische Betriebe ebenfalls im Vorteil, da sie häufiger Erfahrung mit spezifischeren Bodenbearbeitungsmethoden (kein Pflügen) gemacht haben. Somit sind ökologisch wirtschaftende Betriebe, trotz ihrer geringen Verbreitung und Marktmacht (in ganz Deutschland ca. 5,68% Marktvolumen), ein besonders interessanter Nischenmarkt. In Sachsen hat die ökologische Landwirtschaft einen stetig wachsenden Flächenanteil, 2019 waren es ca. 7,5% [96].

In Sachsen wird auf ca. 50% der Anbaufläche im Öko-Landbau Getreide angebaut, knapp 30% der Fläche entfallen auf den Anbau von Öko-Ackerfutter, während Feldgemüse, Hülsenfrüchte und Ölfrüchte nur zwischen 2-5% der Anbaufläche im Öko-Landbau besetzen. Die Betriebsgröße von ökologisch wirtschaftenden Betrieben fällt mit gut 90 ha im Durchschnitt deutlich geringer aus als der Durchschnitt aller sächsischen Landwirtschaftsbetriebe. In Ökobetrieben in Sachsen werden überdurchschnittlich viele Mutterkühe gehalten, und der Anteil an Milchkühen ist recht hoch. Schafe und Schweine haben nur eine sehr geringe Bedeutung in der ökologischen Landwirtschaft in Sachsen [96].

Verbandsmitglieder von Bioland können Pflanzenkohle nur als verschriebenes Therapeutikum verfüttern. Eine Ausnahme bildet Bayern: Dort hat der Landesverband eine Zulassung als Futter beschlossen. In Schleswig-Holstein wurde eine solche Zulassung jedoch abgelehnt. Als Bodenverbesserer ist zertifizierte (EBC) Pflanzenkohle europaweit im biologischen Landbau zugelassen (EU Durchführungsverordnung 2019/2164).

### **2.1.3.2 Konventionelle Landwirtschaft**

Die konventionelle Landwirtschaft, die in Sachsen und Brandenburg mit 92,5% und 86,8% Anteil an der gesamten landwirtschaftlichen Fläche vorherrschend ist, birgt gute Absatzmöglichkeiten. Zum einen bei tierhaltenden Betrieben (s. Kap. 2.1.6), für die eine Kaskadennutzung der Pflanzenkohle besonders attraktiv ist. Auch im konventionellen Anbau kann sich der Pflanzenkohleeinsatz bei hochpreisigen Feldfrüchten lohnen. Als großflächiger Bodenverbesserer für degradierte und geschädigte Böden ist Pflanzenkohle aktuell zu teuer. Im Kapitel 2.1.7 werden verschiedene Optionen beschrieben, wie wirtschaftliche Modelle zur Bodenverbesserung mit Pflanzenkohle aussehen könnten.

Zertifizierte Pflanzenkohle darf zur Fütterung in konventionellen Betrieben eingesetzt werden. Im Anhang I der geltenden EU Verordnung (EG) Nr. 889/2008 in der Rubrik Düngemittel, Bodenverbesserer und Nährstoffe, wird Pflanzenkohle als Düngemittel gemäß der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 zugelassen.

Die durchschnittliche Betriebsgröße in Sachsen liegt bei knapp 160 ha. Rund 25% der Betriebe sind als e.G. und GmbH eingetragen, ca. 20 % als Einzelunternehmen im Haupterwerb und 11% als Personengesellschaft. Der Rest wird als Einzelunternehmen im Nebenerwerb oder als sonstige juristische Person betrieben. Die Einkaufspreise für Betriebsmittel (z.B. Pestizide) sind in den letzten Jahren deutlich gestiegen [96]. Wenn Pflanzenkohle erfolgreich zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln und –düngern beiträgt, wird ihr Einsatz bei einer Fortsetzung der aktuellen Preisentwicklung immer attraktiver.

### **2.1.3.3 Weinanbau**

Im Dresdener Umland wird an den Elbhängen Wein kultiviert, bei dem auch jenseits des Bio-Segmentes ein Einsatz von Pflanzenkohle lohnend erscheint. Bisherige Versuche sind vielversprechend sowohl die Qualität als auch den Ertrag betreffend. Durch den zielgerichteten Einsatz als Wurzelapplikation hat eine geringe Menge an Pflanzenkohle einen positiven Effekt. [71, 20] Außerdem erzielen hochwertige Trauben gute Marktpreise, so dass der Einsatz von Pflanzenkohle für Winzer\*innen durchaus finanziell interessant sein kann. Bisher werden zum Humusaufbau vor allem Stroh- und Heupellets eingesetzt, sowie die Biomasse, die bei Pflege und Schnitt der Reben anfällt. Die insbesondere zur Erhöhung der Wasserspeicherkapazität und zum Humusaufbau eingesetzte Pflanzenkohle sollte EBC zertifiziert sein, da die Bodenqualität für die Weinqualität von fundamentaler Bedeutung ist [20].

Mit knapp 492 ha Ertragsreblfläche gehört das Anbaugebiet Sachsen/ Elbe- und Elstertal zu einem der kleinsten unter den 13 deutschen Weinanbaugebieten und ist das nordöstlichste in Europa. Rund 2.500 Winzer\*innen arbeiten in den Gebieten Meißen und Elstertal, ein hoher Anteil davon Klein- und Kleinstwinzer\*innen. 2018 gab es 35 Weinbaubetriebe im Haupterwerb und 39 im Nebenerwerb. [70] Der Weinanbau ist über einen Verband sehr gut organisiert und kann bei seinen jährlichen

Veranstaltungen adressiert werden. Es besteht erhöhtes Interesse am Einsatz von Pflanzenkohle und Pioniere verwenden im Weinanbaugebiet verwenden Pflanzenkohle bei der Neusetzung von Reben. Das Ithaka Institut stellt eine Sammlung wissenschaftlicher Erkenntnisse zu Pflanzenkohle im Weinanbau öffentlich zur Verfügung, so dass eine fundierte Beratung erfolgen kann [71].

Die Niederschlagsmenge im sächsischen Anbaugebiet liegt zwischen 600-700 mL/Jahr und die Böden sind Granit-Syenit-Böden, Löß-Lehm-Böden und Sand-Böden. Auf den insgesamt 17 sächsischen Einzellagen werden 61 Rebsorten angebaut: 80 Prozent davon sind weiße Sorten, 20 Prozent sind rote Rebsorten. Der Flächenertrag liegt mit ca. 50 hl/ha unter dem Bundesdurchschnitt. Die größten Weingüter sind Schloss Wackerbarth mit einer Rebfläche von 104 ha, die Winzergenossenschaft Meißen mit einer Rebfläche von 135 ha und das Weingut Schloss Proschwitz mit einer Rebfläche von 98,6 ha. Die jährlichen Neu- und Wiederanpflanzungen von Weinreben in Sachsen beliefen sich in den letzten Jahren zwischen 8 bis 17 ha. [70]

#### **2.1.3.4 Produktionsgartenbau**

Im Produktionsgartenbau (Obst, Gemüse, Baumschulerzeugnisse, Blumen und Zierpflanzen) wirkt sich Pflanzenkohle vielfach positiv auf den Ertrag aus [80-81]. Durch die höheren Absatzpreise kann eine Ertragssteigerung mittels Pflanzenkohle durchaus rentabel sein, trotz des höheren Einkaufspreises im Vergleich zu bisher eingesetzten Bodenverbesserern. Die Langfristigkeit der Wirkung ist, wie bei den anderen Anwendungen, essentiell für den finanziellen Erfolg. Ein durch die Pflanzenkohle verringerter Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und chemischen Düngern kann sich zudem positiv auf die Qualität des Gemüses auswirken und dem Gartenbaubetrieb höhere Absatzpreise ermöglichen. Im gewerblichen Anbau werden Pflanzenkohle und Terra Preta Substrate bisher eher nicht verwendet. Bei Klein- und Hobbygärtnern ist insbesondere die Schwarzerde nach „Terra Preta Rezeptur“ bekannt und nachgefragt. In dieser Marktnische agiert zum Beispiel Horst Wagner als Pflanzenkohle und Substrat Verkäufer in Meißen.

Auf knapp 127 Tsd. ha wurde 2019 bundesweit Gemüse angebaut, dazu gehören Kohlgemüse, Blatt- und Stängelgemüse, Wurzel- und Knollengemüse, Fruchtgemüse und Hülsenfrüchte. Rund 1.200 ha kamen 2019 unter begehbaren Schutzabdeckungen dazu. Baumschulerzeugnisse werden auf gut 16.600 ha, Zierpflanzen auf knapp 6.600 ha (2017) angebaut. 48.800 ha waren 2020 mit Baumobst bepflanzt, davon 1.500 ha in Brandenburg und 3.100 ha in Sachsen, plus einer Fläche von knapp 1.400 ha für Strauchbeeren, davon 1.141 ha in Brandenburg und 370 ha in Sachsen [77]. Der sächsische Obstanbau umfasst rund 4.000 ha, davon 2.400 ha mit Apfelbäumen und 464 ha mit Sauerkirsche, alle weiteren Obstsorten umfassen deutlich kleinere Flächen. Die 55 Obstanbaubetriebe haben einen Flächenanteil von 67 %. Im Produktionsgartenbau sind in Sachsen 634 Betriebe im Haupterwerb, 120 im Nebenerwerb und 138 Gesellschaften gemeldet. Die meisten Betriebe haben die Spezialisierung Zierpflanzenbau, welche aber nur 7% der Fläche beansprucht [96].

Sachsen ist ein bedeutender Standort für den Anbau von Verarbeitungsgemüse für die Tiefkühlindustrie. Die wichtigste Kultur ist die Markerbse, die mit rund 2.200 ha rund 50% der deutschen Anbaufläche belegt. Neben Markerbsen sind vor allem Buschbohnen und Spinat von Bedeutung. Im Frischmarktbereich dominieren <sup>12</sup>

Speisezwiebeln, Spargel sowie verschiedene Kohllarten. Der Gewächshausanbau ist in den letzten Jahren rückläufig und belegt nur rund 35 ha mit den Hauptkulturen Tomaten und Gurken. Die genannten Kulturen bilden gleichzeitig einen Schwerpunkt in der angewandten Forschung im Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Der Gemüsebau im Freistaat Sachsen wird auf einer Anbaufläche von rund 4.000 ha betrieben. [96]

#### **2.1.3.4.1 Spargelanbau**

In Sachsen wird auf ca. 300 ha Spargel angebaut. In Brandenburg sind es 3.400 ha und in Sachsen-Anhalt 500 ha. Heute werden meist männliche Hybride eingesetzt, die alten Sorten werden kaum angebaut. Spargelanbau benötigt langfristige Planung: Der Boden muss bis zu drei Jahre vorbereitet werden (Aufschluss, Gründüngung), damit eine Spargelpflanze bis zu 10 Jahre vermarktbare Stangengemüse produziert, wobei die Pflanzen erst nach 3-4 Jahren ihren Vollertrag erreichen [73]. Momentan wird der Boden zur Vorbereitung meist mit Stallmist gedüngt. Genaue Bodenanalysen werden vor der Anpflanzung ebenfalls vorgenommen [72]. Der Pflanzenkohleeinsatz wäre in Form einer Kaskadennutzung zusammen mit Stallmist gut denkbar.

Der Boden sollte leicht und sandig sein, daher wird in Sachsen deutlich weniger Spargel angebaut (von ca. 13 Betrieben) als z.B. in Brandenburg [73]. In sonniger Lage und leichten Sandboden mit einem Humusgehalt zwischen 1-5% gedeiht der Spargel am besten. Der pH-Wert des Bodens sollte optimal zwischen 5,5 bis 6,0 liegen (hierfür wird Kalk eingesetzt) und die Wasserversorgung muss möglichst konstant sein [72]. Dies lässt einen Einsatz der Pflanzenkohle als Kalk-Supplement und zur Erhöhung der Wasserkapazität des Bodens vielversprechend erscheinen.

#### **2.1.3.4.2 Erdbeeranbau**

Die Erdbeerpflanze ist winterfest, aber empfindlich gegen Austrocknung in rauen, windigen oder allzu heißen Lagen. Erdbeeren verlangen einen tiefgründigen, humosen Lehm Boden beziehungsweise lehmigen Sandboden. Der sollte gut mit Nährstoffen versorgt sein, einen ausreichenden Humusgehalt aufweisen und durchlässig sein [74]. 2019 wurden in Sachsen Erdbeeren auf knapp 300 ha angebaut, von gut 70 Betrieben. 2017 wurden ca. 3.000 t Erdbeeren geerntet, größtenteils im Freilandanbau. In Brandenburg 4.000 t, dort ebenfalls fast ausschließlich im Freiland [75]. Es gibt ca. 70 Betriebe, die Erdbeeren in Sachsen anbauen [96].

Erdbeeren, die in Terra Preta Böden überwintern, treiben im Frühjahr deutlich kräftiger aus. In einer Studie der Freien Universität Berlin (Projekt TerraBoGa) konnte mit Pflanzenkohle (15 Vol. % Pflanzenkohle im Kompost) eine Ertragssteigerung von 17% erreicht werden bei der Erdbeersorte Elsanta. Zudem erwiesen sich die auf pflanzenkohlehaltigem Substrat wachsenden Pflanzen als deutlich resistenter gegenüber Krautfäule [76].

#### **2.1.3.4.3 Garten- und Landschaftsbau (GaLaBau)**

2019 gab es in Sachsen 608 Betriebe mit knapp 4.000 Beschäftigten und einen Umsatz von 287 Mio. €, die im sächsischen Garten- und Landschaftsbau Landesverband erfasst sind. In Brandenburg sind 660 Betriebe mit über 4.000 Mitarbeiter\*innen und 270 Mio. € Umsatz geführt. Vom deutschlandweit 2020 generierten Umsatz von 5,44 Mrd. € entfielen 58% auf Privatgärten, 19% auf Flächen der öffentlichen Hand, 10% auf den Wohnungsbau, 7% auf die Industrie, 4% auf

Generalunternehmer und 2% auf Sonstiges. Das Arbeitsgebiet von Landschaftsgärtner\*innen umfasst Bau, Umgestaltung und Pflege von Freianlagen jeglicher Art einschließlich Arbeiten im Rahmen des Natur- und Umweltschutzes. [78].

Im GaLaBau kann Pflanzenkohle in der Bodenvorbereitung bei Neupflanzungen, beim Humusaufbau und für den Säureausgleich verwendet werden. Im Kleingartenbereich ist Pflanzenkohle und insbesondere Terra Preta Substrat schon länger bekannt. Im Betrieblichen GaLaBau findet Pflanzenkohle bisher keine Verwendung, als ökologische Alternative zu Torf und gemeinsam mit Kompost und Rindenmulch besteht jedoch durchaus Potential. Insbesondere im Gartenbau im gehobenen Preissegment und in Spezialanwendungen wie Dachbegrünung und Sportrasenanlagen wären Pflanzenkohle-Präparate gut denkbar. Es besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf, um die Marktnischen erschließen zu können.

#### **2.1.3.5 Kompostbetriebe**

Pflanzenkohle steigert die Effizienz von Kompostierungen durch eine Förderung der aeroben Bakterien, die durch die poröse Struktur besser und länger mit Sauerstoff versorgt werden (Bulking Agent), wodurch die Kompostierungsleistung und Stickstoff-Retention gesteigert werden [68, 82, 83]. Ammoniakverluste können massiv reduziert und Schwermetalle immobilisiert (und die Pflanzenverfügbarkeit verringert) werden. Dies ist insbesondere für Kompostierungen mit Klärschlamm richtungsweisend [84, 85, 86].

Wenn Kompostierungsvorgänge unter ungünstigen Voraussetzungen stattfinden, z.B. durch zu hohen Stickstoffgehalt, kann der Pflanzenkohle Einsatz besonders gute Ergebnisse erzielen durch eine verbesserte Speicherung der Nährstoffe und eine beschleunigte Reifephase in der Humifizierung [79], z.B. bei der Kompostierung von Hühnerdung, wo eine signifikant verbesserte Humifizierung mit Pflanzenkohle erreicht werden konnte [87,88]. Durch eine Zugabe von 3 % Pflanzenkohle kann die Kompostierung nach Schätzungen um ca. 20 % beschleunigt werden. Eine positive Beeinflussung der Kompostierung durch Pflanzenkohle ist jedoch nicht zwangsläufig. Durch die Beladung im Kompostierungsvorgang verändert die Pflanzenkohle ihre Eigenschaften, ohne dass sie jedoch abgebaut wird [79]. Die Nährstoffaufnahme und Pflanzenverfügbarkeit kann durch Kompostierung verbessert werden [80, 89, 90].

In den Gelben Seiten sind neun Kompostierungsanlagen im Umkreis von 50 km um Dresden gelistet. Darunter das Meißner Unternehmen Kompostbau Wagner, das Pflanzenkohle und Pflanzenkohleprodukte vertreibt. Da dieser Betrieb auf eine begrenzte historische Pflanzenkohle aus der Holzkohle Herstellung in der DDR zurückgreift, ist der Eigentümer sehr an einer Pflanzenkohle Herstellung in der Region interessiert. Die drei größten Betriebe für kompostähnliche Substrate zur Belieferung im GaLaBau sind in Dresden das Humuswerk OTTO GmbH und Humuswirtschaft Kaditz und in Leipzig die LVA (Erdenwerk).

#### **2.1.3.6 Tierhaltende Betriebe**

Pflanzenkohle kann als Einstreuzusatz, Güllezusatz oder Futterzusatzstoff in der Tierhaltung genutzt werden. Nach Futtermittelrecht sind Pflanzenkohlen aus dem Rohmaterial Holz als Einzelfuttermittel in der Europäischen Union zugelassen und in der Verordnung (EU) Nr. 68/2013 der Europäischen Kommission vom 16. Januar 2013 geregelt. Neben dem Futtermittelrecht muss zudem das Düngemittelrecht

beachtet werden. Laut Düngemittelverordnung sind nur Holzkohlen aus chemisch unbehandeltem Holz zugelassen, die als Ausgangsstoff für Kultursubstrate oder als Trägersubstanz in Verbindung mit der Zugabe von Nährstoffen über zugelassene Düngemittel verwendet werden. Bisher stand vor allem die medizinisch/therapeutische Wirkung der Pflanzenkohle im Vordergrund. Inzwischen belegen jedoch immer mehr Studien weitere positive Effekte in der Tierhaltung:

- Steigerung der Futterraufnahme
- höhere Gewichtszunahmen
- eine verbesserte Futtereffizienz
- Verbesserung der Gesundheit und trockenere Einstreu
- geringerer Ammoniakgeruch in Gülle und Stallluft
- eine geringere Mortalität
- Verbesserung der Fleischqualität [66, 79]

Die Beladung der Pflanzenkohle geschieht für den Einsatz in der Fütterung nach dem Abkühlen und Vermahlen durch ein zertifiziertes organisches Säureprodukt [66]. In Europa werden (stand 2017) ca. 90% der Pflanzenkohle zuerst in der Tierhaltung genutzt. Neben der Fütterung beinhaltet das die Stalleinstreu, die Güllebehandlung und die Kompostierung von Stallmist [79]. Ähnlich wie beim Pflanzenkohleeinsatz in der Kompostierung (vgl. Kap. 2.1.5) wird die Pflanzenkohle bei der Verwendung in der Tierhaltung nebenbei beladen [80, 81, 90], was die Eigenschaften als Bodenverbesserer stärkt [91]. Wird jährlich eine kleine Menge nährstoffbeladener Pflanzenkohle in den Boden ausgebracht, entspricht dies dem Prozess der Bodenbildung eher als die einmalige Gabe einer größeren Menge [92]. Zur Güllebehandlung werden 1-1,5% bzw. 4 kg/m<sup>3</sup> empfohlen, bei der Mistbehandlung 30 kg/m<sup>3</sup>. Die Pflanzenkohle bindet pflanzenverfügbare Nährstoffe (z.B. Stickstoff, Kalium, Magnesium, Phosphor) und reduziert die Ammoniak- und Lachgasemissionen. Dadurch wird sowohl die Geruchsbelästigung als auch die Schwemmschicht reduziert. Die Pflanzenkohle setzt sich nicht in der Güllegrube ab, sondern schwimmt eher oben.

Als Einstreu kann Pflanzenkohle zusammen mit altem Kompost und Betonit unter der Strohschicht auf den Böden ausgebracht werden und sorgt dann dafür, dass die Feststoffe dank der hohen biologischen Aktivität des Gemisches schnell abgebaut und in stabile Kohlenstoffverbindungen umgewandelt werden (Schnellkompostierung). Gesteinsmehl, Tonerde und Kompostwürmer können diesen Vorgang zusätzlich verbessern. Die Pflanzenkohle nimmt die flüssigen Ausscheidungen sehr gut auf (1 kg Pflanzenkohle kann bis zu 5 Liter Urin aufsaugen) und auch Betonit und Kompost sorgen für eine hohe Saugfähigkeit. Zudem sorgt die Pflanzenkohle für eine gute Sauerstoffversorgung des Untergrundes. Lactobacilli sollten auf dem Stallboden bevorzugt werden, z.B. durch animpfen. Bei einem durch die Pflanzenkohle verursachten zu hohen pH-Wert kann der Stickstoffverlust im Stall erhöht werden. Daher sollte das Substrat angesäuert werden. Das Vorgehen unterscheidet sich je nach Tier- und Stallart und ist bisher nicht standardisiert. Bei geeigneter Anwendung wird die Stallhygiene und das Tierwohl massiv verbessert im Vergleich zu reinem Stroheinstreu. Zudem kann das pflanzenkohlehaltige Substrat nach der Anwendung im Stall ideal als Bodenverbesserer ausgebracht werden [79].

In der Güllebehandlung wird Pflanzenkohle insbesondere zur Geruchsvermeidung eingesetzt. Angewandt werden 1-1,5 % Pflanzenkohle zur Masse der Gülle. 15

Dabei reduziert Pflanzenkohle die Stickstoffverluste durch das Entweichen von Ammoniak, wo sonst vom Stall über die Gülle bis zum Feld rund 50% des Stickstoffes verloren gehen. Pflanzenkohle kann zudem Nitratauswaschung verhindern und überschüssiges Nitrat im Oberboden pflanzenverfügbar halten [79]. In Abbildung 8 ist beispielhaft dargestellt, wie eine Kaskadennutzung bei einem landwirtschaftlichen Betrieb mit Viehhaltung gestaltet werden kann.

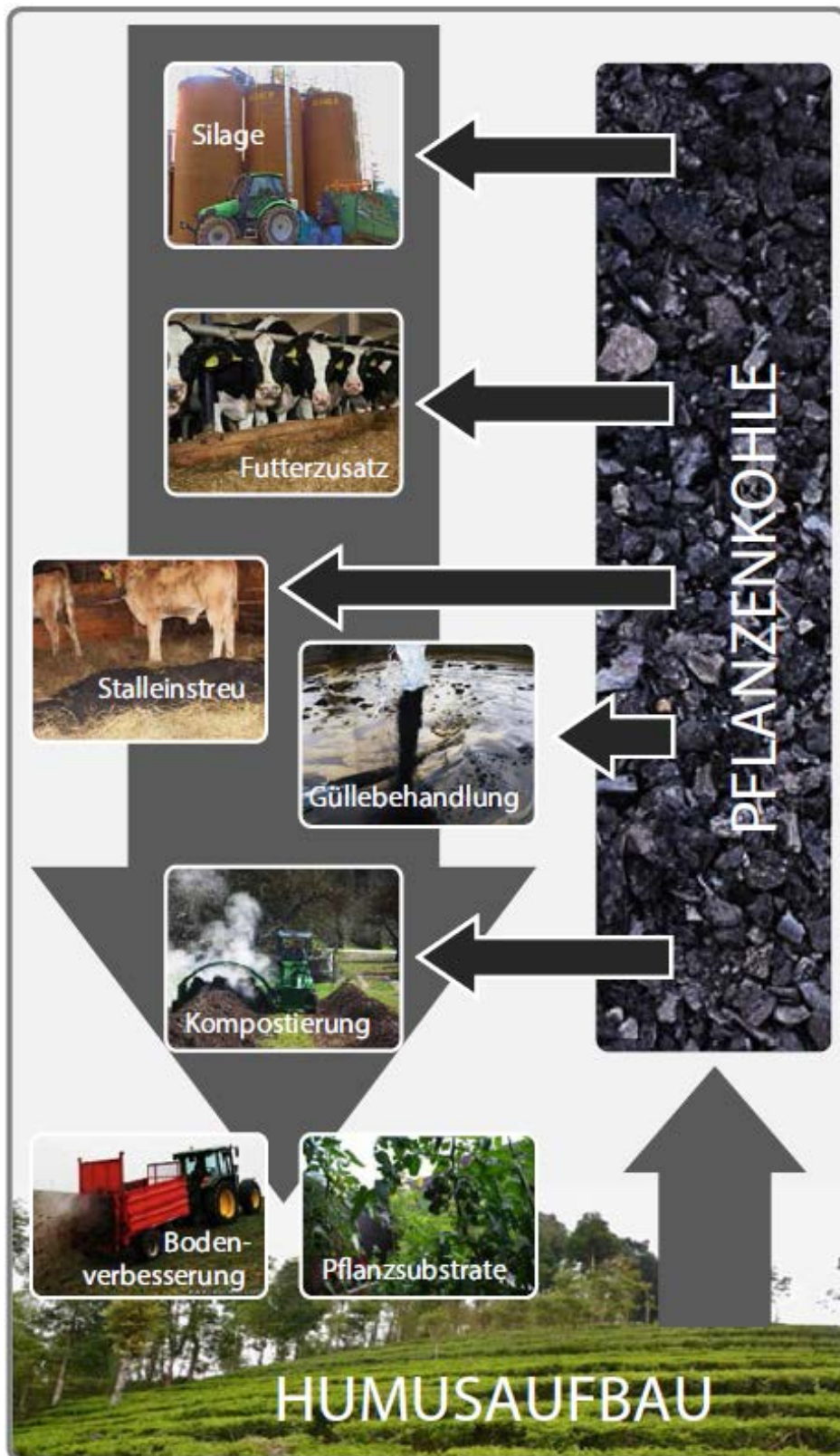


Abb. 8: Option zur Kaskadennutzung von Pflanzenkohle bei der Tierfütterung und in der Landwirtschaft. (Fotos: Hans-Peter Schmidt; Grafik: Peter Quicker) [79]

#### 2.1.3.6.1 Geflügelhaltung

Zahlreiche Untersuchungen zum Einsatz von Pflanzenkohle in der Geflügelmast wurde durchgeführt. Eine umfassende Untersuchung bei Masthähnchen und Puten fand z.B. von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen und der Tierärztlichen 17

Hochschule Hannover statt. Dort wurde Pflanzkohle mit 2 kg/t Mischfutter beigemischt und führten zu einer leicht verbesserten Fußballengesundheit und trockenerem Einstreu. Es wurden keine weiteren signifikanten Veränderungen zur Kontrollgruppe festgestellt. Es besteht weiterer Forschungsbedarf für eine Beurteilung von Pflanzkohle nach einer auf die Tierart optimierten Darreichungsform (z.B. optimales Dosierverhältnis, permanente Zugabe oder Intervallfütterung) [67]. Pflanzkohle, die bei der Kompostierung von Geflügelkot beigemischt wird, verbessert die Effizienz der Kompostierung und reduziert den Methan Ausstoß durch die Förderung aerober Bakterien [68].

Während in der Hähnchenmast, in der Junghennenaufzucht und in der Legehennenhaltung von einer einstreureichen Kotmatratze gesprochen wird, liegt in der Puten-, Enten- und Gänsemast eine einstreureiche Matratze vor, die ständig nachgestreut werden muss. Hierzu wird hartes Langstroh verwendet. Die ausgebrachte Einstreumenge je m<sup>2</sup> Stallbodenfläche liegt bei durchschnittlich 600 g bis 1000 g je m<sup>2</sup>. Dies gilt grundsätzlich auch für die Jung- und Legehennen. Die Ersteinstreu im Legehennenstall kann aus Granulaten unterschiedlichen Ursprungs (z.B. Holz, Dinkel, Stroh, für ca. 300 €/t) bestehen. Darüber hinaus kann die Ersteinstreu im Innenstall gleich wie im Kalscharrraum aus einer dünnen Schicht Sand sein. Maissilage kann mit einer Einstreumenge von 600 g bis 800 g eingestreut werden. Maisspindeln (Reste der Körnermaisernte) finden in Österreich Verwendung als Einstreusubstrat im Hähnchenstall. Holzhackschnitzel werden oftmals in der Legehennenhaltung vor dem Kalscharrraum im Stallnahbereich benutzt, um einer Verschlämmung vorzubeugen. Im Hähnchenstall sind ebenfalls Versuche mit gutem Ergebnisse erzielt worden. Der Kot trocknet optimal in den Zwischenräumen der Holzhackschnitzel ab und der Hähnchenkot bekommt eine torfartige Konsistenz [69]. Holzhackschnitzel sind für 150 bis 200 €/t als Einstreu auf dem Markt. Pflanzkohle Einstreu steht in dieser Anwendung in direkter Konkurrenz zu Holzhackschnitzeln.

Aktuell kommen in der gewerblichen Geflügelhaltung vor allem Futtermischungen zum Einsatz, die nach Herstellerangaben die entscheidenden Nahrungskomponenten enthalten. Währenddessen ist bei der Hobby- und Ziervogelzucht Pflanzkohle als Zusatzfutter zum Teil bekannt und über Vereine und Hobbygruppen gut zu verbreiten. Wichtig ist, dass derartige Futter hohe gesundheitliche Standards einhält. Dies gilt ebenso bei einer Pflanzkohle-Fütterung für die medizinische Anwendung.

In Sachsen gibt es 57 Legehennenbetriebe (mit über 3.000 Hennen pro Betrieb). Dreiviertel der Eier-Produktion konzentriert sich auf sieben Betriebe: insgesamt 3,5 Mio. Legehennen. Die Konzentration auf Großbetriebe ist in Sachsen-Anhalt und Brandenburg stärker. Die Putenmast ist in Sachsen in 11 Betrieben verortet. Pekingenten, Moschusenten, Mularden, Gänse und Spezialgeflügel werden eher in Kleinbetrieben gezüchtet und direkt vermarktet.

#### **2.1.3.6.2 Schweine- und Rinderhaltung**

In der Schweine- und Rinderhaltung wird Pflanzkohle bisher fast ausschließlich zur medizinischen Anwendung auf Empfehlung von Tierärzt\*innen angewendet. Das Grundfutter besteht meist aus fertigen Mischungen, deren Zusammensetzung nach Herstellerangaben optimal auf die Nahrungsbedürfnisse nach Alter und Art der Tiere abgestimmt ist.

Pflanzenkohle wird in der Rinderhaltung seit den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts erforscht. Die positiven Wirkungen von Pflanzenkohle als Futterzusatz ist hinreichend belegt. Dazu zählen Gewichtszunahmen [60], verbesserte Abwehr gegenüber Krankheiten [61] und verringerter Methanausstoß [62]. Die Wirkung der Pflanzenkohle basiert auf Mechanismen wie Adsorption, Koadsorption, Kompetition, Chemosorption, Adsorption mit nachfolgender chemischer Reaktion und Desorption. Gerlach und Schmidt haben festgestellt: „besondere Bedeutung kommt der spezifischen Besiedlung der Kohle mit gram-negativen Keimen mit erhöhter Stoffwechselleistung zu. Daraus resultieren einerseits ein Abfall der zu resorbierenden Endotoxine und andererseits eine Adsorption der Toxine an die Kohle“ [63]. Die gute Verfügbarkeit und Haltbarkeit von Pflanzenkohle, verbunden mit der positiven Wirkung im Magen-Darm-Trakt, auch gegenüber absorbierten Toxinen und Erdölprodukten erhöht die Attraktivität von Pflanzenkohle als Ergänzungsfutter [64] und als Alternative zu den üblichen medizinischen Therapien der Peritonealdialyse<sup>1</sup>, Hämodialyse<sup>2</sup> oder Hämo-perfusion<sup>3</sup> bei Rindern. Dabei hat sich die Pflanzenkohle-Gabe von 200-400g/Tag pro Rind etabliert, wobei die Kohle höchsten Qualitätsstandards nach Lebensmittelrecht (Verordnung (EG) Nr. 178/2002) und Futtermittelhygiene (Verordnung (EG) Nr. 834/2007) gerecht werden muss, die bei EBC-Zertifizierung jedoch erfüllt sind [63]. In Sachsen gibt es ca. 420.000 Rinder, davon sind 190.000 Milchkühe. Es gibt gut 1.100 Milchkuh-Betriebe mit durchschnittlich über 150 Kühen. Dazu kommen 4.000 Betriebe mit Mutterkühen zur Fleischzucht, wovon dreiviertel der Mutterkühe in Kleinsthaltung (1-9 Kühe) stehen [96].

In der Schweinemast kann Pflanzenkohle über einen Pulverdosierer direkt in die Förderschnecke des Futtersilos dosiert werden. In der Anfangsmast wird 0,15 % und 0,1 % in der Endmast aktivierte Pflanzenkohle beige-fügt. Die Kohle haftet an Futterpellets, eine Entmischung in den Trockenfutterautomaten tritt normalerweise nicht auf. Die um ca. 80 Cent höheren Futterausgaben pro 100 kg Gewichtszunahme können nicht durch die beschleunigte Gewichtszunahme und den geringeren Futtermittelverbrauch kompensiert werden [65]. Die Pflanzenkohle bewirkt allerdings in der Gülle eine Geruchsreduktion, was sowohl für das Tierwohl als auch für die Gülle-Ausbringung relevant ist. Auch eine Verbesserung der Fließfähigkeit der Gülle bei Verringerung des Rühraufwandes und der Schaumbildung auf der Gülleoberfläche kann beobachtet werden [63].

Es gibt gut 600.000 Schweine in Sachsen. Je nach Landkreis unterscheidet sich die Struktur der Betriebe teils stark. Generell sind eher Großbetriebe mit ca. 4.000 Schweinen üblich [96]. Es ist jedoch ein Trend zur Schließung von Schweinemastbetrieben zu erkennen, verursacht durch Export Einbrüche (Afrikanische Schweinepest) und sinkender Nachfrage im Binnenmarkt.

#### **2.1.3.6.3 Pferdhaltung**

Pflanzenkohle kann in der Pferdehaltung sowohl als Futtermittel, als auch als Einstreu Verwendung finden. Als Futterkohle wird es z.B. von CharLine GmbH angeboten zu einem Preis von 49 € für 3 kg Pflanzenkohlenpellets. Die Pflanzenkohle soll vor allem

---

<sup>1</sup> Nierenersatzverfahren zur Behandlung einer Nierenversagen

<sup>2</sup> Nierenersatzverfahren um Flüssigkeit und gelöste Moleküle aus dem Blut zu filtern

<sup>3</sup> Entfernung von Giftstoffen bei akuten Vergiftungen außerhalb des Körpers

Erkrankungen im Magen-Darm-Trakt heilen und bei Haut- und Stoffwechselproblemen helfen.

In der Dresdener Umgebung sind ca. 20 größere Stallanlagen gelistet und eine Vielzahl an kleineren, privaten Pferdehöfen. In Sachsen ist die Pferdehaltung und -zucht sehr kleinteilig, mit diversen privaten Einzelhaltungen aufgestellt. Auch landwirtschaftliche Betriebe führen mehrheitlich nur kleine Bestände mit max. 10 Pferden. Das vorrangige Haltungssystem ist die Einzelbox mit Auslauf und Weidegang [96]. Als Futterkohle kann Pflanzenkohle an jede\*n Pferdehalter\*in verkauft werden. Ein Vertrieb über Futterhandelsetriebe wie Krämer, Loesdau, Raiffeisen und diversen kleineren Pferdefutterhändler wäre dafür sehr zu empfehlen. Auch bei den Tierärzt\*innen und Pferdeheilpraktiker\*innen der Umgebung könnte auf die regionale Pflanzenkohle aufmerksam gemacht werden. Bei Pferdefuttermitteln ist im Vergleich zu anderem Viehfutter ein geringerer Preisdruck zu erwarten, da Pferdehalter\*innen oftmals weniger preissensibel sind. Die Qualität der Pflanzenkohle und ein gutes Marketing scheinen entscheidend.

Als Einstreu ist Pflanzenkohle insbesondere bei Pferden in Stallhaltung sinnvoll. Bei Offenstall oder Robusthaltung<sup>4</sup> ist keine hohe Nachfrage zu erwarten. Stroh ist als Einstreu weit verbreitet, weist jedoch eine Vielfalt an Nachteilen auf, wie geringe Saugfähigkeit, erschwertes Ausmisten, Staubentwicklung und Beschwerden bei Pferden die zu viel vom Stroh fressen. Es gibt existieren Alternativen wie Strohpellets (230-340 €/t) oder Holzpellets (ca. 220 €/t) und Sägespäne (ca. 550-820 €/t). Da bisher die Einstreu oft direkt auf den Stallboden (Beton) ausgebracht wird, könnten auch Einstreu-Kombinationen erfolgsversprechend sein. Beim sogenannten Matratzeneinstreu werden Verschmutzungen nicht entfernt, sondern mehrere Wochen überstreut, bis dann alles meist maschinell entfernt wird. Hier ist ein Vorgehen simultan zu Viehbetrieben sinnvoll, insbesondere da Pferde recht lungenempfindliche Tiere sind, die auf hohe Ammoniakbelastungen im Stall schnell mit chronischen Atemwegserkrankungen reagieren können. In der Pferdehaltung gibt es jedoch zusätzlich das weit verbreitete vorgehen, die Boxen einmal täglich händisch auszumisten, also die Pferdeäpfel und bei Stroh auch das besonders verschmutzte Einstreu zu entfernen, bevor neues eingebracht wird. Ein pflanzenkohlehaltiges Einstreu müsste diesem Nutzungsszenario gerecht werden. Insbesondere wenn primär Stroh als Einstreu verwendet wird, kann Pflanzenkohle jedoch an vielfacher Stelle positiv wirken: Einerseits wird die Saugfähigkeit erhöht, der Ammoniakgeruch reduziert und die Kompostierungsgeschwindigkeit und Qualität der, momentan sehr zeitaufwendig zu kompostierenden, strohbasierten Misthaufen erhöht. Letzteres ist durchaus relevant, da in der Pferdehaltung oft große Mengen Strohmist anfallen die lange Zeit viel Platz einnehmen und schwer vermarktbar sind.

#### **2.1.3.7 Bodenrestaurierung und Humusaufbau**

Aktivierte Pflanzenkohle (Aktivkohle) kann ausgelaugte und geschädigte Böden regenerieren und einen Humusaufbau initiieren und langfristig fördern. Bei schadstoffbelasteten Böden kann durch Pflanzenkohle-Anwendung die Belastung gesenkt werden, da Pflanzenkohle Schadstoffe absorbieren und langfristig halten kann. [40] Diese Fähigkeiten unterscheidet Pflanzenkohle von anderen

---

<sup>4</sup> artgerechte Haltung im Freien in Gruppen mit Auslauf und individueller Fütterung

Bodenverbesserern und könnte für geschädigte Böden ein singuläres Verkaufsargument werden, insbesondere in Kombination mit Kohlenstoffsinken-Zertifikaten, die den finanziellen Spielraum der Landwirte vergrößern. Mögliche regionale Partner wäre die Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH, die z.B. für die Senftenberger Seen & Braunkohletagebau-Rekultivierungsflächen zuständig ist. Bei den aktuellen Marktpreisen für Pflanzenkohle (400 - 1200 €/t, je nach Qualität und Zulassung) und einem Preis von 119€ pro t CO<sub>2</sub> Äquivalent (<https://platform.carbonfuture.earth/balancer/portfolios>) ergibt sich ein durch die Zertifikate erreichbarer Zuschuss von ca. 350€ für eine Tonne Pflanzenkohle. Wobei diese ca. 3,5 t CO<sub>2</sub> Äquivalent entspricht und 1,16 t CO<sub>2</sub> Äquivalent in den Boden eingebracht werden. Dadurch wird trotz des langsamen Pflanzenkohle-Abbaus eine Senke von einer Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent über 100 Jahre garantiert. Bei der Anwendung von 10 t Pflanzenkohle auf einem Hektar landwirtschaftlicher Fläche muss der/die Landwirt\*in also trotz Senken-Zertifikaten mit Kosten von ca. 6.000€/ha rechnen. Dies ist für Landwirt\*innen meist finanziell nicht darstellbar, da der Ertrag aus der Ernte pro Hektar geringe oder keine Gewinne hervorbringt.

Als Lösung ist zu empfehlen, dass staatliche Subventionen für die Bodenrestaurierung und den Humusaufbau mit Pflanzenkohle angeboten werden. Dadurch stiege die Rentabilität eines Pflanzenkohleunternehmens in der angedachten Region und sinke ökologischer Fußabdruck des Unternehmens.

In der Bodenrestaurierung ist der Einsatz von Aktivkohlen üblich. Die Oberfläche von Pflanzenkohle kann durch ein Aktivierungsverfahren bspw. mit Wasserdampf erhöht und die Pflanzenkohle zu Aktivkohle aufgewertet werden. Der Preis für eine Aktivkohle ist momentan mit 2€/kg niedrig und setzt Pflanzenkohle unter Preisdruck. Außerdem hat Pflanzenkohle ein um ca. Faktor 3 geringeres Adsorptionsvermögen als Aktivkohle.

Bei chemisch belasteten Böden, z.B. mit Schwermetallen könnte Pflanzenkohle im Rahmen einer Dekontamination ein wichtiger Baustein sein. So konnte in Südamerika mit Hilfe von magnetisierter Pflanzenkohle die Belastung der Böden von Kakao-Plantagen gesenkt werden, dass der Kakao die europäischen Grenzwerte für das Schwermetall Cadmium unterschritt und wieder in den lukrativen europäischen Markt eingeführt werden durfte. [110] Demzufolge kann sich Pflanzenkohle zur Bodenrestaurierung auf jeden Fall lohnen, jedoch eher nicht bei den massiv unter Preisdruck stehenden Cash-Crops wie Weizen oder Mais. Kann der/die Landwirt\*in jedoch aufgrund des Pflanzenkohle Einsatzes höherpreisige Feldfrüchte mit höheren Erträgen anbauen, kann die Investition in die Bodenqualität durchaus rentabel sein. Die hohen Investitionskosten schrecken jedoch Landwirt\*innen ab, sodass die Schaffung von attraktiven Finanzierungsmodellen für dieses Marktsegment nötig ist.

Je nährstoffärmer die experimentellen Bedingungen des Pflanzenwachstums, desto stärker war dessen relative Stimulation durch die mitkompostierte Pflanzenkohle [80]. Mittlerweile wurde die Eigenschaft Nitrat zu binden auch für Pflanzenkohle bei der natürlichen Alterung in einem Sandboden nachgewiesen [81].

#### **2.1.3.8 Stadt- und Straßenbäume**

Pflanzenkohle wird vermehrt als Additiv in einer Bodensubstratmischung für den Wurzelraum von Stadtbäumen (nach dem „Stockholmer Modell“-

Baumpflanzsystem) eingesetzt. Die Pflanzenkohle bewirkt eine Durchlüftung des Wurzelraumes, wodurch die Bäume witterungsbedingten Stress und Salzkonzentrationen resistenter gegenüberreten können ([26], [38] u. [39]).

In Dresden ergibt sich für diese Anwendung ein großes Potential durch einen Bestand von rund 104.000 Bäumen - wovon rund 54.500 Straßenbäume sind. Knapp 600 neue Bäume sind für die Pflanzsaison 2020/21 geplant. Es wären 1.000 Neupflanzungen pro Pflanzsaison nötig, um den anvisierten Baumbestand von 64.300 Bäumen in 10 Jahren zu erreichen [27]. Ebenso in Städten der direkten Umgebung, wie Riesa, Meißen, Radebeul und Pirna, soll der Stadtbau Bestand erhöht und vor den Folgen des Klimawandels geschützt werden. Zudem liegen große Städte wie Leipzig (1.000 geplante Neupflanzungen von Stadtbäumen pro Jahr [28]), Chemnitz (33.000 Straßenbäume mit vermehrt auftretenden Trockenschäden [29]) und Cottbus innerhalb eines Radius von 100 km um Dresden und sind somit als potenzielle Kundschaft für die Pflanzenkohleanwendung bei Stadtbäumen zu betrachten. Neupflanzungen auf städtischem Grund und Flächen unterliegen städtischen Vorgaben, wodurch kommunale Grünflächenämter die Zielgruppe für dieses Marktsegment sind. Pflanzenkohle ist als Bestandteil von Feinsubstrat bei der Wurzelapplikation nachgewiesen anwendbar und es bietet die Möglichkeit, nicht EBC-zertifizierte Pflanzenkohle gewinnbringend einzusetzen.

Eine weitere Zielgruppe ist die sächsische Schlössen, Burgen und Gärten (SBG) gGmbH, welche 19 Objekte, davon die meisten im Großraum Dresden, betreut [30]. Die großflächigen Parkanlagen sollen neben ästhetischen und historischen Ansprüchen auf die Klimaerwärmung und zunehmende Extremwetterlagen vorbereitet werden. Beladene Pflanzenkohle kann durch Wurzelapplikation mit Bohrlöchern in den Boden eingearbeitet werden, um die historisch gewachsenen Bäume und weitere Gewächse für die neuen klimatischen Bedingungen zu stabilisieren.

Da eine übliche Stadt- und Straßenbaum-Pflanzengrube in Deutschland 3x3x1,5 m groß ist, ergibt sich ein Volumen von 12 m<sup>3</sup>. In dieser darf jedoch organisches Material nur 2% ausmachen, weshalb zum Füllen vor allem leichtes Gestein wie Bimsstein oder Ziegel verwendet wird. Lediglich unter der Tragschicht von 1,5 m darf ein Wurzellockstoff/-substrat eingebracht werden, dessen Konzentration an organischem Material theoretisch beliebig hoch sein darf. Diese Schicht ist jedoch meist dünn, da die Gruben bei weiterer Tiefe oft abgestützt werden müssten. Ein Aufwand, den man zu vermeiden versucht. Bei einem Baums substrat, dass in der Tragschicht aus 2% beladener Pflanzenkohle besteht und in einer Wurzellockschicht von 5 cm Höhe aus 50% Pflanzenkohle, ergibt sich pro Pflanzgrube ein Bedarf an 0,69 m<sup>3</sup> Pflanzenkohle. Bisher verwendete (mineralische) Substrate kosten ca. 50€/t. In Dresden werden diese zum Beispiel von der Firma Nordmineral angeboten, die ökologischen Neuerungen offen gegenübersteht.

Pflanzenkohle als Kohlenstoffs Senke im Zusammenhang mit Zertifikaten für C-Speicherung kann in diesem Bereich eine wichtige Bedeutung haben, da dies die Klimapläne der Städte unterstützt.

#### **2.1.3.9 Klärwerk**

Pflanzenkohle und aus Pflanzenkohle hergestellte Aktivkohle können in Klärwerken als 4. Reinigungsstufe genutzt werden. Dabei sollen sie insbesondere

Medikamentenrückstände und Pestizide binden und so die Einleitung in Gewässer reduzieren.

Aktivkohle kann aus Pflanzenkohle hergestellt werden, es wird jedoch eine weitere Aufarbeitung mit Säure oder 1.200 °C heißem Wasserdampf benötigt. Dies erhöht die spezifische Oberfläche von ca. 300 m<sup>2</sup>/g Pflanzenkohle auf über 1.000 m<sup>2</sup>/g Aktivkohle. In Anwendungen im Klärwerk oder in der Viehhaltung kann man die geringere Oberfläche der Pflanzenkohle mit einer Verdreifachung der Menge leicht ausgleichen. Das bringt sowohl preisliche Vorteile, da Aktivkohle 5-8-mal so teuer wie Pflanzenkohle ist, und ökologische Vorteile, da momentan Aktivkohle meist aus Südostasien oder in Südamerika unter bedenklichen Bedingungen hergestellt wird [63]. Die Aktivkohleherstellung aus Pflanzenkohle kann somit durchaus lukrativ sein, insbesondere bei industriellen Anwendungen. Pflanzenkohle könnte aber auch ohne zusätzliche Behandlung Anwendungsbereiche der momentan verwendeten Aktivkohle übernehmen. Es wäre dann eine höhere Dosierung nötig, um die geringere innere Oberfläche auszugleichen.

Die Stadtentwässerung Dresden GmbH betreiben mit 670.000 Kunden in der Region Ostsachsen auch das größte Klärwerk der Region in Dresden-Kaditz und behandeln jährlich ca. 55 Mio. m<sup>3</sup> Abwasser. Bisher hat die Anlage drei Reinigungsstufen, es werden externe Kompostierungen mit Primärschlamm und Überschussschlamm durchgeführt.

#### **2.1.3.10 Biogasanlagen**

In einer Biogasanlage werden zur energetischen Nutzung häusliche, landwirtschaftliche, organische, gewerbliche und kommunale Stoffe einer anaeroben Gärung unterworfen. Endprodukte dieses Prozesses sind Biogas und Faulschlamm, der durch seinen Nährstoffgehalt als hochwertiger Dünger eingesetzt werden kann [95]. Pflanzenkohle wirkt bei Biogasanlagen als Beigabe erwiesenermaßen prozessstabilisierend und erhöht die Ausbeute an Gas um ca. 5%. Gärreste aus der Biogasanlage können zudem zu Pflanzenkohle verkohlt werden, Versuche mit 70% Gärresten und 30% Holzschnitzel im Batch Reaktor wurden erfolgreich durchgeführt. [112]

Über 300 Biogasanlagen sind in Sachsen (2020) am Netz, davon mehr als 260 in landwirtschaftlichen Betrieben mit ca. 110 MW Leistung [95]. Die installierte elektrische Leistung aller knapp 400 Biogasanlagen in Brandenburg beträgt etwa 240 MW [94]. Pyrolysegas kann in Biogasanlagen eingeleitet werden und führt durch den hohen Wasserstoffgehalt zu erhöhten Ausbeuten. In Sachsen sind Biogasanlagen zudem häufig ans Nahwärmenetz angeschlossen. Von dieser Infrastruktur können auch Pyrolyseanlagen profitieren, da eine Genehmigung als Kraftwerk mit geringeren Auflagen verbunden ist als eine Genehmigung als Produktionswerk.

#### **2.1.4 Analyse des Beschaffungsmarktes (AP 2.4)**

Die Beschaffung des organischen Materials zur Pyrolyse verdient besondere Aufmerksamkeit. Aktuell ist nur Holz zugelassen, eine Änderung in der EU Gesetzgebung, die sich stark an der „White list“ des EBC Standards orientieren wird, ist jedoch für Sommer 2022 geplant. Eine ausführlichere Analyse des Beschaffungsmarktes für Ausgangsstoffe für die Pyrolyse wurde somit in die Machbarkeitsphase übertragen. In der Sondierungsphase wurden erste

Kontakte zu den Staatsbetrieb Sachsenforst gepflegt, da aktuell hohe Mengen Schadholz aus dem Borkenkäfer Kalamitäten anfallen. Des Weiteren wurden Betriebe der Umgebung, bei denen Nussschalen, Obstkerne, Presskuchen oder Trester anfallen, gelistet und kontaktiert. Die Ergebnisse sind gekürzt in Tabelle 1. zu sehen.

| Ausgangsmaterial                                                                  | Bezeichnung Biomasse           | Name                                       | Interesse?            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|
| Trester, Kerne, Schalen, Schrote oder Pressrückstände (z.B. von Ölmühlen, Treber) | Treber Brauereien              | Böhmisch Brauhaus                          | angefragt             |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | Frenzel Bräu                               | Nein                  |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | Bautzener Brauerei GmbH                    | angefragt             |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | Radeberger                                 | Erstmal nicht.        |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | Stadtbrauerei Wittichenau                  | angefragt             |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | Lieske                                     | Nein                  |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | Feldschlösschen                            | Nein                  |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | Braumanufaktur Radebeul                    | angefragt             |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | Lohrmanns Brew                             | Nein                  |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | Vier Vogel Pils                            | angefragt             |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | Hausbrauerei Schwingenheuer                | Ja, aber zu wenig     |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | Brauhaus am Waldschlösschen                | angefragt             |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | Meißner Schwerter                          | angefragt             |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | Adler                                      | angefragt             |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | Brauhaus Radebeul                          | angefragt             |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | TU D Forschungsbrauerei                    | angefragt             |
|                                                                                   | Treber Brauereien              | Watzke                                     | angefragt             |
|                                                                                   | Nussschalen                    | Nudossi                                    | nein                  |
| Apfel- und Beerentrester                                                          | Nussschalen                    | Walnussmeisterei Böllersen                 | angefragt             |
|                                                                                   | Nussschalen                    | Concorde                                   | nein                  |
|                                                                                   | Nussschalen                    | Sachsenobst                                | nein                  |
|                                                                                   | Apfel- und Beerentrester       | Kelterei Sachsenobst                       | ja                    |
|                                                                                   | Obsttrester jeglicher Art (vor | Obsthof Rüdiger                            | nein                  |
|                                                                                   | Erdbeerpflanzenzweige, Ora     | Marmeladen Mädchen                         | ja                    |
|                                                                                   | /                              | Sachsen Cider                              | nein                  |
|                                                                                   | /                              | DEIN Saft GmbH                             | nein                  |
|                                                                                   | Obsttrester jeglicher Art (vor | Kelterei Schöne                            | ja                    |
|                                                                                   | Obsttrester jeglicher Art      | Freitaler Fruchtsaft GmbH (Lohnmostverarb  | (ja)                  |
|                                                                                   | Aroniatrester                  | Aronia ORIGINAL Naturprodukte              | nein, verwerten alles |
|                                                                                   | Obsttrester jeglicher Art (vor | Kelterei Walther GmbH                      | angefragt             |
|                                                                                   | Obsttrester jeglicher Art (vor | Eichhorn's Fruchtsäfte und Fruchtweine     | ja                    |
|                                                                                   | Obsttrester jeglicher Art (vor | Obstkelterei Kurt Heide                    | (ja)                  |
|                                                                                   | /                              | Sachsenland Fruchtquell GmbH               | nein                  |
|                                                                                   | Apfel- und Beerentrester       | Mitschke Kelterei                          | nein                  |
|                                                                                   | Apfeltrester                   | Mobile Mosterei Mildenau Gbr               | ja                    |
| Trester, Weintrub, Schlamm                                                        | Obsttrester jeglicher Art (vor | Klaus Fruchtsäfte & Cannewitzer Biere      | nein                  |
|                                                                                   | Obst- und Gemüsestreter (vor   | KEKILA Kelterei Kitsche                    | weil kann nichts bez  |
|                                                                                   | Obsttrester jeglicher Art (vor | Kelterei Oese                              | nein                  |
|                                                                                   | Obsttreter jeglicher Art (vor  | Gut Pesterwitz                             | nein                  |
|                                                                                   | Alkoholbrennereirückstände     | Dresdner Spirituosen Manufaktur            | nein                  |
|                                                                                   | Alkoholbrennereirückstände     | Radebeuler Destille                        | nein                  |
|                                                                                   | Tabak, Tabakstaub, -grus, -ri  | Zigarrenmanufaktur Dresden                 | nein                  |
|                                                                                   | Trester, Weintrub, Schlamm     | Hoflößnitz                                 | ja, an Pflanzenkohle  |
|                                                                                   | Trester, Weintrub, Schlamm     | Weingut Schuh                              | nein                  |
|                                                                                   | Trester, Weintrub, Schlamm     | Weingut Drei Herren                        | nein                  |
|                                                                                   | Trester, Weintrub, Schlamm     | Weingut Karl Friedrich Aust                | nein                  |
|                                                                                   | Trester, Weintrub, Schlamm     | Weingut Klaus Zimmerling                   | nein                  |
|                                                                                   | Trester, Weintrub, Schlamm     | Böttcherei und Weinbau Götze               | nein                  |
|                                                                                   | Trester, Weintrub, Schlamm     | Kastler Friedland Winzer                   | nein                  |
|                                                                                   | Trester, Weintrub, Schlamm     | Retzschgut Klaus Seifert                   | nein                  |
|                                                                                   | Trester, Weintrub, Schlamm     | Sächsische Winzereigenossenschaft Meißer   | angefragt             |
|                                                                                   | Trester, Weintrub, Schlamm     | Sächsisches Staatsweingut GmbH             | angefragt             |
|                                                                                   | Trester, Weintrub, Schlamm     | Weinbau Fehrmann                           | nein                  |
|                                                                                   | Trester, Weintrub, Schlamm     | Weingut Andreas Henke                      | nein                  |
| Ölsaatenrückstände (Pressk                                                        | Filterrückstände               | Dörnthaler Ölmühle                         | ja, schicken Probe    |
|                                                                                   | Ölsaatenrückstände (Pressk     | Ölmühle Moog GmbH                          | ja, wollen Geld       |
|                                                                                   | Ölsaatenrückstände (Pressk     | Ölmühle Willy Weise's Erben                | ja, wollen Geld       |
|                                                                                   | Ölsaatenrückstände (Pressk     | Lausitzer Ölmühle                          | nein                  |
|                                                                                   | Ölsaatenrückstände (Trüböl,    | Ölfreund/Ölwerk GmbH                       | ja                    |
|                                                                                   | Ölsaatenrückstände (Pressk     | Jonas Bornschein Landwirtschaftsbetrieb ur | angefragt             |

Tab. 1: Darstellung eines Auszuges der Kontaktierten Betriebe

Die Ölmühle Doehrnthal hat sogar eine Probe des Presskuchens eingeschickt, der im Rahmen der Sondierungsphase untersucht und in einem Pyrolyse Fass (dem früheren Köhlern nachempfunden) zu Pflanzenkohle verkohlt wurde.

Der Beschaffungsmarkt für die Beladungslösung ist sehr divers. Da getrocknete Brennesseln der Hauptbestandteil der Beladungslösung sind, diese aber vor allem in Kleistmengen als Tee oder Futterzusatz vertrieben werden, liegen die Preise oftmals bei (deutlich) über 12 € pro kg Trockengewicht. Für ca. 22 € pro kg gibt es im Baumarkt/Gartencenter Brennesselpellets von der Marke Naundorff, die für das Ansetzen einer Brennesselbrühe im Verhältnis 150 g zu 10 l verwendet werden können. Die hohen Preise sind zum einen dem geringen Absatz in wenig preissensiblen Segmenten geschuldet, aber auch die schwere Kultivierbarkeit von Brennesseln mag eine Rolle spielen. Brennesseln werden im größeren Maßstab meist als Jungpflanzen im Gewächshaus gezogen, müssen bestimmten Temperaturen ausgeliefert sein und benötigen mechanische Unkrautbeseitigung, obwohl sie doch oft selbst als Unkraut gelten. Dieser Umstand kann durchaus genutzt werden. So befinden sich auch in und um Dresden Standorte, an denen Brennesseln die absolut dominierende Art darstellen. In der Sondierungsphase wurden Brennesseln an der Elbe direkt beim Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft geerntet und verwendet. Viele Landwirte sind im Besitz von brennesselreichen Flächen, die sie bisher nicht oder nur geringfügig nutzen. Hier gibt es durchaus Potential, lokale Kreisläufe zu schaffen. Es muss beachtet werden, dass trotz der von externen Faktoren abhängigen Inhaltsstoffe der Brennesseln ein standardisiertes Produkt gewährleistet werden kann.

### 2.1.5 Wettbewerbsanalyse

Der europäische Markt weist einige Wettbewerber auf, die Pflanzenkohle für den landwirtschaftlichen Sektor vermarkten, wie in Tabelle 2 zusammengefasst ist.

| Name                                                                      | Land      | Typ                  | Produkt                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Fetzer Rohstoffe + Recycling GmbH, ETG Entsorgung + Transport GmbH</b> | <b>DE</b> | Reseller             | Pflanzenkohle                                                  |
|                                                                           |           |                      | Futterkohle für Katzen und Hunde                               |
| <b>Dehner (OnlineShop)</b>                                                | <b>DE</b> | Reseller             | Pflanzenkohle                                                  |
| <b>CarbonGold</b>                                                         | <b>UK</b> | Reseller             | Div. Pflanzenkohleprodukte (Kompost, Dünger, Bodenverbesserer) |
| <b>EGoS Group, Pflanzenkohle24.de, bionaturplus.de</b>                    | <b>DE</b> | Produzent + Reseller | Pflanzenkohle                                                  |
|                                                                           |           |                      | Futterkohle                                                    |
|                                                                           |           |                      | Güllekohle                                                     |
|                                                                           |           |                      | Einstreu                                                       |
|                                                                           |           |                      | Terra Preta Erde                                               |
| <b>CarboVerte GmbH</b>                                                    | <b>DE</b> | Reseller             | Pflanzenkohle                                                  |

|                                                                          |            |                     |                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------|-------------------------------------------------------|
|                                                                          |            |                     | Pflanzenkohle (Landwirtschaft)                        |
|                                                                          |            |                     | Futterkohle                                           |
| <b>Freie Universität Berlin/CarboTIP</b>                                 | <b>DE</b>  | Produzent           |                                                       |
| <b>TerraAnima/ Horst Wagner Kompostbau, Terra Preta, Pflanzenkohle</b>   | <b>DE</b>  | Reseller            | Reine Pflanzenkohle (für Bokashi)                     |
|                                                                          |            |                     | Aktivierte Pflanzenkohle                              |
| <b>BASNA</b>                                                             | <b>SRB</b> | Produzent           | Pflanzenkohle                                         |
|                                                                          |            |                     | Futterkohle                                           |
| <b>Carbonis GmbH &amp; Co KG</b>                                         | <b>DE</b>  | Produzent           | Futterkohle                                           |
|                                                                          |            |                     | Bodenkohle aus Waldholz                               |
| <b>Carbuna</b>                                                           | <b>DE</b>  | Produzent           | Futterkohle                                           |
|                                                                          |            |                     | Biogas-Kohle                                          |
| <b>CarbonCycle</b>                                                       | <b>DE</b>  | Produzent           | Pflanzenkohle, Futterkohle                            |
| <b>Christoph Fischer GmbH/ EM Chiemgau</b>                               | <b>DE</b>  | Produzent, Reseller | Pflanzenkohle                                         |
|                                                                          |            |                     | Futterkohle                                           |
| <b>BHKW Jaeger</b>                                                       | <b>DE</b>  | Produzent, Reseller | Futterkohle, Pflanzenkohle (grob)                     |
|                                                                          |            |                     | Futterkohle, Pflanzenkohle (gemahlen)                 |
| <b>Sonnenerde</b>                                                        | <b>AUT</b> | Produzent, Reseller | Futterkohle, Pflanzenkohle                            |
|                                                                          |            |                     | Güllekohle                                            |
| <b>BIOCHAR GmbH &amp; Co. KG</b>                                         | <b>DE</b>  | Produzent, Reseller | Pflanzen- und Futterkohle (+ für menschlichen Bedarf) |
| <b>Brooko GmbH &amp; Co. KG</b>                                          | <b>DE</b>  | Produzent, Reseller |                                                       |
| <b>EnergieWerk Ilg GmbH</b>                                              | <b>AUT</b> | Produzent, Reseller | Pflanzen- und Futterkohle                             |
| <b>Greenpoch SA</b>                                                      | <b>FR</b>  | Produzent, Reseller | Biokohle, Terra Preta                                 |
| <b>AWN Abfallwirtschaftsgesellschaft des Neckar-Odenwald-Kreises mbH</b> | <b>DE</b>  | Produzent           | Pflanzen- und Futterkohle                             |
| <b>Novo Carbo GmbH</b>                                                   | <b>DE</b>  | Produzent           | Pflanzen- und Futterkohle                             |
| <b>Wehrmann's Lärchenhof GmbH</b>                                        | <b>DE</b>  | Produzent, Reseller | Pflanzenkohle                                         |
| <b>Verora GmbH</b>                                                       | <b>DE</b>  | Produzent, Reseller | Pflanzen- und Futterkohle, Einstreukohle              |
| <b>CARBOFEX</b>                                                          | <b>FIN</b> | Produzent           | Angebote auf Anfrage per Mail                         |
| <b>BC Biochange GmbH</b>                                                 | <b>AUT</b> |                     | Website nicht auffindbar                              |
| <b>Terra Fischer GbR</b>                                                 | <b>DE</b>  | Produzent, Reseller | Pflanzenkohle                                         |
| <b>EM-Technologiezentrum Süd GmbH</b>                                    | <b>DE</b>  | Reseller            | Pflanzen- und Futterkohle                             |
| <b>Geiger Pflanzenkohle und Energie UG</b>                               | <b>DE</b>  | Produzent           | Website nicht auffindbar                              |

|                                                          |            |                     |                                                      |
|----------------------------------------------------------|------------|---------------------|------------------------------------------------------|
| <b>ProE Bioenergie GmbH</b>                              | <b>DE</b>  | Reseller            | Futterkohle, Einstreukohle, Güllekohle               |
| <b>Nordgau Carbon GmbH &amp; Co.KG</b>                   | <b>DE</b>  | Produzent           | Pflanzen- und Futterkohle, Einstreukohle, Güllekohle |
| <b>Terra Magica GmbH</b>                                 | <b>DE</b>  | Reseller            | (behandelte) Pflanzenkohle                           |
| <b>Klimafarmer</b>                                       | <b>DE</b>  | Reseller            | belebte Pflanzenkohle                                |
| <b>HerbaCarbo GbR Timo Ferdinand und Andreas Scherer</b> | <b>DE</b>  | Produzent, Reseller | Pflanzenkohle aus Kräutern                           |
|                                                          |            |                     | Pflanzenkohle aus Holzhackschnitzeln                 |
| <b>RU Recycling- und Umweltdienst GmbH</b>               | <b>DE</b>  | Produzent           | Pflanzenkohle                                        |
| <b>Niterra GmbH</b>                                      | <b>DE</b>  | Produzent, Reseller | Pflanzen- und Futterkohle                            |
| <b>LUCRAT GmbH</b>                                       | <b>DE</b>  | Produzent           | Biogaskohle                                          |
| <b>GreenCarbon GmbH</b>                                  | <b>DE</b>  | Produzent           | Pflanzenkohle                                        |
| <b>CharLine GmbH</b>                                     | <b>AUT</b> | Produzent           | Futterkohle, Biogüllekohle                           |

*Tab. 2: Auflistung von Wettbewerbsunternehmen mit ihrer Marktpositionierung. Produktpreise, Standort, Größe (MA Anzahl, Jahresumsatz), jeweils Stärken und Schwächen sind in der ausführlichen Ausgangstabelle zusätzlich enthalten.*

Bei der Wettbewerbsanalyse ist zu beachten, dass der Bereich Pflanzenkohle aktuell nicht sonderlich kompetitiv ist. Dies liegt sowohl an dem schnellen Wachstum vom Absatzmarkt und –menge, als auch an der engen Vernetzung und ideologischen Verbundenheit vieler Akteur\*innen. So wurden wir als zukünftige Unternehmer\*innen im Bereich Pflanzenkohle Produktion, Beladung und Vertrieb von potentiellen Konkurrenten herzlich in die Gemeinschaft, wie z.B. den Fachverband Pflanzenkohle e.V., aufgenommen und ehrlich unterstützt von vielen Seiten. Der regionale Fokus der Forschung und des geplanten Unternehmens sind hierbei sicherlich förderlich. Mit Pflanzenkohle handelnde Firmen gibt es in Sachsen bisher nur CarboVerte als Handelsfirma für Pflanzenkohle-Produkte und z.Z. zwei Terra Preta herstellende Firmen (terra anima, Humusmanufaktur), die Erden und Pflanzenkohle B2C anbieten. In kleinen Mengen ist Pflanzenkohle zudem in Dehner Gartencentern erhältlich. B2B-Anbieter für (beladene) Pflanzenkohle in BigBag-Größenordnung gibt es in Sachsen, Thüringen und Brandenburg derzeit nicht (s. Abbildung 9).



Abb. 9: Darstellung der Pflanzkohle Produzenten, Händler und der Händler, die einen Teil ihrer Pflanzkohle selbst herstellen (ohne Dehner Gartencenter für Übersichtlichkeit)

In Deutschland, Schweden, der Schweiz und Österreich gibt es europaweit die meisten Pflanzkohle-produzierenden Unternehmen. Der Osten von Deutschland, Tschechien und Polen sind jedoch kaum besetzt (s. Abbildung 9). Im Anbetracht der positiven Klimabilanz wäre ein regionales Unternehmen im Vorteil, z.B. bei der Zertifizierung als Kohlenstoffsenke. Es gibt jedoch mehrere Unternehmen, die europaweit Pflanzkohle vertreiben. Eines der größten davon ist NovoCarbo GmbH mit Sitz in Rheinland-Pfalz, die ihre Pflanzkohle bis nach Skandinavien handeln. Mit diesem Unternehmen bestand ein enger Austausch in der Sondierungsphase dieses Projektes.

### 2.1.6 Analyse des Arbeitsmarktes

Der Unternehmenserfolg hängt auch davon ab, ob die richtigen Mitarbeiter\*innen gefunden werden. In einigen Branchen scheitern unternehmerische Vorhaben am Fachkräftemangel. Recherchequellen sind in diesem Zusammenhang diverse Stellenbörsen im Internet, sowie die Jobbörse der Arbeitsagentur. Zuvor muss der Personalbedarf ermittelt und für die einzelnen Stellen die Anforderungen an die Bewerber\*innen formuliert werden.

In diesem Forschungsvorhaben wird von der Gründung eines regionalen Unternehmens im Umland von Dresden ausgegangen, welches Pflanzkohle herstellt, belädt und vertreibt. Wie vorher erwähnt, spielt für den Erfolg dieses Vorhabens die Personalplanung eine maßgebliche Rolle. Benötigt werden Fachkräfte für die Herstellung, den Verkauf und die Beratung. Doch auch Mitarbeiter\*innen im technischen und logistischen Bereich sind unverzichtbar. Im folgenden Kapitel wird das geplante Personal für den kontinuierlich laufenden Betrieb vorgestellt, sowie die Personalkosten und das Fachkräfteangebot in Dresden und Umgebung aufgezeigt.

Eine wichtige Funktion übernimmt zunächst das (Sales-)Management. Dieses bildet die Leitung des Unternehmens und übernimmt vor allem den Vertrieb der Pflanzkohle und organisatorische Aufgaben. Hierzu gehört u.a. die Kundenberatung und -akquise. Weitere Tätigkeiten umfassen das Marketing und

Personalmanagement. Der Aufgabenbereich der Buchführung und der Disposition übernimmt bürokaufmännischen Fachpersonal (1-2 Personen). Des Weiteren kann sich diese auch materialwirtschaftlichen Angelegenheiten, sowie dem Qualitätsmanagement (Rohstoffe und Endprodukte) widmen. Im Allgemeinen überschneiden sich Aufgaben des Sales- und Qualitätsmanagements, weshalb eine enge Zusammenarbeit unabdingbar ist.

Die Fertigung der Pflanzkohle und prozessrelevante Aufgaben übernehmen 1-2 Techniker\*innen. Haupttätigkeiten sind z.B. Fertigungsabläufe koordinieren, sowie Wartungen planen/ausführen und die Instandhaltung von Maschinen und Werkzeugen. Die Verantwortung für die Pyrolyseanlage läge somit bei ihnen.

Zur Produktentwicklung und -verbesserung können des Weiteren 1 -2 Laborant\*innen beschäftigt werden. Diese können ebenfalls die Qualität der Rohstoffe und der Endprodukte eingehend analysieren und bewerten, was für die EBC Zertifizierung zusätzlich in einem externen Labor passiert. Anstatt einer Anstellung könnte eine Kooperation mit der TU Dresden in Frage kommen. Wissenschaftliche Mitarbeiter\*innen und/oder Werkstudent\*innen könnten aufgrund der wissenschaftlichen Expertise einen Mehrwert für das Unternehmen darstellen.

Ein weiterer wichtiger Beschäftigungszweig bildet die Logistik des Unternehmens. Innerbetrieblich müssen logistische Aufgaben wie die Lagerung und Materialbeschaffung übernommen werden. Für unterstützende Prozesse, wie den Transport von Rohstoffen und Endprodukten, wäre es sinnvoll mit einem Speditionsunternehmen zu kooperieren. Zwar könnte auch in ein Transportfahrzeug investiert werden (+ angestellte Fahrer\*in), jedoch ist mit hohen Anschaffungskosten zu rechnen.

Optional wäre es ebenfalls nützlich mit einem Gebäudereinigungsbetrieb zu kooperieren, um hygienisch einwandfreie Produktionshallen und Bürogebäude zu gewährleisten. Alternativ könnte auch eine Reinigungskraft eingestellt werden. In Tabelle 3 sind die benötigten Fachkräfte, deren Aufgaben und ungefähres Gehalt aufgeführt.

| Fachkräfte                                   | Anzahl | Kooperation mit anderen Unternehmen | Aufgaben                                                                                                               | Bruttogehalt pro Monat <sup>5</sup> | Angebot in Dresden (und Umgebung) <sup>6</sup> |
|----------------------------------------------|--------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>(Sales-) Manager*innen, Berater*innen</b> | 2      |                                     | Vertrieb, organisatorische Tätigkeiten, Personalmanagement, Kundenberatung und -akquise, Erstellung von Angeboten, ... |                                     | Übernehmen die Gründer*innen                   |
| <b>Bürokaufmännisches Personal</b>           | 1-2    |                                     | Buchführung, Disposition, Qualitätsmanagement (Endprodukte,                                                            | 1.690 €<br>-<br>2.160 €             | Über 200                                       |

<sup>5</sup> Quelle: <https://www.gehalt.de/beruf>

<sup>6</sup> Quelle: <https://jobboerse.arbeitsagentur.de/prod/vamJB/bewerberFinden.html?execution=e2s6>

|                                                           |     |   |                                                                                                  |                   |          |
|-----------------------------------------------------------|-----|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------|
|                                                           |     |   | Rohstoffe), Außendienst, ...                                                                     |                   |          |
| <b>Techniker*innen</b>                                    | 1-2 |   | Fertigungsabläufe koordinieren, Planung von Wartungen und Ausführungen von Instandhaltungen, ... | 1.800 € - 2.500 € | Über 200 |
| <b>Laborant*innen</b>                                     | 1-2 | x | Produktentwicklung und -verbesserung                                                             | 2.700 € - 3.800 € | Über 200 |
| <b>Logistiker*innen (u.a. LKW-Fahrer*innen)</b>           | 1   | x | Transport der Rohstoffe/Endprodukte                                                              | 1.700 € - 2.140 € | Über 200 |
| <b>Gebäudereinigungsfirma/Reinigungskräfte (optional)</b> | 1   | x | Reinigung der Produktionshalle/Büroräume                                                         | 1.400 € - 1.800 € | Über 200 |

Tab. 3: Auflistung von benötigten Personal inkl. Kosten und Aufgaben

Eine ausführlichere Darstellung der geplanten Personalausgaben in den nächsten Jahren erfolgt in Kapitel 2.2 (Finanzanalyse).

### 2.1.7 Ermittlung Marktpotential

2018 wurde der globale Pflanzenkohle Markt auf einen Wert von 1,3 Mrd. USD geschätzt, bei einer Nachfrage von 395.300 t pro Jahr. Die wachsende Nachfrage nach ökologischen Lebensmitteln und die ertragssteigernde Wirkung von Pflanzenkohle gelten als die wichtigsten Wachstumstreiber. Für mit Pyrolyse hergestellte Pflanzenkohle wird von einer jährlichen Wachstumsrate (CARG) von 13,8 % von 2016 bis 2025 ausgegangen. [37] Dabei hat das landwirtschaftliche Anwendungssegment (2018) 71,1% der gesamten Pflanzenkohle Nachfrage ausgemacht [31]. Zu welchen Anteilen Pflanzenkohle in der Landwirtschaft auf dem Feld, in der Viehhaltung und anderen Einsatzmöglichkeiten eingesetzt wird, ist nach Schmidt et al. [41] in Abbildung 10 dargestellt.

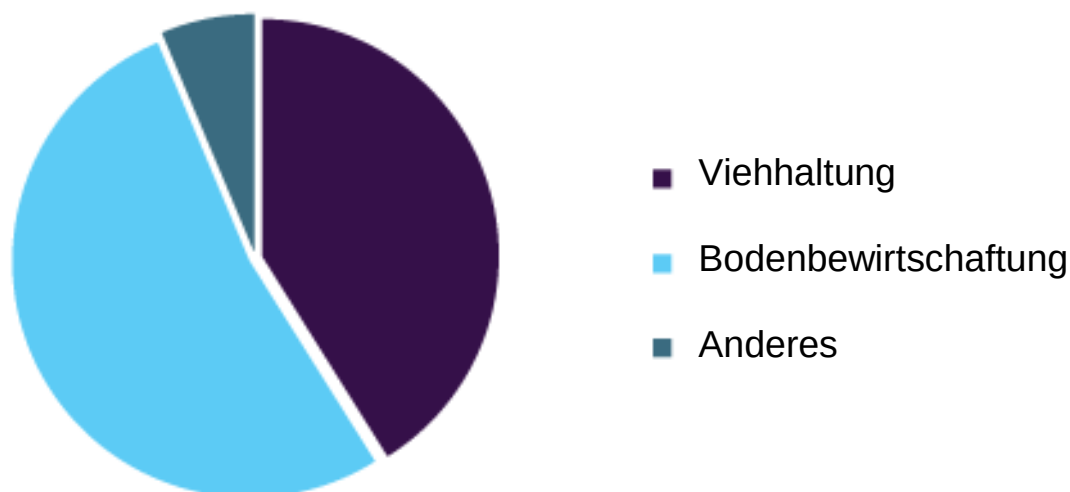


Abb. 10: Darstellung der Verwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft von Schmidt et al. [41]

Für die Entwicklung des Pflanzenkohleeinsatzes in der Landwirtschaft ist die Gesetzgebung auf europäischer Ebene entscheidend. Bei der aktuell diskutierten

Zulassung von weiteren (Abfall-)Stoffen als Ausgangsmaterial für die Pyrolyse auf EU Ebene, könnte Pflanzenkohle günstiger produziert werden und sich der Markt erweitern. Ebenfalls ist mit starken Zuwächsen zu rechnen, wenn Pflanzenkohle in der Treibhausgas-Kompensation eine breitere Anwendung findet und die Emissionspreise entsprechend der Bundesbeschlüsse in den nächsten Jahren immer weiter angehoben werden. Da Pyrolyseanlagen Pflanzenkohle als ein hochwertiges (Neben-)Produkt herstellen, wird erwartet, dass sie den Biogas Markt im Umsatz einholen [31].

Für die Klimaneutralität der EU muss bis 2050 ein jährliches Senkenvolumen von mind. 850 Mio. t CO<sub>2</sub>e geschaffen werden, s. Abbildung 11.

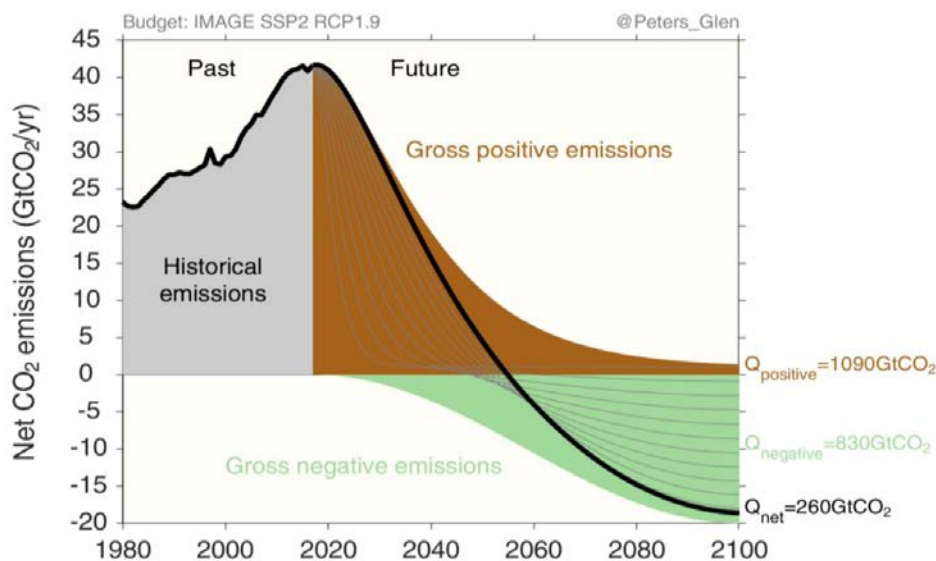


Abb. 11: Darstellung der notwendigen Emissionsentwicklung in Europa von H. Bier [35]

Die drei sofort verfügbaren Lösungen zur Kohlenstoffspeicherung sind:

- Aufforstung/Wiederaufforstung
- Pflanzenkohle/Biomasse-Pyrolyse
- Aufbau bodenorganischer Substanz

Dabei kann Pflanzenkohle zusätzlich den Ertrag steigern, Humusaufbau zu fördern, die Wasserspeicherfähigkeit von Böden und dadurch die Trockenresistenz erhöhen und Treibhausgasemissionen (Methan, Lachgas) sowie Nitratauswaschungen reduzieren [35].

Das Marktpotential wird begrenzt und eingerahmt durch die Düngemittelgesetzgebung, KrWG, BBSCHG und durch das Sächsische Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzgesetz. Diese Gesetze können umgangen werden, indem Produktions-Reststoffe als Wertstoffe, nicht als Abfall deklariert werden. D.h. die Auftraggeber\*innen entledigen sich nicht dem Stoff, sie verwerten ihn auch nicht stofflich im Betrieb, sondern sie lassen ihn in dem Pflanzenkohleproduktions-Unternehmen veredeln. Dies lohnt sich für sie, da die Weitergabe günstiger ist als die Entsorgung als „Abfall“. Für eine genauere Planung muss das neue EU-Düngemittelgesetz 2022 abgewartet werden. Durch die FiBL

Betriebsmittelliste (s. Abbildung 12) kann Pflanzenkohle seit 2020 auch im Biolandbau eingesetzt werden.

### Betriebsmittelsuche

#### Online Betriebsmittelsuche

#### Suche nach Betriebsmitteln für den ökologischen Landbau

|                       |                              |                    |                                                  |
|-----------------------|------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------|
| Kategorie<br>---      | Produktname<br>Pflanzenkohle | Anbieter/Firma<br> | Erlaubt nach:<br>Betriebsmittelliste Deutschl... |
| Unterkategorie<br>--- |                              |                    |                                                  |
|                       |                              |                    | <b>Suche</b>                                     |

| Anbieter/Firma                    | Produkt                                                                 | Kategorie                                                      |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <a href="#">BHKW Jäger</a>        | <a href="#">Pflanzenkohle</a>                                           | <a href="#">Gülle- und Mistzusätze, Organische Substra...</a>  |
| <a href="#">bionero</a>           | <a href="#">Holzkohle/Pflanzenkohle</a>                                 | <a href="#">Düngerzusätze, Gülle- und Mistzusätze, Zus...</a>  |
| <a href="#">Carbon Cycle</a>      | <a href="#">Öko Terr - Pflanzenkohle</a>                                | <a href="#">Gülle- und Mistzusätze, Organische Substra...</a>  |
| <a href="#">Carbonis</a>          | <a href="#">Pflanzenkohle</a>                                           | <a href="#">Organische Substratzuschlagstoffe</a>              |
| <a href="#">CarboVerte</a>        | <a href="#">CARBOGARDEN® reine Premium Pflanzenkohle 0-8 mm (+5 mm)</a> | <a href="#">Düngerzusätze, Gülle- und Mistzusätze, Org...</a>  |
| <a href="#">Carbuna</a>           | <a href="#">CPK Carbuna Pflanzenkohle</a>                               | <a href="#">Gülle- und Mistzusätze, Organische Substra...</a>  |
| <a href="#">Christoph Fischer</a> | <a href="#">Karbosave - Aktivierte Pflanzenkohle</a>                    | <a href="#">Dünger-, Gülle-, Mist-, Kompost- und Biogas...</a> |
| <a href="#">Fetzer</a>            | <a href="#">Moola Pflanzenkohle</a>                                     | <a href="#">Düngerzusätze, Gülle- und Mistzusätze</a>          |
| <a href="#">GreenCarbon</a>       | <a href="#">Premium Pflanzenkohle</a>                                   | <a href="#">Düngerzusätze, Gülle- und Mistzusätze, Org...</a>  |
| <a href="#">NovoCarbo</a>         | <a href="#">NovoAnimalCare - Pflanzenkohle</a>                          | <a href="#">Einstreumaterialien</a>                            |
| <a href="#">NovoCarbo</a>         | <a href="#">NovoTerra - Pflanzenkohle</a>                               | <a href="#">Organische Substratzuschlagstoffe</a>              |

[ Seite 1 von 1 ] Treffer: 11

Abb. 12: Auszug aus der die FiBL Betriebsmittelliste (online, 21.07.2021) mit Pflanzenkohle

Die Marktentwicklung der letzten Jahre weist auf ein teigendes Marktpotential von Pflanzenkohle hin und die gesetzlichen Beschränkungen bzgl. Anwendung und Herstellung zeigen eine Entwicklung zu Gunsten der Pflanzenkohleproduktion und des -handels. Die seit Herbst 2021 amtierende deutsche Bundesregierung, mit einem von Bündnis90/Die Grünen geführten Landwirtschaftsministerium wird diesen Trend voraussichtlich verstärken.

## 2.2 Finanzanalyse (AP 1.3)

Innerhalb der Finanzanalyse wurden mit Hilfe eines angepassten und spezifizierten Nawaros-Planers verschiedene Szenarien durchgerechnet. In diesem Abschlussbericht ist beispielhaft das Szenario 3 mit der Anlage Carbo Force dargestellt, wobei nur ein Teil der erstellten Rechnungen und Tabellen vorgestellt werden können. In Folgendem ist die Übersicht über Annahmen des Szenarios aufgelistet:

1. Ab 1.Juli 2022 - 31. Oktober 2024 erfolgt im Rahmen des Projektes "Neue Produkte für die Bioökonomie" die BMBF-Förderung für die Machbarkeitsphase
2. Im Sommer 2022 erfolgt eine Ausgründung des Pflanzenkohleproduktions-Unternehmens
5. Durch den Projektpartner Carbuna AG erfolgt eine Beratung und Analytik zur Beladung in der Machbarkeitsphase
6. Mit den Projektpartner Carbuna AG erfolgt eine Zusammenarbeit über das Forschungsprojekt hinaus, so dass ein guter Marktzugang und eine vereinfachte Finanzierung gewährleistet ist
7. Förderung [REDACTED] durch [REDACTED]  
Stipendium [REDACTED] im Jahr 2022
8. Technische Informationen zur Anlage CarboForce:
  - Maschineninvestition: 1.000.000 €
  - Jährl. Nutzbare Therm. Energie: 4.940.000 kWh
  - Verkauf Energie für 0,10€/kWh: 494.000 €
  - Jährl. Durchsatz von Biomasse: 2.750 t
  - Produktion Karbonisat: 850 t im Jahr
  - Input-Material: Holzhackschnitzel
9. Weitere Annahmen:
  - Logistikkosten pro Tonne Hackschnitzel: 30 €
  - Verkaufspreis pro Tonne Kohle: 800 €
  - Materialkosten Hackschnitzel pro Tonne (20% Feuchtigkeit): 110 €
  - Kredit: 2.000.000
  - Energie für Trocknung sollten aus Energiegewinn gespeist werden: siehe Betriebsaufwand.
  - Verkauf CO2-Zertifikate für 100€ pro Tonne

In Tabelle 4 sind die in diesem Szenario vorgesehenen Investitionskosten gelistet. Die Grundstückskosten sind niedrig angesetzt, da von Leerflächen mit geringer Infrastruktur ausgegangen wurde. Landwirtschaftliche Nutzfläche ist für das Projekt jedoch nicht ausreichend, es werden Hallen, Anschlüsse und befestigte Flächen benötigt.

| INVESTITIONEN TheBiocharStory 2022-2026 |                    |                             |             |         |         |         |         |
|-----------------------------------------|--------------------|-----------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|
|                                         | Nutzungs-dauer (a) |                             | 2022        | 2023    | 2024    | 2025    | 2026    |
| Grundstück                              |                    |                             | 50.000 €    | 1.000 € | 1.000 € | 1.000 € | 1.000 € |
| Baukosten Gebäude                       | 50                 |                             | 1.000 €     | 1.000 € | 1.000 € | 1.000 € | 1.000 € |
| Heizung/Klima/Lüftung                   | 15                 |                             | 3.000 €     | 1.000 € | 0 €     | 500 €   | 500 €   |
| Steuerungs- & Lagertechnik              | 15                 |                             | 3.000 €     | 1.000 € | 0 €     | 500 €   | 500 €   |
| Planung / Engineering                   | 10                 |                             | 3.000 €     | 1.000 € | 0 €     | 500 €   | 500 €   |
| Technologie / Maschinen                 | 10                 | Vorselektieren              |             | 400 €   | 400 €   | 400 €   | 400 €   |
|                                         | 10                 | Zerkleinern                 |             | 400 €   | 400 €   | 400 €   | 400 €   |
|                                         | 10                 | Trocknen                    | 30.000 €    | 400 €   | 400 €   | 400 €   | 400 €   |
|                                         | 10                 | Pyrolysieren                | 1.000.000 € | 400 €   | 400 €   | 400 €   | 400 €   |
|                                         | 10                 | Fördertechnik               | 78.000 €    | 400 €   | 400 €   | 400 €   | 400 €   |
|                                         | 10                 | Abfüllanlage                | 22.000 €    | 400 €   | 400 €   | 400 €   | 400 €   |
|                                         | 10                 | Mischanlage                 | 10.000 €    | 400 €   | 400 €   | 400 €   | 400 €   |
|                                         | 10                 | Herstellung Beladungsmittel | 10.000 €    | 400 €   | 400 €   | 400 €   | 400 €   |
| SUMME Investitionen                     |                    |                             | 1.210.000 € | 8.200 € | 5.200 € | 6.700 € | 6.700 € |

Tab. 4: Kalkulierte Investitionskosten im Szenario 3 mit CarboForce als Anlage

Tabelle 5 zeigt die kalkulierten Personalkosten von 2022 bis 2026, basierend auf den in Kapitel 2.1.6 Informationen und den aktuellen Projektstand inkl. zugesagter Stipendien und Förderungen.

| PERSONAL-PLAN TheBiocharStory         |                     |  |      |          |          |          |          |
|---------------------------------------|---------------------|--|------|----------|----------|----------|----------|
|                                       |                     |  | 2022 | 2023     | 2024     | 2025     | 2026     |
|                                       | 1 Mitarbeiter*innen |  | -€   | 7.800€   | 36.720€  | 37.454€  | 38.203€  |
|                                       | 1 Mitarbeiter*innen |  | -€   | 46.800€  | 47.736€  | 48.691€  | 49.665€  |
|                                       | 1 Mitarbeiter*innen |  | -€   | 46.800€  | 47.736€  | 48.691€  | 49.665€  |
| Produktion Unterstützung              | 1 Mitarbeiter*innen |  |      | 39.000€  | 39.780€  | 40.576€  | 41.387€  |
| Forschung & Entwicklung (Werkstudent) | 1 Mitarbeiter*innen |  | -€   | 26.000€  | 26.520€  | 27.050€  | 27.591€  |
| SUMME Personalkosten                  |                     |  | -€   | 166.400€ | 198.492€ | 202.462€ | 206.511€ |

Tab. 5: Darstellung der Personalkosten 2022 bis 2026 im Szenario 3

Da 2022 die drei Gründer\*innen externe Förderungen erhalten

fallen im ersten Jahr keine Personalkosten an. Wenn 2023 die Pyrolyseanlage in Betrieb genommen wird, fallen Kosten für eine\*n technischen Mitarbeiter\*in an. Die über das Forschungsprojekt hinausgehende Forschung und Entwicklung soll in Kooperation mit Universitäten erfolgen.

Die Tabelle 6 zeigt die erwarteten Kosten für Miete und Pacht. Für Leasing wurden in diesem Szenario keine Mittel kalkuliert. Lager und Produktionsgebäude werden zusammengefasst unter „Gebäude“ mit einer Mietverpflichtung angesetzt.

| MIETE/PACHT TheBiocharStory |  |            |            |            |            |            |            |
|-----------------------------|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                             |  | Monatsrate | Miete 2022 | Miete 2023 | Miete 2024 | Miete 2025 | Miete 2026 |
| Gebäude                     |  | 5.000 €    | 50.000 €   | 50.500 €   | 51.005 €   | 51.515 €   | 52.030 €   |
| Lager                       |  |            | 0 €        | 0 €        | 0 €        | 0 €        | 0 €        |
| Sonstiges                   |  | 0 €        | 0 €        | 0 €        | 0 €        | 0 €        | 0 €        |
| SUMME                       |  | 5.000 €    | 50.000 €   | 50.500 €   | 51.005 €   | 51.515 €   | 52.030 €   |

Tab. 6: Auflistung der Kosten für Miete und Pacht

Während für die Büroräume und die Produktionshalle höhere Gebäude-Standards erfüllt werden müssen, erfordert die Lagerung der Pyrolyse Substrates und der Pflanzenkohle in Big Bags lediglich einen Witterungsschutz.

In Tabelle 7 folgt eine Übersicht des kalkulierten Betriebsaufwandes in den Jahren 2022 bis 2026. Die hellgrün-hinterlegten Felder wurden nicht eingegeben, sondern automatisch aus vorherigen Kalkulationen übernommen.

| BETRIEBSAUFWAND TheBiocharStory    |                 |                   |                   |                   |                   |
|------------------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                    | 2022            | 2023              | 2024              | 2025              | 2026              |
| Personalkosten gesamt              | -€              | 166.400€          | 198.492€          | 202.462€          | 206.511€          |
| Rohstoff PK                        | -€              | 481.759€          | 481.759€          | 481.759€          | 481.759€          |
| Rohstoff Beladungslösung & Kompost | -€              | -€                | -€                | -€                | -€                |
| Zinsen                             | 57.896€         | 45.000€           | 40.000€           | 35.000€           | 30.000€           |
| Energie                            | -€              | 876€              | 893€              | 893€              | 893€              |
| Büroaufwand / Versicherung         | 20.000€         | 20.400€           | 20.808€           | 21.224€           | 21.649€           |
| Marketing                          | 40.000€         | 40.800€           | 41.616€           | 42.448€           | 43.297€           |
| QS/Material f. Labor               | 8.000€          | 8.160€            | 8.323€            | 8.490€            | 8.659€            |
| Gebinde / Verpackung               | -€              | 41.220€           | 41.220€           | 41.220€           | 41.220€           |
| Mieten                             | 50.000 €        | 50.500 €          | 51.005 €          | 51.515 €          | 52.030 €          |
| Logistik                           | 0 €             | 128.550 €         | 128.550 €         | 128.550 €         | 128.550 €         |
| Instandhaltung, Reparaturen        | 30.000 €        | 30.600 €          | 31.212 €          | 31.836 €          | 32.473 €          |
| Analytik                           | 10.000 €        | 10.200 €          | 20.000 €          | 20.400 €          | 20.808 €          |
| sonstiger Aufwand                  | 50.000 €        | 0 €               | 0 €               | 0 €               | 0 €               |
| <b>SUMME Betriebsaufwand</b>       | <b>265.896€</b> | <b>1.024.465€</b> | <b>1.063.878€</b> | <b>1.065.797€</b> | <b>1.067.850€</b> |

Tab. 7: Übersicht des Betriebsaufwandes für Szenario 3

Der Betriebsaufwand pendelt sich in diesem Szenario bei knapp 1,07 Mio. € ein, wobei der Großteil auf Personalkosten und Substrat für die Pflanzenkohle entfällt. Bei Letzterem gibt es durchaus Einsparungspotential, je nach Stoffstrommanagement und Verwertungsmöglichkeiten.

Die Tabelle 8 stellt die grobe Kalkulation für die Ober- und Untergrenze des Verkaufspreises dar. Diese Berechnung erfolgte separat und dient Kontrollzwecken, um die Basisdaten der Geschäftsidee zu überprüfen.

| Kosten-faktoren     | Kostenanteil in % | Verkaufspreis (€/l)<br>Obergrenze | Verkaufspreis (€/l)<br>Untergrenze | Verkaufspreis (€/l)<br>Mittelwert |
|---------------------|-------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Herstellungs-kosten |                   | 0,40                              | 0,20                               | 0,30                              |
| Vertrieb            | 0,1               | 0,04                              | 0,02                               | 0,03                              |
| Verwaltung          | 0,1               | 0,04                              | 0,02                               | 0,03                              |
| Ausfallpuffer       | 0,15              | 0,06                              | 0,03                               | 0,05                              |
| <b>SUMME</b>        |                   | <b>0,54€</b>                      | <b>0,27€</b>                       | <b>0,41€</b>                      |
| Gewinnmarge         | 0,2               | 0,108                             | 0,08                               | 0,09                              |
| <b>SUMME</b>        |                   | <b>0,65€</b>                      | <b>0,35€</b>                       | <b>0,46€</b>                      |

Tab. 8: Berechnung der Verkaufspreis Ober- und Untergrenze zur Kontrolle

Dabei ergibt sich eine Verkaufspreis Obergrenze von 0,54 €/l, was ca. 1.620€/t entspricht. Die Verkaufspreis Untergrenze liegt bei 0,27 €/l, bzw. ca. 810 €/t. Daraus ergibt sich ein Mittelwert von 0,41 €/l bzw. 1.500 €/t. Addiert man dazu eine gewünschte Gewinnmarge ergibt sich ein Preis von 0,46€/l.

In Tabelle 9 sind die Investitionskosten der Sachanlagen aufgelistet, inkl. Abschreibungsdauer und -kosten. Aufgrund der Maschinenanschaffung (Pyrolyseanlage etc.) und der Einrichtung vom Grundstück und dem Gebäude sind im ersten Jahr sehr hohe Investitionskosten zu erwarten.

2022 2023 2024 2025 2026

| Investitionen Sachanlagen |           |                        |         |  |         |  |          |          |
|---------------------------|-----------|------------------------|---------|--|---------|--|----------|----------|
| Grundstück                | 50.000    |                        | 1.000   |  | 1.000   |  | 1.000 €  | 1.000 €  |
| Gebäude                   | 1.000     |                        | 1.000   |  | 1.000   |  | 1.000 €  | 1.000 €  |
| HKL                       | 3.000     |                        | 1.000   |  | 0       |  | 500 €    | 500 €    |
| Steuerungs-/Lagertechnik  | 3.000     |                        | 1.000   |  | 0       |  | 500 €    | 500 €    |
| Maschinen                 | 1.160.000 |                        | 13.400  |  | 23.200  |  | 23.600 € | 24.008 € |
|                           | 1.217.000 |                        | 17.400  |  | 25.200  |  | 26.600 € | 27.008 € |
|                           |           |                        |         |  |         |  |          |          |
| Abschreibung              |           | Nutzungs-<br>dauer (a) |         |  |         |  |          |          |
| Gebäude                   | 20        | 50                     | 40      |  | 60      |  | 80       | 100      |
| HKL                       | 200       | 15                     | 267     |  | 267     |  | 300      | 333      |
| Steuerungs-/Lagertechnik  | 200       | 15                     | 267     |  | 267     |  | 300      | 333      |
| Maschinen                 | 116.000   | 10                     | 117.340 |  | 119.660 |  | 122.020  | 124.421  |
|                           | 116.420   |                        | 117.913 |  | 120.253 |  | 122.700  | 125.187  |

Tab. 9: Investitionen und Abschreibungen der Sachanlagen in Szenario 3

Die Höhe der Abschreibungskosten richtet sich stark nach der Dauer der Abschreibung. Es wurden die Nutzungsdauern nach dem Standard im Bereich Finanzplanung von Industrieanlagen gewählt. Wenn die Angaben der Hersteller stimmen, ist eine weitaus längere Nutzungsdauer, z.B. von der Pyrolyseanlage, möglich. Da keine bzw. eine kurze Garantie gegeben wird, sind solche Angaben jedoch mit Vorsicht zu behandeln.

Die Tabelle 10 zeigt die Gewinn- und Verlustrechnung der in Szenario 3 geplanten Unternehmung in den Jahren 2022 bis 2026.

| Plan-GuV TheBiocharStory     |          |     |            |       |            |       |            |       |            |       |
|------------------------------|----------|-----|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| Werte in EUR                 |          |     |            |       |            |       |            |       |            |       |
|                              | 2022     |     | 2023       |       | 2024       |       | 2025       |       | 2026       |       |
|                              | Plan     | %   | Plan       | %     | Plan       | %     | Plan       | %     | Plan       | %     |
| Betriebsleistung             | 0        | 0,0 | 1.408.600  | 100,0 | 1.422.472  | 100,0 | 1.436.621  | 100,0 | 1.451.054  | 100,0 |
| Rohstoffaufwand              | 0        | 0,0 | -481.759   | -34,2 | -481.759   | -33,9 | -481.759   | -33,5 | -481.759   | -33,2 |
| Material und Hilfsstoffe     | -8.000   | 0,0 | -49.380    | -3,5  | -49.543    | -3,5  | -49.710    | -3,5  | -49.879    | -3,4  |
| Personalaufwand              | 0        | 0,0 | -166.400   | -11,8 | -198.492   | -14,0 | -202.462   | -14,1 | -206.511   | -14,2 |
| Energie                      | 0        | 0,0 | -876       | -0,1  | -893       | -0,1  | -893       | -0,1  | -893       | -0,1  |
| Afa (Abschreibung)           | -116.420 | 0,0 | -117.913   | -8,4  | -120.253   | -8,5  | -122.700   | -8,5  | -125.187   | -8,6  |
| Instandhaltung Sachanlagen   | -30.000  | 0,0 | -30.600    | -2,2  | -31.212    | -2,2  | -31.836    | -2,2  | -32.473    | -2,2  |
| Miete/Pacht                  | -50.000  | 0,0 | -50.500    | -3,6  | -51.005    | -3,6  | -51.515    | -3,6  | -52.030    | -3,6  |
| Logistik                     | 0        | 0,0 | -128.550   | -9,1  | -128.550   | -9,0  | -128.550   | -8,9  | -128.550   | -8,9  |
| Marketing                    | -40.000  | 0,0 | -40.800    | -2,9  | -41.616    | -2,9  | -42.448    | -3,0  | -43.297    | -3,0  |
| Sonstiger Verwaltungsaufwand | -20.000  | 0,0 | -20.400    | -1,4  | -20.808    | -1,5  | -21.224    | -1,5  | -21.649    | -1,5  |
| Sonstiger Aufwand            | -50.000  | 0,0 | 0          | 0,0   | 0          | 0,0   | 0          | 0,0   | 0          | 0,0   |
| Summe der Aufwendungen       | -314.420 | 0,0 | -1.087.178 | -77,2 | -1.124.132 | -79   | -1.133.097 | -78,9 | -1.142.229 | -78,7 |
| Betriebsergebnis (EBIT)      | -314.420 | 0,0 | 321.422    | 22,8  | 298.340    | 21,0  | 303.524    | 21,1  | 308.825    | 21,3  |
| Zinsen                       | -57.896  | 0,0 | -45.000    | -3,2  | -40.000    | -2,8  | -35.000    | -2,4  | -30.000    | -2,1  |
| EGT                          | -372.316 | 0,0 | 276.422    | 19,6  | 258.340    | 18,2  | 268.524    | 18,7  | 278.825    | 19,2  |
| Steuer                       | 0        | 0,0 | -69.105    | -4,9  | -64.585    | -4,5  | -67.131    | -4,7  | -69.706    | -4,8  |
| Ergebnis nach Steuer         | -372.316 | 0,0 | 207.316    | 14,7  | 193.755    | 13,6  | 201.393    | 14,0  | 209.118    | 14,4  |

Tab. 10: Gewinn- und Verlustrechnung im Szenario 3

Da für 2022 keine Produktion geplant ist, ist in dem Jahr ein eindeutig negatives Ergebnis zu erwarten. Im Jahr 2023 ist ein positives Betriebsergebnis nach diesem Szenario, bei vorausgesetzter Absatzmenge, erreichbar.

Tabelle 11 listet die Aktiva und Passiva in der Bilanz für die Jahre 2022 bis 2026 auf. Die gelb hinterlegten Felder beruhen nicht auf automatischen Berechnungen aus vorherigen Kalkulationen.

| Plan-Bilanz TheBiocharStory        |                  |              |                  |              |                  |              |                  |              |                  |              |
|------------------------------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
| Werte in EUR                       |                  |              |                  |              |                  |              |                  |              |                  |              |
| AKTIVA                             | 2022             |              | 2023             |              | 2024             |              | 2025             |              | 2026             |              |
|                                    | Plan             | %            | Plan             | %            | Plan             | %            | Plan             | %            | Plan             | %            |
| <b>Sachanlagen Gesamt</b>          | <b>1.100.580</b> | <b>44,8</b>  | <b>999.067</b>   | <b>70,5</b>  | <b>903.013</b>   | <b>68,3</b>  | <b>805.913</b>   | <b>65,1</b>  | <b>706.734</b>   | <b>61,9</b>  |
| Grundstück                         | 50.000           | 2,0          | 50.000           | 3,5          | 50.000           | 3,8          | 50.000           | 4,0          | 50.000           | 4,4          |
| Gebäude inkl. HKL                  | 3.780            | 0,2          | 5.473            | 0,4          | 6.147            | 0,5          | 7.267            | 0,6          | 8.333            | 0,7          |
| Maschinen und sonstige             | 1.046.800        | 42,6         | 943.593          | 66,6         | 846.867          | 64,0         | 748.647          | 60,5         | 648.401          | 56,8         |
| <b>Umlaufvermögen</b>              | <b>1.358.000</b> | <b>55,2</b>  | <b>417.551</b>   | <b>29,5</b>  | <b>419.904</b>   | <b>31,7</b>  | <b>432.304</b>   | <b>34,9</b>  | <b>434.752</b>   | <b>38,1</b>  |
| Vorräte                            | 8.000            | 0,3          | 132.785          | 9,4          | 132.825          | 10,0         | 132.867          | 10,7         | 132.910          | 11,6         |
| Lieferforderungen                  | 0                | 0,0          | 234.767          | 16,6         | 237.079          | 17,9         | 239.437          | 19,3         | 241.842          | 21,2         |
| Liquide Mittel                     | 1.350.000        | 54,9         | 50.000           | 3,5          | 50.000           | 3,8          | 60.000           | 4,8          | 60.000           | 5,3          |
| <b>Gesamt</b>                      | <b>2.458.580</b> | <b>100,0</b> | <b>1.416.618</b> | <b>100,0</b> | <b>1.322.917</b> | <b>100,0</b> | <b>1.238.217</b> | <b>100,0</b> | <b>1.141.486</b> | <b>100,0</b> |
| Kontrolle Bilanzsumme              | 0                |              | -727.644         |              | -621.358         |              | -506.072         |              | -402.817         |              |
| PASSIVA                            | 2022             |              | 2023             |              | 2024             |              | 2025             |              | 2026             |              |
|                                    | Plan             | %            | Plan             | %            | Plan             | %            | Plan             | %            | Plan             | %            |
| <b>Eigenkapital</b>                | <b>280.000</b>   | <b>11,4</b>  | <b>280.000</b>   | <b>13,1</b>  | <b>280.000</b>   | <b>14,4</b>  | <b>280.000</b>   | <b>16,1</b>  | <b>280.000</b>   | <b>18,1</b>  |
| Stammkapital                       | 90.000           | 3,7          | 90.000           | 4,2          | 90.000           | 4,6          | 90.000           | 5,2          | 90.000           | 5,8          |
| Beteiligungen und Zuschüsse        | 190.000          | 7,7          | 190.000          | 8,9          | 190.000          | 9,8          | 190.000          | 10,9         | 190.000          | 12,3         |
| Bilanzgewinn inkl. Rücklagen       | 0                | 0,0          | 0                | 0,0          | 0                | 0,0          | 0                | 0,0          | 0                | 0,0          |
| <b>Fremdkapital</b>                | <b>2.178.580</b> | <b>88,6</b>  | <b>1.864.262</b> | <b>86,9</b>  | <b>1.664.275</b> | <b>85,6</b>  | <b>1.464.289</b> | <b>83,9</b>  | <b>1.264.303</b> | <b>81,9</b>  |
| Rückstellungen                     | 20.000           | 0,8          | 20.000           | 0,9          | 20.000           | 1,0          | 20.000           | 1,1          | 20.000           | 1,3          |
| Lieferverbindlichkeiten            | 667              | 0,0          | 44.262           | 2,1          | 44.275           | 2,3          | 44.289           | 2,5          | 44.303           | 2,9          |
| Sonstige Verbindlichkeiten         | 0                | 0,0          | 0                | 0,0          | 0                | 0,0          | 0                | 0,0          | 0                | 0,0          |
| Kredit                             | 2.000.000        | 81,3         | 1.800.000        | 83,9         | 1.600.000        | 82,3         | 1.400.000        | 80,3         | 1.200.000        | 77,7         |
| kurzfristige Bankverbindlichkeiten | 157.913          | 6,4          | 0                | 0,0          | 0                | 0,0          | 0                | 0,0          | 0                | 0,0          |
| <b>Gesamt</b>                      | <b>2.458.580</b> | <b>100,0</b> | <b>2.144.262</b> | <b>100,0</b> | <b>1.944.275</b> | <b>100,0</b> | <b>1.744.289</b> | <b>100,0</b> | <b>1.544.303</b> | <b>100,0</b> |

Tab. 11: Aktiva und Passiva in der Bilanz von Szenario 3

Ein langfristiger Kredit in Höhe von 2 Mio. € wurde in dieser Berechnung angenommen. Das Verhältnis Eigenkapital zu Fremdkapital liegt unter diesen Umständen sehr knapp über dem absoluten Minimum eines 1:9 Verhältnisses. Der Cash-Flow ist eine der bedeutendsten Angaben für die Finanzierung eines Unternehmens. In Tabelle 12 ist der auf Grundlage von vorausgegangenen Angaben und Rechnungen berechnete Cash-Flow in den Jahren 2022 bis 2026.

| Cash-Flow TheBiocharStory      |           |           |           |           |           |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Werte in €                     |           |           |           |           |           |
|                                | Jahr      |           |           |           |           |
|                                | 2022      | 2023      | 2024      | 2025      | 2026      |
| Ergebnis nach Steuer           | -372.316  | 207.316   | 193.755   | 201.393   | 209.118   |
| + Abschreibung                 | 116.420   | 117.913   | 120.253   | 122.700   | 125.187   |
| Cash Flow                      | -255.896  | 325.230   | 314.009   | 324.093   | 334.306   |
| Cash Flow kumuliert            | -255.896  | 69.334    | 383.343   | 707.436   | 1.041.742 |
| Investitionskosten             | 1.210.000 | 8.200     | 5.200     | 6.700     | 6.700     |
| Cash Flow - Investitionskosten | 954.104   | 317.030   | 308.809   | 317.393   | 327.606   |
| Amortisation                   | 954.104   | 1.271.134 | 1.579.943 | 1.897.336 | 2.224.942 |

Tab. 11: Cash-Flow im Szenario 3

Der Cash-Flow bewegt sich in diesem Szenario sehr schnell in einem positiven Bereich. Ein Großteil der Annahmen sind jedoch eher positiv gewählt.

Ein Quicktest soll schnell und einfach Übersicht verschaffen, ob ein Unternehmen/Szenario langfristig gewinnbringend umgesetzt werden kann. In Tabelle 12 ist der Quicktest für das Szenario 3 abgebildet.

| Quicktest TheBiocharStory |                           |                 |                    |      |      |      |      |
|---------------------------|---------------------------|-----------------|--------------------|------|------|------|------|
|                           |                           |                 | 2022               | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 |
|                           | Quicktest-Kennzahlen      | Analyse-bereich | Wert               | Wert | Wert | Wert | Wert |
| Finanzielle Stabilität    | Eigenkapitalquote         | Finanzierung    | 11%                | 13%  | 14%  | 16%  | 18%  |
|                           | Schuldtilgungsdauer (a)   | Liquidität      | Cash-Flow negativ! | 5,6  | 5,1  | 4,3  | 3,6  |
| Ertragslage               | Gesamtkapitalrentabilität | Rentabilität    | -13%               | 15%  | 15%  | 17%  | 20%  |
|                           | Cash-Flow (% d. Umsatzes) | Erfolg          | 0%                 | 23%  | 22%  | 23%  | 23%  |

Tab. 12: Quicktest mit den wichtigsten Kenndaten für das Szenario 3

Aufgrund der Berechnungen kann das Szenario 3 als sehr risikoreich, mit potentieller Erfolgsaussicht bewertet werden. Um eine Finanzierung zu gewährleisten könnte als Sicherheit das Eigenkapital erhöht werden. Alternativ kann auf vielfältige Förderungen für KMUs und Neugründungen im Bereich Nachhaltigkeit zurückgegriffen werden. Möglichkeiten ergeben sich z.B. durch die hohen Investitionen in die Lausitz, um den Strukturwandel und Ansiedlung zu fördern.

## 2.3 Marketing- und Kommunikationsstrategie (AP 1.4)

Auf Grundlage der Marktanalyse wurden in einem strukturierten Prozess und in Zusammenarbeit mit der NovoCarbo GmbH Personas<sup>7</sup> entwickelt, um ein zielgerichtetes Marketing vorzubereiten. Nach ersten suggestiven und reflektierenden Methoden wurde eine Marktsegmentauswahl getroffen. Hierbei war von zentraler Bedeutung, dass der Einsatz von Pflanzkohle in diesen Segmenten finanzierbar für die Anwender\*innen ist. Der Garten- und Landschaftsbau war das erste Segment von besonderem Interesse, gefolgt von der Rinderhaltung und Stadt- und Straßenbaum-Pflanzungen. Da Personen innerhalb eines Segments differieren, wurden Funktionen und Persönlichkeitsmerkmale benannt, nach denen sich Personen eines Segmentes unterscheiden. Auf Basis dieser Notationen, der in der Marktanalyse geführten Interviews und der entwickelten Attribute wurden je drei Personas pro Segment entwickelt. Diese sollten in ihrer Funktion relevant und in den Charakteristika realistisch sein. In Abbildung 13 ist beispielhaft eine der auf dem Miro-Board<sup>8</sup> entwickelten Personas aus dem Segment „Stadt- und Straßenbäume“ aufgeführt.



<sup>7</sup> Fiktive potenzielle Produktkäufer\*innen, mit spezifischem Profil und speziellen Anforderungen, Werkzeug aus dem agilen Management

<sup>8</sup> Online-Werkzeug zur Sammlung, und zum Austausch von Informationen auf einem „weißen Board“



Abb. 13: Beispiel einer Persona aus dem Segment „Stadt- und Straßenbäume“

In den Personas wurden die Gründe aufgelistet, die eine Persona hat, um das Produkt Pflanzkohle in diesem Segment zu nutzen. Dabei wurden die Produkteigenschaften nicht betrachtet. Des Weiteren erhielt jede Persona einen kurzen Steckbrief mit persönlichen Informationen. Ein Wissenslevel für die Persona zwischen „Awareness“ über „Interest“ und „Desire“ bis „Action“ wurde definiert. Zudem werden sogenannte „Pains“ angelegt: Diese beschreiben alltägliche Schmerzen, d.h. welche Dinge nimmt Persona als frustrierend wahr, welchen Ansprüchen wird sie nicht gerecht und welche Tatsache begreift die Persona als größtes Problem. In einer normierten Skala wurden die vorher definierten Attribute, wie „Ökologisches Bewusstsein“, „Macherin“, „Zeitdruck“ und „Preissensibilität“ mit Werten für die jeweilige Persona belegt. Zudem wurden weitere Informationen festgehalten, wie bspw. der Stand in der Produktkette, Demographie und weitere Einsichten, die bestimmen können, wie das Produkt ausgelegt werden muss (Saisonalität, Preissensitivität, Komplexität, etc.). Daraufhin wurde für jede Persona eine spezifische Marketingstrategie entwickelt. Diese definiert, wann diese Persona über welches Medium kontaktiert werden sollte, welche Ziele dabei im Vordergrund stehen, welche Schwierigkeiten auftauchen können und welche Produkteigenschaften nötig sind. Abschließend wurden Verbindungen zwischen den Persona-spezifischen Marketingstrategien hergestellt, um anwendbare Strategien zu generieren. Ein Schwerpunkt wurde auf das Erstellen von Informationsmaterial gelegt, welches in kurzer Form und mit ansprechenden Graphiken die für ein Segment relevanten Informationen zusammenfasst, Best-Practice Beispiele ausweist und konkrete Handlungsempfehlungen zu Einführung und Anwendung der Pflanzkohle Produkte gibt. Dabei stand die Agentur Büro Bauer beratend zur Seite.

### 3 Technische Aspekte (AP 2)

#### 3.1 Untersuchung der Beschaffenheit von Pflanzkohle (AP 2.1)

Die Beschaffenheit von Pflanzkohle wird aktuell maßgeblich vom European Biochar Certificate (EBC) vorgegeben. Die EBC-Zertifizierung ist Voraussetzung für die Anwendung in fast allen landwirtschaftlichen Bereichen. Daher wurde beschlossen, die

Feld- und Laborversuche der Machbarkeitsphase ausschließlich mit EBC ausgewiesener Pflanzenkohle durchzuführen. Die Anforderungen und Vorgänge beim EBC werden im Kapitel 3.1.1 näher vorgestellt. In Kapitel 3.1.2 ist eine Zusammenfassung der aktuellen Studienlage zum Thema Pflanzenkohle Beschaffenheit und ihre Haupteinflüsse wiedergegeben. Da die Pyrolyseanlage, insbesondere durch die Temperatur und die Kontrollierbarkeit, einen starken Einfluss auf die Beschaffenheit von Pflanzenkohle hat, findet sich in Kapitel 3.1.3 ein Exkurs zum Thema Pyrolyseanlagen und möglichen Abwärmenutzungen.

### **3.1.1 European Biochar Certificate (EBC)**

Das Europäische Pflanzenkohle Zertifikat wird vom Ithaka Institut vergeben und soll die nachhaltige Produktion und eine hohe Qualität garantieren. Die Kontrolle muss sowohl wissenschaftlich fundiert als auch praxistauglich und wirtschaftlich sein, um den Anwender\*innen eine Qualitätsgarantie zu sein. Das EBC ist ein freiwilliger Industriestandard in Europa. In der Schweiz ist die Zertifizierungsstufe EBC-AgroBio Voraussetzung für den Einsatz von Pflanzenkohle als Bodenverbesserer.

Es gibt drei Richtlinien je nach Anwendung:

1. Richtlinien des Europäischen Pflanzenkohle Zertifikates
2. Richtlinien für Futterkohle
3. Kohlenstoff-Senken Potential von Pflanzenkohle

Zudem hat das Ithaka Institut eine Positivliste der für die Pflanzenkohleproduktion verwendbaren Biomassen herausgegeben. Folgende Methoden, Grenzwerte und Vorgehensweisen gelten bei dem EBC:

Eine Produktionscharge wird gemeldet, gilt max. ein Jahr und wird von einem akkreditierten Probenehmer repräsentativ beprobt und in einem EBC akkreditierten Labor getestet. Zudem nehmen die Pflanzenkohle produzierenden Unternehmen üblicherweise tägliche Rückstellproben. Die Pyrolysetemperatur darf sich während der Produktion um max. 20% ändern, ebenso die Zusammensetzung der Biomassen, die nur aus Biomassen der anwendungsspezifischen Positivliste bestehen darf. Die Richtlinie gibt ebenfalls vor, dass die Pyrolyseabwärme oder die gasförmigen und flüssigen Pyrolyseprodukte genutzt werden müssen, wobei Emissionsgrenzwerte natürlich einzuhalten sind.

Folgende, in Tabelle 13 angegebenen Grenzwerte, müssen für eine erfolgreiche Zertifizierung nach EBC eingehalten werden:

| EBC - Label             | EBC-Feed                                                                                                        |                                | EBC-AgroBio                                                    | EBC-Agro                     | EBC-Material             |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| EBC - Klasse            | Klasse I                                                                                                        |                                | Klasse II                                                      | Klasse III                   | Klasse IV                |
| Elementaranalyse        | C-Gesamt, Corg, H, N, O, S, Asche,                                                                              |                                |                                                                |                              |                          |
|                         | H/Corg                                                                                                          | < 0,7                          | < 0,7                                                          | < 0,7                        | < 0,7                    |
|                         | O/Corg                                                                                                          | < 0,4                          | < 0,4                                                          | < 0,4                        | < 0,4                    |
| Physikalische Parameter | Wassergehalt, Trockensubstanz (TS), Schüttdichte (bezogen auf TS), spezifische Oberfläche (BET), pH, Salzgehalt |                                |                                                                |                              |                          |
| TGA                     | Einmalig für die erste, angemeldete Produktionscharge                                                           |                                |                                                                |                              |                          |
| Nährstoffe              | Mindestens N, P, K, Mg, Ca                                                                                      |                                |                                                                |                              |                          |
| Schwermetalle           | Pb                                                                                                              | 10 g t <sup>-1</sup> (88%TS)   | 45 g t <sup>-1</sup> TM                                        | 150 g t <sup>-1</sup> TM     | 250 g t <sup>-1</sup> TM |
|                         | Cd                                                                                                              | 1 g t <sup>-1</sup> (88% TS)   | 0.7 g t <sup>-1</sup> TM                                       | 1,5 g t <sup>-1</sup> TM     | 5 g t <sup>-1</sup> TM   |
|                         | Cu                                                                                                              | 100 g t <sup>-1</sup> TS       | 70 g t <sup>-1</sup> TM                                        | 100 g t <sup>-1</sup> TM     | 250 g t <sup>-1</sup> TM |
|                         | Ni                                                                                                              | 30 g t <sup>-1</sup> TS        | 25 g t <sup>-1</sup> TM                                        | 50 g t <sup>-1</sup> TM      | 250 g t <sup>-1</sup> TM |
|                         | Hg                                                                                                              | 0.1 g t <sup>-1</sup> (88% TS) | 0.4 g t <sup>-1</sup> TM                                       | 1 g t <sup>-1</sup> TM       | 1 g t <sup>-1</sup> TM   |
|                         | Zn                                                                                                              | 400 g t <sup>-1</sup> TS       | 200 g t <sup>-1</sup> TM                                       | 400 g t <sup>-1</sup> TM     | 750 g t <sup>-1</sup> TM |
|                         | Cr                                                                                                              | 80 g t <sup>-1</sup> TS        | 70 g t <sup>-1</sup> TM                                        | 90 g t <sup>-1</sup> TM      | 250 g t <sup>-1</sup> TM |
|                         | As                                                                                                              | 2 g t <sup>-1</sup> (88% TS)   | 13 g t <sup>-1</sup> TM                                        | 13 g t <sup>-1</sup> TM      | 15 g t <sup>-1</sup> TM  |
| Organische Schadstoffe  | 16 EPA PAK                                                                                                      | 4±2 g t <sup>-1</sup> TM       | 4±2 g t <sup>-1</sup> TM                                       | 6.0+2.2 g t <sup>-1</sup> TM | 30g t <sup>-1</sup> TM   |
|                         | Benzo[a]pyren                                                                                                   | 25 mg t <sup>-1</sup> (88% TS) |                                                                |                              |                          |
|                         | PCB, PCDD/F                                                                                                     | Siehe Kap. 9                   | Einmalig je Anlage für die erste angemeldete Produktionscharge |                              |                          |

Tab. 13: Grenzwerte der EBC Zertifizierung

Für den Arbeitsschutz müssen die Arbeitenden schriftlich bestätigen, dass sie über Schutzkleidung verfügen und auf die Gefahren am Arbeitsplatz hingewiesen wurden. [32]

### 3.1.2 Relevante Parameter für die Pflanzenkohlebeschaffenheit

Zu den Betriebsparametern während des Pyrolyseprozesses, die die physikalischen Eigenschaften der Pflanzenkohle beeinflussen, gehören die Heizrate, die höchste Behandlungstemperatur, der Druck, die Reaktionsverweilzeit, das Reaktionsgefäß (Ausrichtung, Abmessungen, Rührregime, Katalysatoren usw.), die

Vorbehandlung (Trocknung, Zerkleinerung, chemische Aktivierung usw.), die Durchflussrate der Hilfsstoffe (z.B. Stickstoff, Kohlendioxid, Luft, Dampf usw.) und die Nachbehandlung (Zerkleinerung, Siebung, Aktivierung usw.) [42]. Es ist jedoch schon lange bekannt, dass die Beschaffenheit der Pflanzenkohle vornehmlich durch die Pyrolyse-Temperatur und das verwendete Substrat bestimmt wird (u.a. [33], [34]). In Tabelle 14 sind die Zusammenhänge zwischen Pyrolyse Temperatur und dem verwendeten Substrat mit einigen der wichtigsten die Beschaffenheit der Pflanzenkohle definierenden Eigenschaften aufgeführt. Wichtig ist, dass die Darstellung vereinfacht ist und keineswegs immer lineare Zusammenhänge bestehen.

| Eigenschaften der PK     | Pyrolyse Temp. (300-700°C) | PK Substrat (Lignocellulose- Gülle) |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| pH                       | ↑                          | ↑                                   |
| Labiler Kohlenstoff      | ↓                          | ↓                                   |
| Aromatischer Kohlenstoff | ↑                          | ↓                                   |
| Asche                    | ↑                          | ↑                                   |
| Porosität                | ↑                          | ↓                                   |
| Elektron Austausch       | ↑                          | ↓                                   |
| Elektron Donor           | ↓                          | ↓                                   |

 Zunahme (je höher die Pyrolyse Temp., desto höher der pH Wert)  
 Abnahme (je höher die Pyrolyse Temp., desto geringer die Menge an labilen Kohlenstoff)

Tab. 14: Zusammenhänge zwischen Pyrolyse-Temperatur und verwendetem Substrat mit einigen, die Pflanzenkohle definierenden Eigenschaften, nach Dai et al. [33]

Nach Downie et al. [42] beginnen organische Materialien bei Temperaturen über 120°C sich thermisch zu zersetzen, wobei sie chemisch gebundene Feuchtigkeit verlieren. Hemicellulosen werden bei 200°C bis 260°C abgebaut, Cellulose bei 240°C bis 350°C und Lignin bei 280°C bis 500°C. Daher beeinflussen die Anteile dieser Komponenten besonders die physikalische Struktur während der Verarbeitung. Der Anteil der anorganischen Komponenten (Asche) hat ebenfalls Auswirkungen auf die Struktur. [42]

Die physikalischen Eigenschaften von Pflanzenkohle beeinflussen sowohl direkt als auch indirekt die Bodensysteme, in die Pflanzenkohle eingebracht wird. Jeder Boden hat seine eigenen physikalischen Eigenschaften, abhängig von der Art der mineralischen und organischen Substanz, ihren relativen Mengen und der Art und Weise, wie Mineralien und organische Substanz miteinander verbunden sind. Wenn Pflanzenkohle in der Bodenmischung vorhanden ist, kann sie die Tiefe, Textur, Struktur, Porosität und Konsistenz durch Veränderung der Schüttgutoberfläche, Porengrößenverteilung, Partikelgrößenverteilung, Dichte und Packung beeinflussen. Die Wirkung von Pflanzenkohle auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens kann dann eine direkte Auswirkung auf das Pflanzenwachstum haben, da die Eindringtiefe und die Verfügbarkeit von Luft und Wasser innerhalb der Wurzelzone weitgehend durch die physikalische Beschaffenheit der Bodenhorizonte bestimmt werden. [43]

Die Porengröße der Pflanzenkohle spielt eine wichtige Rolle. Die Mikroporen (<2 nm im Durchmesser) tragen zur Oberflächengröße bei und sorgen für die hohen adsorptiven Kapazitäten des Bodens. Pflanzenkohle ist äußerst porös und besitzt eine

enorme spezifische Oberfläche von teilweise über 300 m<sup>2</sup> pro Gramm [42]. Aufgrund der hohen Porosität vermag die Pflanzenkohle bis zur fünffachen Menge ihres Eigengewichtes an Wasser und den darin gelösten Nährstoffen aufzunehmen. Diese Eigenschaft nennt man Adsorptionskapazität, die einerseits von der pyrolysierten Biomasse und andererseits von der Pyrolysetemperatur abhängt. Im Bereich von 450° C bis 700° C entstehen Pflanzenkohlen mit der höchsten Adsorptionskapazität [44]. Makroporen (<50nm Durchmesser) in der Pflanzenkohle sind vor allem wichtig für die Belüftung und Hydrologie von Böden. Makroporen sind auch für die Bewegung von Wurzeln durch den Boden und als Lebensraum für eine große Vielfalt von Bodenorganismen relevant. Mikrobielle Zellen haben typischerweise eine Größe von 0,5 µm bis 5 µm und bestehen überwiegend aus Bakterien, Pilzen, Aktinomyzeten und Flechten. Algen sind 2 µm bis 20 µm groß. Die Makroporen von Pflanzenkohle sind daher gut geeignet als Lebensraum von Mikroorganismen. [42]

Es können zwei Arten der Dichte von Pflanzenkohlen untersucht werden: die Festkörperdichte und die Schüttdichte oder scheinbare Dichte. Die Festkörperdichte ist die Dichte auf molekularer Ebene, bezogen auf den Packungsgrad der Kohlenstoffstruktur. Die Schüttdichte ist die des Materials, das aus mehreren Partikeln besteht, und umfasst die Makroporosität innerhalb jedes Partikels und die Hohlräume zwischen den Partikeln. Oft geht eine Zunahme der Festkörperdichte mit einer Abnahme der Schüttdichte einher. [42]

Da die Pyrolysetemperatur und die möglichen Substrate in engem Zusammenhang mit der verwendeten Pyrolyseanlage stehen, wurden in Kap. 3.1.3 verschiedene Pyrolyseanlagen miteinander verglichen. Weitere Untersuchungen, die Substrate betreffend, sollen in der Machbarkeitsphase durchgeführt werden, wenn die neuen EU-Vorgaben zur Verwendung verschiedener Substrate im Sommer 2022 veröffentlicht werden.

### **3.1.3 Pyrolyseanlagen und Abwärmenutzung**

Alle Pyrolyse-Anlagen im Vergleich in Tabelle 14 sind laut den Herstellern in der Lage, EBC zertifizierbare Pflanzenkohle zu produzieren. Zudem wurde bei der Auswahl Wert daraufgelegt, dass die Anlage flexibel ist, was die Substrate betrifft, und nicht ausschließlich bei Holz hohe Qualität produziert. Von allen Anlagen wurden technische Datenblätter angefordert, die enthaltenen Daten sind Angaben des Herstellers und nicht extern geprüft.

| Anlage     | Name     | Abwärme                                                              |                                        |                                                        |                                     |                             | Synthesegas | Pflanzenkohle              |                                          |                                           |                                      |                                     | Maße              | Kosten       |
|------------|----------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------|
|            |          | Therm. Nennleistung                                                  | Jährl. Nutzbare Therm. Energie, in kWh | Abwärme für 750t Klee/a, in kWh, Erlös für 150€/t Klee | verbleibende nutzbare Energie kWh/a | Erlös 0,03 €/kWh Abwärmepur |             | Brennstoffleistung, in kWh | Jährl. Durchschnitt von Biomasse, in t/a | Monatl. Durchschnitt von Biomasse, in t/a | Jährl. Produktion Karbonisat, in t/a | Monatl. Produktion Karbonisat, in t |                   |              |
|            | Average  | 280                                                                  | 759.999                                | 563.000 112.500€                                       | 196.999                             | 5.909 €                     |             | 500                        | 6310                                     | 525,833333                                | 1080                                 | 90                                  |                   | ca. 750.000€ |
| Pyreg      | P500     | 100 kW (150 kW)                                                      | 760.000                                | 112.500                                                | 647.500                             | 19.425 €                    |             | 500                        | 750                                      | 62,5                                      | 190                                  | 15,8333333                          |                   | ca. 750.000€ |
|            | P1500    | 550 kW (Auslegungswerte: Max 740 kW, RL Tmax: 60 °C, VL Tmax: 95 °C) | 4.180.000                              | 112.500                                                | 4.067.500                           | 122.025 €                   |             | 1.500                      | 2.130                                    | 177,5                                     | 530                                  | 44,1666667                          | 57 m <sup>2</sup> | 1.600.000 €  |
| Biomaccon  | C250-L   | 100 kW                                                               | 760.000                                | 112.500                                                | 647.500                             | 19.425 €                    |             |                            |                                          | 0                                         |                                      | 0                                   |                   |              |
|            | C400-L   | 150 kW                                                               | 1.140.000                              | 112.500                                                | 1.027.500                           | 30.825 €                    |             |                            | 2300                                     | 191,666667                                | 430                                  | 35,8333333                          |                   | 390.000 €    |
| SPSC       | Vario XL |                                                                      | 0                                      | 0                                                      | 0                                   | 0 €                         | 500 kW      |                            |                                          |                                           |                                      |                                     |                   | 380.000 €    |
| CarboForce | CF250    |                                                                      | 5000                                   |                                                        |                                     |                             |             | 15000                      | 2750                                     | 229,166667                                | 850                                  | 70,8333333                          |                   |              |
|            | CF1000   |                                                                      | 20000                                  |                                                        |                                     |                             |             | 6000                       | 11000                                    | 916,666667                                | 3400                                 | 283,333333                          |                   |              |

Tab. 14: Vergleich von Pyrolyseanlagen, die aus verschiedenen Substraten EBC zertifizierte Pflanzenkohle herstellen können

Im Rahmen der Sondierungsphase wurde Kontakt zu Betreibern verschiedener Pyrolyse-Anlagen aufgenommen (Pyreg, Biomaccon, SP-SC, CarboForce, ETIA), um detaillierte Fragen zu stellen. Zudem konnten wichtige Erfahrungswerte über den Fachverband Pflanzenkohle und das European Biochar Industry Consortium eingeholt werden.

Für die Verwendung der überschüssigen Energie bei der Pyrolyse gibt es verschiedene Ansätze. Einmal die Lohntrocknung, die Warmwasserverwertung für Scheitholztrocknung, Warmwassereinspeisung in ein Nahwärmenetz, Verstromung von Synthesegas mittels BHKW und die Trocknung von Klee. Letzteres wird in folgendem Abschnitt exemplarisch an einem Beispielfall näher ausgeführt:

Die Firma GrünerDüngen GmbH sucht in der Region Dresden Trocknungskapazitäten, mit max. Kosten von 200 €/t (Vergleich mit Erdöl betriebenes Trockenwerk Gröden in Südbrandenburg: 200-400€/t laut Frank Schmidt). Es fallen 750 t Frischmasse mit 75% Feuchtegehalt an. Der zu trocknende Klee wird auf dem Feld geschnitten und angetrocknet. Dieser besitzt dann einen Feuchtegehalt von 65-80% und soll durch die Lohntrocknung eine Endfeuchte von 40% erreichen. Für eine Überschlagsrechnung wird die Faustregel der eG Lamerdingen (Durchlauftrockner) verwendet: Zur Trocknung von 1 kg Wasser muss 1 kWh aufgewendet werden. Unter der konservativen Annahme, eine Pyreg500 Anlage 100 kW \* 7.600 Betriebsstunden = 760.000 kWh/a erzeugt, wurde die verfügbare thermische Energie berechnet. Bei der gegebenen Frischmasse müssen 563.000 kg Wasser verdampft werden, wofür ca. 563.000 kWh thermische Energie benötigt würden. Es ist demnach genügend thermische Energie für den Kleetrocknungsvorgang vorhanden und es verbleibt eine Abwärmemenge von 197.000 kWh ungenutzt und kann für die Vortrocknung des Pyrolyse-Inputmaterials verwendet werden. Bei einem Preis von 150€/t für 750t Frischmasse ist mit Erlösen von 112.500€/Jahr zu rechnen. Für den Fall, dass es eine höhere Nachfrage nach Lohntrocknung gibt, kann die Anlage erweitert oder durch eine größere Anlage ersetzt werden.

## **3.2 Spezifikation der Anwendung (AP 2.2)**

### **3.2.1 Ergebnisse der theoretischen Untersuchung zur Beladung von Pflanzenkohle**

Die folgenden Kapitel beruhen auf der in der Sondierungsphase ausgeschriebenen und betreuten Projektarbeit von Fangqi Liu mit dem Titel „Mikrobielle Beladung von Pflanzenkohle“. Eine Vielzahl von Anwendungserfahrungen und unzählige wissenschaftliche Publikationen belegen heute, dass Pflanzenkohle in der Landwirtschaft zur Bodenregeneration, zur Ertragssteigerung, zur Senkung des Bedarfes an Pflanzenschutzmitteln, zur Erhöhung der Wasserspeicherefähigkeit und zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen wie Methan und Lachgas sowie Nitratauswaschungen eingesetzt werden kann [34]. Die Beladung von Pflanzenkohle ist dafür essentiell. Insbesondere in älteren Publikationen wurde jedoch teils nicht deutlich unterschieden zwischen Versuchen mit beladener und mit purer Pflanzenkohle. Das muss bei der Bewertung der Studienlage zur Beladung von Pflanzenkohle berücksichtigt werden.

Die Förderung der Aktivität von Bodenmikroorganismen ist ein zentrales Ziel der (insbesondere regenerativen) Landwirtschaft. Pflanzenkohle kann durch ihre physikalischen Eigenschaften zur Belebung des Bodens beitragen. Die Aktivität der Bodenmikroorganismen hängt unter anderem vom pH-Wert der Umgebung ab. Je nach Ausgangsmaterial und Pyrolysetemperatur variiert der pH-Wert der Pflanzenkohle (s. Kap. 3.1.6), wodurch ebenfalls die Zusammensetzung der Mikroorganismen (z.B. das Verhältnis von Bakterien zu Pilzen) beeinflusst wird. Daher müssen diese Faktoren vor der Produktion auf die Ansprüche der jeweiligen Fläche und das Anwendungsziel angepasst werden. Die Nährstoffzusammensetzung und -verfügbarkeit von Pflanzenkohle hängt sowohl von der Art der Ausgangsstoffe, als auch von den Pyrolysebedingungen (insb. von der Temp.) ab, unter denen sie hergestellt wird [34]. Bei der Nährstoffberechnung und Dosierung der Beladungslösung muss dies berücksichtigt werden. Durch die Beladung mit flüssigen organischen Nährstoffen wird die Kapazität für den Nährstoffaustausch der Pflanzenkohle erhöht und die Bodengesundheit verbessert. Allerdings können die Anschaffungskosten der beladenen Pflanzenkohle meist mittelfristig nicht durch Einsparungen an mineralischem Dünger und durch Ertragssteigerung gedeckt werden.

#### **3.2.1.1 Bedeutung der Beladung von Pflanzenkohle**

Um die bodenverbessernden Eigenschaften von Pflanzenkohle rasch und effizient zur Wirkung zu bringen, muss die Pflanzenkohle zunächst beladen werden. Pure Pflanzenkohle enthält in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial und den Pyrolyseparametern meist kaum Nährstoffe, sondern ist vor allem ein guter Nährstoffträger und Lebensraum für nützliche Mikroorganismen [43]. Sie kann sogar zu kurzfristiger Ertragsminderung führen, da bei der Ausbringung zuvor pflanzenverfügbare Nährstoffe von der puren Pflanzenkohle gebunden werden. Durch die Beladung der Pflanzenkohle mit nährstoffreichen Substraten, wie z.B. Gülle, Kompost oder Gärresten, lässt sich im ersten Anwendungsjahr ein positiver Effekt erzielen [80]. Denn Pflanzen können Nährstoffe nur als Mineralsalze aufnehmen, die in einer Lösung als elektrisch geladene Ionen vorhanden sind. Die Zugabe von Pflanzenkohle zur Erde verursachte eine signifikante Zunahme bei der Kationenaustauschkapazität (KAK), [46] also der Fähigkeit des Bodens, Nährstoffe zu

speichern und wieder abzugeben. Genauer gesagt ist die KAK die Summe der austauschbaren Kationen der organischen und anorganischen Bodenkolloide (Bodenteilchen) mit der Bodenlösung. Man unterscheidet dabei die austauschbaren basenbildenden Kationen ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ), sowie die säurebildenden Kationen ( $H^+$  und  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ). Der Austausch ist reversibel und bildet die Grundlage für eine gute Nährstoffverfügbarkeit im Boden. Bodenkolloide bestehen meist aus negativ geladenen Tonmineralen oder Ton-Humus-Komplexen. Die Kationen Kalium, Calcium, Magnesium etc. sind für Pflanzen wichtige Nährstoffe, die sich an die Bodenkolloiden binden und die Bodenfruchtbarkeit erhöhen. [47]

Als Nährstofflösung für die Beladung wurden bisher vor allem organische Lösungen und Suspensionen wie zum Beispiel Rinderurin, Biogasgülle, Presswasser aus der Tofu-Herstellung, aber auch Kompostextrakte oder sonstige kommerzielle Flüssigdünger eingesetzt. Auch synthetische und mineralische Dünger können verwendet werden. Diese werden entweder ebenfalls in flüssiger Form von der Porenstruktur der Pflanzenkohle aufgenommen oder sie werden in Form von gut löslichen Granulatdüngern erst nach der Wurzelapplikation der Pflanzenkohle oberflächlich auf den Boden ausgebracht, um dann mittels Regenwassers durch die Bodenstruktur in die Pflanzenkohle zu sickern. Pflanzenkohle wirkt vor allem als Trägermatrix für Nährstoffe, vermindert deren Auswaschung und verbessert die mikrobiell gesteuerte Aufnahme der Nährstoffe sowie den dabei stattfindenden Ladungsausgleich zwischen Wurzel und Boden. [49]

### **3.2.1.2 Prinzipien der Beladung von Pflanzenkohle**

Nach Schmidt [43] gibt es verschiedene Verfahren zur Beladung von Pflanzenkohle zur Herstellung von Terra Preta ähnlichen Bodensubstraten. Je nach Standort, Kultur, Klima, und vorhandener Technik können diese jeweils angepasst und modifiziert werden. Folgende Prinzipien, nach dem Praktiker, Forscher und Pflanzenkohle-Pionier Hans-Peter Schmidt, sollten bei einer Beladungslösung eingehalten werden:

1. Genug Wasser verwenden, um die Nährstoffe zu lösen und in die Poren der Pflanzenkohle einzudringen
2. Eine große Vielfalt an (vorzugsweise organischen) Nährstoffen, um Nährstoffmangel zu verhindern. Organischer Kohlenstoff und Stickstoff sind dabei elementar für die mikrobielle Besiedlung und sollten in einem C/N-Verhältnis von 25 bis 35 liegen
3. Die Beladungsdauer sollte mind. zwei Wochen betragen
4. Inokulation mit lokalen nützlichen Mikroorganismen ist zu empfehlen [43]

### **3.2.1.3 Wirkung der Beladung**

Die Verwendung von beladener Pflanzenkohle kann die Bodengesundheit verbessern und aufbauen. Das zeigen zum Beispiel die Ergebnisse von Ohsowski et al. [48]. Eine Kombination von Sandkastensubstraten (kaum Kohlen- und Nährstoffe) mit Pflanzenkohle, Kompost und arbuskulären Mykorrhizapilzen wurde erfolgreich zur Sanierung von Weideland eingesetzt [48]. Die Forschung von Naveed et al. [50] zeigt, wie die Anwendung von Pflanzenkohle insbesondere in Kombination mit der Inokulation von der endophytischen *Enterobacter* sp. MN17, einen umweltschonenden Weg zur Ertragssteigerung und zur Reduzierung des Kadmium-Gehalts von Erbsenpflanzen bietet, die in Kadmium-kontaminierten Böden wachsen. Dies belegt,

dass organische und anorganische Bodenzusätze und mikrobielle Inokulation das Pflanzenwachstum auf schwermetallbelasteten Böden verbessern können. Die Gründe sind nach Naveed et al. erstens die Adsorptionsfähigkeit der Pflanzenkohle, zweitens können die *Enterobacter* sp. zusätzlich das pflanzenverfügbare Kadmium verringert haben, indem sie den rhizosphärischen pH-Wert durch die Produktion von Metallphosphaten, durch metallchelatbildende Proteine und/oder durch intrazelluläre Aufnahme von Kadmium senken [50]. Außerdem können beladende Pflanzenkohle über ihre hohen inneren Oberflächen und die pH-Wert-Veränderung in der Umgebung eines Kohlepartikels auch die Pflanzenverfügbarkeit einiger Schwermetalle reduzieren, vor allem bei Kupfer, Kadmium und Zink, weniger hingegen bei Arsen und Blei. Durch die adsorptiven Eigenschaften kann Pflanzenkohle polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe aufnehmen, z. B. in kontaminierten Böden. Beladene Pflanzenkohle kann daher gut zur Sanierung kontaminierter Böden, Sedimente oder belasteter organischer Materialien verwendet werden [45].

In einer Studie von Awasthi et al. [51] wurde die Wirksamkeit verschiedener Arten von Pflanzenkohlezusätzen und bakterieller Inokulationen auf die Gasemission, den Nährstoffgehalt und die relevante funktionelle Bakteriengemeinschaft während der Kompostierung von Kuhdung untersucht. Das Ergebnis zeigt, dass die Inokulation von Pflanzenkohle mit Bakteriengruppen die Gasemission effektiv hemmt und die Kohlenstoff- und Stickstoffbindung verbesserte, wobei die Abundanz der funktionellen Bakteriengemeinschaft bemerkenswert erhöht wurde. Folglich wurde die integrierte Anwendung von Pflanzenkohle und die Inokulation mit einer Bakteriengemeinschaft, die aus frischem Kuhmist hergestellt wurde, als eine effiziente Methode zur Anpassung der mikrobiellen Aktivität und zur Erleichterung des Abbaus von zellulosereichen Abfällen vorgestellt. Dieses Vorgehen ermöglicht eine effiziente Bewirtschaftung von organischen Abfällen aus Kuhmist und Weizenstroh durch Kompostierung. [51]

Von Rödger et al. [46] hat im Jahr 1987 eine signifikante Erhöhung der Gasproduktion um 17 % bzw. 34,7 % bei der Mischung von Gülle und Pflanzenkohle im Batch- bzw. semikontinuierlichen Fermenter beobachtet. Die Untersuchungen zeigen eindeutig eine Verbesserung der Biogasproduktion bzw. einen signifikanten Mehrertrag gegenüber der Referenzlinie. Durch die Zugabe der beladenen Pflanzenkohle werden sowohl eine bessere Substratausnutzung im Hauptfermenter, als auch eine deutlich höhere Ausschöpfung des Gärrestpotenzials erreicht. [46]

Da die hohen Anschaffungskosten der Pflanzenkohle mittelfristig nicht durch Einsparungen an mineralischem Dünger und durch Ertragssteigerung gedeckt werden, ist es aus unternehmerischer Sicht wünschenswert, den Einsatz von Pflanzenkohle in einem möglichst frühen Stadium der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette zu betrachten, z. B. als Zugabe im Silierungsprozess, um zusätzliche Erträge durch Kaskadennutzung zu generieren. [46]

Möller und Höper [52] vom Landesamt für Hannover vertreten zudem die Meinung, dass die meisten landwirtschaftlich genutzten europäischen Böden bereits optimal bewirtschaftet werden und eine ähnlich hohe oder sogar höhere Produktivität wie die Terra-Preta-Böden des Amazonasgebietes besitzen. Aus diesem Grund könne bei europäischen Böden nicht mit einer signifikanten Steigerung der Bodenfruchtbarkeit gerechnet werden. [52] Demgegenüber sollte berücksichtigt werden, dass optimale

Bewirtschaftung in der Definition des maximalen Ertrages durchaus kritisch gesehen werden kann, da die Probleme der Bodendegradation (Versalzung, Verwehung etc.) und die Schädigung von Gewässern bis zum Grundwasser auch in Deutschland sehr real sind und die Produktivität oftmals nur durch steigenden Einsatz von Düngern und Pflanzenschutzmitteln aufrechterhalten werden kann. Ein Kreislauf, der sehr anfällig ist, z.B. durch Abhängigkeit vom Ölpreis, und hohe ökologische und gesellschaftliche Kosten verursacht.

#### **3.2.1.4 Biochemische Eigenschaften**

Die Oberflächenchemie von Pflanzenkohle ist, wie aufgrund ihrer heterogenen Zusammensetzung zu erwarten, recht vielfältig. Pflanzenkohleoberflächen weisen hydrophile, hydrophobe, saure und basische Eigenschaften auf, je nach Ausgangsmaterial und Herstellung [53]. Bei der Kompostierung durchläuft die Pflanzenkohle einen beschleunigten Alterungsprozess. Dabei bilden sich vermehrt funktionelle Gruppen an den verzweigten Oberflächen heraus. Dadurch wird die Redoxaktivität der Kohle erhöht. Nach Haubold-Rosar et al. [54] führt die Oxidation der Oberflächen frischer Pflanzenkohle im Zuge ihrer Alterung zur Bildung einer Vielzahl funktioneller Gruppen. Im Allgemeinen handelt es sich um Carboxyl-, Phenol-, Carbonyl-, Hydroxyl- oder Aminogruppen. Gleichzeitig nimmt die negative Ladung der Oberflächen zu. Dies führt zu einer Zunahme der KAK. Dadurch können Nährstoffe in größerem Maße gebunden werden und für Pflanzen und Mikroorganismen über einen längeren Zeitraum verfügbar bleiben. Aufgrund ihrer Polarität wirken sich hydrophile Gruppen auch auf die Wasserhaltekapazität des Bodens aus und erhöhen die Wasserlöslichkeit und den Transport der Pflanzenkohle mit dem Sicker- und Oberflächenwasser. [54] Die KAK hängt ebenfalls von der Oberfläche der Pflanzenkohle ab, ist aber eine chemische Größe, die durch Sauerstoff und Bodenkontakt zunimmt und erst nach einiger Zeit ihren Höchstwert erreicht. Eine hohe KAK kann zudem auch toxische Moleküle binden, wodurch das Bodenleben geschützt wird. [44]

#### **3.2.1.5 Nährstoffwert von Pflanzenkohle**

Eine offensichtliche positive Eigenschaft von Pflanzenkohle ist ihr Nährstoffwert, der entweder direkt durch die Bereitstellung von Nährstoffen für Pflanzen oder indirekt durch die Verbesserung der Bodenqualität und der Effizienz des Düngereinsatzes geliefert wird. Als Bewertungsmaßstab für den direkten Nährstoffwert von Pflanzenkohle ist nicht der Gesamtgehalt, sondern vielmehr die Verfügbarkeit der Nährstoffe von Bedeutung. Ein Beispiel für den indirekten Nährstoffwert von Pflanzenkohle ist ihre Fähigkeit, die Auswaschungsverluste von Nährstoffen zu reduzieren, was zu einer erhöhten Nährstoffaufnahme durch Pflanzen und einer höheren Produktion führt. Ein weiteres Beispiel für den indirekten Nährstoffwert von Pflanzenkohle ist die Beseitigung von Bodenbeschränkungen, die das Pflanzenwachstum und die Produktion einschränken (z.B. Optimierung des pH-Wertes des Bodens und dadurch eine Verbesserung der Effizienz des Düngemitelesatzes und eine Steigerung der Pflanzenproduktion). [55]

Nach Chan und Xu [55] bestimmen die Prozessbedingungen während der Pyrolyse in bedeutendem Maße den N-Gehalt der Pflanzenkohle. Die N-Verluste sind größer bei höheren Pyrolysetemperaturen. Aus den begrenzten verfügbaren Daten geht hervor, dass der mineralische N-Anteil sehr gering und das verfügbare Phosphat sehr

schwankend ist. Im Gegensatz dazu ist das verfügbare K in Pflanzekohle typischerweise hoch. Die C/N-Verhältnisse von Pflanzekohle variieren stark zwischen 7 und 400. Im Allgemeinen wird ein C/N-Verhältnis von 20 bei organischen Substraten als kritische Grenze verwendet, oberhalb derer eine Immobilisierung von Stickstoff durch Mikroorganismen auftritt. Dies zeigt erneut, wie wichtig eine Beladung ist. Das C/N-Verhältnis von Terra Preta-Böden ist in der Regel höher als das der benachbarten Ferralsol-Böden. Sie haben aber tendenziell einen höheren verfügbaren N-Anteil. Um die hohen Nährstoffgehalte und -verfügbarkeiten der reinen Pflanzekohle zu erhalten, muss die Temperatur bei der Pyrolyse eher niedrig gehalten werden, z.B. bei oder unter 400°C bis 500°C. [55]

#### **3.2.1.6 Wirkung von beladener Pflanzekohle auf Boden und Feldfrüchte**

Es gibt ein wachsendes Interesse an dem Potenzial, dass Pflanzekohle für die Kohlenstoff-Speicherung, die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, die Wiederherstellung degradierter Böden, die Reduzierung von Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft und die Beeinflussung der Bodenfeuchtigkeit und der biologischen Aktivität des Bodens hat [56]. Im Folgenden wird die Wirkung von beladener Pflanzekohle auf Bodenmikroorganismen und den Ertrag aus der Literatur zusammenfassend dargestellt.

Die Verwendung von gelösten organischen Nährstoffen hat in einer Reihe von Versuchen bessere Wachstumserfolge ergeben, als die Beladung mit anorganischen Nährstoffen. Dies wird dadurch erklärt, dass es durch die Imprägnierung mit organischen, also C-reichen Lösungen und Suspensionen zu einer sogenannten organischen Beschichtung (eng. organic coating) der inneren Oberflächen der Pflanzekohle kommt. Die organische Beschichtung im inneren der Kohlestruktur führt zu einer erhöhten Nährstoffaustauschkapazität sowohl für Kationen wie Ammonium, Magnesium oder Kalium als auch für Anionen wie Phosphat und Nitrat. [41]

Nach Thies und Rillig [57] können Mikroorganismen aus Batchkulturen zur Steigerung des Ertrags eingesetzt werden. Mit einem geeigneten Träger (z.B. Pflanzekohle) können die Mikroorganismen in die Pflanzfurche eingebracht oder unmittelbar vor der Aussaat an das Saatgut angeheftet werden. Sowohl gezüchtete als auch freilebende stickstofffixierende Bakterien, weitere pflanzenwachstumsfördernde Rhizobakterien, sowie saprophytische (z.B. *Trichoderma harzianum*) und Mykorrhizapilze werden schon bei einigen Pflanzungen zur Wachstumsförderung und zum Schutz vor Pflanzenkrankheiten aufs Feld ausgebracht. Pflanzekohle wurde als Trägersubstrat sowohl für Rhizobien als auch für Arbuskuläre Mykorrhizapilze (AMF) in den letzten 20 Jahren mit Erfolg eingesetzt. Pflanzekohle ist ebenso ein geeigneter Träger für die stickstofffixierenden Wurzelknöllchenbakterien *Rhizobium*, *Mesorhizobium* und *Bradyrhizobium*. [57]

Die hohe Ionenaustauschkapazität der Pflanzekohle führen dazu, dass sie sich gut als Nährstoffträger eignet. Die von der Pflanzekohle aufgenommenen Nährstoffe und die poröse Struktur wiederum führen dazu, dass Mikroorganismen gute Lebensräume in und um die Pflanzekohle finden, was wiederum der gesamten mikrobiellen Belegung des Bodens und dem Potential für Symbiosen von Mikroorganismen und Pflanzenwurzeln zugutekommt. [44] In den Poren der Pflanzekohle sind Mikroorganismen aufgrund der Größenstruktur vor Prädatoren und vor Austrocknung

geschützt. Bodenmikroorganismen wiederum sind in der Landwirtschaft sehr wichtig, da sie diverse Ökosystemdienstleistungen erbringen: sie zersetzen organisches Material, verstoffwechseln und immobilisieren anorganische Nährstoffe, filtern, tragen zur Bioremediation kontaminierter Böden bei, unterdrücken oder verursachen Pflanzenkrankheiten, produzieren und geben Treibhausgase frei und verbessern die Bodendurchlässigkeit und Wasserinfiltration. Zu diesen Mikroorganismen gehören Bakterien, Pilze, Algen, Protozoen und Nematoden. [57]

Arbuskuläre Mykorrhizapilze (AMF) sind dabei Schlüsselorganismen des Systems Boden-Pflanze und tragen zur Aufnahme von Nährstoffen und Wasser durch die Wurzeln bei. AMF spielen auch eine Rolle bei der Aggregation und strukturellen Stabilität des Bodens. Pflanzenkohle kann einen geeigneten Lebensraum für das Wachstum von Mykorrhizen bieten, was auch im Hinblick auf produktive Böden günstig ist. Nach Ortas [58] erhöht die Inokulation von Pflanzenkohle und Mykorrhiza-Arten das Trockengewicht von Trieben und Wurzeln von Zitrusbäumen signifikant. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass das Mykorrhiza-Inokulum die Pflanzenkohle belädt, wenn sie in die Rhizosphäre eingebracht wird. [58] Es gibt mehrere Arten von Mykorrhizen, von denen die häufigsten arbuskuläre Mykorrhizen und Ektomykorrhizen sind. Diese beiden Gruppen unterscheiden sich morphologisch, physiologisch und ökologisch in Bezug auf die Pflanzenwirte, daher ist es sehr wahrscheinlich, dass sie auch unterschiedlich auf die Zugabe von Pflanzenkohle reagieren. AMF besiedeln die meisten wichtigen Nutzpflanzenarten (Mais, Reis, Weizen, etc.) und nach der aktuellen Studienlage stärkt die Ausbringung von Pflanzenkohle die Besiedlung der Nutzpflanzen durch AMF. [57] Ein Grund hierfür kann sein, dass Pilze, einschließlich Mykorrhizapilze, der Beweidung durch die Bodenfauna unterliegen. Verringerte Beweidung - zum Beispiel durch toxische Effekte auf Weidegänger oder die Bereitstellung von Refugien (feindfreiem Raum) in Pflanzenkohlepartikeln – kann zu einem höheren AMF Vorkommen führen. Es ist bekannt, dass AMF bei der Interaktion zwischen gemeinsam vorkommenden Pflanzen, einschließlich Unkräutern, eine wichtige Rolle spielen. Es ist daher eine Fragestellung für weitere Untersuchung festzustellen, wie Pflanzenkohle - über die Beeinflussung von Mykorrhizen - auch das Konkurrenzgleichgewicht zugunsten von Nutzpflanzen verändern könnte. [57]

Feuchtigkeit, Temperatur und pH sind die Umweltfaktoren, die die Bakteriengemeinschaft im Boden am stärksten beeinflussen, wobei die bakterielle Vielfalt in neutralen Böden am höchsten und in sauren Böden am niedrigsten ist. Die Aktivität von Bakterienpopulationen wird ebenfalls stark vom pH-Wert beeinflusst. Sowohl unter sauren als auch unter alkalischen Bedingungen werden Proteine denaturiert und die Enzymaktivität wird gehemmt, was die meisten Stoffwechselprozesse beeinträchtigt. Pflanzenkohle variieren beträchtlich in ihrem pH-Wert (tendiert aber gemeinhin ins alkalische), abhängig vom Ausgangsmaterial und der Pyrolysetemperatur, und somit auch in den mikrobiellen Gemeinschaften, die sich auf und um sie herum entwickeln. Die Zugabe von Pflanzenkohle zum Boden, egal ob sauer oder alkalisch, kann zu signifikanten Veränderungen in der Zusammensetzung der Bodengemeinschaft führen, indem das Gesamtverhältnis von Bakterien zu Pilzen sowie die Vorherrschaft verschiedener Gattungen innerhalb dieser Populationen verändert wird. Somit kann Pflanzenkohle auch die Bodenfunktion signifikant

verändern, indem sie die Enzymaktivitäten und somit die gesamte mikrobielle Aktivität beeinflusst. [57]

So kann z.B. Pflanzenkohle, die mit Komposttee beladen wurde, kann das Wachstum von Auberginen verbessern, wenn sie auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens abgestimmt ist. Es wurde gezeigt, dass mit Komposttee beladene Pflanzenkohle die mikrobielle Aktivität und funktionelle Diversität im Boden anders veränderte als pure Pflanzenkohle und dass das Pflanzenwachstum von der Beladung verstärkt wird, während die Insektenschäden abnehmen. [59]

Das Delinat-Institut hat zahlreiche Versuche mit (beladener) Pflanzenkohle im Weinbau durchgeführt. Neben dem Institutsstandort im Wallis wurden auch auf drei repräsentativen Weingütern in Frankreich, Spanien und Italien Langzeit-Feldversuche angelegt. Primär sollte der Einfluss der Pflanzenkohle auf das Rebwachstum und die Weinqualität unter verschiedenen Klima- und Bodenbedingungen untersucht werden. Die Ergebnisse zeigen ein differenziertes Bild und unterstreicht die Wichtigkeit der biologischen und mineralischen Aktivierung der Pflanzenkohle. [71]

### **3.2.2 Ergebnisse der Laborversuche der Sondierungsphase**

In der Sondierungsphase wurden erste Laborversuche mit Topfpflanzungen vorgenommen, um mögliche Beladungslösungen für die Machbarkeitsphase zu testen. In folgendem werden die Versuche und Ergebnisse vorgestellt.

#### **3.2.2.1 Einleitung in die Laborversuche in der Sondierungsphase**

Die Herstellung der Beladungslösungen für die Pflanzversuche mit beladener Pflanzenkohle startete am 21.7.2021. Es wurde Komposttee (Abbildung 15), Brennnesseljauche aus frischen und Brennnesseljauche aus trockenen Brennnesseln (Abbildung 14) hergestellt. Das vierte Substrat war Carbuna ATS, eine beladene Pflanzenkohle des Projektpartners Carbuna AG. Am 20.8.2021 wurden 40 Kohlrabipflanzen in die vier verschiedenen Substrate eingesetzt und Kresse in pro Substrat drei Parallelversuchen angepflanzt. Am 27.8. wurden die Kresseversuche beendet, am 16.9.2021 die Kohlrabiversuche.



Abb. 14: Trocknungsvorgang der Brennnesseln in Räumlichkeiten des IAK



Abb. 15: Herstellung des Komposttees im Labor des IAK unter Rühren, Belüftung und Temperaturkontrolle

### 3.2.2.2 Erkenntnisse aus der Herstellung der Beladungslösungen

Die Herstellung der Beladungslösung „Brennnesseljauche“ aus getrockneten Brennnesseln“ benötigt den längsten Zeitrahmen, da die frischen Brennnesseln geerntet und dann über mind. zwei Wochen getrocknet werden müssen (bei Raumtemperatur, s. Abbildung 14). Zu beachten ist, dass das Gewicht der Brennnesseln durch die Trocknung sehr stark abnimmt, selbst wenn die Brennnesseln zum Erntezeitpunkt recht trocken erscheinen. Die Brennnesseljauche selbst wird über einen Zeitraum von zwei Wochen hergestellt, wobei der Arbeitsumfang gering ist, sowohl in der Herstellung als auch in der Betreuung. Die Brennnesseljauche aus 54

getrockneten Brennnesseln ließ sich besser rühren als die Jauche aus frischen Brennnesseln. Die Geruchsentwicklung war in erwartbarem Rahmen stark jauchearartig, weshalb die Behälter im Freien mit einem locker aufgesetzten Deckel zum Schutz vor Witterung und Tieren aufgestellt wurden. Der pH lag für frische Brennnesseljauche bei 5,69, bei Brennnesseljauche trocken bei 5,84. Komposttee benötigt in der Herstellung nur 72 Std., der Arbeitsaufwand war jedoch deutlich höher, einmal durch die Herstellung/ Auffindung der Ausgangsstoffe (Waldboden, Holzkompost etc.), zweitens durch den höheren technischen Aufwand, der durch Belüftung, Rühren und Temperieren entsteht (s. Abbildung 15). Nach Herstellung lag der pH zwischen 6,07 und 6,57.

### 3.2.2.3 Erkenntnisse aus den Kresseversuchen

In Abbildung 16 ist das Ergebnis des Kresseversuchs photographisch festgehalten, die Versuchstöpfe mit Carbuna ATS sind gesondert beschriftet.



Abb. 16: Kresseversuche mit 4 Beladungslösungen in 3 Parallelversuchen

In allen drei Versuchsansätzen mit Carbuna ATS hat keine Keimung der Kresse stattgefunden. In allen weiteren Versuchsansätzen hat die Kresse grün und gesund gekeimt, das Wachstum schien bei den Ansätzen mit Brennnesseljauche etwas schneller und stärker zu sein als bei den Ansätzen mit Komposttee.

### 3.2.2.4 Erkenntnisse aus den Kohlrabiversuchen

In Abbildung 17 ist die Versuchsanordnung am IAK zu sehen. Die Pflanzen wurden zufällig auf zwei Fensterbänke in Westausrichtung verteilt. Durch einen Raupenbefall wurde eine Pflanze auf Brennnesseljauche frisch komplett aufgefressen, weitere Pflanzen wurden geschädigt, konnten sich nach absammeln der Raupen jedoch wieder erholen. Es ist zu vermuten, dass sich die Raupen oder Raupeneier auf den Jungpflanzen von der Gärtnerei befanden.



*Abb. 17: Die Kohlrabipflanzen am West-Fenster einige Tage nach dem Einpflanzen und eine gesunde Pflanze bei der Vermessung am Versuchsende.*

Die zehn Kohlrabipflanzen, die auf Carbuna ATS angepflanzt wurden, sind nicht richtig angewachsen und nach einiger Zeit verkümmert und vertrocknet. Während des Gießens (3x die Woche 50 ml) trat die aus Carbuna ATS herausgelöste Beladungsflüssigkeit, verdünnt mit Wasser, bei diesen Pflanzen dunkelbraun und riechend wieder aus. Bei den anderen Pflanzen trat nur in der ersten Woche etwas Flüssigkeit aus, die jedoch kaum verfärbt war.

Die Pflanzen aus den Brennnesseljauchen und Komposttee-Versuchen wurden nach 27 Tagen vermessen und gewogen. Die chemische Untersuchung der Bodenproben (N, P, K) wurde am IAK vorgenommen. Der Gehalt an organische Stickstoff war bei den Proben der mit Komposttee Pflanzenkohle bei durchschnittlich 0,2 mg/g (trocken). Bei dem mit Brennnesseljauche aus getrockneten Brennnesseln beladenen Substrat lag diese TKN Wert bei durchschnittlich 0,3 mg/g, beim Substrat das mit frischen Brennnesseln hergestellt wurde, lag der TKN Wert bei durchschnittlich 1,5 mg/g. Beim Gemisch mit Carbuna ATS lag der TKN Wert im Durchschnitt bei 1,05 mg/g und damit deutlich am höchsten. Auch die Phosphorwerte mit durchschnittlich 165 mg/kg und der Kaliumgehalt mit durchschnittlich 1642 mg/kg sind beim Substrat mit Carbuna ATS am höchsten. Der Phosphorgehalt und Kaliumgehalt von den Substraten mit Komposttee und Substraten mit Brennnesseljauche aus frischen Brennnesseln war nahezu identisch zwischen 114 bis 119 mg/kg (P) bzw. 1063 bis 1083 mg/kg (K). Die Werte für Substrate mit Brennnesseljauche aus getrockneten Brennnesseln lagen leicht darunter bei 103 mg/kg Phosphor und 759 mg/kg Kalium.

Das Gesamtgewicht nach vorsichtigem Abklopfen des Substrates unterliegt stärkeren Schwankungen, da das Substrat nicht vollständig von den Wurzeln gelöst werden kann. Das oberirdische Gewicht der Pflanze nach Abtrennen des Wurzelballens ist die belastbarere Größe (Abbildung 18).

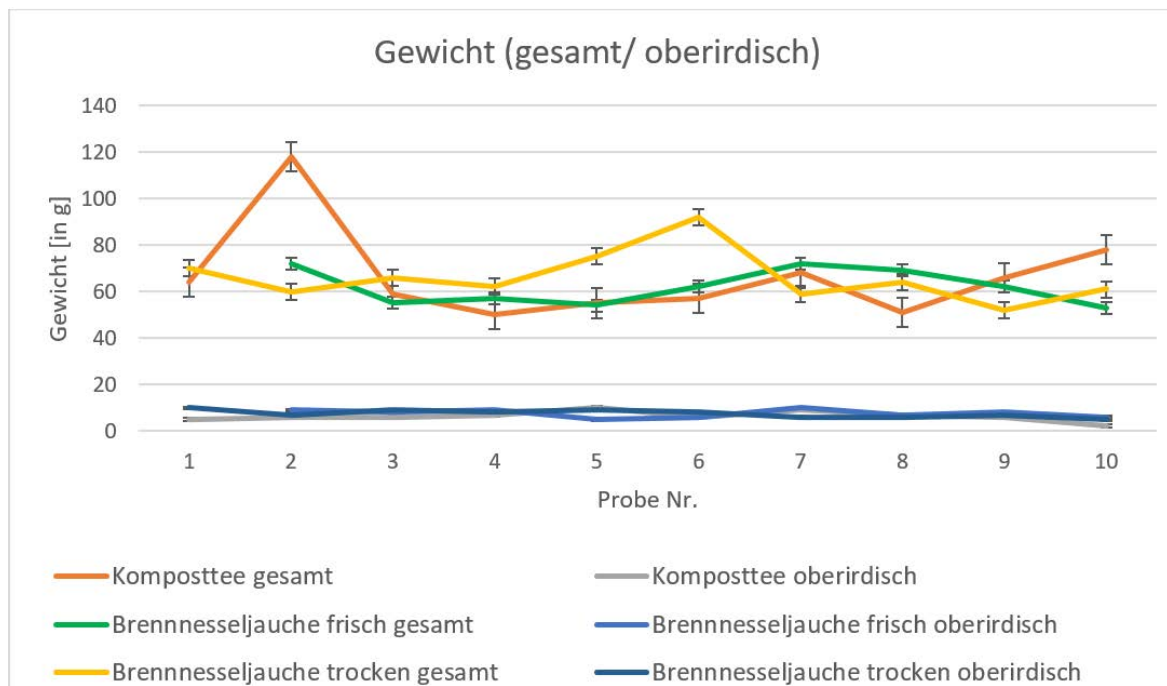


Abb. 18: Vergleich des Gewichtes der Kohlrabipflanzen nach Versuchsende

Wie in Abbildung 18 zu erkennen, ist das durchschnittliche Gewicht des oberirdischen Pflanzenteils bei den Kohlrabipflanzen die auf Brennnesseljauche (trocken Ø 7,5g; Ø feucht 7,6g) gewachsen sind höher als beim Komposttee-Substrat (Ø 6,4g). In Abbildung 19 sind die Ergebnisse der Vermessung der längsten Wurzel dargestellt.

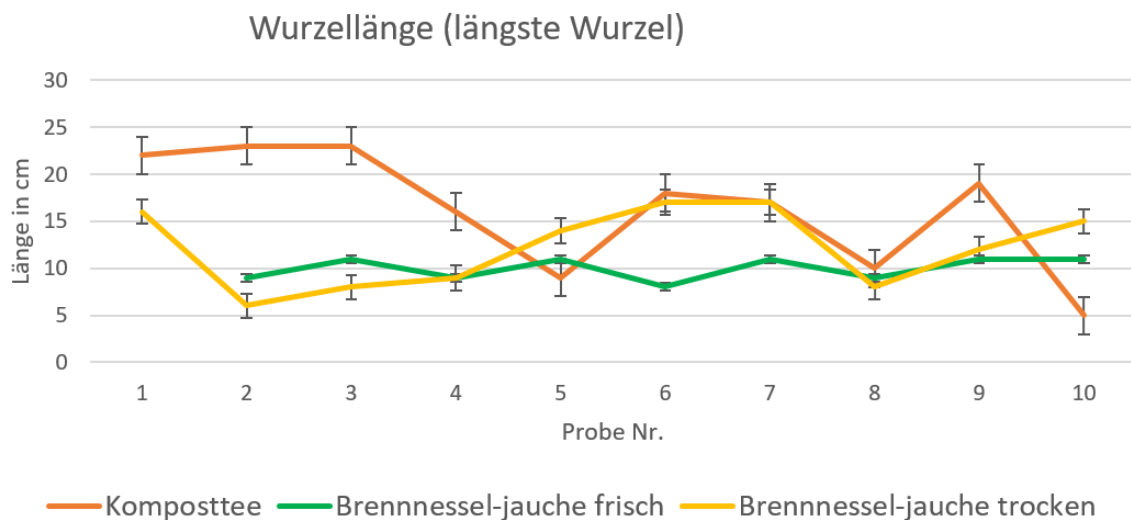


Abb. 19: Vermessung der längsten Wurzel der Kohlrabipflanzen

Die Messung der längsten Wurzel ist begrenzt in der Aussagekraft, da es immer wieder zu Ausreißern kommt, während eher der Wurzelballen ein Indikator für die Pflanzengesundheit ist. Eine besonders lange Wurzel kann somit auch Ausdruck einer mangelnden Nährstoffversorgung sein, die die Pflanzen mit langen „Such-Wurzeln“ versuchen zu beheben. Zudem können die feinen Wurzeln beim Austopfen leicht reißen und somit die Werte verfälscht werden.

### **3.2.2.5 Ausblick**

Die Ergebnisse und gewonnenen Erfahrungen sprechen für eine weitere Untersuchung der Brennnesseljauche als Beladungslösung für feine Pflanzenkohle. In der Machbarkeitsphase wird in kleinen Beladungs- und Pflanzversuchen mit dem Mengenverhältnis und der Einwirkzeit variiert werden, um eine optimale Beladung zu erreichen. Dann werden größere Mengen hergestellt werden, um die Feldversuche ab Frühjahr 2023 durchzuführen.

Für die Auswertung der Feldversuche konnten durch die Vorversuche in der Sondierungsphase erste wichtige Erkenntnisse gewonnen werden. Eine optimierte Liste an zu quantifizierenden Merkmalen der Versuchspflanze ist erstellt. Die Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden berät zudem in der Anlage und Auswertung der Feldversuche, um den wissenschaftlichen Standard im Bereich Agrarwirtschaft zu gewährleisten.

## **3.3 Bodenuntersuchung (AP 2.3)**

### **3.3.1 Düngegesetz und Nährstoffhaushalt**

In Böden eingebrachte, beladene Pflanzenkohle muss nach dem im System vorhandenen NPK- Verhältnis und nach den extern eingebrachten Nährstoffen im Boden ausgerichtet werden, um das sensible Gleichgewicht des Ökosystems zu wahren.

Landwirtschaftsbetriebe müssen den Nährstoffgehalt im Dünger und den pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalt je nach Kulturpflanze jährlich berechnen und bestimmte Grenzwerte einhalten, da Abbauprodukte von Stickstoff zu Ökosystembelastungen von Gewässern und Grundwasser führen können. Dies wird streng kontrolliert, auch mit Bodenanalysen. Für dieses Projekt ist insbesondere die Stickstoffmenge bedeutend, da Brennnesseln als Grundlage für die Beladungslösung ein Stickstofflieferant im Boden sind.

Die Düngeverordnung schreibt eine schriftliche Düngebedarfsermittlung für den individuellen Pflanzenbestand und jeden Schlag (landw. Bewirtschaftungseinheit) vor. Die Bedarfsermittlung unterscheidet sich bei Acker, Grünland, Zweitfrucht, Gemüse und weiteres, dargestellt in Abbildung 20.

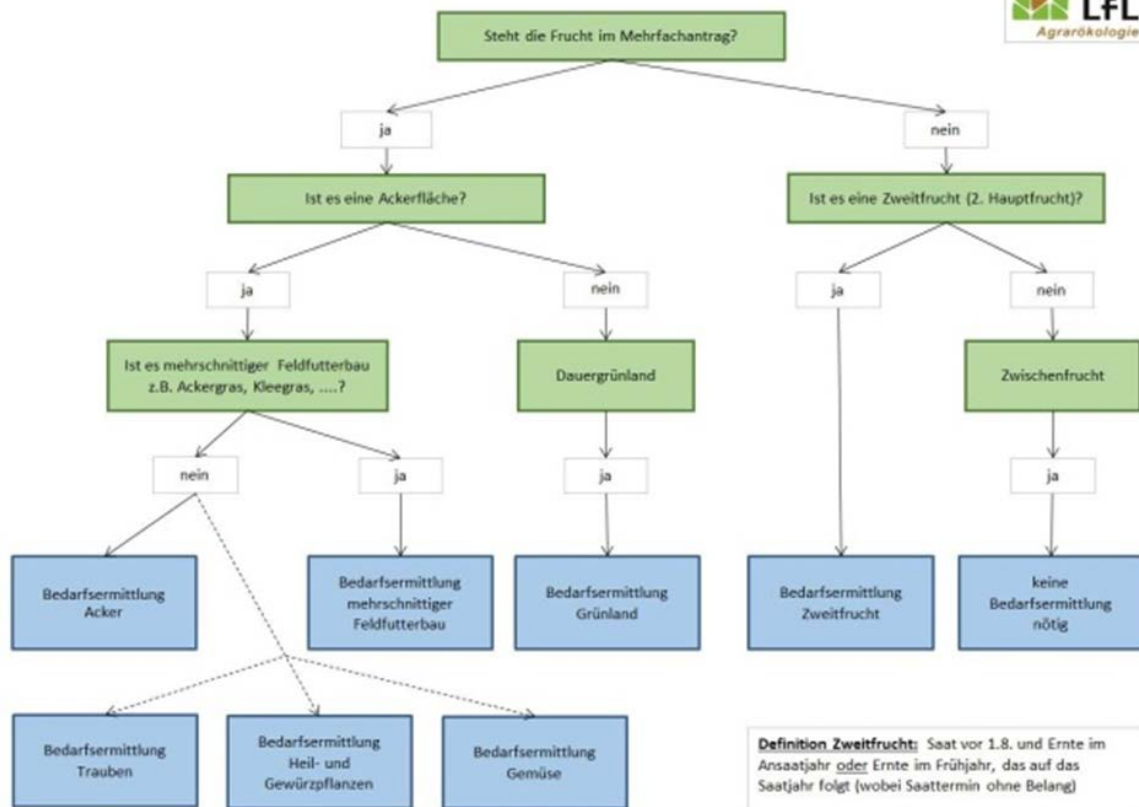


Abb. 20: Entscheidungsbaum für Art der Düngebedarfsermittlung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft [107]

Es gibt auch Betriebe, die von der Bedarfsermittlung befreit sind, wie „Betriebe, die weniger als 15 ha bewirtschaften, weniger als zwei ha Sonderkulturen (Gemüse, Hopfen, Wein, Erdbeeren) weniger als 750 kg N-Ausscheidung bewirtschaften und keinen Wirtschaftsdünger oder Biogasgärrest aufnehmen“. [107]

Bei der Berechnung der betriebsbezogenen „170 kg N/ha Grenze“ für ein Kalenderjahr wird die Menge an organischem Stickstoff in tierischem und organischem Dünger bzw. in Biogas-Gärresten ermittelt. Tierhaltende Betriebe bzw. solche mit organischer Düngung, aber ohne betriebseigene Biogasanlage, verwenden den anrechenbaren Viehbestand und die Milchleistung zur Berechnung. Biogas-erzeugende Betriebe müssen die Nährstoffgehalte im Gärrestanfall berechnen. [107]

Es gelten flächenspezifische Sperrfristen, in denen kein Dünger ausgebracht werden darf; Dezember bis Mitte Januar ist die alle Flächen überschneidende Sperrfrist. Tierhaltende Betriebe müssen für ihre Sperrfristen einen ausreichenden Düngemittel-Lageraum vorsehen. Auf roten Flächen (= Nitrat-belastete Gebiete) gelten besondere Regeln für Düngebedarfsermittlung und Sperrfristen. Der Partnerbetrieb Aggrargenossenschaft See ist als Tierhaltender Betrieb mit landwirtschaftlichen Nutzflächen mit den Berechnungen vertraut und übernimmt die Bedarfsermittlung.

### 3.3.2 Mikrobiom und Humusaufbau

Nach Schmidt et al. [44] ist Pflanzenkohle kein Dünger, sondern vor allem ein Trägermittel für Nährstoffe sowie Habitat für Mikroorganismen. Eine intakte Mikrobiologie spielt eine entscheidende Rolle beim Ermöglichen des

Humusaufbaus. Daher ist eine Analyse des vorhandenen Boden-Mikrobioms empfehlenswert, wenn auch kostspielig.

Den Humusaufbau nachzuweisen ist schwierig. Erfolgsversprechend ist die Humusanalyse mittels Thermogravimetrie, bei der der nicht-humose (untypische) Kohlenstoffanteil, die biologisch leicht abbaubaren Humusanteile und die langfristige Humusversorgung durch verschiedene Bewirtschaftungsmethoden ermittelt wird. [108]

### **3.3.3 Bodenprobenahme in der Machbarkeitsphase**

Die Feldversuche in der Machbarkeitsphase sollen begleitet werden durch Bodentests vor der Saat in beiden Jahren. Es kann eine weitere Probe im Herbst erfolgen, die der Kontrolle der Nährstoff-Restgehalte dient.

Stickstoff min-Proben werden wie folgt gezogen: Bei einem Schlag mit einheitlichen Bodenverhältnissen und gleicher Bewirtschaftung wird eine Mischprobe erstellt, bei 30, 60 und 90 cm Tiefe mit einem dreiteiligen Bohrsatz auf festgetretenem Boden gezogen. Diese werden aus min. 15-20 Probeneinstichen, die gleichmäßig über die Fläche verteilt sein müssen, entnommen. Im Frühjahr bei einer Winterung werden sie zum Vegetationsbeginn, ca. ein bis zwei Wochen vor der Düngung, genommen. Im Frühjahr bei einer Sommerung erfolgt die Probenentnahme ca. ein bis zwei Wochen vor der Düngung. Im Herbst können Proben im November nach Vegetationsende entnommen werden. Die Probe muss gekühlt werden und darf bis zum Labor eine Temperatur von +2 °C nicht überschreiten. [107]

Neben dem Stickstoffgehalt sollen pH-Wert, Phosphat-, Kali- und insbesondere bei sandigen Böden der Magnesium-Gehalt (Standardbodenuntersuchung) geprüft werden. Dabei umfasst eine empfohlene Probenahme bei einem 2,5 ha großen Schlag mit einheitlichen Bodenverhältnissen und gleicher Bewirtschaftung eine Mischprobe, bei 15-20 cm Tiefe und optimaler Feuchte (nicht schmierend, nicht ausgetrocknet) entnommen, an einem Zeitpunkt zwischen Ernte und vor der ersten Düngung für die nachfolgende Anbauperiode. Die Mischprobe wird hergestellt aus min. 15 Probeneinstichen, die in einem W-Muster entnommen wurden. [107]

Die Beprobung kann neben dem händischen Vorgehen auch mit einem Probenahmemobil durchgeführt werden, wie in Abbildung 21 gezeigt.



Abb. 21: Bodenprobenahme zur Ermittlung des pflanzenverfügbaren Bodenstickstoff durch das LfULG Sachsen [109]

Außerdem gibt es mobile Bodenprobenanalysegeräte z.B. das AgXtend Stenon, die sich allerdings aktuell in der Markteinführung befinden. Die Düngebedarfsermittlung wird gemeinsam mit dem landwirtschaftlichen Partner durchgeführt. An dieser wird sich die Konzentration und Dosierung der Beladungslösung orientieren.

### 3.4 Untersuchung der Bandbreite der Produkte (AP 2.4)

In der Marktanalyse (Kapitel 2.1) wurde das Produkt Pflanzenkohle in den vom Projekt präferierten landwirtschaftlichen Anwendungen ausgiebig vorgestellt. Es gibt vom ithaka Institut eine Aufstellung von weiteren möglichen Anwendungen von Pflanzenkohle, die in Folgendem aufgelistet sind [105]:

#### Kaskadennutzung in der Viehhaltung

1. Silagehilfsmittel, 2. Futterzusatz, 3. Einstreu, 4. Güllebehandlung, 5. Mistkompostierung, 6. Wasserbehandlung für Fischzucht

#### Einsatz als Bodenhilfsstoff

7. CarbonDünger, 8. Kompost, 9. Torfersatz für Aufzuchterden, 10. Pflanzenschutzmittel, 11. Ausgleichsdüngung für Spurenelemente

#### Gebäudekonstruktion

12. Dämmstoffe, 13. Luftdekontamination, 14. Bodenfundamentdekontamination, 15. Luftfeuchtigkeitsregulation, 16. Schutz vor Elektromog

#### Dekontaminierung

17. Bodenzusatz zur Sanierung belasteter Böden, 18. Bodensubstrat, 19. Pestizid Oberflächenabfluss-Mauer, 20. Teich- und Seewasserbehandlung

### **Biogasproduktion**

21. Biomassezusatz, 22. Biogas-Gülle-Behandlung

### **Abwasserbehandlung**

23. Aktivkohlefilter, 24. Vorschwemm-Zusatz, 25. Bio-Beet Bodensubstrat, 26. Komposttoiletten

### **Trinkwasserbehandlung**

27. Mikrofilter, 28. Großfilter in Entwicklungsländer

### **Abgasfilter**

29. Emissionskontrolle, 30. Raumlufffilter

### **Industrie**

Industriematerial (31. Kohlefaser, 32. Kunststoff), Elektronik (33. Halbleiter, 34. Batterien), Metallurgie (35. Metallreduktion)

### **Kosmetik**

36. Seife, 37. Hautcreme, 38. therapeutischer Badezusatz

### **Farbstoffe**

39. Lebensmittelfarbstoff, 40. Industriefarben

### **Energieproduktion**

41. Pellets, 42. Braunkohlezusatz

### **Arzneimittel**

43. Entgiftung, 44. Trägermittel für Arzneimittelwirkstoffe

### **Textilindustrie**

45. Gewebezusatz für Funktionswäsche, 46. Wärmeisolation für Funktionskleidung, 47. Deodorant für Schuhsohlen

### **Lebensmittelindustrie**

48. Konservierung von Lebensmitteln

### **Wellness**

49. Füllstoff für Matratzen, 50. Füllstoff für Kopfkissen, 51. Abschirmung elektromagnetischer Strahlung [105]

## **4 Vorbereitung der Machbarkeitsphase und Validierung der gesammelten Erkenntnisse (AP 3)**

Die vorangegangenen Kapitel umfassen essentielle Aktivitäten, die nötig waren, um das Projekt inhaltlich auf die praktische Phase vorzubereiten. In folgendem Abschnitt

werden die aktuellen Inhalte des Vollantrags für die Machbarkeitsphase als Vorbereitung und Validierung aufgeführt.

#### 4.1 Ziele

Pflanzenkohle kann ein Schlüsselement zum Eintritt in eine klimapositive, nachhaltigere Landwirtschaft sein. Biologisch, indem sie bei richtiger Bodenbewirtschaftung zum Aufbau einer Humusschicht beiträgt. Ökonomisch, indem organische Produktionsreststoffe und biogene Abfälle eine höhere Inwertsetzung und Potenzialausschöpfung durch die Kombination von stofflicher und thermischer Nutzung erfahren. Pflanzenkohle ist neben Aufforstung und Humusaufbau eine der drei aktuell zur Verfügung stehenden Negativemissionsmaßnahmen, um Kohlenstoff langfristig der Atmosphäre zu entziehen und somit den Klimawandel zu bremsen.

Ziel der Machbarkeitsphase im Projekt „thebiocharstory“ ist es, eine Beladungslösung für Pflanzenkohle im industriellen Maßstab herzustellen und Pflanzenkohle zu beladen, und anschließend in Feldversuchen zu testen. Dafür wurde in der Sondierungsphase eine geeignete Beladungslösung im Labormaßstab gefunden, die nun weiter untersucht und in Upscaling-Versuchen auf eine Anwendung in der Landwirtschaft vorbereitet wird. In Feldversuchen ab Frühjahr 2023 bis Sommer 2024 wird die beladene Pflanzenkohle beim Projektpartner Agrargenossenschaft See (AG See) mit einer Leguminose und einer Getreideart mit niedriger Bodengüte (BWZ/Ackerzahl) auf sandigem Boden getestet.

Es wird angestrebt zu erkunden, ob eine qualitative (z.B. Proteingehalt, Hektoliter-Gewicht) und quantitative (Erntegewicht der Feldfrucht und der gesamt-Pflanze) Verbesserung der Ernte gegenüber einer Ernte ohne Bodenverbesserung (Versuchsabschnitte ohne beladene Pflanzenkohle) erzielt werden kann. Ebenfalls im Fokus liegt die Bodengesundheit. Durch den Einsatz von beladener Pflanzenkohle soll eine Verbesserung der langfristigen Kohlenstoffbindung und der allgemeinen Bodenparameter erzielt werden. Ein weiteres Ziel sind wissenschaftliche Veröffentlichungen, die nicht nur über Journals ein Fachpublikum erreichen, sondern insbesondere die zukünftigen Anwender\*innen adressiert. Hierfür sind Artikel in Journalen der Bauern-, Gartenbau- und Zuchtverbände von besonderem Interesse, um eine besondere Praxisnähe des Forschungsprogrammes gerecht zu werden. Eine Promotion zum Thema wird angestrebt.

Dieses Vorhaben leistet einen Beitrag zur Nationalen Bioökonomiestrategie. Bei der Pflanzenkohle-Produktion werden ungenutzte, biogene Abfälle stofflich und in Form von Wärmeenergie und/oder Elektrizität energetisch verwertet. Um die Anwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft (ohne Viehhaltungs-Bezug) überhaupt erst zu ermöglichen, wird in diesem Projekt eine Beladungslösung entwickelt, die die Schnittstelle zwischen Pflanzenkohle und Bodenmatrix herstellt. Mit der beladenen Pflanzenkohle steht somit ein vielseitig einsetzbares Element für Klimaschutzmaßnahmen zur Verfügung. Zudem werden regionale, zukunftsfähige, pandemie-resistente Wirtschafts- und Zuliefer-Kreisläufe etabliert. Am Ende der Machbarkeitsphase ist, ganz nach dem Programm „Neue Produkte für die Bioökonomie“, eine erfolgreiche Ausgründung um beladene Pflanzenkohle in der Lausitz vorgesehen.

#### **4.2 Stand der Wissenschaft und Technik; bisherige Arbeiten**

Die Publikationen im Bereich Pflanzenkohle wachsen exponentiell über die letzten Jahre, ebenso wie die Produktionskapazität von Pflanzenkohle in Europa [35]. Auch politisch ist das Thema inzwischen sichtbar, wie die ausführliche Berichterstattung der Bundesanstalt für Ernährung und Landwirtschaft zeigt [105].

Im Folgenden wird auf die bisherigen Arbeiten in der Sondierungsphase eingegangen, welche erfolgreich durch die TU Dresden abgeschlossen wurde. Durch ausgiebige Laborversuche mit verschiedenen Beladungslösungen und Anbaukulturen konnte ein optimiertes Rezept von Brennnesseljauche aus getrockneten Brennnesseln als beste Beladungslösung ausgewählt werden. Das genaue Vorgehen der Beladung (technische Umsetzung, Haltbarkeit etc.) wird in der Machbarkeitsphase weiter untersucht.

Eine Marktanalyse wurde erstellt und darauf aufbauend eine Strategie zur Produktvermarktung (Zielgruppen Festlegung, Bedarfs- und Gesprächsanalysen mit Hilfe von Personas) entwickelt.

Alle Arbeitspakete konnten abgeschlossen werden. Lediglich die Analyse verschiedener Ausgangsmaterialien für die Pflanzenkohle (AP 2.1) wurde in die Machbarkeitsphase übernommen, da durch die EU-Verordnung 2019/1009 zum 16. Juli 2022 Pflanzenkohle aus zahlreichen Biomassen, über Holz hinaus, als Düngeprodukte EU-weit in Verkehr gebracht werden können.

Die Ergebnisse der Marktanalyse wurden im Zwischenbericht und ausführlich in vorherigen Kapiteln dieses Abschlussberichtes dargestellt. Netzwerkarbeit hat weiterhin einen wichtigen Baustein in der täglichen Forschung. Durch die Projektpartner konnten neue Kontakte hergestellt und bekannte Kontakte intensiviert werden. Dies umfasst sowohl Unternehmen als auch Forschung im Bereich Pflanzenkohle, sowie potentielle Kund\*innen in Landwirtschaft und Gartenbau. Besonders zu erwähnen ist der „Schwarze Garten“, der zusammen mit dem KGV „Flora I“, den Technischen Sammlungen Dresden und dem Kunsthause Dresden initiiert wurde. In einer Parzelle des KGV „Flora I“ entsteht ein Schau- und Forschungsgarten, in dem die richtige Nutzung und Herstellung von Pflanzenkohle in einem begehbaren Parcours und in Workshops erprobt und gezeigt wird. Dabei werden die Kleingärtner\*innen einbezogen, denn der in ihren Parzellen anfallende, nicht kompostierbare Grünschnitt soll - statt teuer entsorgt - zukünftig pyrolysiert und an die Gärtner\*innen als wertvolle Pflanzenkohle zurückgegeben werden. Das Wissen zur Beladung (z.B. mit Kompost) und Verwendung wird ebenfalls im „Schwarzen Garten“ vermittelt, wobei die Parzelle öffentlich zugänglich ist und für alle Bürger\*innen verständlich gestaltet wird. Dort kann zukünftigen Kund\*innen, insb. aus dem Garten- und Landschaftsbau und kommunalen Grünflächenmanagement, anschaulich das entwickelte Produkt vorgestellt werden.

Für Landwirt\*innen spielen bei der Anwendbarkeit von Pflanzenkohle drei Faktoren eine Rolle: Wirkung, Kosten und Ausbringbarkeit, wobei Ausbringbarkeit sich in Arbeits- und Maschinenaufwand aufteilen lässt und den sekundären Kosten zugeordnet werden kann. Daher muss ein Pflanzenkohleprodukt für die Landwirtschaft wirksam, kostengünstig und mit geringem Aufwand anwendbar sein. Darüber hinaus spielt die Rechtssicherheit des Produkts eine Rolle, insbesondere im Bio-Anbau.

In der Bodenanwendung wird Pflanzenkohle aktuell in der Regel auf drei Arten ausgebracht.

1) Pflanzenkohle wird in die Tierfütterung gegeben, oder zur Stalleinstreu oder Gülle beigemischt. Dadurch wird eine Aufladung mit Nährstoffen aus tierischen Ausscheidungen erzielt und die Pflanzenkohle wird als Bestandteil des Wirtschaftsdüngers (Gülle oder Mist) in den Boden eingebracht. Diese Vorgehensweise hat gleich mehrere Vorteile. Die Ausbringung erfolgt mit den gewohnten Maschinen und ohne zusätzlichen Aufwand. Das Produkt zeigt bei der Fütterung und Einstreu einen ersten Nutzen in Form von verbessertem Tierwohl und reduziertem Krankheitsdruck und dann einen Zusatznutzen im Boden. Durch die Mehrfachnutzung relativieren sich die Produktkosten. Zudem werden die Nährstoffe aus dem Wirtschaftsdünger besser im Boden gehalten, dadurch steigert sich die Düngewirkung und die Gewässerbelastung wird reduziert. Der Nachteil dieser Anwendung ist, dass sie nur für Tierhalter\*innen in Frage kommt und dass eine Fütterung von Pflanzenkohle im Biobetrieb aktuell nicht zulässig ist.

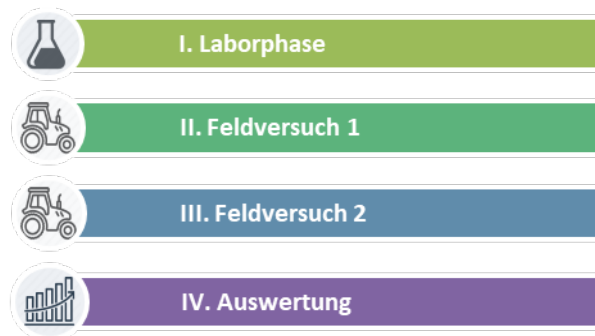
2) Pflanzenkohle wird mit frischer Biomasse zusammen kompostiert oder fermentiert. Dies erzeugt Kompost oder Bokashi mit deutlich verbesserten Eigenschaften und kommt auch für Landwirt\*innen ohne Tierhaltung in Frage. Kompost ist im privaten und kommunalen Bereich sehr gefragt, in der Landwirtschaft gibt es jedoch strenge Grenzwerte für die Einsatzmengen, die die Anwendung von Kompost weniger attraktiv machen. In Vergleich zu konventionellen Düngern entstehen durch die Nutzung von Kompost außerdem erhöhter Arbeitsaufwand und mehr Fahrten mit schwerem Gerät. Außerdem ist Pflanzenkohle im Vergleich zu Kompost relativ teuer, sodass oft die Preisvorstellungen der Anwender nicht gehalten werden können.

3) Aufgedüngte Pflanzenkohle für den Einsatz in der Landwirtschaft. Die Carbuna AG ist der größte Anbieter organisch aufgedüngter Pflanzenkohle in Deutschland. Das Produkt Carbuna ATS verbindet die Düngewirkung klassischer organischer Düngeprodukte mit der bodenverbessernden Wirkung von Pflanzenkohle und Mikroorganismen. Es ist konzipiert für den Einsatz in konventionellen Düngerstreuern, damit der Arbeitsaufwand für Landwirt\*innen überschaubar bleibt und wird aktuell vor allem im Sonderkulturen-Bereich eingesetzt. Als Basisdünger wird aktuell Vinsasse genutzt. Es ist ein Anliegen von Carbuna, diesen Rohstoff auf Dauer teilweise oder komplett durch andere organische Alternativen aus regionaler Herkunft zu ersetzen und Produkte zu schaffen, die auf spezifische Anwendungen, Kulturen und Bodenarten abgestimmt sind.

Abgrenzung von vergleichbaren Projekten: Auf nationaler/internat. Ebene sind keine vergleichbaren, wissenschaftlichen Projekte gefunden wurden, in denen eine Beladungslösung für den Einsatz von Pflanzenkohle auf Grünflächen/landwirtschaftlichen Flächen entwickelt wird. Jedoch ist zu erwähnen, dass es zahlreiche Projekte von Laien auf allen Kontinenten gibt. Von diesen kann sich das vorgestellte Projektvorhaben jedoch deutlich abheben durch den wissenschaftlichen Charakter mit dem Anspruch der wissenschaftlichen Publikation.

#### **4.3 Ausführliche Beschreibung des Arbeitsplans**

Die Phasen des Projektes sind wie in Abbildung 22 dargestellt:



*Abb. 22: Geplante Projektphasen in der Machbarkeitsphase im Projekt thebiocharstory*

Für die zweieinhalbjährige Machbarkeitsphase vom Q2 2022 bis Q4 2024 (zwei Wachstumsperioden) wurden 4 Arbeitspakete entwickelt, wie in Tabelle 15 als Arbeitsplan dargestellt.

Die erste Spalte zeigt die Titel der Arbeitspakete sowie den anteiligen Arbeitsaufwand am Gesamtaufwand des Verbundpartners für das Projekt. In der zweiten Spalte finden sich die Titel und Beschreibungen der Unter-Arbeitspakete. Spalte 3 zeigt den Zeitraum in dem das jeweilige Unter-Arbeitspaket läuft, sowie dessen anteiligen Arbeitsaufwand an dem Aufwand für das betreffende Arbeitspaket durch den Verbundpartner. Die letzte Spalte enthält eine grobe Beschreibung der Aufgabe des Verbundpartners in dem Unter-Arbeitspaket.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Arbeitspaket                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Zeitraum                                    | Personen-<br>monate | Mitarbeiter     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|-----------------|
| AP1: Beladung/Laborversuche (40 % Arbeitsaufwand)                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>AP1.1: Topfversuche</b><br>Es sollen folgende Fragen im Labormaßstab in Topfversuchen untersucht und beantwortet werden:<br>1. Ist mit Brennnesseljauche beladene Pflanzenkohle geeignet für den Sommerweizenanbau?<br>2. Wie ist das optimale Verhältnis von Brennnesseljauche zu Pflanzenkohle?<br>3. Wie ist die optimale Einwirkdauer, die zwischen Beladung und Ausbringung auf das Feld bzw. Pflanzung/Aussaat liegen sollte (Haltbarkeit)?                                                                                                                                                                                | <b>Monat 1- 9</b><br>50%                    | 4,67 PM             | Freya Sternkopf |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                             | 2,88 PM             | Anne Wahl       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>AP1.2: Untersuchung im Verlauf der Wachstumsperiode</b><br>Zudem wird untersucht, wie sich die Inhaltsstoffe der Brennnesseljauche aus getrockneten Brennnesseln im Verlauf der Wachstumsperiode über die Sommermonate verändert. Hierzu wird monatlich im Sommer 2022 eine Brennnesseljauche aus getrockneten Brennnesseln hergestellt und auf Nährstoffgehalt und pH wert untersucht.                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Monat 10-28</b><br>10%                   | 0,8 PM              | Freya Sternkopf |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                             | 0,6 PM              | Anne Wahl       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>AP1.3: Beladung im industriellen Maßstab</b><br>Untersuchung und Experimente zur technischen Umsetzung des Beladungsvorganges (Up- and Down-Streaming Versuche).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Monat 1-9</b><br>40%                     | 3,2 PM              | Freya Sternkopf |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                             | 2,43 PM             | Anne Wahl       |
| <b>Meilenstein 1:</b> Bis Monat 5 soll eine Graphische Darstellung des zeitlichen Verlaufs des Nährstoffgehaltes von Brennnesseljauche aus getrockneten Brennnesseln erfolgt sein.                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                             |                     |                 |
| <b>Meilenstein 2:</b> Bis Monat 9 soll die Herstellung einer Beladungslösung im kleintechn. Maßstab für Feldversuche besonders im Hinblick auf Wissensgenerierung zu Technik und Standardisierung erfolgen. Positives Ergebnis, wenn ein gleichbleibendes Produkt entwickelt wurde                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                             |                     |                 |
| <b>Meilenstein 3:</b> Bis Monat 9 soll die Wissen über Mengenanteil – und Einwirkungszeit bei Sommerweizen generiert werden (Topfversuche). Positives Ergebnis, wenn ein ideales Mischungsverhältnis von Beladungslösung und Pflanzenkohle gefunden wurde sowie die Dauer der Einwirkzeit min. und max. festgelegt wurde. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                             |                     |                 |
| AP2: Feldversuche (30 % Arbeitsaufwand)                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>AP2.1: Vorbereitung</b><br>Es soll ein Versuchsplan und ein Dossierplan für Feldversuch 1 und 2 erstellt werden. Diesen zufolge sollen die Parzellen nach der festgelegten, zufälligen Matrix auf dem Testfeld angelegt werden. Dies wird mit für Feldversuche und die Kulturfrucht geeigneter Anbautechnik- und Art realisiert. Es gibt 5 verschiedene Parzellenarten, inkl. Referenz. Jede Parzellenart wird mehrfach wiederholt. An den Außenseiten des Areal und innerhalb der einzelnen Parzelle werden Abstände vorgesehen, um Randeffekte gering zu halten. Bei Feldversuch 1 und 2 bleibt die Parzellenanordnung gleich. | <b>Monat 8-28</b><br><br>Arbeitsaufwand 50% | 2,94 PM             | Freya Sternkopf |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                             | 2,28 PM             | Anne Wahl       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>AP2.2: Ausbringung und Begleitung</b><br>Die Aussaat und Einbringung der beladenen Pflanzenkohle auf dem Testfeld erfolgt durch den landwirtschaftlichen Partner, wobei die TU Dresden diesen Prozess und die Wachstumsphase mit dem Wissen zur Applikation von Pflanzenkohle begleitet und u.A. Pflanzengesundheit sowie den Zustand der Böden dokumentieren soll.                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Monat 9-28</b><br><br>Arbeitsaufwand 10% | 0,6 PM              | Freya Sternkopf |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                             | 0,38 PM             | Anne Wahl       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>AP2.3: Ernte &amp; Auswertung</b><br>Die Ernte und Analyse des Ernteguts erfolgt nach bester Versuchspraxis und mit geeigneter Technik durch den landwirtschaftlichen Partner, wobei die TU                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Monat 9-28</b><br><br>Arbeitsaufwand     | 3 PM                | Freya Sternkopf |

|                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                              |         |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|-----------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                             | Dresden diesen Prozess begleitet und dokumentieren soll. Fokus dabei ist die Ertragsmenge und die Pflanzengesundheit. Bodentests inkl. Analyse des organischen Kohlenstoffs und Wasserkapazitätsanalyse sollen vor, zwischen den Anbauphasen und nach den 2 Anbauperioden vorgenommen werden.                                                                                                                                                                                                        | 40%                                          | 1,92 PM | Anne Wahl       |
| <b>Meilenstein 4:</b> Bis zu Monat 28 soll Effekt beladener Pflanzenkohle auf das Pflanzenwachstum ermittelt werden. Positives Ergebnis, wenn positiver Effekt von beladener Pflanzenkohle nachgewiesen wurde.                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                              |         |                 |
| <b>Meilenstein 5:</b> Bis zu Monat 28 soll Effekt beladener Pflanzenkohle in Böden auf die Bodenqualität, insbesondere die Wasserhaltekapazität ermittelt werden. Positives Ergebnis, wenn positiver Effekt von beladener Pflanzenkohle nachgewiesen wurde. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                              |         |                 |
| AP3: Biomasse (10 % Arbeitsaufwand)                                                                                                                                                                                                                         | <b>AP3.1 Recherche Biomasse Pflanzenkohle</b><br>Mit der im Sommer 2022 neu auf EU Ebene verabschiedeten Gesetzgebung zu der Verwertbarkeit von verschiedenen Biomassen zur PK Produktion eröffnen sich neue regionale Kreisläufe. In diesem AP wird untersucht, welche Biomassen lokal verfügbar und geeignet sind zur Pflanzenkohle Produktion. Dies umfasst auch, neben der ökonomischen, eine Betrachtung der ökologischen und sozialen Auswirkungen verschiedener Pflanzenkohle Ausgangsstoffe. | <b>Monat 1-28</b><br><br>Arbeitsaufwand 70%  | 3 PM    | Freya Sternkopf |
|                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                              | 0,26 PM | Anne Wahl       |
|                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>AP3.2 Recherche Brennesseljauche</b><br>In diesem AP wird untersucht, wie ein geeigneter Biomassestrom zur Herstellung einer Beladungslösung aus getrockneten Brennesseln hergestellt werden kann. Hierfür spielen die Betrachtungen aus AP 1.2 eine Rolle, genauso wie eine Betrachtung der Logistik zur Ernte, Trocknung und Gärung der Brennesseln.                                                                                                                                            | <b>Monat 1-28</b><br><br>Arbeitsaufwand 30%  | 1 PM    | Freya Sternkopf |
|                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                              | 0,1 PM  | Anne Wahl       |
| <b>Meilenstein 6:</b> Bis zum Monat 22 ist eine Vorauswahl an regionalen Pflanzenkohle Ausgangsstoffen getroffen und auf Nachhaltigkeit geprüft worden. Ein Netzwerk an Biomasse Zulieferern wird initiiert.                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                              |         |                 |
| <b>Meilenstein 7:</b> Bis Monat 18 wurde eine regionale Versorgung mit Brennesseln für Brennesseljauche aus getrockneten Brennesseln im industriellen Maßstab evaluiert.                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                              |         |                 |
| AP4: Projektmanagement (20 % Arbeitsaufwand)                                                                                                                                                                                                                | <b>AP4.1 Beirat</b><br>Es werden Sitzungen des Beirates (digital) vorbereitet, durchgeführt und nachbereitet. Diese Sitzungen erfolgen am Anfang des Projektes, nach dem ersten Feldversuch (Herbst 2023) und am Ende des Projektes. Ein Bilateraler Kontakt mit den Beiratsmitgliedern wird über das ganze Projekt aufrecht erhalten.                                                                                                                                                               | <b>Monat 1- 28</b><br><br>Arbeitsaufwand 10% | 0,4 PM  | Freya Sternkopf |
|                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                              | 0,31 PM | Anne Wahl       |
|                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>AP4.2 Zwischen- und Abschlussbericht</b><br>Es wird nach Anforderungen des Projektträgers ein Zwischenbericht und ein Abschlussbericht verfasst                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>Monat 1- 28</b><br><br>Arbeitsaufwand 45% | 2 PM    | Freya Sternkopf |
|                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                              | 1,43 PM | Anne Wahl       |
|                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>AP4.3 Netzwerkarbeit</b><br>Das aus der Sondierungsphase aufgebaute Netzwerk im Bereich Pflanzenkohle wird erhalten und weiter ausgebaut. Die interessierte Öffentlichkeit wird einbezogen, z.B. mit Aktionen im „Schwarzen Garten“                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Monate 1-28</b><br><br>Arbeitsaufwand     | 2 PM    | Freya Sternkopf |

|                                                                                                                                                                                       |              |       |                                    |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------|------------------------------------|-----------|
|                                                                                                                                                                                       |              | 45%   | 1,43 PM                            | Anne Wahl |
| <b>Meilenstein 8:</b> Bis Monat 20 hat sich Projektbeirat aktiv in das Projekt eingebracht.<br><b>Meilenstein 9:</b> Bis Monat 22 ist die Sichtbarkeit des Projektes gestärkt worden. |              |       |                                    |           |
| <b>Summe der Arbeitspakete</b>                                                                                                                                                        | <b>35 PM</b> | 21 PM | <b>Summe</b><br>Freya<br>Sternkopf |           |
|                                                                                                                                                                                       |              | 14 PM | <b>Summe</b><br>Anne Wahl          |           |

*Tab. 16: Darstellung der geplanten Arbeitspakete für die Machbarkeitsphase*

Ein Gantt Diagramm zum Projektablauf ist in Tabelle 17 dargestellt. Es gibt 5 Meilensteine, wobei jedem Meilenstein unterschiedliche Arbeitspakete zugeordnet sind, welche jeweils mit einer eigenen Farbe hervorgehoben sind.

|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|--|--|-------|---|------|---|---|---|---|---|---|------|----|----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|----|
|  |  | Start |   | 2023 |   |   |   |   |   |   | 2024 |    |    |    |    |    |    | Ende |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27   | 28 |
|  |  | 1     | 2 | 3    | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27</ |    |

Tab. 17: Gantt Diagramm zum Projektablauf

## Projektkosten und Förderbedarf

Das Projekt wird auf eine Gesamtlaufzeit von 28 Monaten (2 Wachstumsperioden für Feldversuche) ausgelegt. Die TU Dresden involviert 2 Projektmitarbeiterinnen, wobei für diese ein Personalaufwand von 35 Personenmonaten (FS 21, AW 14) vorgesehen ist. Eine Übersicht geplanter Projektkosten ist im eingereichten Vollantrag enthalten.

### **4.4 Verwertungsplan**

Um einen möglichst nachhaltigen Effekt zu erwirken, soll während des Projekts ein verwertungsfähiges Produkt entwickelt werden. Grundidee ist es, ein Rezept für Brennesseljauche/ standardisiertes Verfahren zur Herstellung einer innovativen Beladungslösung und die Inokulation der Pflanzenkohle mit dieser zu entwickeln, welche an die lokalen Gegebenheiten potentieller Anwendungsgebiete, bspw. den sandigen Agrarflächen der Lausitz angepasst ist, sowohl in ökonomischer und ökologischer Hinsicht, sowie unter Berücksichtigung von regionalen Besonderheiten. Die Projektergebnisse zu diesem Prototyp sollen direkt in eine Ausgründung fließen. Ende 2022/ Anfang 2023 fließen. Eine Patentanmeldung erfolgt ggf. über die TU Dresden während der Machbarkeitsphase, eine Beratung dazu, unter Einbeziehung des Projektpartners Carbuna AG, hat in der Sondierungsphase stattgefunden. Das ausgegründete Unternehmen übernimmt das Wissen zur Herstellung der Beladungslösung. Das ausgegründete Unternehmen stellt Beladungslösungen wirtschaftlich her und vertreibt diese. Außerdem wird in einer eigenen Pyrolyseanlage Pflanzenkohle hergestellt, perspektivisch aus regionalen org. Reststoffen, die in der Machbarkeitsphase bestimmt werden.

Mit Carbuna AG erfolgt eine Zusammenarbeit über das Forschungsprojekt hinaus, sodass ein guter Marktzugang und eine vereinfachte Finanzierung gewährleistet sind. Der Landwirtschaftsbetrieb nutzt Projekterkenntnisse und profitiert vom Know-how, das gemeinsam im Projekt entwickelt wird u.a. durch die Beteiligung an den Feldversuchen mit verbesserten Bodenkennwerten.

Es bieten sich weitere Optionen für den Aufbau eines Beratungsangebotes für regenerative Landwirtschaft und für den Aufbau einer Zertifikate-Handelsstruktur für regionale, kohlenstoffspeichernde Projekte. Synergien in der Nutzung von Biomasse mit Biogas- und Kompostierungsanlagen sowie Kommunen sind im Fokusgebiet Lausitz möglich und es kann gemeinsam die Entwicklung einer regionalen Kreislaufwirtschaft vorangetrieben werden. Unterstützung kommt bspw. von der lokalen Gemeindeverwaltung Nebelschütz. Diese führt seit > 10 Jahren ein Öko-Konto und entwickelt den Ort zum Standort für Innovationen der regenerativen Landwirtschaft für nachhaltige Start-Ups und Betriebe.

Der „Schwarze Garten“ in Kooperation mit dem KGV „Flora I“, dem Kunsthaus Dresden und den Technischen Sammlungen Dresden bleibt über die Machbarkeitsphase hinaus erhalten. Dort wird wichtige Bildungsarbeit zu Pflanzenkohle und Humusaufbau geleistet. Das Konzept der Nutzung der Grünabfälle für die Herstellung von Pflanzenkohle findet bundesweit Nachahmer\*innen. Eine Kooperation mit dem Dachverband der Schreberjugend e.V. ist dazu in die Wege geleitet.

Um einen möglichst nachhaltigen Effekt zu erwirken und den wissenschaftlichen Anschluss zu ermöglichen, soll eine repräsentative Studie in Form eines Papers am Ende des Projektes oder direkt im Anschluss veröffentlicht werden. Zudem ist eine Promotion zum Thema geplant.

#### **4.5 Arbeitsteilung/Zusammenarbeit mit Dritten**

Antragstellend ist das Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft (IAK) der Technische Universität Dresden (TU Dresden).

Ansprechperson und Projektkoordination seitens der TU Dresden ist:

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. habil. C. Dornack

Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft

Administrative Ansprechpersonen:

Freya Sternkopf und Anne Wahl

Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft

+49 351 463-44139

[anne.wahl@TU-Dresden.de](mailto:anne.wahl@TU-Dresden.de)

[freya.sternkopf@TU-Dresden.de](mailto:freya.sternkopf@TU-Dresden.de)

Bevollmächtigte Unterzeichnerin:

Dr. Katrin Jordan

+49 351 463 325 83

[dezernat5@TU-Dresden.de](mailto:dezernat5@TU-Dresden.de)

2. Bevollmächtigte Unterzeichner:

Dr. Sacha Hanig

+49 351 463 432 29

[forschungsforderung@tu-dresden.de](mailto:forschungsfoerderung@tu-dresden.de)

Das IAK hat zahlreiche Lehrveranstaltungen, in welchen insbesondere Abfall- und Kreislaufwirtschaft thematisiert werden. Ebenfalls werden die weiteren Handlungsfelder des Förderaufrufes „Export von grüner und nachhaltiger (Umwelt-) Infrastruktur“ angrenzend in Lehrveranstaltungen des IAKs behandelt, z.B. in Lehrmodulen wie „Abfall- und Ressourcenwirtschaft“, „Circular Economy“, „Behandlungstechnologien“ oder „Stoffstrom-Management“. Darüber besitzt das IAK ein weitreichendes Forschungsnetzwerk, über welches das IAK in zahlreiche FuE-Projekte und industrielle Auftragsforschung involviert ist. Insbesondere die starke industrielle Vernetzung soll an dieser Stelle hervorgehoben werden, für welche das IAK im Projektrahmen als wirtschaftlicher Vermittler auftreten möchte.

In der Machbarkeitsphase werden folgende Verbundpartner als Konsortium kooperieren (s. Kapitel 5.1):

Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft, TU Dresden: Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. habil. C. Dornack; F. Sternkopf (Wirtschaftsexpertin im Projekt): B.Sc. Molekulare und Angewandte Biotechnologie, M.Sc. Management (Sustainable Entrepreneurship); A. Wahl: B.Sc. Abfallwirtschaft und Altlasten, M.Sc. Technisches Umweltmanagement & Ökotoxikologie

Carbuna AG (KMU): Handel mit Pflanzekohle, Herstellung & Verkauf eines eigenen mikrobiellen Präparats (u.A. zur Besiedelung von Pflanzekohle). Vertreten durch Benedikt Zimmermann, M.Sc. (Unternehmer, Know –how zu Zertifizierung, Ökobilanzierung), Vorstand Fachverband Pflanzekohle e.V.; Projekterfahrung: Projektmitarbeiter Horizon 2020: Autosupercap (bis 2015), Projektleiter DBU: Pflanzekohle als Zuschlagstoff in Biogasanlagen (laufend); Arbeitsgruppenleiter Bayrisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Pflanzekohlekomposte zur Bindung von Kupferbelastungen im Boden (laufend).

Agrargenossenschaft See eG (KMU): Vorstand Andreas Graf (Vorsitzender, Dipl. Agraringenieur (FH)), und Tobias Kärber (Dipl. Agraringenieur, GF und Leitung Feldbau); vielfältiger konventioneller Landwirtschaftsbetrieb mit innovativen Produktionsansätzen, bringt u.A. Know-How & Gerätschaften zur Bewirtschaftung ins Projekt ein. Der Betrieb hat diverse Projekterfahrungen und ist aktuell in einem EIP-Projekt zur Erprobung von Lavendelanbau in der Lausitz aktiv. Der Betrieb nimmt aufgrund von niedrigen Bodenwertzahlen an Agrar-Umweltmaßnahmen vom Freistaat Sachsen teil, bspw. "AL.5 Naturschutzbrachen und Blühflächen auf Ackerland ". Der Betrieb hat rund 500 Tiere im Milchviehbetrieb, 1.630 ha Ackerland und 230 ha Grünland, produzieren mit der Betriebseigenen Imkerei zwischen 20 und 40 kg Honig pro Jahr und Bienenvolk (15 Völker) und betreiben eine Biogasanlage mit angeschlossenem Blockheizkraftwerk mit einer Leistung von 250 kW, wobei 80 % der Inputstoffe Mist und Gülle vom eigenen Betrieb Verwendung finden.

## **5 Bildung eines Netzwerkes und Ermittlung von Partnern für die Machbarkeitsphase (AP 4)**

### **5.1 Projektpartner für die Machbarkeitsphase**

Es wurden zwei Projektpartner für die Machbarkeitsphase ausgewählt. Einmal die Carbuna AG, ein kleines Unternehmen mit Sitz in Memmingen (Bayern), dass im Rahmen der Sondierungsphase besucht wurde. Carbuna AG entwickelt und produziert „natürliche Produkte für die Landwirtschaft, mit denen erfolgreiches Wirtschaften ökologisch verträglich wird“ (<https://carbuna.com/de/startseite-2/>). Das Sortiment umfasst Dünger, Bodenhilfsstoffe, Additive für Biogasanlagen sowie Produkte zur Verbesserung der Luftqualität in Ställen, auf Basis von Pflanzekohle und weiteren natürlichen Stoffen. Alle Carbuna Produkte, also ATS (Amino Terra Substrat, wurde in der Sondierungsphase getestet), AND (Amino Nährstoffdynamik Dünger), BAM (Bio Aktive Mikroorganismen) und BAK (Bio Aktive Kohle) sind offiziell in der Betriebsmittelliste für den ökologischen Landbau in Deutschland gelistet. Carbuna AG war bereits an mehreren Forschungsprojekten beteiligt. Aktuell läuft z.B. ein Projekt in Kooperation mit der Firma VOGT Baugeräte GmbH um Carbuna ATS mit Hochdruck Injektionsverfahren in den Wurzelbereich von Stadtbäumen einzubringen, um die Wasser- und Nährstoffversorgung während einer Sommertrockenheit zu verbessern. Zudem lief eine Versuchsreihe in Südspanien, wo das Produkt Carbuna ATS im Anbau von Brokkoli getestet wurde, mit positivem Ergebniss. Die Carbuna AG ist Gründungsmitglied des European Biochar Industry Consortium (EBI), neben dem Fachverband Pflanzekohle e.V. das bedeutendste Netzwerk im Bereich Pflanzekohle. Das Qualitätsmanagement der AG ist nach ISO 9001:2015 und mit der Futtermittel-Zertifizierung GMP+ B3 (Systempartner im QS-System) zertifiziert [98].

Diese Erfahrungen, Netzwerke und Marktzugänge sind sowohl für die geplante Ausgründung, als auch für das Forschungsprojekt thebiocharstory, sehr wertvoll.

Ansprechpartner im Projekt und technischer Leiter von Carbuna AG, Dipl. Ing. B. Zimmermann, ist zudem zweiter Vorsitzender beim Fachverband Pflanzenkohle. Bevor er zu Carbuna kam, forschte er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Karlsruher Institut für Technologie im Bereich Ökobilanz am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse.

Agrargenossenschaft See eG (KMU): Vorstand: Andreas Graf (Vorsitzender) und Tobias Kärber. vielfältiger ökologischer Landwirtschaftsbetrieb mit innovativen Produktionsansätzen, eigene Landwirtschaftsflächen (110 ha), bringt u.A. Know-How & Gerätschaften zur Bewirtschaftung ins Projekt ein. Der Betrieb hat diverse Projekterfahrungen und ist aktuell in einem Projekt zur Erprobung von Lavendelanbau in der Lausitz aktiv. Zudem gibt es weitere Vorhaben wie "AL.4 Zwischenfrüchte", "AL.5 Naturschutzbrachen und Blühflächen auf Ackerland", "AL.6 naturschutzgerechte Ackerbewirtschaftung", "AL.7 überwinternde Stoppel", "GL.1 Artenreiches Grünland - ergebnisorientierte Honorierung", "GL.2 Biotoppflegemahd mit Erschweris" und "GL.5 spezielle artenschutzgerechte Grünlandnutzung". Der Betrieb hat rund 500 Tiere im Milchviehbetrieb, 1.630 ha Ackerland und 230 ha Grünland, produzieren mit der Betriebseigenen Imkerei zwischen 20 und 40 kg Honig pro Jahr und betreiben eine Biogasanlage mit angeschlossenen Blockheizkraftwerk mit einer Leistung von 250 kW. Die Feldfrüchte Weizen, Roggen, Gerste, Raps und Mais dominieren den Anbau. Die Bodenbearbeitung ist pfluglos, die durchschnittlichen Ackerzahl beträgt 29 Bodenpunkte mit Schwankungen zwischen 15 - 40 Bodenpunkten.

## 5.2 Beirat für die Machbarkeitsphase

Ein Projektbeirat wurde gebildet, um in der Machbarkeitsphase dem Projekt beratend zur Seite zu stehen. Es sind Online-Treffen zu Beginn, Mitte und Ende der Machbarkeitsphase vorgesehen, um neue Sichtweisen und kritische Fragen zu erhalten. Zudem sind die Beirats Mitglieder erste Ansprechpartner bei Fachspezifischen Fragen. In folgendem wird der Beirat genauer vorgestellt.

**rehwaldt landscape architects Prague**, vertreten durch Eliska Cerna, Ing. für Landschaftsarchitektur. Das Büro Rehwaldt Landschaftsarchitekten (gegründet 1993 in Dresden) entwickelt Parks, Gärten, Landschaften und urbane Freiräume in sehr unterschiedlichen räumlichen Situationen. Die lokalen Begebenheiten werden genau analysiert und berücksichtigt bei der Planung bis zur Umsetzung auf der Baustelle. Das Büro hat bereits Erfahrung mit der Planung von städtischen Grünflächen nach "Stockholmer Modell", also mit Pflanzenkohle Einsatz. Zudem hat das Büro Rehwaldt Landschaftsarchitekten das „Gestaltungshandbuch Dresden - Leitlinien zur Gestaltung des Öffentlichen Raumes“, im Auftrag der Landeshauptstadt Dresden, erarbeitet. Um einer Entwicklung zur Austauschbarkeit und Belanglosigkeit des Dresdner Stadtbildes zu begegnen, wurden grundsätzliche gestalterische Leitlinien formuliert [99].

**Bauernverband Oberlausitz e.V. (BVO)**, vertreten durch den Geschäftsführer Erik Krems. Der BVO ist der östlichste Bauernverband Deutschlands und umfasst den gesamten Landkreis Görlitz mit einer Fläche von 2.106,1 km<sup>2</sup>. Das Verbandsgebiet grenzt somit sowohl an Polen, als auch an die Tschechische Republik und beinhaltet eine landwirtschaftliche Fläche von ca. 87.000 ha die von 630

landwirtschaftlichen Betrieben bewirtschaftet wird. Es sind alle Bodenarten mit Bodenpunkten von 18 (sehr sandig/Nährstoff arm) bis 90 (sehr guter Humusreicher Boden) im Gebiet vorhanden. Im Norden ist durch den Braunkohleabbau die Landwirtschaft durch große Flächenverluste stark betroffen. Der BVO ist parteipolitisch unabhängiger Repräsentant und Interessenvertreter seiner Mitglieder und setzt sich für eine vielfältig strukturierte, umweltgerechte, flächendeckende, unter marktwirtschaftlichen Bedingungen wettbewerbsfähige Landwirtschaft bei Chancengleichheit aller Unternehmensformen ein. Als regionale Interessenvertretung strebt der BVO eine enge Zusammenarbeit aller in der Land- und Forstwirtschaft, dem Gartenbau Tätigen, Fachverbänden der Veredlungswirtschaft und weiteren Partnern der Agrarwirtschaft. Zudem bietet der BVO Informations- und Weiterbildungsveranstaltungen an. [100]

**Carbonfuture GmbH**, vertreten durch den CEO Hannes Junginger-Gestrich. Carbonfuture ist Marktplatz und Plattform für Kohlenstoffsinken-Zertifikate, vornehmlich auf Pflanzenkohle Einsatz in der Landwirtschaft beruhend. Vornehmlich werden die sogenannten Kohlenstoffsinken-Credits an Unternehmen und Organisationen ausgegeben, um diese auf dem Weg zur Klimaneutralität zu unterstützen. Jeder Carbonfuture Kohlenstoffsinken Credit gleicht mindestens die Emissionen von einer Tonne CO<sub>2</sub> aus. Die Treibhausgase sollen durch Pflanzenkohle und Humusaufbau wieder in der Erde gebunden und somit der Atmosphäre entzogen werden. Nachhaltige Kohlenstoffsinken werden so vergütet. Inzwischen gibt es ein breites Portfolio an zertifizierten Senken. Die Sequestrierung im Laufe der Zeit wird einbezogen basierend auf wissenschaftsbasierter, unabhängiger Senkenzertifizierung, eine sichere Nachverfolgung wird durch Blockchain Technologie gewährleistet.

H. Junginger-Gestrich hat als Financial Engineer und Risk Manager für verschiedene Finanzinstitute gearbeitet. Er hat weitreichendes Expertenwissen im Bereich Financial Services und Risikomanagement. Als Senior Manager bei EY war er verantwortlich für Beratungs- und Auditprojekte bei internationalen Banken. Bis Juni 2020 leitete er die Risk Management Gruppe einer mittelgroßen schweizer Bank. Er hat einen Dokortitel in Mathematik von der Universität Freiburg. [101]

**Biomasseforschungszentrum DBFZ Leipzig**, vertreten durch Karen Deprie, Koordinatorin im Bereich Wissens- und Technologietransfer. Das DBFZ entwickelt Konzepte zur ökonomisch tragfähigen, ökologisch unbedenklichen und sozial verträglichen energetischen Nutzung von Biomasse. Dabei werden Faktoren wie Energieeffizienz, sich wandelnde Energiesysteme, Nutzungskonkurrenz und Emissionen berücksichtigt. Das DBFZ ist ein Forschungsinstitut mit überwiegend angewandter Forschung (inkl. Auftragsforschung und wissenschaftsbasierte Dienstleistungen) und an Kooperationen mit Projektpartnern interessiert. Diese gehen über die Forschungsschwerpunkte hinaus und richten sich an die Politik, Wirtschaft, Verbände, Gutachter und Gremien. Die Beratungs- und technischen Dienstleistungen werden unter Berücksichtigung der gesamten Expertise des DBFZ interdisziplinär bearbeitet. [102]

### 5.3 Weitere Netzwerke

Einer der wichtigsten Akteure im Bereich Pflanzenkohle ist das **European Biochar Industry Consortium**, gegründet 2019 als gemeinnützige Organisation um die europäische Pflanzenkohle Industrie zu fördern und zu vertreten. Das EBI setzt sich dafür ein, dass der Pflanzenkohle Sektor in Europa wichtig wird und einen signifikanten Beitrag bei der Bekämpfung des Klimawandels leistet. Zu dem Geschäftsführer Harald Bier besteht persönlicher Kontakt. Der Projektpartner Carbuna AG ist Gründungsmitglied und im Vorstand vertreten. [103]

Im deutsch sprachigen Raum ist zudem der **Fachverband Pflanzenkohle e.V.** von zentraler Bedeutung. Gegründet 2017, setzt der Fachverband sich dafür ein, dass Pflanzenkohle genutzt wird, um den Klimawandel zu bekämpfen. Als Partner für Wissenschaft, Praxis, technische Anlagenentwickler und politische Entscheidungsträger setzt sich der Verein vornehmlich im deutsch sprachigen Raum für eine nachhaltige Erzeugung und Nutzung von Pflanzenkohle ein. B. Zimmermann, unser Ansprechpartner vom Projektpartner Carbuna AG, ist zweiter Vorstand des Vereins. Des Weiteren besteht persönlicher Kontakt zu den Vorstandsmitgliedern V. von Leppel und ersten Vorstand Dr. S. Vesper. [104]

Zu diversen Unternehmen im Bereich Pflanzenkohle und Pyrolyse besteht Kontakt. So wurde z.B. der Pyrolysenanlagen Hersteller SPSC im Rahmen einer Dienstreise besucht, es besteht guter Kontakt zu den Pflanzenkohle Pionieren von Sonnenerde GmbH. Ebenfalls konnten neue Pioniere und Interessierte im Bereich Pflanzenkohle Herstellung und Beladung in der Sondierungsphase erreicht werden. So wurde ein starkes regionales Netzwerk geschaffen, dass neben den Interviews für die Marktanalyse auch durch weitere Zusammenarbeiten und Aktionen gebildet wurde. So ist thebiocharstory teil verschiedener Gründer Netzwerke in Sachsen, wie Dresden EXIST und InnoStart Bonus. Für den von thebiocharstory, Technischen Sammlungen Dresden, Kunsthause Dresden und Kleingartenverein Flora I initiierten „Schwarzen Garten“, in dem Wissen zu Pflanzenkohle und Humus geteilt und generiert werden soll, gab es eine Auszeichnung vom eku Zukunftspreis Sachsen ([https://www.eku.sachsen.de/download/eku\\_idee\\_Zivilgesellschaft.pdf](https://www.eku.sachsen.de/download/eku_idee_Zivilgesellschaft.pdf)). Dadurch ist das Projekt nicht nur eng mit der Kunst und Kleingartenszene in Dresden verknüpft, sondern in einem Netzwerk mit diversen zivilgesellschaftlichen Projekten und Organisationen stark vertreten.

## Literaturverzeichnis

- [1] J. Lehmann, S. Joseph (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*, second ed., Routledge, New York.
- [2] J.M. Novak, J.A. Ippolito, R.D. Lentz, K.A. Spokas, C.H. Bolster, K. Sistani, K.M. Trippe, C.L. Phillips, M.G. Johnson (2016). Soil health, crop productivity, microbial transport, and mine spoil response to biochars, *Bioenergy Res.* 9 <https://doi.org/10.1007/s12155-016-9720-8>.
- [3] L.A. Biederman, W. Stanley Harpole (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis, *GCB Bioenergy* 5; pp 202–214, <https://doi.org/10.1111/gcbb.12037>.
- [4] A.H. Lone, G.R. Najar, M.A. Ganie, J.A. Sofi, T. Ali (2015). Biochar for sustainable soil health: a review of prospects and concerns, *Pedosphere* 25; pp 639–653, [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30045-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30045-X).
- [5] W. M. Post, R. C. Izaurrealde, T. O. West, M. A. Liebig, A. W. King (2012). Biogenic greenhouse gases in North American terrestrial ecosystems, *Frontiers in Ecology and the Environment*, Vol. 10, No. 10; pp. 554-561.
- [6] J. Lehmann, C. Czimczik, D. Laird, S. Sohi (2009). Stability of biochar in soil. In *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* Eds.; Earthscan: London, UK; pp 183-206.
- [7] B. Liang, J. Lehmann, D. Solomon, S. Sohi, J. E. Thies, J. O. Skjemstad, J. O., F. J. Luizaõ, M. H. Engelhard, E. G. Neves, S. Wirick (2008). Stability of biomass-derived black carbon in soils. *Geochim. Cosmochim.* 72 (24); pp 6069–6078.
- [8] G. Kabir, B. H. Hameed (2017). Recent progress on catalytic pyrolysis of lignocellulosic biomass to high-grade bio-oil and bio-chemicals. *Renew Sustain Energy Rev* 70; pp 945–967.
- [9] G. Özsin, A. E. Pütün (2017). Kinetics and evolved gas analysis for pyrolysis of food processing wastes using TGA/MS/FT-IR. *Waste Manage* 64; pp 315–326.
- [10] K. G. Roberts, B. A. Gloy, S. Joseph, N. R. Scott, J. Lehmann (2010). Life cycle assessment of biochar systems: estimating the energetic, economic, and climate change potential. *Environ Sci Technol* 44; pp 827–833.
- [11] M. Bach, B. Wilske, L. Breuer (2016). Current economic obstacles to biochar use in agriculture and climate change mitigation, *Carbon Management*, 7:3-4; pp 183-190.
- [12] D. Dickinson, L. Balduccio, J. Buysse, F. Ronsse, G. Huylenbroeck, W. Prins (2014). Cost–benefit analysis of using biochar to improve cereals agriculture. *GCB Bioenergy* 7; pp 850–864.
- [13] C. Keske, T. Godfrey, D. L. K. Hoag, J. Abedin (2020). Economic feasibility of biochar and agriculture coproduction from Canadian black spruce forest. *Food Energy Secur.* 9; pp 188ff. <https://doi.org/10.1002/fes3.188>.
- [14] J. Lehmann, S. Joseph (2009). *Biochar for Environmental Management; Science and Technology*; earthscan, London.

- [15] N. P. Gurwick, L. A. Moore, C. Kelly, P. Elias (2013). A systematic review of biochar research, with a focus on its stability in situ and its promise as a climate mitigation strategy. PlosOne doi:10.1371/journal.pone.0075932.
- [16] J. Hammond, S. Shackley, S. Sohi, P. Brownsort (2011). Prospective life-cycle carbon abatement for pyrolysis biochar systems in the UK. Energy Policy 39; pp 2646–2655.
- [17] S. Shackley, J. Hammond, J. Gaunt, R. Ibarrola (2011). The feasibility and costs of biochar deployment in the UK, Carbon Management, 2:3; pp 335-356, DOI: 10.4155/cmt.11.22.
- [18] carbonfuture GmbH; <https://www.carbonfuture.earth/de/start>; Paul-Ehrlich-Straße 7, 79106 Freiburg; Commercial register: HRB 721282; Register court: Local court Freiburg im Breisgau
- [19] J.T.F. Wong, K. L. Chow, X. W. Chen (2022). Effects of biochar on soil water retention curves of compacted clay during wetting and drying. Biochar 4, 4 <https://doi.org/10.1007/s42773-021-00125-y>.
- [20] H. P. Schmidt (2016). Wurzelapplikation von Pflanzenkohle - hohe Ertragssteigerung mit wenig Pflanzenkohle, Ithaka-Journal, Arbaz, Switzerland, ISSN 1663-0521; pp. 395-402. Available at: [www.ithaka-journal.net/97](http://www.ithaka-journal.net/97).
- [21] K. Kaetzel (2021). CoAct - Integriertes Stadt-Land-Konzept zur Erzeugung von Aktivkohle und Energieträgern aus Restbiomassen. Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe. Available at: <https://www.uni-kassel.de/forschung/coact/coact>. Accessed: 27.04.2021.
- [22] D. Janke (2016). Holzkohleerzeugung in genossenschaftlicher Bürgerhand. Available at: <http://www.altaussee-wesentlich-gesund.at/category/gegenbodendegradation-undklimawandel-ideen-zur-regenerativen-landwirtschaft/terra-preta-holzkohleerzeugung/>. Accessed: 22.06.2021.
- [23] L. Ye, M. Camps-Arbestain, Q. Shen, J. Lehmann, B. Singh, M. Sabir (2020). Biochar effects on crop yields with and without fertilizer: A meta-analysis of field studies using separate controls. Soil Use Management 36; pp 2–18. <https://doi.org/10.1111/sum.12546>
- [24] BMU (2011). EU Bodenschutzpolitik. Available at: <https://www.bmu.de/themen/wasser-abfall-boden/bodenschutz-und-altlasten/braunkohlesanierung/eu-bodenschutzpolitik/>. Accessed: 27.11.2021.
- [25] V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.). (2018). IPCC Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland; pp 32ff.

- [26] M. Gustafsson (2017). Stockholm Biochar Project, IBI event Stockholm. Stockholm Vatten Och Avfall. Available at: [https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/1-Gustafsson\\_M-Stockholm-Biochar-Project-IBI-event-Sthlm-20171009.pdf](https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/1-Gustafsson_M-Stockholm-Biochar-Project-IBI-event-Sthlm-20171009.pdf). Accessed 3/2/2021.
- [27] Landeshauptstadt Dresden. Amt für Presse-, Öffentlichkeitsarbeit und Protokoll, Amtsleiter Kai Schulz. Available at: <https://www.dresden.de/de/stadtraum/umwelt/gruenes-dresden/baeume-in-der-stadt.php>. Accessed 3/2/2021.
- [28] Stadt Leipzig, Dezernat Umwelt, Ordnung, Sport; Amt für Stadtgrün und Gewässer (2019). Straßenbaumkonzept Leipzig 2030. Available at: [https://static.leipzig.de/fileadmin/mediendatenbank/leipzig-de/Stadt/02.3\\_De3\\_Umwelt\\_Ordnung\\_Sport/67\\_Amt\\_fuer\\_Stadtgruen\\_und\\_Gewae\\_sser/Baeume\\_Baumschutz/Stadtbaeume/Strassenbaumkonzept\\_Leipzig\\_2030.pdf](https://static.leipzig.de/fileadmin/mediendatenbank/leipzig-de/Stadt/02.3_De3_Umwelt_Ordnung_Sport/67_Amt_fuer_Stadtgruen_und_Gewae_sser/Baeume_Baumschutz/Stadtbaeume/Strassenbaumkonzept_Leipzig_2030.pdf). Accessed 3/2/2021.
- [29] Stadtverwaltung Chemnitz, Oberbürgermeister Presse-, Öffentlichkeitsarbeit. Mein Baum für Chemnitz. Available at: [https://chemnitz.de/chemnitz/de/unsere-stadt/gruenes-chemnitz/baumpatenschaften\\_spenden/index.html](https://chemnitz.de/chemnitz/de/unsere-stadt/gruenes-chemnitz/baumpatenschaften_spenden/index.html). Accessed 3/2/2021
- [30] Staatliche Schlösser, Burgen und Gärten gGmbH (2017). Frische Ideen für historische Orte. Available at: [https://issuu.com/schloesserlandsachsen/docs/br\\_sbg\\_unternehmensbroschuere\\_issuu\\_f73ada6280407e](https://issuu.com/schloesserlandsachsen/docs/br_sbg_unternehmensbroschuere_issuu_f73ada6280407e). Accessed 27/8/2020.
- [31] Grand View Research (2019). Biochar Market Size, Share & Trends Analysis Report By Technology, Application, Region, and Segment Forecasts, 2019 – 2025. Available at: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/biochar-market>. Accessed 8/2/2021
- [32] Carbon Standards International AG, Ackerstrasse 117, 5070 Frick, Schweiz. Website. Available at: <https://european-biochar.org/de>. Accessed 27/11/2020.
- [33] Z. Dai, X. Xiong, H. Zhu, et al. (2021). Association of biochar properties with changes in soil bacterial, fungal and fauna communities and nutrient cycling processes. *Biochar 3*; pp 239–254 <https://doi.org/10.1007/s42773-021-00099-x>.
- [34] L. Han, B. Zhang, L. Chen, et al. (2021). Impact of biochar amendment on soil aggregation varied with incubation duration and biochar pyrolysis temperature. *Biochar 3*; pp 339–347 <https://doi.org/10.1007/s42773-021-00097-z>.
- [35] H. Bier (2020). EBI Whitepaper - Mit Pflanzenkohle basierten Kohlenstoffsinken dem Klimawandel entgegenwirken, European Biochar Industry Consortium e.V.
- [36] H. McLaughlin, K. Pyle (2016). Practical applications of biochar in the landscape. Available at: <http://www.ecolandscaping.org/04/biochar/practical-applications-of-biochar-in-the-landscape/>. Accessed 27/8/2020.
- [37] European Biochar Industry Consortium (2021). European Biochar Market Report 2020 - February 2021.

- [38] Sonnenerde GmbH, Oberwarter Straße 100, 7422 Riedlingsdorf, Österreich. Website. Available at: <https://www.sonnenerde.at/de/pflanzenkohle/stockholmer-baumpflanzsystem/>. Accessed 27/10/2020.
- [39] Stockholm Vatten Och Avfall, Project manager M. Gustafsson (2018). Stockholm Biochar Project. Available at: [https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/1-Gustafsson\\_M-Stockholm-Biochar-Project-IBI-event-Sthlm-20171009.pdf](https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/1-Gustafsson_M-Stockholm-Biochar-Project-IBI-event-Sthlm-20171009.pdf) Accessed 27/10/2020.
- [40] T.F. Ducey, J. M. Novak, G. C. Sigua, et al. (2021). Microbial response to designer biochar and compost treatments for mining impacted soils. *Biochar* 3; pp 299–314 <https://doi.org/10.1007/s42773-021-00093-3>.
- [41] H. P. Schmidt, N. Hagemann, F. Abächerli, J. Leifeld, T. Bucheli (2021). Pflanzenkohle in der Landwirtschaft - Hintergründe zur Düngertilassung und Potentialabklärung für die Schaffung von Kohlenstoff-Senken. Available at: [https://inv-bw.de/wp-content/uploads/2021/08/Pflanzenkohle-in-der-LW\\_Ithaka\\_BLW\\_2021.pdf](https://inv-bw.de/wp-content/uploads/2021/08/Pflanzenkohle-in-der-LW_Ithaka_BLW_2021.pdf). Accessed 12/10/2021.
- [42] A. Downie, A. Crosky, P. Munroe (2009). Chapter: Physical Properties of Biochar. Book: Biochar for Environmental Management. Hrsg. Lehmann J., Joseph S.: Science and Technology, Earthscan eBook ISBN 9781849770552.
- [43] N. C. Brady, R. R. Weil (2008). An Introduction to the Nature and Properties of Soils, Auflage 14, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. ISBN: UVA:X030261941.
- [44] H. P. Schmidt (2011). Wege zu Terra Preta – Aktivierung von Pflanzenkohle, Ithaka Journal, Hrsg. Delinat-Institut für Ökologie und Klimafarming, CH-1974 Arbaz; pp 28–32
- [45] C. Kammann, H. P. Schmidt (2016). Chapter: Bodenbezogene und landwirtschaftliche Anwendungen in: Hrsg. Quicker P. und Weber K., Biokohle-Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Biomassekarbonisaten, Springer Vieweg.
- [46] J. M. Rödger, W. Ganagin, A. Krieg, C. Roth, A. Loewen (2013). Steigerung des Biogasertrages durch die Zugabe von Pflanzenkohle. MÜLL und ABFALL. 10.37307/j.1863-9763.2013.09.08.
- [47] F. Worzyk, R. Schatten, C. Krüger, K. Terytze, I. Vogel (2014). Auswirkungen von Biokohle-Substraten und Biokohle auf Bodenparameter und Pflanzenwachstum MKW- und PAK-kontaminierter Böden. altlasten spektrum. 10.37307/j.1864-8371.2014.03.03.
- [48] B. Ohsowski, K. Dunfield, J. Klironomos, M. Hart (2017). Plant response to biochar, compost, and mycorrhizal fungal amendments in post-mine sandpits: Synergism among soil amendments. Restoration Ecology. 26. 10.1111/rec.12528.
- [49] H. P. Schmidt (2012). Pflanzenkohle, eine Schlüsseltechnologie zur Schließung der Stoffkreisläufe, Ithaka Journal; pp 75–79, ISSN 1663-0521.

- [50] Naveed et al, (2020). Enhancing Cadmium Tolerance and Pea Plant Health through *Enterobacter* sp. MN17 Inoculation Together with Biochar and Gravel Sand, in: *Plants* 2020, 9; pp 530ff.
- [51] M. K. Awasthi, Y. Duan, S. K. Awasthi, T. Liu, Z. Zhang (2020). Effect of biochar and bacterial inoculum additions on cow dung composting. *Bioresource technology*, 297, 122407. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122407>.
- [52] A. Moeller, H. Höper (2015). Bewertung des Einsatzes von Biokohle in der Landwirtschaft aus Sicht des Bodenschutzes. *GeoBerichte*. 29.
- [53] J. Amonette, S. Joseph (2009). Characteristics of biochar: Microchemical properties. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*.
- [54] M. Haubold-Rosar, A. Rademacher (2016). Chancen und Risiken des Einsatzes von Biokohle und anderer "veränderter" Biomasse als Bodenhilfsstoffe oder für die C-Sequestrierung in Böden, Hg. v. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. Accessed: 27.03.2021. Available at: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_04\\_2016\\_chancen\\_und\\_risiken\\_des\\_einsatzes\\_von\\_biokohle.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_04_2016_chancen_und_risiken_des_einsatzes_von_biokohle.pdf).
- [55] K. Y. Chan, Z. Xu (2009). Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement, In: Hrsg. J. Lehmann, S. Joseph, *Biochar for Environmental Management - Science and Technology*; pp 67-84.
- [56] R. Sakrabani, J. Kern, U. Mankasingh, C. Zavalloni, G. Zanchettin, A. Bastos, P. Tammeorg, S. Jeffery, B. Glaser, F. Verheijen (2017). Representativeness of European biochar research: part II – pot and laboratory studies. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 25; pp 152-159. 10.3846/16486897.2017.1331167.
- [57] J. E. Thies, M. C. Rillig, (2009). Characteristics of Biochar: Biological Properties, In: Hrsg. J. Lehmann, S. Joseph, *Biochar for Environmental Management - Science and Technology*.
- [58] I. Ortas (2016). 16 - The Role of Mycorrhizae and Biochar in Plant Growth and Soil Quality, In: Hrsg. Bruckman V.J., Varol E.A., Uzun B.B., Liu J., *Biochar Application as a Soil Amendment*, Cambridge University Press
- [59] S. L. Edenborn, L. M. K. Johnson, H. M. Edenborn, M. R. Albarran-Jack, L. D. Demetris (2018). Amendment of a hardwood biochar with compost tea: effects on plant growth, insect damage and the functional diversity of soil microbial communities, *Biological Agriculture & Horticulture*, 34:2, 88-106, DOI: 10.1080/01448765.2017.1388847.
- [60] J. R. Kana, A. Teguia, B. M. Mungfu, J. Tchoumboue (2011). Growth performance and carcass characteristics of broiler chickens fed diets supplemented with graded levels of charcoal from maize cob or seed of *Canarium schweinfurthii* Engl. *Trop Anim Health Prod*. 43(1); pp 51-56. doi:10.1007/s11250-010-9653-8.
- [61] M. Iwase, M. Hoshi (1990). XVI Congresso Mundial DE BUIATRIA, Salvador – Brasil; pp 436-440.

- [62] R. Leng, S. Inthapanya, T. Preston (2012). Biochar lowers net methane production from rumen fluid in vitro. *Livestock Research for Rural Development*. 24.
- [63] Gerlach, A., Schmidt, H.P. (2010). Pflanzenkohle. *Journal für Terroirwein und Biodiversität*, ISSN 1663-0521.
- [64] Ariens, Lambrecht (1985). Schriftenreihe d. Bundesapothekenkammer zur wissenschaftlichen Fortbildung, Meran, 20. Intern. Fortbildungskurs für praktische und wiss. Pharmazie. Zitiert nach Gerlach A, Schmidt HP (2014) The use of biochar in cattle farming. *The Biochar Journal* Arbaz, Switzerland. ISSN 2297-1114.
- [65] A. Meyer, W. Vogt (2018). Pflanzenkohle im Schweinemastversuch. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Available at: <https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/1/nav/753/article/31785.html>. Accessed 17/2/2021.
- [66] P. Hiller, M. Klahsen, J. Schättler (2017). Fütterung von „schwarzem Gold“? Pflanzenkohle in der Geflügelhaltung. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Fachbereich 3.5, Versuchswesen Geflügel. EIP-Agri Projekt „CarboFeet. Published 28.07.2017.
- [67] J. Schättler, P. Hiller, S. Sagkob, C. Balz, L. Diekmann, M. Klahsen, K. Hinz, B. Spindler, J. Stracke, N. Kemper (2019). Abschlussbericht EIP-Agri-Projekt „CarboFeet“ Beimischung von zertifizierter Pflanzenkohle im Mischfutter von Putenhähnen und Masthühnern unter besonderer Berücksichtigung von Tierwohlaspekten. Landwirtschaftskammer Niedersachsen und Tierärztliche Hochschule Hannover.
- [68] X. Jia, M. Wand, W. Yuan, X. Ju, B. Yang (2016). The influence of Biochar Addition on Chicken Manure Composting and Associated Methan and Carbon Dioxide Emissions. *BioResources* 11(2); pp 5255-5264.
- [69] P. Hiller, M. Klahsen (2018). Einstreu in der Geflügelhaltung- Tipps und Anregungen für ein gutes Einstreumanagement. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Available at: <https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/1/nav/229/article/29729.html>. Accessed 18/2/2021.
- [70] Weinland Sachsen (2018). Broschüre vom Weinbauverband Sachsen e.V. Meißen. Available at: [www.weinbauverband-sachsen.de](http://www.weinbauverband-sachsen.de). Accessed 21/2/2021.
- [71] C. Niggli, H. P. Schmidt (2012). Pflanzenkohle im Europäischen Weinbau: Ergebnisse 2011. *Journal für Terroirwein und Biodiversität*, 2010, ISSN 1663-0521. Available at: <https://www.ithaka-journal.net/pflanzenkohle-im-europaischen-weinbau-ergebnisse-2011>. Accessed 22/2/2021.
- [72] J. Springensguth (2020). Informationen zum Spargelanbau für den professionellen Spargel-Anbauer. Available at <https://www.spargel.net/spargelanbau/informationen-zum-spargelanbau/>. Accessed 22/2/2021.
- [73] Schmeckt Hier Redaktion (2018). Weiß-Grün: Spargel-Anbieter in Sachsen. Available at <https://schmeckthier.de/spargel-in-sachsen-dresden-leipzig-chemnitz/>. Accessed 22/2/2021.

- [74] Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (2021). Erdbeeren. Available at <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaftliche-produkte/wie-werden-unsere-lebensmittel-erzeugt/pflanzliche-produkte/erdbeeren/>. Accessed 22/2/2021.
- [75] Krieghoff, G. (2020). Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Freistaat Sachsen. Available at [https://lfulg.sachsen.de/download/DuF-Blatt-Erdbeeranbau\\_2020-endgueltig-20.01.2021.pdf](https://lfulg.sachsen.de/download/DuF-Blatt-Erdbeeranbau_2020-endgueltig-20.01.2021.pdf). Accessed 22/2/2021.
- [76] Terytze, K.; Wagner, R.; Schatten, R.; Rößler, K. und König, N. (2014). Endbericht zum Forschungsvorhaben TerraBoGa. Freie Universität Berlin.
- [77] Statistisches Bundesamt, BMEL (2019). Marktgemüsebau, Marktobstbau, Blumen und Zierpflanzen, Stauden, Baumschulen. Available at <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/gartenbau/produktionsgartenbau/>. Accessed 23/2/2021.
- [78] Verbände des Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau (2021). Available at: <https://www.galabau-sachsen.de/branchendaten-sachsen.aspx>. Accessed 25/2/2021.
- [79] Qicker, P., Weber, K. (2017). Biokohle: Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Biomassekarbonisaten. Springer Vieweg ISBN 978-3-658-03688-1.
- [80] Kammann, C.I.; Schmidt, H.P.; Messerschmidt, N.; Linsel, S.; Steffens, D.; Müller, C.; Koyro, H.-W.; Conte, P.; Joseph, S. (2015). Plant growth improvement mediated by nitrate capture in cocomposted biochar. *Scientific Reports* 5.
- [81] Haider G.; Steffens D.; Müller C.; Kammann CI (2016). Standard extraction methods may underestimate nitrate stocks captured by field aged biochar. *Journal of Environmental Quality* 45; pp1196–1204.
- [82] Steiner, C.; Das, K.C.; Melear, N.; Lakly, D. (2010). Reducing Nitrogen Loss during Poultry Litter Composting Using Biochar. *J. Environ. Qual.* 39; pp 1236ff.
- [83] Steiner, C.; Melear, N.; Harris, K.; Das, K.C. (2011). Biochar as bulking agent for poultry litter composting. *Carbon Management* 2; pp 227–230.
- [84] Chen, Y.X.; Huang, X.D.; Han, Z.Y.; Huang, X.; Hu, B.; Shi, D.Z.; Wu, W.X. (2010). Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting. *Chemosphere* 78; pp 1177–1181.
- [85] Hua, L.; Wu, W.; Liu, Y.; McBride, M.; Chen, Y. (2009). Reduction of nitrogen loss and Cu and Zn mobility during sludge composting with bamboo charcoal amendment. *Environmental Science and Pollution Research* 16; pp 1–9.
- [86] Hua, L., Chen, Y.; Wu, W. (2012). Impacts upon soil quality and plant growth of bamboo charcoal addition to composted sludge. *Environmental Technology* 33; pp 61–68.
- [87] Jindo, K.; Sanchez-Monedero, M.A.; Hernandez, T.; Garcia, C.; Furukawa, T.; Matsumoto, K.; Sonoki, T.; Bastida, F. (2012). Biochar influences the microbial community structure during manure composting with agricultural wastes. *Science of the Total Environment* 416; pp 476–481.

- [88] Jindo, K.; Suto, K.; Matsumoto, K.; Garcia, C.; Sonoki, T.; Sanchez-Monedero, MA. (2012). Chemical and biochemical characterisation of biochar-blended composts prepared from poultry manure. *Bioresource Technology* 110; pp 396–404.
- [89] Wiedner, K.; Fischer, D.; Walther, S.; Criscuoli, I.; Favilli, F.; Nelle, O.; Glaser, B. (2015). Acceleration of Biochar Surface Oxidation during Composting? *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 63; pp 3830–3837.
- [90] Prost, K.; Borchard, N.; Siemens, J.; Kautz, T.; Sequaris, J.-M.; Moeller, A.; Amelung, W. (2013). Biochar Affected by Composting with Farmyard Manure. *Journal of Environmental Quality* 42; pp 164–172.
- [91] Schmidt, H.; Pandit, B.; Martinsen, V.; Cornelissen, G.; Conte, P.; Kammann, C. (2015). Fourfold Increase in Pumpkin Yield in Response to Low-Dosage Root Zone Application of Urine-Enhanced Biochar to a Fertile Tropical Soil. *Agriculture* 5; pp 723–741.
- [92] Kammann, C. (2013). Moving forward from “biochar revolution” to “biochar evolution”, Shaping a promising mitigation tool demands future research efforts. *Agricultural and Food Science* 22; pp 371–372.
- [93] M. Marcińczyk, P. Oleszczuk (2022). Biochar and engineered biochar as slow- and controlled-release fertilizers. *Journal of Cleaner Production*. 130685. 10.1016/j.jclepro.2022.130685.
- [94] Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg (2021). Bioenergie. Available at: <https://mwae.brandenburg.de/de/bioenergie/bb1.c.478391.de>. Accessed 1/3/2021.
- [95] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2020). Biogas in Sachsen. Available at: <https://www.landwirtschaft.sachsen.de/biogas-in-sachsen-12858.html>. Accessed 1/3/2021.
- [96] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Referat 22: GAP, Informationsmanagement (2020). Agrarstatus Sachsen. Available at: <https://www.landwirtschaft.sachsen.de/agrarstatus-sachsen-6886.html>. Accessed 15/4/2021.
- [97] Holz-Zentralblatt Nr. 38, Seite 811. DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co. KG, Fasanenweg 18, 70771 Leinfelden-Echterdingen.
- [98] Carbuna AG, Memmingen. Website. Available at: <https://www.carbuna.com/de>. Accessed 13/12/2021.
- [99] Rehwaldt Landscape Architects, Charlese de Gaulla 629/5, 160 00 Praha 6, Website. Available at: <https://www.rehwaldt.de/>. Accessed 13/12/2021.
- [100] Bauernverband Oberlausitz e.V. Am Gut 8, 02708 Löbau, Website. Available at: <https://bauernverband-ol.de/index.php?menu=2&untermenu=0>. Accessed 13/12/2021.
- [101] Carbonfuture GmbH. Paul-Ehrlich-Straße 7, 79106 Freiburg, Website. Available at: <https://www.carbonfuture.earth/de/>. Accessed 13/12/2021.

- [102] Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Torgauer Str. 116, 04347 Leipzig, Website. Available at: <https://www.dbfz.de>. Accessed 14/12/2021.
- [103] European Biochar Industry Consortium e.V., Paul-Ehrlich-Straße 7, 79106 Freiburg im Breisgau, Website. Available at: <https://www.biochar-industry.com>. Accessed 14/12/2021.
- [104] Fachverband Pflanzenkohle e.V., Distelfeldstraße 15, 71229 Leonberg, Website. Available at: <https://fachverbandpflanzenkohle.org/>. Accessed 14/12/2021.
- [105] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Deichmanns Aue 29, 53179 Bonn. Pflanzenkohle hilft Klima und Boden. Available at: <https://www.praxis-agrar.de/pflanze/ackerbau/pflanzenkohle/>. Accessed 10/11/2021
- [106] Schmidt, H.-P. (2010). 55 Anwendungen von Pflanzenkohle. Journal für Terroirwein und Biodiversität, 2010, ISSN 1663-0521. Available at: <http://www.ithaka-journal.net/55-anwendungen-von-pflanzenkohle>. Accessed 10/12/2021.
- [107] Friedrich, H. Website der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Vöttinger Straße 38, 85354 Freising. Available at: <https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/032173/>. Accessed 28/12/2021.
- [108] Sächsischer Landeskontrollverband e.V., August-Bebel-Str. 6, 09577 Niederwiesa/OT Lichtenwalde. Available at: [https://www.lkvsachsen.de/fileadmin/wireframe/redaktion/Labor/Boden/21051800\\_LK\\_S\\_Flyer\\_Humusqualit%C3%A4tsbewertung.pdf](https://www.lkvsachsen.de/fileadmin/wireframe/redaktion/Labor/Boden/21051800_LK_S_Flyer_Humusqualit%C3%A4tsbewertung.pdf). Accessed 28/12/2021.
- [109] Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft, Postfach 10 05 10, 01076 Dresden. Available at: <https://www.landwirtschaft.sachsen.de/ziehung-der-bodenproben-in-dieser-woche-46079.html> Accessed 28/12/2021.
- [110] G. Ramtahal, P. Umaharan, A. Hanuman, C. Davis, L. Ali (2019). The effectiveness of soil amendments, biochar and lime, in mitigating cadmium bioaccumulation in *Theobroma cacao* L., Science of The Total Environment, Volume 693,133563, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.369>.
- [111] Homagain, K., Shahi, C., Luckai, N. (2016). Life cycle cost and economic assessment of biochar-based bioenergy production and biochar land application in Northwestern Ontario, Canada. For. Ecosyst. 3, 21 <https://doi.org/10.1186/s40663-016-0081-8>.
- [112] K. Lepnica (2021). Pyrolyse von Gärresten zu Pflanzenkohle und deren Anwendungen, Prodana GmbH. 15. Biogasfachtagung (Brandenburg): Biogas, da geht doch was! 09. März 2021, Zeit: 10:00 – 15:00 Uhr, online