



## Mehr Kohle für den Naturschutz

Von der mobilen Verkohlung in der Landschaftspflege bis  
zu Pflanzenkohle. Handreichung für Biologische Stationen

Dezember 2024

**Förderung:**

Landschaftsverband Rheinland /  
LVR-Netzwerk Kulturlandschaft



**Ersteller:**

Biologische Station Haus Bürgel  
Stadt Düsseldorf • Kreis Mettmann e.V.  
Urdenbacher Weg  
40789 Monheim am Rhein  
Tel. 0211 – 99 61 212  
Fax 0211 – 99 61 213  
info@bsdme.de  
www.bsdme.de

**Bearbeitung:**

Anette Hoffmann

## Inhaltsverzeichnis

<b>Pflanzenkohle – ein Thema für Biologische Stationen?</b> .....	<b>4</b>
<b>Pflanzenkohle - Grundlegendes</b> .....	<b>8</b>
Was ist Pflanzenkohle?.....	8
Wie wird Pflanzenkohle hergestellt? .....	11
Was ist gute Pflanzenkohle?.....	12
<b>Historische Einordnung in die Kulturlandschaft und heutige Akteure</b> .....	<b>14</b>
Terra Preta .....	14
Kohlemeiler.....	15
Black is the new green – Akteure der Pflanzenkohle-Szene .....	16
<b>Produktion von Pflanzenkohle</b> .....	<b>18</b>
Herstellung in industriellen Anlagen .....	18
Herstellung in manuellen Anlagen.....	18
<b>Anwendungsbereiche von Pflanzenkohle</b> .....	<b>23</b>
Pflanzenkohle in der Landwirtschaft.....	23
Pflanzenkohle in gärtnerischen Erden und Substraten .....	25
Pflanzenkohlesubstrate für Baumscheiben.....	26
<b>Pflanzenkohle und das Klima</b> .....	<b>28</b>
Der Klimapfad in Deutschland .....	28
Pflanzenkohle als Negativemissionstechnologie .....	29
Biomasse als limitierender Faktor.....	32
Honorierung von Kohlenstoffsenken-Leistung .....	32
<b>Mobiler Verkohlungsansatz in der Landschaftspflege</b> .....	<b>36</b>
Projektansatz CarboMob als Vorbild.....	36
Unser mobiler Verwertungsansatz.....	37
Unser Fazit zur mobilen Verkohlung.....	41
<b>Rechtliche Rahmenbedingungen</b> .....	<b>43</b>
Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege.....	43
Belange der Abfall- und Kreislaufwirtschaft .....	43
Bodenschutzbelange / Düngemittelrecht.....	44
Emissionen mobiler Verkohlungsanlagen (Immissionsschutzrecht).....	45

---

<b>Pflanzkohle-Projekte mit Bio-Mehrwert.....</b>	<b>47</b>
Freiburger Pflanzkohle.....	47
Darmstädter Pflanzkohle.....	47
Biomehrwert-Initiative in Münster.....	47
Pflanzkohle und Fernwärme aus Bochum.....	48
TerraBoGA und andere Projekte an der Freien Universität Berlin.....	48
Landwirtschaft 5.0.....	48
Klimapatenschaft des Netzwerks Blühende Landschaft.....	48
<b>Pflanzkohle in der Bildung für nachhaltige Entwicklung.....</b>	<b>49</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>50</b>
Quellen und weiterführende Literatur .....	50
Glossar und Abkürzungsverzeichnis.....	57
Tabellen- und Diagramme .....	60

## Pflanzkohle – ein Thema für Biologische Stationen?

Für das Jahr 2024 hat die Biologische Station Haus Bürgel Düsseldorf - Kreis Mettmann Fördermittel des Landschaftsverbands Rheinland (LVR) zur Erstellung einer Potenzialanalyse „Mehr Kohle für den Naturschutz“ erhalten. Die Idee war, anfallendes Landschaftspflegematerial direkt in betreuten Schutzgebieten mittels einer mobilen Pyrolyse-Anlage zu Pflanzkohle zu verkohlen. Die so hergestellte „Naturschutzkohle“ sollte gegen Spende an Hobbygärtnerinnen zur Zubereitung fruchtbarer Terra Preta Erde überlassen werden. Im Vordergrund stand also die hochwertige Verwertung von anfallendem Schnittgut mit zusätzlichen Spendenerlösen für den Naturschutz. Ganz nebenbei wollten wir hierüber einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten, da bekanntermaßen Pflanzkohle atmosphärischen Kohlenstoff bindet und im Boden oder in Materialien eingesetzt zur Kohlenstoffsene wird.

Vorbild für die mobile Verkohlung war das Projekt „CarboMob“ aus dem Jahr 2014 in Baden-Württemberg. Der kleine Pyrolyseofen mit Nachverbrenner auf geländefähigem Anhänger brachte erstaunlich gute Pflanzkohlen aus verschiedenen holzigen Rückständen der Landschaftspflege hervor. Die Projektleiterin berichtete, dass vor allem immissionsschutzrechtliche Anforderungen an die Anlage die Weiterentwicklung verhinderten. Zufällig sind wir auf ein neues mobiles Pyrolysegerät gestoßen: eine sogenannte Batch-Retorte, beruhend auf einer anderen Technik als der CarboMob, laut Hersteller mit sehr geringen Abgaswerten und bereits vielfachem Einsatz in Land- und Forstwirtschaft. Die Frage war nun, ob wir den Ansatz des CarboMobs mit anderer Technik fortführen und für uns nutzen könnten. Das Jahr 2024 hat die Biologische Station Haus Bürgel Düsseldorf - Kreis Mettmann Fördermittel des Landschaftsverbands Rheinland (LVR) zur Erstellung einer Potenzialanalyse „Mehr Kohle für den Naturschutz“ erhalten. Idee war es, anfallendes Landschaftspflegematerial direkt in betreuten Schutzgebieten mittels einer mobilen Pyrolyse-Anlage zu Pflanzkohle zu verwerten. Die so hergestellte „Naturschutzkohle“ sollte gegen Spende an Hobbygärtnerinnen zur Zubereitung fruchtbarer Terra Preta Erde überlassen werden. Im Vordergrund stand also die hochwertige Eigenverwertung von anfallendem Schnittgut mit zusätzlichen Spendenerlösen für den Naturschutz. Ganz nebenbei wollten wir hierüber einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten, da bekanntermaßen Pflanzkohle atmosphärischen Kohlenstoff bindet und im Boden oder in Materialien eingesetzt zur Kohlenstoffsene wird.

### Hoher Aufwand im Gelände

Rückblickend mit den Erkenntnissen, die wir über Recherchen, im Gespräch mit Fachleuten aber auch aus eigenen Verkohlungsversuchen gewinnen konnten, mag diese Idee naiv gewesen sein. „Die Herstellung von Pflanzkohle“, resümierte ein Experte, „ist um ein Vielfaches komplexer als gemeinhin angenommen wird“; das ist nachvollziehbar vor dem Hintergrund, dass die Köhlerei der Neuzeit ein von Kundigen ausgeführtes Handwerk war. Andererseits wissen wir aus der modernen Terra Preta Forschung, dass unsere indigenen Vorfahren Pflanzkohlen in äußerst einfachen Vorrichtungen herzustellen und anzuwenden wussten; herausgekommen sind beispielsweise die fruchtbaren menschengemachten Schwarzerdeböden im Amazonasgebiet (Terra Preta de Indio). Diese niedrigschwellige Art der Herstellung und Anwendung erlebt

weltweit ein Comeback, vor allem im globalen Süden aber auch bei hiesigen Gärtnerinnen; warum also nicht auch in der Landschaftspflege. Für die praktische Umsetzung haben wir jedoch unterschätzt, dass je einfacher die Verkohlungsanlage ist, desto mehr (händische) Arbeit in Vorbehandlung des Ausgangsmaterials und Feinsteuerung des Vorgangs fließen muss, um hochwertige Pflanzenkohle zu erstellen. Den Mehraufwand, der sich allein durch Konfektionierung, Trockenlagerung und Zerkleinerung des Materials im Gelände ergibt, können wir im Rahmen unserer Landschaftspflege nicht stemmen. Dies mag hierzulande im privaten Rahmen leistbar sein (z.B. in Gartenvereine und Initiativen), für unsere Landschaftspflege ist der Nutzen zu niedrig. Vor diesem Hintergrund kann nicht verwundern, dass auch die Produktionskosten in industriellen Anlagen enorm sind.

### **Geringe Nachhaltigkeit aufgrund fehlender Abwärmenutzung**

Blicken wir auf solche, heutige industrielle Anlagen, wird ihre Effizienz offenkundig: Pflanzenkohleausbeuten von hoher Qualität bei niedrigen Emissionen und verhältnismäßig geringem Personalaufwand. Ihr besonderer Vorteil liegt aber in der Nutzung der Abwärme, die im Prozess anfällt. Dies ist aus Wirtschaftlichkeits- aber auch aus Nachhaltigkeitsgründen geboten, in der Freilandsituation jedoch nicht gegeben. In der Umweltbilanzierung wirkt sich mobile Verkohlung dort positiv aus, wo die stoffliche Verwertung dezentral anfallender Biomasse der Beseitigung durch Verbrennung gegenübersteht; so ist es ein großer klimatischer (und gesellschaftlicher) Zugewinn, wenn Kleinbäuerinnen im globalen Süden Pflanzenkohle aus Ernterückständen handwerklich herstellen und ihre Kohlenstoff-Senkenleistung durch deren Eintrag in ihre Böden über Klimazertifikate honoriert wird (vgl. Kapitel Pflanzenkohle und das Klima). Der Fachverband betrachtet manuelle Verkohlungsanlagen hierzulande jedoch als Brückentechnologie, „bis günstigere, kontrolliertere Pyrolyseanlagen flächendeckend verfügbar sind, die die Abwärme nutzbar machen und wesentlich geringere Emissionen (v.a. Methan) verursachen“. [38]

### **Umweltrechtliche Bedenken**

Für eine mobile Verkohlung in der Landschaftspflege sehen wir außerdem deshalb kein Potenzial, weil es für rechtliche Fragen, die bereits im Projekt CarboMob aufgeworfen wurden, auch zehn Jahre später keine zufriedenstellenden Antworten gibt. Dies betrifft vor allem die Einordnung und Bewertung einer mobilen Verkohlungsanlage in immissionsschutzrechtliche Kategorien. Des Weiteren ist Landschaftspflegematerial per Kreislaufwirtschaftsgesetz als Bioabfall deklariert. Dadurch ergeben sich Verwertungsanforderungen, die wir im Rahmen unseres Ansatzes „Naturschutzkohle“ nicht leisten könnten. Es würde sich die Frage stellen, ob es vertretbar ist, „verkohlten Abfall“ an interessierte Hobbygärtner zu reichen, auch wenn wir von der Qualität und den Anwendungsmöglichkeiten von Naturschutzkohle überzeugt sind.

Somit müssen wir resümieren, dass die mobile Verkohlung in der Landschaftspflege kein Potenzial hat. Unsere Recherchen haben jedoch gezeigt, dass Pflanzenkohle dennoch ein vielversprechendes Thema für Klimaschutz und Klimaanpassung ist, welches noch viel bekannter gemacht werden muss. Zur Arbeit an Biologischen Stationen bestehen unseres Erachtens verschiedene Berührungspunkte.

Somit müssen wir resümieren, dass die mobile Verkohlung in der Landschaftspflege kein Potenzial hat. Unsere Recherchen haben jedoch gezeigt, dass Pflanzenkohle ein wichtiges Thema für Klimaschutz und Klimaanpassung ist, welches noch viel bekannter gemacht werden muss. Zur Arbeit an Biologischen Stationen bestehen unseres Erachtens verschiedene Berührungspunkte.

### **Potenzial Landschaftspflegematerial**

in Böden und Materialien ist weltweit als Kohlenstoffsенке anerkannt. Technologien sind ausgereift und sofort anwendbar. Für einen Beitrag zur Bewältigung der Klimakrise muss die Skalierung allerdings jetzt beginnen: die Fachszene steht in den Startlöchern und sucht Verbündete auf allen Ebenen. Das Potenzial von Pflanzenkohle wird – vor allem hierzulande – durch die Verfügbarkeit von pyrolysierbarer Biomasse begrenzt. Unbestritten, dass nur nachhaltig hergestellte Biomasse (zum Beispiel aus Agroforstsystemen) und bislang nicht ausgeschöpfte Restbiomasse in Frage kommen. Hierzu haben Biologischen Stationen nicht nur fachlich, sondern auch ganz praktisch aus ihrer Landschaftspflege beizutragen. Das Biomassepotenzial aus Landschaftspflege, welches nicht oder nur schlecht verwertet wird, wird deutschlandweit auf rund 2 Millionen Tonnen geschätzt. [90]. Dieses könnte hochwertig in sogenannten Bio-Mehrwert-Ansätzen (vgl. Kapitel Pflanzenkohle mit Bio-Mehrwert) im Sinne einer regionalen Kreislaufwirtschaft genutzt werden und zeitgleich Wärme oder Strom liefern.

### **Anwendungen in der Stadtnatur**

Die Entwicklung pflanzenkohlebasierter Anwendungen schreitet rasant voran. Bei den Verwendungsmöglichkeiten fällt der Nutzen für die Stadtnatur ins Auge: aufgrund des hohen Wasserhaltevermögens wird Pflanzenkohle europaweit in Baumscheiben und anderen Grünflächen nach dem „Stockholmer Modell“ erprobt und bereits angewendet. Der dadurch erzielte Nutzen klimaresilienter Pflanzungen scheint die deutlich höheren Preise für pflanzenkohlebasierte Substrate insbesondere bei Neuanlagen zu überwiegen. Hier trifft Klimaschutz auf Klimaanpassung. Aufgrund der Eigenschaft von Pflanzenkohle, Nährstoffe zu binden, bestehen auch erste Versuche, Blühstreifen mit Pflanzenkohle abzumagern und so den Artenreichtum zu fördern. Hier trifft Pflanzenkohle beispielsweise auf Biodiversität.

### **Pflanzenkohle in der Bildung für nachhaltige Entwicklung**

Durch das „Begreifen“ von Pflanzenkohle als Speicher atmosphärischen Kohlenstoffs lassen sich Umweltbildungsinhalte wie terrestrischer Kohlenstoffkreislauf und menschengemachter Klimawandel besonders gut vermitteln. Wir haben mit zusätzlichen Drittmitteln ein neues Veranstaltungsmodul konzipiert, in dem wir mit einem kleinen Verkohlungsgerät Pflanzenkohle exemplarisch selbst herstellen. Es wendet sich vor allem an Hobbygärtnerinnen. Das Besondere am Thema Pflanzenkohle ist – dies drückte sich vehement in den von uns besuchten Webinaren, Foren und anderen Treffen aus – dass Akteure unterschiedlicher Ebenen (Wirtschaft, Landwirtschaft, Politik, Wissenschaft, Initiativen und Private) zusammenkommen, um gemeinsam Lösungen zu finden. Nur so lässt sich nachhaltige Entwicklung gestalten.

Wir danken den Fachleuten aus der noch recht jungen „Pflanzenkohle-Szene“, die uns bereitwillig und umfassend Auskunft gegeben haben. Wir freuen uns über den Austausch mit anderen Biologischen Stationen und Naturschutzeinrichtungen und sind auch nach Abschluss dieses LVR-Projektes an Dialog und Kooperation in Bezug auf dieses weite Themenfeld interessiert. Dem Landschaftsverband Rheinland danken wir für das Vertrauen in unsere Arbeit, auch wenn das Ergebnis der Potenzialanalyse zur mobilen Verkohlung nicht wie erwartet ausgefallen ist.

**Hinweis zur Lesbarkeit:**

Zwecks besserer Lesbarkeit lösen wir die Herausforderung des Genderns in diesem Bericht mit der zufällig abwechselnden Nutzung der weiblichen, männlichen oder neutralen Form. Der Bericht führt an vielen Stellen noch nicht so geläufige Abkürzungen, häufig aus der internationalen Klimaschutzdiskussion ein, die am Ende des Berichts in einem Glossar kurz erläutert sind. Um diese Handreichung trotz riesiger Themenbreite und -komplexität möglichst kompakt zu halten, verweisen wir auf ein umfangreiches Verzeichnis von Informationsquellen im Anhang

## Pflanzenkohle - Grundlegendes

### Was ist Pflanzenkohle?

„Pflanzenkohle wird definiert als „poröses, kohlenstoffhaltiges Material, das durch Pyrolyse aus klar definierten, pflanzlichen Biomassen hergestellt und so angewendet wird, dass der enthaltene Kohlenstoff langfristig und klimarelevant als Kohlenstoff-Senke gespeichert bleibt oder in industriellen Fertigungsprozessen fossilen Kohlenstoff ersetzt.“ [1]

Damit unterscheidet sich Pflanzenkohle nicht unbedingt in physikalischer/ chemischer Betrachtung von Holzkohle - beide sind das feste Karbonisat eines thermochemischen Umwandlungsprozesses - jedoch grundlegend in Bezug auf die Verwendung: während Holzkohle traditionell zur energetischen Nutzung produziert wird (Eisenverhüttung, Grill), steht bei Pflanzenkohle die stoffliche Verwendung in Böden, zunehmend auch in Materialien im Vordergrund, um dem Kohlenstoffkreislauf persistent Kohlenstoff zu entnehmen. Pflanzenkohle steht für einen Perspektivenwechsel: weg von Verbrennung, hin zum Aufbau von Kohlenstoffsinken.

Pflanzenkohlen können nicht nur aus Holz, sondern aus einer Vielzahl pflanzlicher Biomassen hergestellt werden. Die Verwertung von Reststoffen steht im Vordergrund: beispielsweise Ernterückstände (Getreidespelzen, Maisspindeln), Reste der Nahrungsmittelproduktion (Nussreste, Kakaoschalen), Reste aus Kompostierung (Siebreste) oder Biogasanlagen (getrocknete Gärreste) und eben auch Landschaftspflegematerial. Gezielter Anbau von Ausgangsmaterial soll nachhaltig geschehen (beispielsweise in Agroforstsysteme). Im Rahmen der Zertifizierung von Pflanzenkohle besteht eine Positivliste zulässiger Biomassen, die kürzlich ergänzt wurde. [2]

Oft wird Pflanzenkohle synonym mit dem Begriff Biokohle (aus engl. biochar) verwendet. Dies ist irreführend, da unter Biokohlen auch Karbonisate anderer Verfahren gefasst werden, beispielsweise der hydro- oder vapo-thermalen Karbonisierung; diese besitzen aber deutlich andere Eigenschaften als Pflanzenkohlen aus Pyrolyse [3]. Die Eigenschaften von Pflanzenkohlen werden wie folgt beschrieben. [4]

### Physikalische Eigenschaft

Durch Pyrolyse bleibt die ursprüngliche Zellstruktur des Pflanzenmaterials weitestgehend erhalten. Daher sind Pflanzenkohlen in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial und Herstellungsverfahren sehr porös und können bis zum Fünffachen ihres Eigengewichts an Wasser (und darin gelösten Nährstoffen) aufnehmen. Das Porenvolumen ist stark von Ausgangsmaterial und Pyrolysetemperatur abhängig. Feinporen können geeigneter Lebensraum für Mikroorganismen sein, feinste Poren im Nano-Bereich jedoch auch Moleküle aufnehmen und für Bakterien unzugänglich machen (möglicherweise bei Verringerung von Nitratauswaschung bedeutsam).



### Chemische Eigenschaft

Während die physikalische Struktur der Ausgangsmasse weitestgehend erhalten bleibt, verändert sich ihre chemische Struktur grundlegend: der in der Pflanzenmasse gebundene labile Kohlenstoff<sup>1</sup> wird zu einem hohen Anteil in kondensierte Aromaten umgewandelt, welche nur sehr langsam von Mikroben abgebaut werden. Der Anteil steigt bei wachsender Pyrolysetemperatur und Verweilzeit im Reaktor. An den Rändern der Aromaten bestehen (bzw. bilden sich nach und nach durch Beschichtung) funktionelle Gruppen, an denen sich Nährstoffe und Spurenelemente als Kationen andocken können und pflanzenverfügbar bleiben. Pflanzenkohlen wirken über diese Kationenaustauschkapazität in Verbindung mit ihrer hohen spezifischen Oberfläche als Nährstoffspeicher oder besser Nährstoffpuffer.

Dabei bringen Pflanzenkohlen in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial nur wenige mineralische Nährstoffe (im Ascheanteil) mit sich. In der Biomasse enthaltener Stickstoff geht überwiegend in die Gasphase über. Mineralstoffe wie Kalium, Phosphor, Magnesium werden aufgrund des Masseverlustes im Karbonisat angereicht, sind aber nur eingeschränkt pflanzenverfügbar. Aus diesem Grund werden Pflanzenkohleprodukte für landwirtschaftliche Anwendungen mit Nährstoffen „beladen“. Unbehandelte Pflanzenkohlen aus holziger Biomasse führen (zumindest anfangs) zu Nährstoffentzug im Boden, was aber gegebenenfalls erwünscht sein kann<sup>2</sup>. Pflanzenkohlen weisen zumeist eine hohen pH-Wert auf und beeinflussen auch hierüber die Nährstoffaufnahme in Böden.

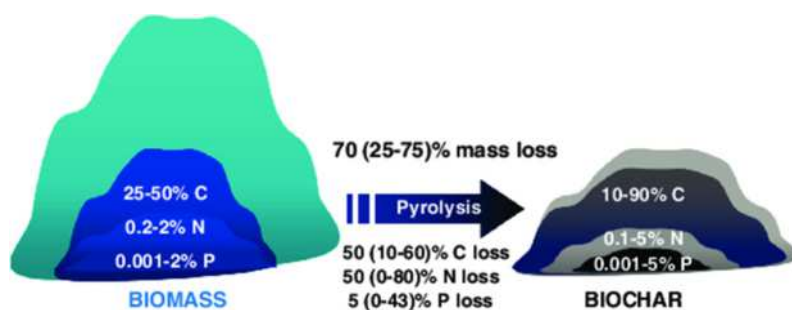


Abbildung: Umwandlungseffizienz von Biomasse während der Pyrolyse [5]

### Komplexe Wirkungsweise

In Abhängigkeit von der Pflanzenkohleeigenschaft, die vom Ausgangsmaterial (holzig, krautig), der Pyrolyse-Intensität (Temperatur, Verweildauer) und der Nachbehandlung (z.B. Nährstoffbeladung, Körnung) bestimmt wird und im komplexen Zusammenspiel mit dem jeweils vorhandenen Boden, besitzen Pflanzenkohlen daher unterschiedlich Wirkungen in Böden, beispielsweise (ausführlich [6]):

- die biologische Aktivität fördern
- das Wurzelwachstum fördern und zum Humusaufbau beitragen

<sup>1</sup> Der Kohlenstoffgehalt hängt vom Ausgangsmaterial ab. Pflanzenkohlen aus holzigen Biomassen weisen einen Kohlenstoffgehalt zwischen 70-90% auf, solche aus Stroh, Laub oder Spelzen einen Gehalt zwischen 40-60%.

<sup>2</sup> So bestehen erste Abmagerungsversuche mit Pflanzenkohle, z.B. am Institut für Angewandte Ökologie an der Hochschule Geisenheim

- Nitratauswaschungen verringern
- Lachgas-Ausgasungen aus dem Boden reduzieren
- Eventuell Methan-Ausgasungen verringern (hierzu besteht noch Forschungsbedarf)  
Schadstoffe (beispielsweise Schwermetalle in kontaminierten Böden) für Pflanzen immobilisieren.

### Permanenz Kohlenstoff in Pflanzenkohlen

Ein besonderer Vorteil von Pflanzenkohle liegt in der dauerhaften Bindung atmosphärischen Kohlenstoffs, der im Boden nur geringfügig abgebaut wird. Als Indikator für die Langzeitstabilität wird das Verhältnis von Wasserstoff (H) zu organischem Kohlenstoff (C org) herangezogen. Bei einem H/C Verhältnis unter 0,4 gelten Pflanzenkohlen im Boden als stabil, so dass nur eine sehr geringe durchschnittliche Abbaurrate (übliche Annahme von 0,3%) angenommen wird. [6] Der Indikator korrespondiert mit dem sogenannten Van-Krevelen-Diagramm, welches 1957 zur Bestimmung der Abbauwürdigkeit von Erdölvorkommen entwickelt wurde. Das Diagramm stellt die verschiedenen Stadien (fossiler) Inkohlung von Biomasse im Verhältnis H/C und O/C dar.

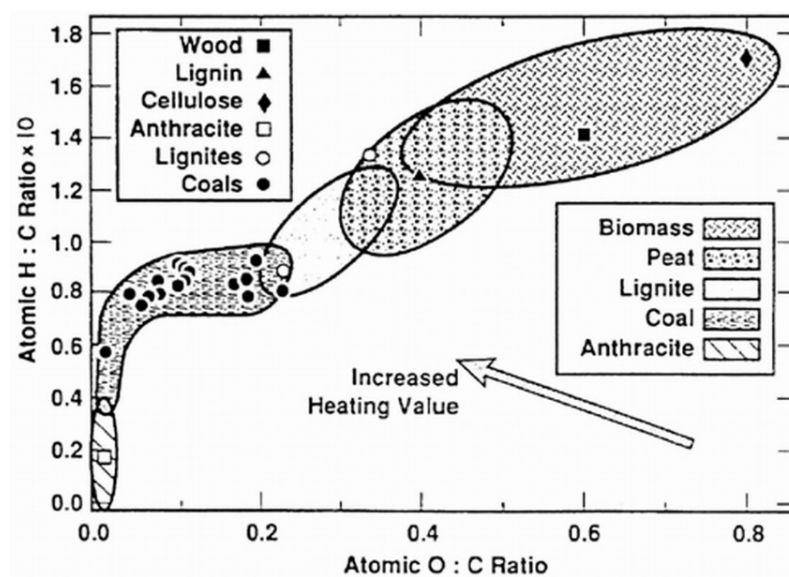


Abbildung: Van Krevelen Diagramm [7]

In einer Anfang 2004 veröffentlichten Studie wurden Pflanzenkohleproben über eine optische Reflexionsmethode mit Inertinit verglichen. Inertinit ist die stabilste Form von organischem Kohlenstoff in der Erdkruste, welche dort vermutlich schon seit Millionen von Jahren existiert. Es zeigte sich, dass die Mehrzahl untersuchter kommerzieller Pflanzenkohlen ähnliche Eigenschaften aufwies. Sie können demnach als permanent gelten. [8] In der Zertifizierung von Pflanzenkohlen als C-Senke wird zwischen einem Pool äußerst stabiler aromatischer Kohlenstoffverbindungen und einem Pool schnell abbaubarem Kohlenstoff unterschieden (vgl. Kapitel Pflanzenkohle und das Klima). [6]

## Wie wird Pflanzenkohle hergestellt?

Das thermochemische Umwandlungsverfahren zur Herstellung von Pflanzenkohle wird Pyrolyse genannt und muss von anderen thermochemischen Verfahren (beispielsweise Torrefizierung, hydrothermale<sup>3</sup>/vapo-thermale Karbonisierung) unterschieden werden. Pyrolyse findet bei Temperaturen zwischen 400°C und 800° C in sauerstofffreier oder zumindest sauerstoffarmer Umgebung statt. Dies unterscheidet Verkohlung von Verbrennung. Das Ausgangsmaterial wird durch Wärmeinwirkung in Pyrolysegase, dann – zunächst noch gasförmige – Pyrolyseöle und schließlich in feste Karbonisate umgewandelt.



## Pyrolyse: Vorgänge und Produkte

Temperatur	bis ca. 170 °C	170 °C - 350 °C	270 °C - 280 °C	ab ca. 400 °C
Phase	gering endotherm	exotherm	Höhepunkt exotherm	endotherm Hauptpyrolyse
Vorgänge & Produkte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freisetzung gebundenes Wasser</li> <li>• beginnende Spaltung von Kohlenhydratketten</li> <li>• Freisetzung CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>3</sub>COOH, HCOOH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schneller Gewichtsverlust</li> <li>• Hauptentgasung</li> <li>• Freisetzung von CH<sub>3</sub>COOH, CH<sub>3</sub>OH, CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub> (Aceton), CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höhepunkt Wärmefreisetzung</li> <li>• Holzteerbildung durch Ligninspaltung</li> <li>• autotherme Temperaturerhöhung auf bis zu 400 °C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umwandlung Biomasse in kristalline Graphitstrukturen</li> <li>• Spaltung von C-O und C-N Bindungen</li> <li>• Abspaltung Wasserstoff</li> </ul>

Tabellenach P. Quicker (2012:24)

Abbildung: Vorgänge und Produkte bei der Pyrolyse [9]

Pyrolysegase<sup>4</sup> aber auch die Pyrolyseöle<sup>5</sup> werden zur Aufrechterhaltung des Prozesses genutzt (autothermer Prozess), sofern sie nicht explizit als eigenes Produkt gewonnen werden. Dies geschieht in industriellen Anlagen zumeist in einer gesonderten Brennkammer, in der auch unerwünschte Schadstoffe wie Feinstaub und Stickoxide verbrannt werden, so dass nur noch Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasserdampf entweichen. Überschüssige Prozessabwärme wird in industriellen Anlagenkonzepten zwingend zur Eigenverwertung (Vortrocknung) und als Nebenprodukt genutzt (vgl. Kapitel Produktion von Pflanzenkohle).

<sup>3</sup> Die hydrothermale Karbonisierung, bei der flüssige Biomasse unter Einfluss von Wärme und Druck umgewandelt wird, kommt dem natürlichen Inkohlungsprozess am nächsten (nur schneller).

<sup>4</sup> Pyrolysegase: Kohlenmonoxid (CO), Methan (CH<sub>4</sub>), Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und andere flüchtige Kohlenstoffverbindungen, darunter Essigsäure (CH<sub>3</sub>COOH), Ameisensäure (HCOOH), Aceton Ethen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)

<sup>5</sup> Pyrolyseöle bilden in kondensierter Form eine dunkelbraune Flüssigkeit und bestehen aus einer Vielzahl chemischer Verbindungen. Manche Pyrolyseanlagen sind speziell auf die Herstellung dieser energiereichen Produkte ausgerichtet.



Abbildung: Brennendes Streichholz [10]

Um den Pyrolyseprozess anschaulich zu machen, wird gerne das Beispiel des brennenden Streichholzes gebracht, denn eigentlich verbrennt dieses nicht, sondern verkohlt. Die durch die Hitze ausdampfenden Holzgase verbrennen über dem Holzstift, wohin aufgrund der Luftzirkulation der Sauerstoff strebt. In der darunterliegenden sauerstoffarmen Schicht verkohlt der Holzstift schwärzlich. Nur an der Spitze, wo die Verbrennung vollständig erfolgt ist, bildet sich die weißliche Asche (der mineralische Bestandteil der Biomasse), welche unter Umständen herunterrieselt.

### Was ist gute Pflanzenkohle?

Wie oben beschrieben besitzen Pflanzenkohle je nach Ausgangsmaterial und Herstellungsverfahren unterschiedliche Eigenschaften, welche auf ihr jeweiliges Anwendungsgebiet abzustimmen sind. Sie können auch Schadstoffe enthalten.

#### Schadstoffe in Pflanzenkohle

Grundsätzlich ist zwischen anorganischen und organischen Schadstoffen zu unterscheiden. Schwermetalle zählen zu den anorganischen Schadstoffen, die über das Ausgangsmaterial in den Pyrolyseprozess eingetragen werden, im Herstellungsprozess erhalten bleiben und durch Masseverlust angereichert werden; die Aufkonzentrierung wird jedoch als unkritisch gesehen, sofern Biomasse nicht von kontaminierten Böden stammt oder anderweitigen Belastungen ausgesetzt war. [6]

Zu den relevanten organischen Schadstoffen zählen die polyzyklisch aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK). [12] Sie entstehen als Zwischenprodukt jeder Pyrolyse. Bei kontrollierter Prozessführung und konstant hohen Temperaturen werden diese in der nachgeschalteten Verbrennung jedoch zerstört, so dass sie nicht auf das Karbonisat übergehen. Problematisch ist, wenn Pyrolysegase und Öle nicht sauber von der Pflanzenkohle getrennt werden (können) und PAKs an den sich abkühlenden Kohlen kondensieren. PAKs treten als Stoffgruppe mit mehr als 300 Substanzen auf, von denen einige nachweislich krebserregend sind. Da bei der Laboranalytik nicht alle Substanzen überprüft werden können, werden zumeist stellvertretend 16 EPA-PAKs<sup>6</sup> herangezogen. Im Ausgangsmaterial befindliche PAKs können aber auch durch Pyrolyse bei hohen Temperaturen unschädlich gemacht werden. Zu den organischen Schadstoffen zählen ebenfalls die derzeit diskutierten Per- und polyfluorierten Alkylverbindungen (PFAS), die in der Umwelt äußerst persistent sind (Ewigkeitschemikalien); sie werden bei Pyrolysetemperaturen über 600°C abgebaut. [13] Dioxine (Polychlorierte Dibenzodioxine und -Furane (PCDD/F)) werden hingegen erst bei Temperaturen über 900 °C zersetzt; sie entstehen in Anwesenheit von Chlor und anderen Halogenen und sind daher

---

<sup>6</sup> EPA ist die US-amerikanische Umweltbehörde, die in den 1970er Jahren eine Stellvertreter-Auswahl an PAKs getroffen hat. Im Rahmen der EBC-Zertifizierung (s.u.) wird zusätzlich der Gehalt 8 besonders gesundheitsschädigender PAKs ermittelt.

in naturbelassenem Schnittgut nicht zu erwarten. Gleiches gilt für polychlorierte Biphenyle (PCB), welche in Holzschutzmitteln vorkommen. Behandeltes Holz ist daher zur Pflanzenkohleherstellung nicht zulässig. Durch stärkere Pyrolyseintensität werden demnach organische Schadstoffe gemindert, gleichzeitig aber auch der (möglicherweise gewünschte) Gehalt an Nährstoffen; die Massenausbeute ist geringer. Industrielle Herstellerinnen sind deshalb darauf bedacht, bezogen auf ihr Produkt ein Optimum von Temperatur und Verweildauer im Reaktor zu finden.

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

Zur Gewährleistung von Produktsicherheit aber auch von Nachhaltigkeit von Pflanzenkohlen wurden Qualitätsmerkmale definiert. In Deutschland beziehungsweise in Europa hat sich das European Biochar Certificate (EBC) als privater Industriestandard etabliert. Der 2011 eingeführte Standard basiert auf Grundlagenforschung des Ithaka Institute und wird seit 2021 durch die neu gegründete Firma Carbon Standards verwaltet. [11] Die Richtlinie wird stetig aktuellen Entwicklungen angepasst (z.B. Schadstoffgrenzen gemäß Düngemittelrecht). Als unabhängige Kontrollstelle für Pflanzenkohlezertifizierungen fungiert – wie auch für Bio-Lebensmittel – die CERES. Zertifikate werden auf der Internetplattform Easy-Cert veröffentlicht<sup>7</sup>. Probenentnahmen und Analysen müssen durch akkreditierte Labore (u.a. Eurofins, RuhrLab) erfolgen, was zu hohen Zertifizierungskosten<sup>8</sup> führt. Der weltweite Pflanzenkohle-Standard (WBC) wurde auf Grundlage des EBC entwickelt, mit geringeren Qualitätskriterien.

Der Anspruch des EBC betrifft nicht nur Eigenschaften der Pflanzenkohle (Schadstoffbelastung, Kohlenstoffgehalt u.a.), sondern auch die Umweltbilanz ihrer Herstellung: so dürfen nur nachhaltig bereitgestellte Biomassen verwendet werden (vgl. Positivliste zulässiger Biomassen) und die Pyrolysetechnik muss energieeffizient und emissionsarm nach dem Stand der Technik erfolgen. Dies macht die Nutzung von Abwärme und eventuell anderen anfallenden Nebenprodukten zwingend. Der Standard unterscheidet sieben Zertifizierungsklassen nach dem jeweiligen Anwendungsbereich:

- EBC-Rohstoff: erfüllt einen Mindeststandard an Produkte und darf nach EU REACH-VO<sup>9</sup> in Verkehr gebracht werden
- EBC-Agro: Grenzwerte sind konform zur EU-Düngemittel VO
- EBC-AgroBio: Grenzwerte sind konform zur EU-VO ökologischer Landbau
- EBC-Urban: für urbane Anwendungen, beispielsweise Stadtbaumsbstrat, jedoch nicht als Bodenverbesserer in der Nahrungsmittelproduktion, Beschränkung auf wesentliche Schadstoffe
- EBC-Futter: Grenzwerte sind konform zu den EU-Futtermittelverordnungen
- EBC-FutterPlus: Grenzwerte sind außerdem auch konform zur EU-Düngemittel VO
- EBC-Gebrauchsmaterial: geringe Grenzwerte, jedoch Unbedenklichkeit bei direktem Hautkontakt.

<sup>7</sup> Aktuell bestehen in Europa 187 Herstellerinnen und Händler, deren Pflanzenkohle nach EBC zertifiziert ist.

<sup>8</sup> Als Kosten werden beziffert: Erstanmeldung: 300 Euro, jährliche Vor-Ort-Kontrolle: 1.500-2.000 Euro, Laboranalytik pro Charge: rund 1.000 Euro, zusätzlich Label-Gebühren auch für den Zwischenhandel.

<sup>9</sup> REACH – EG-Verordnung Nr. 1907/2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien für alle Anlagenbetreiber ab 1 Tonne des produzierten Stoffes.

## Historische Einordnung in die Kulturlandschaft und heutige Akteure

Pflanzkohle in Böden ist keine neue Erfindung. Bereits vor vielen Jahrhunderten haben Ureinwohner des Amazonasgebietes verkohltes Holz zusammen mit ihren Abfällen in Böden eingebracht; herausgekommen sind die humusreichen, fruchtbaren Schwarzerdeböden, genannt Terra Preta. Das heutige wissenschaftliche Interesse an Pflanzkohle geht aus der Erforschung von Terra Preta hervor.

### Terra Preta

Die Böden der Tropen sind aufgrund der starken Verwitterung nährstoffarm und sauer. Bemerkenswert waren daher punktuelle Funde von fruchtbaren, tiefschwarzen Böden im Amazonasgebiet. Diese wiesen in einem Meter Bodentiefe das Dreifache und mehr an organischem Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor auf. [14]

Ihre Entstehung konnte lange Zeit nicht erklärt werden, der Nachweis eines anthropogenen Ursprungs gelang erst in jüngerer Zeit. Einer der Pioniere war der Bodenkundler Wolfgang Zech (Uni Bayreuth), der in den 1990er Jahren mit seinem Team, darunter die heute viel zitierten Wissenschaftler Bruno Glaser und Johannes Lehmann, die Bodenentstehung ergründete. Sie erbrachten schließlich den Nachweis, dass Terra Preta aus fortwährendem Eintrag von Siedlungsabfällen und verkohlten Holzresten in ursprüngliche Böden (in-situ) hervorgegangen ist. Sie ermittelten die Quellen eingetragener Stoffe: kompostierte Küchenabfälle (Quelle für C und N), Exkrememente (N, P, K), Knochen und Fischgräten (Ca, P) sowie Reste von Keramik und Steinwerkzeugen (Bodenbelüftung). Als wesentliche Komponente und mit Konzentrationen von teilweise über 100 Tonnen pro Hektar machten sie Verkohlungsrückstände aus.



Abbildung: Terra-Preta-Entstehung [14]

Über die Motivation zur Anwendung von Kohle kann nur spekuliert werden: gegebenenfalls wurde diese Abfällen zwecks Geruchsminderung zugesetzt, aus Erfahrungswissen heraus sicherlich auch zum gezielten Bodenaufbau. Vor dem Hintergrund der riesigen Mengen eingetragener Kohlerückstände geht Forscherinnen davon aus, dass es sich nicht um einmalige Einträge handelt und auch nicht um Rückstände allein aus

der üblichen Brandrodung. Vielmehr dürften die Ureinwohner Pflanzenkohle eigens hergestellt haben; sie wussten mit Feuer umzugehen. Archäologische Funde von Schwarzerde-Anhäufungen in abgegrenzten Kegelformen<sup>10</sup> lassen auf offene Erdmeiler (nach dem Flammenvorhangprinzip, vgl. Kon-Tiki) schließen. [15]. Offenkundig ist auch, dass ohne den pyrogenen Kohlenstoff in Terra Preta Böden der Humus in dem feuchtwarmen tropischen Klima längst biologisch abgebaut wäre. Stattdessen ist über einen langen Zeitraum (unter extensiver Bewirtschaftung) bei hoher mikrobieller Aktivität eine zusätzliche Kohlenstoffanreicherung erfolgt. Dies zum Vorbild, versuchen heutzutage viele alternativ Gärtnernde Terra Preta für eine bessere Ernte nachzubilden. Dazu kursieren viele „Rezepte“ [16] [17], in denen Pflanzenkohle für gewöhnlich einen Volumenanteil von 10% ausmacht; sie wird entweder mit stickstoffhaltiger, feuchter Biomasse (z.B. Stallmist, Apfeltrester) vorfermentiert und/ oder zusammen mit Grünschnitt kompostiert. Weitere mineralische Komponenten sind zum Beispiel Gesteismehl, Sand oder vorhandener Boden; gerne werden auch gröbere Komponenten wie Ziegelsplitt zum besseren Luftaustausch beigemischt.

Wenngleich Terra Preta den Forschern nach wie vor viele Rätsel aufgibt, so gilt ihre Entstehung schon jetzt als historische Kulturleistung und Vorbild einer ganzheitlichen Kreislaufwirtschaft. Unter dem Aspekt des Klimaschutzes ist das Potenzial zur Humus- bzw. Kohlenstoffanreicherung in Böden (C-Senken) noch einmal neu zu bewerten.

### **Kohlemeiler**

Die Köhlerei ist eine uralte Handwerkstechnik, die bereits in der Bronzezeit (2200-1200 v.Ch), insbesondere aber in der Eisenzeit (800 v. Chr.) zur Herstellung von Holzkohle und Teer genutzt wurde. Holzkohle wurde aufgrund seines hohen Brennwertes zur Eisenverhüttung und später auch zur Glasherstellung gebraucht.

Die frühen Anfänge fanden noch in Erdgruben statt. Die Qualität litt durch Verschmutzungen und ungleichmäßigem Verkohlungsgrad. Ab dem 16. Jahrhundert setzte sich in Mitteleuropa die Holzkohleherstellung in sogenannten Meilern durch. Dies ging einher mit der Niederwaldwirtschaft, bei der (regenerationsfähige) Gehölze regelmäßig zu Erntezwecken auf den Stock gesetzt wurden. Im Meiler wurde Scheitholz (bevorzugt Buchenholz) gestapelt, mit Grassoden und Erden abgedeckt und sodann von oben durch einen Schacht entzündet. Bei gewünschter Prozessstemperatur wurde dann die Luftzufuhr gedrosselt, die Pyrolyse forciert. Holzgase entwichen durch Löcher, die der versierte Köhler rund um die Uhr kontrollierte. Anhand der Farbe der austretenden Holzgase konnte er den Prozessfortschritt, der sich über Tage hinweg zog, beobachten und bei Bedarf händisch Korrekturen vornehmen. Später fand eine Weiterentwicklung in gemauerten bzw. Metallretorten statt. Die hatten den Vorteil, dass die Kohle nicht mehr mit Erdklumpen verschmutzt wurde, allerdings wurde damit auch der Transport des Holzes zum Meiler notwendig. Im Laufe des 19. Jahrhunderts wurde Holzkohle weitestgehend durch Steinkohle ersetzt. [18] [19]

---

<sup>10</sup> Wie sie beispielsweise auch die bekannte Geoarchäologin Renate Gerlach (LVR-Amt für Bodendenkmalpflege) und ihr Team in der neolithischen Siedlung in Düren-Arnoldsweiler festgestellt hat.



Die Verkohlung in Meilern ist in Deutschland aufgrund der hohen Umweltbelastung durch entweichende Holzgase nur noch mit Sondergenehmigung, beispielsweise im Rahmen der Kultur- und Brauchtumspflege möglich. Ein Beispiel zum Aufleben dieser alten Kulturtechnik ist das LVR-Projekt „Wir machen Kohle“ (2018/2019) durch die Biologischen Stationen Rhein-Berg und andere. [20]

Abbildung: Wir machen Kohle [20]

### Black is the new green – Akteure der Pflanzenkohle-Szene

Zu Beginn des neuen Jahrtausends war Terra Preta noch überwiegend unbekannt und beschränkte sich auf wenige Publikationen. Ein erster Feldversuch mit Pflanzenkohle, 2007 in einem Weinberg im Wallis, war Ausgangspunkt für die neue Bewegung und so erfolgreich, dass daraus die Pioniere<sup>11</sup> der heutigen Pflanzenkohle-Szene im deutschsprachigen Raum hervorgegangen sind. [21] Zwecks Zulassung der ersten Pflanzenkohlen in Böden wurde bereits 2012 der Qualitätsstandard (EBC-Zertifizierung) definiert, der in steter Wechselbeziehung zu den rechtlichen Auflagen weiterentwickelt wurde. Seitdem sind viele Ansätze im konventionellen und ökologischen Landbau, insbesondere aber auch in der Tierhaltung entwickelt und größtenteils umgesetzt worden. Ein vergleichsweise junger Anwendungsbereich liegt in der Herstellung von Substraten, im Besonderen für Stadtbäume. Vor dem Hintergrund, dass Pflanzenkohle in hiesigen Böden ein geringes Potenzial hat, fanden seitdem Überlegungen zu anderen stofflichen Anwendungen statt, beispielsweise sind heute erste Pflanzenkohle basierte Asphalte in der Erprobung. [22]

Aus einem Projekt der Entwicklungszusammenarbeit in Nepal ist 2014 der Kon-Tiki entstanden und hat sich rasend schnell in über 100 Länder ausgebreitet; tatsächlich wird mit dieser einfachen Methode momentan die meiste Pflanzenkohle weltweit hergestellt. Das Kon-Tiki hat auch hier in Gärten Einzug gehalten, beispielsweise beim Bundesverband der Schreberjugend, welcher für klimafreundliches Gärtnern mit Pflanzenkohle wirbt. [23]

Pflanzenkohle ist in vielerlei Munde: ein Abruf auf google scholar mit dem Stichwort „biochar“ ergab rund 546.000 Ergebnisse (Stichtag 25.06.2024). Die Szene aus Pflanzenkohle begeisterten Menschen wächst. Das Besondere ist, dass bei diesem Thema Akteure unterschiedlicher Bereiche zusammenkommen: aus Industrie und öffentlicher Entsorgung, Landwirtschaft und Gartenvereinen, Forschung und Initiativen, Theorie wie Praxis, im In- und Ausland. Die Zusammenarbeit erfolgt auf Augenhöhe, da ein gemeinsames Ziel verbind-

---

<sup>11</sup> Vor diesem Hintergrund ist die derzeit (noch) starke Präsenz (international) agierender Unternehmen und Einrichtungen aus der D-A-CH Region zu erklären.



det: Kreisläufe wieder schließen und einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Pflanzenkohle erobert zunehmend die breitere Öffentlichkeit. Bücher wie „Die Humusrevolution“ [24] oder „Cool down. Mit Pflanzenkohle die Klimakrise lösen?“ [25] aber auch populäre mediale Formate wie „Wissen vor Acht“ [26] oder „planet schule“ [27] machen das Thema zunehmend bekannt: black is the new green.

### **German Biochar e.V. (Fachverband Pflanzenkohle)**

Im deutschsprachigen Raum findet die wachsende Pflanzenkohle Szene im 2017 gegründeten Fachverband ein gemeinsames Sprachrohr. Der Fachverband veranstaltet das jährliche German Biochar Forum und agiert im europäischen und weltweiten Kontext. Die Homepage bietet einen guten Themenrundumblick und eine Karte von Aktiven; das Team beantwortet geduldig Fragen. Eine sehr gute Informationsquelle bietet der YouTube Kanal mit Beiträgen der Foren und einem unbedingt sehenswertem Image-Video. [28]

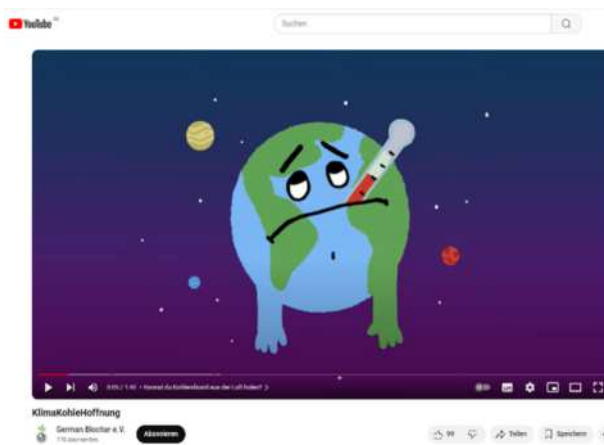


Abbildung: KlimaKohleHoffnung [28]

### **IBI International Biochar Initiative**

Die Initiative wurde bereits 2006 am Rande des World Science Congress gegründet und fördert bis heute den Austausch in der internationalen Fachwelt. Der Vorstand ist mit Pflanzenkohle Experten aus aller Welt besetzt. Der IBI veranstaltet regelmäßig internationale Zusammenkünfte und Seminare. [29]

### **EBI - European Biochar Industry Consortium**

Der europäische Zusammenschluss von Unternehmen mit über 100 Mitgliedern wurde 2019 gegründet. Er bündelt die Interessen industrieller Pflanzenkohlehersteller in Europa, versucht Pflanzenkohleproduktion zu skalieren und über das Senkenpotenzial einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Der jährlich erscheinende Marktbericht (European Biochar Market Report) bietet eine zuverlässige und derzeit auch die einzige Informationsquelle zu Produktionsmengen in Deutschland und Europa. [30]

### **Weitere Initiativen**

Pflanzenkohle wird mittlerweile von vielen privaten und gemeinnützigen Initiativen thematisiert; an dieser Stelle seien zwei engagierte Akteure genannt, die uns bei Recherchen unterstützt haben: der Förderverein Terra Preta, Hameln und das Netzwerk Blühende Landschaft, Rosenfeld, beide mit informativer Website. [30] [31]

## Produktion von Pflanzenkohle

Laut aktuellem Marktbericht des EBI bestand 2023 europaweit eine jährliche Produktionskapazität von 75.000 Tonnen Pflanzenkohle in rund 170 Produktionsanlagen, überwiegend mittlerer Anlagengröße. Rund ein Viertel der Produktionskapazität entfiel auf Deutschland. [32]

### Herstellung in industriellen Anlagen

Pyrolysetechnologien wurden in den letzten Jahren in Europa enorm weiterentwickelt, so dass heute rund 20 marktreife Anlagentechniken unterschiedlicher Ausrichtung (Pflanzenkohle, Energieerzeugung, Pyrolyse-Öle) zur Verfügung stehen. [32]. Bekannte Anlagenhersteller sind beispielsweise PYREG, CTS, NGE oder auch NGE SynCraft<sup>12</sup>. [33] Im Markt sind große Pflanzenkohleproduzenten vertreten, die Standort angepasste Anlagen- und Vertriebskonzepte entwickelt haben, beispielsweise das Unternehmen Novocarbo, das jüngst eine Kooperation mit Bochumer Stadtwerken eingegangen ist. [34] Häufig wird Pflanzenkohle direkt ab Werk bezogen, darüber hinaus gibt es Händler für spezielle Pflanzenkohle-Produkte, im deutschsprachigen Raum beispielsweise Carbuna für Großabnehmer oder KeepItGrün für Kleinabnehmer aus dem Hobbygartenbereich. [35] Erprobte Anlagenkonzepte bestehen häufig an Kompostwerken, wo Pflanzenkohle direkt in die Herstellung von Erden und Substraten fließt, beispielsweise beim österreichischen Substrate Hersteller Sonnenerde [36].

Moderne industrielle Anlagen besitzen im Vergleich zu historischen Meilern oder manuellen Geräten eine sehr effiziente Masse- und Energieausbeute: die Abwärmenutzung ist mittlerweile zwecks Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit zentraler Bestandteil von Anlagenkonzepten. Sie verfügen außerdem über geprüfte Abgassysteme, die den immissionsschutzrechtlichen Vorgaben entsprechen. Seit 2019 besteht mit der VDI-Richtlinie 3933 eine technische Norm, die den Stand der Technik aufzeigt und damit Sicherheit bei unternehmerischen und behördlichen Entscheidungen gibt. [37]

### Herstellung in manuellen Anlagen

Grundsätzlich kann Pflanzenkohle nicht nur industriell, sondern auch manuell hergestellt werden; und wurde dies im Übrigen über Jahrtausende hinweg. Wissenschaftliche Untersuchungen haben ergeben, dass bei richtiger Handhabung auch hier qualitativ gute Pflanzenkohlen entstehen, die sogar EBC-Kriterien entsprechen. Damit besteht das Potenzial, dezentral anfallende Biomasse lokal zu verwerten und darüber Lücken in der lokalen Kreislaufwirtschaft zu schließen. In diesem Sinne wenden alternativ Gärtnernde, wie SoLaWis, Permakulturgärtnerinnen oder auch Kleingartenvereine seit mehr als zwei Jahrzehnten manuelle Geräte an: zunächst in selbstgebauten, zunehmend in vorgefertigten Geräten. Der Fachverband Pflanzen-

---

<sup>12</sup> SynCraft ist ein österreichischer Biomasse-Kraftwerkshersteller und Betreiber: vor dem Hintergrund größtmöglicher Energieausbeute aus Biomasse liegt hier der Fokus auf nachhaltige Wärme- und in geringerem Maße Stromerzeugung mit Nebenprodukt Pflanzenkohle. Dieser Ansatz unterscheidet sich daher von dem der Pflanzenkohleherstellung mit Wärmenutzungskonzept.

kohle betrachtet manuelle Anlagen aber „als Brückentechnologie, bis günstigere, kontrolliertere Pyrolyseanlagen flächendeckend verfügbar sind, die die Abwärme nutzbar machen und wesentlich geringe Emissionen (v.a. Methan) verursachen“ [38].

### Das Kon-Tiki

Dieses einfache und kostengünstige Verkohlungsgerät wurde erst 2014 am Ithaka Institute entwickelt; die Bauanleitung als Open Source bereitgestellt, um damit „die Demokratisierung der Pflanzenkohleproduktion“ einzuläuten. Innerhalb von nur 10 Monaten nach der Veröffentlichung wurden weltweit über 500 Kon-Tikis<sup>13</sup> gebaut. [38] Sie werden heute in verschiedenen Größen und Ausführungen von diversen Händlern angeboten wird, in Deutschland beispielsweise: Söhlmetall, Obertaufkirchen [39], EGoS, Bottrop [40] oder Prodana, Neumarkt [41] und kosten zwischen 1.000 und 2.000 € (bei einem Volumen von rund 100 Litern). Erhältlich sind auch große Geräte: in einem rd. 2 m<sup>3</sup> Behältnis können in einem Durchgang bis zu 500 Kilogramm Pflanzenkohle produziert werden; diese erfordern zum Befüllen jedoch Maschineneinsatz (Traktor) und weisen zum Entladen einen Kippmechanismus auf.



Abbildung: Kon-Tiki im Garten von Haus Bürgel [42]

Ein Kon-Tiki besteht aus einem innenliegenden, konischen Behälter und einem äußeren, etwas überstehendem Mantel, der für die Luftzufuhr von oben sorgt. Zur anfänglichen Prozesswärme wird ein Scheithaufen entzündet und, sobald sich erste Asche zeigt, holziges Material locker aufgeschichtet. Bei einer Prozesswärme ab etwa 170° Grad C beginnt der Vergasungsprozess: Holzgase steigen auf und verbrennen im Flammenvorhang an der Oberfläche. Der Flammenvorhang verhindert gleichzeitig den Eintritt von Sauerstoff an darunter befindliche Holzschichten. Während es an der Oberfläche also zu einer (bei richtiger Handhabung) sauberen und rauchgasfreien Verbrennung der aufsteigenden Pyrolysegase kommt, verkohlt das darunterliegenden Materials unter nahezu Sauerstoffausschluss. Die Funktionsweise wird Flammenvorhang-Pyrolyse genannt und ist keine Neuerung, sondern Prinzip der Erdgrubenmeiler, die vermutlich von Indigenen für Terra Preta

<sup>13</sup> Der Name Kon-Tiki erinnert an Thor Heyerdahl, der 1947 mit seinem Boot, welche nach dem südamerikanischen Sonnen- und Feuergott benannt war, den Pazifik bis nach Polynesien überquerte um zu demonstrieren, dass die südamerikanischen Ureinwohner dazu in der Lage waren.

bedient wurden: „unsere Vorfahren wussten noch, dass man ein rauchloses Feuer, anders als man intuitiv meint, von oben und nicht von unten anzündet.“ [39]

Es ist wichtig, rechtzeitig neues Material aufzulegen sobald die aufliegende Schicht zu aschen beginnt und die Schichtung locker zu halten, damit Holzgase aufsteigen; eine Verwertung von kleinstückigem Material funktioniert daher nicht. Grundlegend für die Pflanzenkohlequalität ist das Ausgangsmaterial, welches gut vorgetrocknet sein muss, um nicht zu viel Prozesswärme in der Trocknungsphase zu verlieren. Bei (möglichst konstant) hohen Temperaturen um die 600°C und guter Gasführung, werden ausströmende Pyrolysegase nahezu vollständig verbrannt und Kohlen erzeugt, die an EBC-Kriterien heranreichen. [43] Der kontinuierliche Befüllungsprozess dauert bei einem 100 Liter Behältnis gute 2 Stunden; dazu wird ein 3-4-faches an Biomasse gebraucht. Ist das Kon-Tiki bis knapp unter den Rand des Innenbehälters gefüllt, beginnt der Löschvorgang: Wasser oder eine Nährstofflösung (z.B. Gülle) werden von unten in den Innenbehälter eingelassen. Aufsteigender Wasserdampf soll die Poren der Kohle „ausputzen“ und dadurch eine größere innere Oberfläche erzielen, aber auch mögliche Schadstoffe (Teere) beseitigen. Für das alkalische, sogenannte Quenschwasser bestehen allerdings kaum Anwendungsmöglichkeiten, so dass dieses entsorgt werden muss.

Die Kon-Tiki Technologie ist wissenschaftlich gut untersucht [44] und wird jüngst für seine im Vergleich zu Retorten-Systemen höheren Emissionen (insbesondere Methan) kritisiert. Es stellt jedoch aktuell die preisgünstigste Möglichkeit dar, bei guter handwerklicher Praxis eine hohe Ausbeute hochwertiger Pflanzenkohle bei vergleichsweise geringer Emissionsbelastung zu erzielen. Das Bundesumweltamt, welches bis vor kurzem noch vor der Nutzung gewarnt hatte, revidierte kürzlich seine Meinung und verweist auf Erkenntnisse aus Forschung und Praxis, beispielsweise Ithaka Institut, Schrebergartenjugend. [45]

### **Holzvergaser-/ Pyrolysekocher**

Seit den 1990er bestehen Anleitungen zur Herstellung von Mikroöfen zum Kochen mit geringem Kohleaustrag. In der Anfangsphase von Terra Preta (und auch noch heute) haben alternativ Gärtnernde, insbesondere in Permakulturgärten nach diesem Prinzip Kohlen hergestellt. Die Öfen funktionieren nach dem sogenannten TLUD Prinzip (Top Lit Up-Draft). [46] [47] Sie bestehen aus zwei konzentrischen Behältnissen; im einfachsten Fall sind dies zwei Blechdosen. Der innere Behälter enthält die zu verkohlende Biomasse und wird von oben angezündet. Die Pyrolysefront verschiebt sich von oben nach unten, während über Lufteinlässe eine Luftströmung von unten nach oben erfolgt. Sie eignen sich zum Kochen mit vergleichsweise wenig Brennmaterial, weshalb sie für Haushalte im globalen Süden eine gute Alternative zum Kochen auf offenen Feuerstellen darstellen. In Deutschland existieren moderne, kaufbare Kochgeräte für den Außenbereich, beispielsweise Chantico-Pyrolysekocher [48] oder Pyro-Cook [49].

### **Mobile Retorte**

Im deutschsprachigen Raum haben wir nur einen Hersteller einer marktreifen Retorte für den mobilen manuellen Einsatz gefunden: die Firma SPSC, Ottobrunn mit ihren Vario-Retorten in zwei Größen. [50] Weitere

Ansätze von Jungunternehmen hatten bisher keinen Erfolg. Die Vario ist eine sogenannte Batch-Retorte, die nach dem Befüllen mit Biomasse (Kippmechanismus) luftdicht verschlossen wird. Der Prozess wird durch ein Stützfeuer (z.B. mit Kaminholz) in einer separaten Brennkammer (am Boden) in Gang gebracht und läuft ab einer Temperatur von etwa 260° Celsius autonom. Die aufsteigenden Pyrolysegase werden in eine separate Brennkammer (unten) umgeleitet, wo sie sich selbst entzünden und verbrennen. Die heißen Abgase steigen in einem Rohr durch den befüllten Zylinder und schließlich zum Kamin (indirekte Wärmeübertragung über Doppelmantel). In der Pyrolysezone werden Temperaturen von 800-900° C erreicht. Der Prozess kommt zum Erliegen, wenn keine Pyrolysegase mehr austreten. Ein Löschen ist daher nicht notwendig, wohl aber eine lange Abkühlphase (für gewöhnlich über Nacht) bis zum Öffnen des Zylinders. Aus diesem Grund ist maximal ein Batch pro Tag möglich. Das Fassungsvermögen beträgt bei der Vario-L 1.900 Liter. Die Retorten sind auf einem Metallgestell fixiert, wodurch ein Transport mittels Gabelstapler erfolgen kann. Laut Hersteller ist eine mobile Anhängerkonstruktion möglich. Straßentauglichkeit ist bei einem Gewicht von 1,5 Tonnen gegeben.

SPSC Vario L



Abbildung: Vario L der Firma SPSC [50]

Das Ausgangsmaterial kann unterschiedliche Stückigkeit aufweisen (z.B. Scheitholz, Schnittgut, Maisspindeln, Rebstöcke) bei feinkörnigem Material (Häcksel oder Schalenbruch) sind zusätzliche Einsätze notwendig. Halmgut funktioniert in brikkettierter Form. Die Anlage setzt einen maximalen Wassergehalt der Ausgangsmasse von 15% voraus, Scheitholz wird auch mit einem Wassergehalt bis zu 25% akzeptiert. Die Ausbeute an Pflanzkohle ist mit 30-45% der Ausgangsmasse (Trockenmasse) hoch, die Qualität hochwertig und vergleichbar mit industriellen Anlagen. Pyrolysegase werden im geschlossenen System nahezu vollständig verbrannt. Unerwünschte Verbrennungsabgase (Kohlenmonoxid, Stickstoffoxide, Staub) liegen daher laut Hersteller unterhalb der Grenzwerte der TA Luft (für Kleinfeuerungsanlagen). Weltweit wurden bislang über 100 Retorten verkauft, die Nachfrage in Deutschland

scheint aber eher gering zu sein. Abnehmer sind vor allem land- und forstwirtschaftliche Betriebe, aber auch Forschungseinrichtungen. Wir haben eine SoLaWi bei Karlsruhe recherchiert, die am Entwicklungsprozess beteiligt war und sehr zufrieden mit ihrer eigenen Pflanzkohle-Herstellung ist. Die Anschaffungskosten für die Retorte Vario L liegen aktuell bei 33.750,- €. [50] [51] Außerhalb des deutschsprachigen Raums haben wir noch mobile Retorten recherchiert, beispielsweise Tavator/ TakaChar in Indien und Kenia (Torrefizierungstechnik), Biolyser / BioAgri Group in Südafrika, Retort / Exeter Charcoal in Großbritannien.

**Pyrolyseheizungen für Haus und Hof**

Für den Haus- und Hofgebrauch sind Pyrolyseheizungen als Alternative zu herkömmliche Biomasseheizungen (z.B. Holzpellet-Heizungen) interessant: hier steht die Wärmeerzeugung im Vordergrund mit Pflanzkohle als Nebenprodukt. Als Pionier gilt die Firma Biomacon mit den FarmEdition [55] mit ihren Anlagen für (landwirtschaftliche) Betriebsstätten (Heizleistung 100 bis 224 kW). Wärmeleistung wie auch Pflanzkohle finden beispielsweise Absatz in Gewächshäusern. Für kleinere Haus- und Hofanlagen (Heizleistung 30 bis 100 kW) sind die neuen Pyrolyseheizungen der Firmen Pyronet [56] oder Guntamatic [57] entwickelt worden. Für alle muss ausreichend Platz für Trockenlagerung und Fördersysteme bestehen. Es besteht außerdem ein vergleichsweise hoher Arbeitsaufwand im Betrieb (je nach Anlage rund 2 Arbeitsstunden am Tag).

## Anwendungsbereiche von Pflanzenkohle

Einsatzmöglichkeiten von Pflanzenkohle gehen heute weit über Terra Preta hinaus (vgl. Tabelle Anhang). Wir beschränken uns auf landwirtschaftliche Anwendungen und Pflanzenkohlesubstrate in der Stadtnatur.

### Pflanzenkohle in der Landwirtschaft

Pflanzenkohle als Bodenhilfsstoff ist in unzähligen Studien weltweit untersucht worden. In der viel zitierten Agrscope-Studie fand eine Zusammenfassung von Ergebnissen aus 26 Meta-Analysen (ab 2016) statt. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass Pflanzenkohle über viele Parameter hinweg positive Auswirkung im Boden hat. [58].

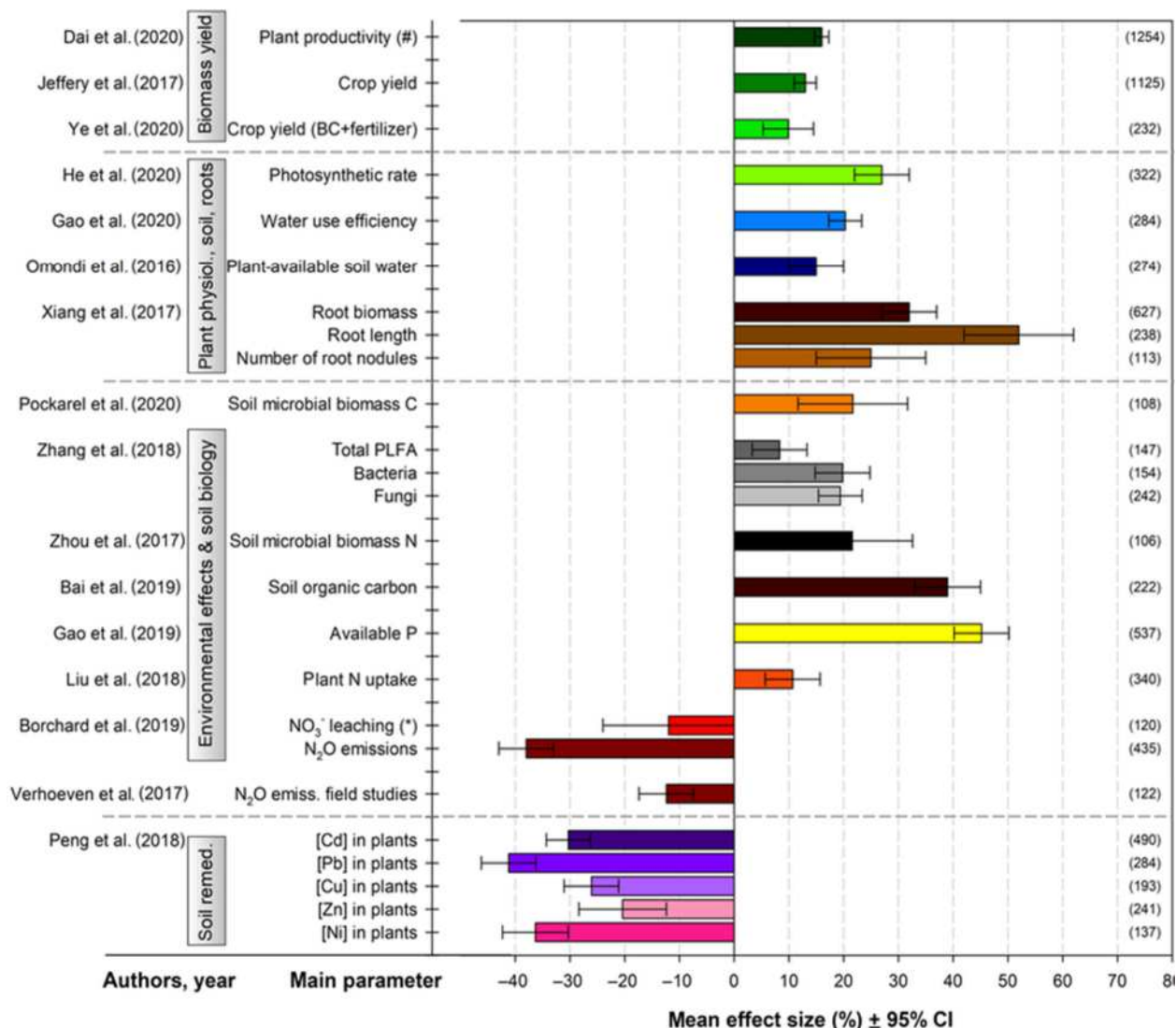


Abbildung: Ausgewählte Parameter mit Relevanz für die Landwirtschaft [59]

Pflanzkohlen sind aufgrund ihrer Beschaffenheit geeignet, Wasser und Nährstoffe pflanzenverfügbar zu speichern, Wurzelwachstum und mikrobielle Aktivität zu stimulieren und damit den Humusaufbau zu fördern, Nitratauswaschung und Lachgasemissionen zu reduzieren und die Aufnahme von Schwermetallen aus dem Boden in Pflanzen zu verringern.

In Deutschland werden rund 20.000 Tonnen Pflanzkohle (industriell) hergestellt; der überwiegende Teil geht laut Experteneinschätzungen in die Landwirtschaft. [60] Das ist angesichts der beschriebenen förderlichen Eigenschaften von Pflanzkohle zwar überschaubar, kann aber nicht verwundern, da der Nutzen die hohen Kosten rechtfertigen muss. Preise für Pflanzkohle werden jüngst mit rund 500 Euro je Tonne beziffert [61] [62], variieren allerdings stark und liegen bei Handelsplattformen eher bei 1.000 Euro je Tonne Pflanzkohle. [60] [60]

Fachleute kommen zu dem Schluss, dass Ertragssteigerungen, die einen großflächigen Einsatz von Pflanzkohle rechtfertigen, vornehmlich auf nährstoffarmen und sauren Böden, wie sie in den Tropen bestehen, zu erwarten sind. In den landwirtschaftlichen Hochertragssystemen unserer gemäßigten Klimazone sehen sie hingegen keine oder nur geringe Mehrerträge durch Pflanzkohle. Der Nutzen liegt hier vielmehr in der Reduzierung von Lachgasen ( $N_2O$ )<sup>14</sup> und Nitratauswaschungen. [58] Dieser Umweltnutzen rentiert sich (derzeit) jedoch nicht in Form eines finanziellen Gewinns für Landwirte. Auch der durch Pflanzkohle bewirkte Humusaufbau (Zunahme organischer Bodenkohlenstoff über pyrogenen Kohlenstoff hinaus) stellt zwar eine klimarelevante Leistung dar, die sich aber eher langfristig für Landwirtinnen auszahlen müsste. [60]

### **Pflanzkohle basierte Düngemittel**

Während in den Anfangsjahren der Terra Preta-Forschung flächige Anwendungen mit Pflanzkohlen, zum Teil in großen Mengen (10 Tonnen pro ha und mehr) propagiert wurden, liegt heute der Fokus auf gezielte Anwendungen: vielversprechend sind Pflanzkohlen als Trägerstoff für Düngemittel, die gezielt und konzentriert in den Wurzelraum gegeben werden. Sie können die Aufwandsmenge mineralischer Dünger bei gleichbleibendem Ertrag reduzieren und folglich negative Umweltauswirkungen mindern. [58] Der Einsatz könnte sich vor allem in Sonderkulturen, zum Beispiel im Gemüseanbau auszahlen. Marktfähige Produkte, aber auch Ausbringungstechniken müssen allerdings noch entwickelt werden<sup>15</sup>. Da sich Pflanzkohle-basierte Düngemittel auf Basis organischer Nährstofflösungen besonders vorteilhaft zeigen, könnte dieser Ansatz für den ökologischen Landbau attraktiv sein.

---

<sup>14</sup> Lachgas ( $N_2O$ ) ist ein Treibhausgas, welches rund 300-mal so stark wie  $CO_2$  wirkt. Es entsteht im natürlichen Stickstoffkreislauf im Prozess der Denitrifikation. 78% der hiesigen Lachgas-Emissionen stammen aus der (intensiven) Landwirtschaft.

<sup>15</sup> Ein solches Produkt besteht mit dem ATS Dünger der Firma Carbuna. [63]



### Kaskadennutzung über Tierhaltung

Eine bereits jetzt schon rentable Anwendung liegt in der Kaskadennutzung von Pflanzenkohle über die Tierhaltung (Futtermittel-/Silagezusatz, Einstreuanreicherung, Güllebehandlung) und Ausbringung in Böden als Hofdünger. In der Tierhaltung ist die Behandlung mit Kohlen bei Verdauungsstörungen und Vergiftungserscheinungen traditionell anerkannt und erlebt ein Comeback. Höhere Kosten für Futtermittelkohlen werden angesichts des Nutzens akzeptiert: Schadstoffstoffe, wie Mykotoxine (giftige Stockwechselprodukte von Pilzen), Pathogene (Bakterien, Parasiten, Viren) und Umweltgifte können durch Pflanzenkohle sorbiert werden und dienen damit nachweislich dem Tierwohl. Wenngleich die Mechanismen noch nicht vollständig geklärt sind, wirkt sich Pflanzenkohle auch auf die Verstoffwechslung positiv aus, so dass sich eine höhere Futternutzungseffizienz ergibt. [64]

Pflanzenkohlen für die Tierfütterung unterliegen höchsten Qualitätsanforderungen (vgl. EBC-Futter, Futter-Plus). Von negativen Wirkungen bei regelmäßiger Zufütterung wurde bisher nicht berichtet, allerdings bestehen auch noch keine Langzeitstudien. Forschungsbedarf besteht auch hinsichtlich Treibhausgasemissionen bei Futtermiteinsatz. Anerkannt sind im allgemeinen eine verbesserte Stallhygiene und verminderte Geruchsbelästigung bei Pflanzenkohle in der Einstreu [64]

### Pflanzenkohle in gärtnerischen Erden und Substraten

Jährlich werden in Deutschland 8-9 Millionen Kubikmeter Substrate und Erden für den Erwerbs- und Hobbygartenbau hergestellt. Zwecks Moorschutz bedarf es dringend an Torfalternativen<sup>16</sup>. Dabei tut sich vor allem der Erwerbsgartenbau schwer, denn Weiß- und Schwarztorf bringen vorteilhafte pflanzenbauliche Eigenschaften mit sich: beispielsweise ein sehr hohes Wasserrückhaltevermögen, welches das Austrocknen von Kulturen bei Transport und Lagerung im Handel verhindert oder ein geringer pH-Wert und Nährstoffgehalt, welche auf die jeweilige Kultur angepasst werden können.

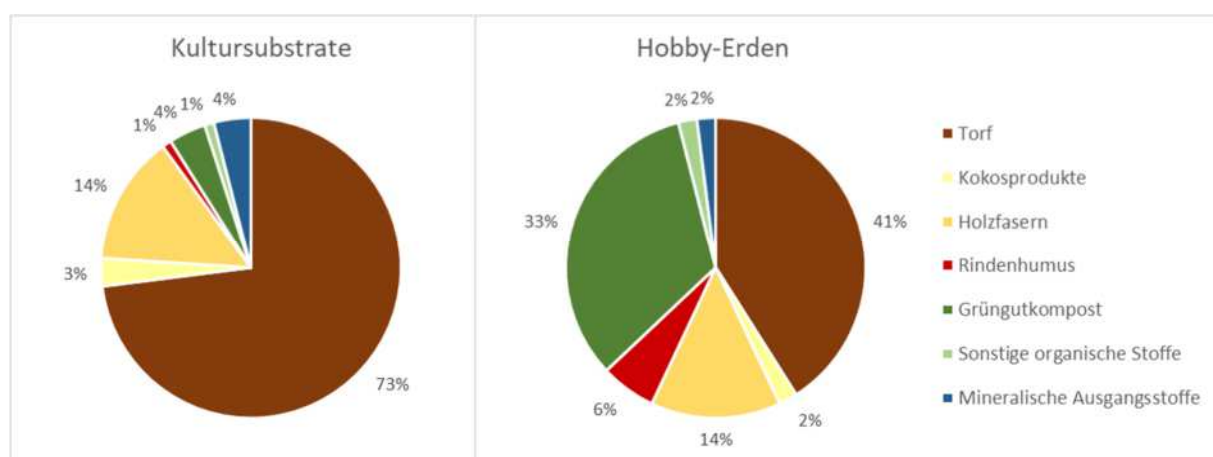


Abbildung: eigene Darstellung auf Grundlage IVG-Statistik (2023): Anteile von Substratausgangsstoffen [66]

<sup>16</sup> Gemäß Torfminderungsstrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft soll im Hobbygartenbereich der Torfeinsatz bis 2026 vollständig beendet werden, im professionellen Erwerbsgarten bis 2030 stark reduziert werden. [65]

An der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften wurden 20 Torfersatzstoffe, darunter Pflanzenkohle bzw. Pflanzenkohlekompost, in Bezug auf pflanzenbauliche Eigenschaften, Verfügbarkeit/ Preis, soziale Auswirkungen und Ökobilanz mit Torf verglichen. [67] [68] Die Forschenden kamen zu dem Schluss, dass Kompost-Kohlegemische von den pflanzenbaulichen Eigenschaften her großes Potenzial im Hobbygartenbereich und als Teilkomponente im Erwerbsgartenbau haben. Besonders vorteilhaft schneiden Pflanzenkohle-Komposte hinsichtlich ihres Wasserhaltevermögens und ihrer insgesamt hohen Pufferkapazität<sup>17</sup> ab. Auch die hohe Strukturstabilität<sup>18</sup> in Substraten wird positiv bewertet. Problematisch sind hingegen der hohe pH-Wert und der Salzgehalt, welche unter Umständen mit Zugaben anderer Komponenten ausgeglichen werden müssen. Der pflanzenbauliche Erfolg hängt allerdings auch grundlegend von der jeweiligen Beschaffenheit eingesetzter Pflanzenkohle und der Art der Kultur ab. In der Praxis bedeutet dies, dass Komponenten sehr fein aufeinander abgestimmt und passgenaue Produkte für die jeweilige Kulturart entwickelt werden müssen.

Hemmnis ist auch hier die kostenintensive Herstellung von Pflanzenkohle, so dass es eine Frage des Marktes sein wird, inwiefern sich Pflanzenkohle-Substrate etablieren können. [68] Die Fachagentur nachwachsende Rohstoffe führt eine Produkt-Datenbank mit mehreren hundert torffreien Erden und Substraten, darunter einige mit Pflanzenkohle. [69] Pioniere unter den Pflanzenkohlebasierten Erden und Substraten sind die Firmen Verora [70] und Sonnenerde [71]<sup>19</sup>. Im deutschen Markt ist Palaterra [72] ein Begriff für Endverbraucher, da diese Produkte in Bio-Supermärkten erhältlich sind. Der versierte Hobbygärtner stellt (auch aus Kostengründen) seine Erden selbst her.

### **Pflanzenkohlesubstrate für Baumscheiben**

Die Idee für Pflanzenkohle in Stadtbaums substraten stammt aus Stockholm und wird dort seit 2014 praktiziert. Stadtbäume haben einerseits große Bedeutung für das lokale Klima, sind gleichzeitig aber erheblichen Belastungen insbesondere aufgrund der Flächenkonkurrenz im urbanen Raum ausgesetzt (Trockenstress, Sauerstoffmangel aufgrund Verdichtung, zu kleiner Wurzelraum, Wurzelbeschädigungen, Streusalz). Vor diesem Hintergrund haben in den 1990er Jahren Städte begonnen, grobkörnige mineralische Substrate für Baumpflanzungen einzusetzen, welche auch bei Überbauung noch genügend durchlüfteten Wurzelraum bieten. In der Stadt Stockholm wurde dieser Ansatz dann verfeinert: im sehr groben Schotter (Schroppen) zwecks Strukturstabilität und Gasaustausch wird ein Feinsubstrat bestehend aus Pflanzenkohle und Kompost zwecks Wasser- und Nährstoffpuffer eingeschwenkt. [73] Stadtbaumpflanzungen nach diesem Modell sind erkennbar gesünder und wachsen üppiger, kosten allerdings auch deutlich mehr. Dennoch wird der Ansatz in der österreichischen Stadt Graz seit 2017 in verdichteten Lagen umgesetzt (zwi-

---

<sup>17</sup> Mit Pufferkapazität ist hier gemeint, dass Einträge von Nährstoffen, Säuren und Basen im Substrat ausgeglichen werden können; dies ist bei Schwankungen durch Düngerzugaben relevant.

<sup>18</sup> Da Pflanzenkohle nur geringfügig abgebaut wird, besteht nur eine geringe Veränderung des Grundgefüges.

<sup>19</sup> Die Firma betreibt zwecks Öffentlichkeitsarbeit einen eigenen You-Tube Kanal, u.a. mit interessanten Einblicken in den Herstellungsprozess.

schenzeitlich 250 Baumpflanzungen). [74] [75] In der Schweiz gelten Pflanzenkohle basierte Stadtbaumssubstrate sogar als der derzeit größte Wachstumsmarkt für Pflanzenkohle. [58] Hierzulande wird der Ansatz noch erprobt (u.a. Berlin, Darmstadt, Magdeburg). Mit dem Projekt Black2GoGreen<sup>20</sup> an der Hochschule Geisenheim besteht dazu eine Wissens- und Austauschplattform. [76] Baumpflanzungen nach dem Stockholmer Modell wurden 2024 erstmalig auch im Programm „Natürlicher Klimaschutz in Kommunen“ gefördert. Das Handbuch der Stadt Stockholm (2017) wurde kürzlich ins Deutsche übersetzt. [77]



Abbildung: Aufbau einer Baumscheibe nach dem Stockholmer Modell [77]

Vor diesem Hintergrund befasst sich aktuell auch die Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung, Landschaftsbau (FLL) mit einer Adaptierung in seinen Empfehlungen für Baumpflanzungen. Das Standardwerk in zwei Teilen gilt hierzulande als Stand der Technik. [78]

<sup>20</sup> Das Projekt wird geleitet von Professorin Dr. Claudia Kammann, welche sich seit Jahren mit Klimafolgenforschung an Sonderkulturen befasst. Es startete 2023 und wird gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV).

## Pflanzenkohle und das Klima

Am 12. Dezember 2015 beschlossen 195 Staaten auf der UN-Klimakonferenz in Paris das sogenannte Pariser Klimaabkommen. Darin verpflichteten sie sich, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2°C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit zu begrenzen. Mit diesem Ziel besteht die die Notwendigkeit einer drastischen weltweiten Reduktion jährlicher Treibhausgasemissionen. Die Fachwelt ist sich außerdem einig: um das Klimaziel zu erreichen, reicht die Emissionsreduktion allein nicht mehr aus. Der Atmosphäre muss zusätzlich und dauerhaft Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) entzogen werden. [79]

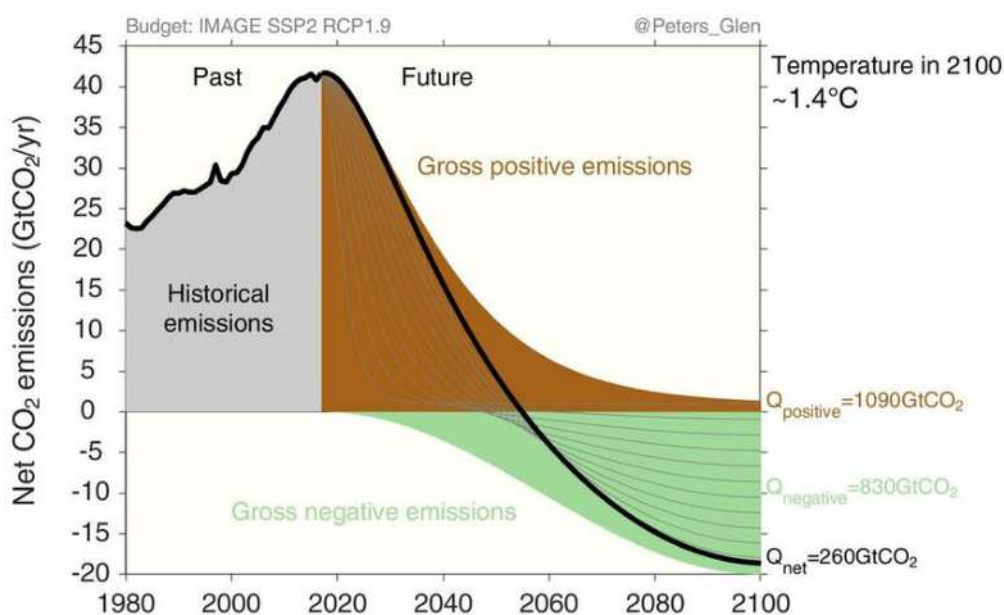


Abbildung: Geschätzte Pfade zum Klimaziel [80]

Eine Grafik, die am norwegischen Institut CICERO auf der Basis der Emissionsszenarien des Weltklimarates entwickelt wurde, veranschaulicht dies deutlich: der braune Bereich der Kurve zeigt die Emissionen, die reduziert werden müssen, während der grüne Bereich die CO<sub>2</sub>-Mengen darstellt, die zusätzlich aus der Atmosphäre entfernt werden müssen. Je schneller die Emissionen reduziert werden, desto weniger CO<sub>2</sub> muss entnommen werden, wie die hellgrauen Linien verdeutlichen. Etwa in der Mitte des Jahrhunderts soll Klimaneutralität bestehen (bilanziell Netto-Null). Ein mögliches Szenario (schwarze Linie) zeigt auf, dass bis zum Jahr 2100 insgesamt gigantische (!) 830 Gigatonnen CO<sub>2</sub> entnommen werden müssten um das Klimaziel zu erreichen. Damit müsste sofort begonnen werden. [80]

### Der Klimapfad in Deutschland

Mit dem in 2019 verabschiedeten Klimaschutzgesetz (KSG) setzt sich Deutschland „Klimaneutralität“ als Ziel für 2045. Bis 2030 sollen Treibhausgasemissionen bereits um 65 % im Vergleich zu 1990 gesenkt werden.

Das Kopernikus-Projekt Ariadne<sup>21</sup> zeigt dazu Transformationspfade auf. [81] Ein Weg, der auch die Wechselbeziehungen zwischen Emissionsvermeidung und CO<sub>2</sub>-Entnahme insbesondere hinsichtlich der Flächenerfordernisse berücksichtigt, sieht wie folgt aus:

- Vollständige Vermeidung aller Treibhausgasemissionen aus Energie und Transport: Strom, Wärme Transport ausschließlich aus erneuerbaren Quellen
- Vollständige Vermeidung aller Treibhausgasemissionen aus der Abfallwirtschaft.

Durch beide Maßnahmen verblieben jährlich 127 Millionen Tonnen Restemissionen, die durch CO<sub>2</sub>-Entnahmen kompensiert werden müssten, um Klimaneutralität herzustellen. Die Restemissionen könnten aber auf 62 Millionen Tonnen reduziert werden durch folgende zusätzliche Maßnahmen:

- Wiedervernässung von 1,2 Millionen Hektar Moorflächen, welche aktuell als Acker- oder Grünland genutzt sind
- Nahrungsumstellung auf mehr pflanzliche Nahrung; freiwerdende Ackerflächen würden für Naturschutz, Biomasseanbau und als Ausgleichflächen für Wiedervernässungsflächen genutzt
- Kohlendioxidabscheidung mit anschließender geologischer Speicherung bei industriellen Prozessemissionen, zum Beispiel bei der Zementherstellung. [82]

Die sodann verbleibenden Restemissionen von 62 Millionen Tonnen, die sich insbesondere aus der Landwirtschaft ergeben (CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O) und nur wenig gemindert werden können, müssten zunächst mit CO<sub>2</sub>-Entnahmen für eine Klimaneutralität (Netto-Null) ausgeglichen werden. Ab Mitte des Jahrhunderts würde dann auch der Entzug historischer Emissionen aus der Atmosphäre beginnen. Es wird deutlich, dass wir dazu geeignete CO<sub>2</sub>-Entnahme Verfahren, sogenannte Negativemissionstechnologien, benötigen. Pflanzenkohle ist eine davon.

### **Pflanzenkohle als Negativemissionstechnologie**

Der effizienteste Weg, CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu entziehen, ist der Prozess der Photosynthese. [83] Im terrestrischen Kohlenstoffkreislauf nehmen Pflanzen jährlich rund 123 Gigatonnen C<sup>22</sup> auf, setzen die Hälfte davon allerdings durch Atmung wieder frei (autotrophe Respiration); die verbleibende Menge geht in Form verschiedener Kohlenstoffverbindungen in jährlich aufgebaute Biomasse ein – ohne Abzüge für Ernte oder Tierfraß und ohne Abbauprozesse wie Blattfall und Zersetzung (heterotrophe Respiration). Global gesehen stehen jährlicher Auf- und Abbau im Gleichgewicht, nur ein sehr geringer Anteil gelangt aus diesem Kohlenstoffkreislauf heraus und führte in der Vergangenheit zum Aufbau unseres größten terrestrischen Kohlenstoffspeichers: Boden. Sein Kohlenstoffreservoir wird auf 1.500 bis 2.400 Gigatonnen Kohlenstoff geschätzt (ohne fossile Vorkommen wie Kohle, Öl und Gas; ausgenommen sind auch Permafrostböden) und liegt damit deutlich über dem Kohlenstoffpool in der terrestrischen Vegetation. Bekanntermaßen hat es der Mensch geschafft, durch Verbrennung fossiler Energieträger und Landnutzungsänderungen gewaltige

---

<sup>21</sup> Das Kopernikus-Projekt ist ein Zusammenschluss führender Wissenschaftsinstitute unter der Koordination des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung.

<sup>22</sup> dies entspricht: ca. 450 Gigatonnen CO<sub>2</sub>

Kohlenstoffreservoir aufzubrechen und so die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre anzureichern. Vor diesem Hintergrund kann es keinen Zweifel geben: Kohlenstoff muss wieder zurück in den Boden.<sup>23</sup>

Die Abbildung benennt die derzeit aussichtsreichsten und anerkannten Methoden zur CO<sub>2</sub>-Entnahme und Speicherung und zeigt das jeweilige Potenzial auf:

- Aufbau organischer Bodensubstanz: durch veränderte Anbau- und Nutzungsmethoden werden Humusaufbau und damit Bodenfruchtbarkeit gefördert.<sup>24</sup>
- (Wieder-)Aufforstung: Kohlenstoff wird in Bäumen gespeichert. Bauholz ist energetischen Nutzungen vorzuziehen. Die Dauerhaftigkeit kann aber nicht garantiert werden.
- Beschleunigte Gesteinsverwitterung: bei der Verwitterung von Silikatgestein wird CO<sub>2</sub> der Atmosphäre entzogen und in Carbonaten gebunden. Die Zerkleinerung des Gesteins ist mit hohem Energieaufwand verbunden.
- Direkte Abscheidung (DACCS) und Energiegewinnung aus Biomasse mit anschließender CO<sub>2</sub>-Abscheidung (BECCS) und anschließende Speicherung in geologische Formationen: diese technischen Verfahren sind aufgrund des Mengenpotenzials grundsätzlich vielversprechend, beide befinden sich jedoch noch in der Erprobungsphase, sind aufwendig und teuer und stoßen auf Akzeptanzprobleme.
- Pflanzenkohle: die Kohlenstoffentnahme und Speicherung über Pflanzenkohle (Biochar Carbon Removal, BCR): über Pyrolyse wird der in der Biomasse enthaltene Kohlenstoff gebunden und bei stofflicher Anwendung permanent gespeichert. Die Methode gilt als marktreif, schnell skalierbar und relativ kostengünstig.

Panel A - Estimated costs and 2050 potentials

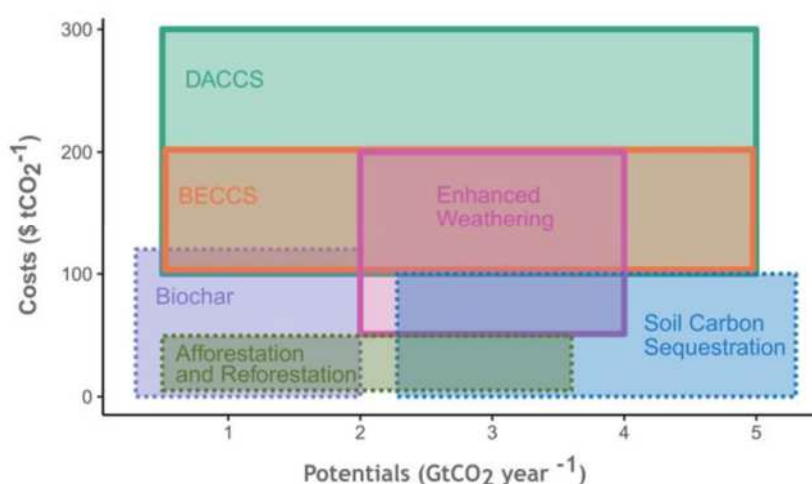


Abbildung: Geschätzte Kosten und Potenziale von CO<sub>2</sub>-Entnahme Methoden [84]

<sup>23</sup> Die Freisetzung von Kohlenstoff aus Wäldern durch Entwaldung und Brandrodung kommt hinzu.

<sup>24</sup> Die Wiedervernässung von Mooren wird aufgrund der nur langsamen Torfbildung nicht als Kohlenstoffentnahme Methode betrachtet, sondern als eine der wichtigsten Emissionsminderungsstrategien.

Der Vorteil des auf Pflanzenkohle basierten Verfahrens liegt darin, dass ein Feststoff entsteht, der im Boden und in Materialien verwertet werden kann. Im Gegensatz zu den anderen technischen Verfahren bedarf es daher keiner Infrastruktur für Verflüssigung oder Weiterleitung von Kohlenstoffdioxid. Und Es bestehen Synergien zu den anderen natürlichen Verfahren: nachhaltige Biomassebereitstellung durch Agroforst, Bodenaufbau mittels Pflanzenkohle und Bodenwendungen mit (silikatischen) Gesteinsmehlen. [85] Der Nachteil besteht durch die Limitierung verfügbarer Biomasse, die das mengenmäßige Potenzial stark einschränken. Derzeit ist Pflanzenkohle (noch) die relevanteste Negativemissionstechnologie in Europa: in 2023 wurden mit 49.000 Tonnen produzierter Pflanzenkohle etwa 130.000 CO<sub>2</sub> gebunden Für eine Klimarelevanz wäre eine deutliche Skalierung notwendig, laut Fachleuten auch machbar<sup>25</sup>. [32] [85]

Für Deutschland wird in einer Ariadne-Analyse (2023) das jährliche Kohlenstoffsinken-Potenzial von Pflanzenkohle im Jahr 2045 auf 10 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> geschätzt. [81] Bei optimistischer Annahme, bei der eine Tonne Pflanzenkohle durchschnittlich bis zu 2,6 Tonnen CO<sub>2</sub> binden kann, müssten dazu jährlich fast 4 Millionen Tonnen Pflanzenkohle in Deutschland hergestellt werden.

Methode	CO <sub>2</sub> -Entnahme Kapazität in 2030	CO <sub>2</sub> -Entnahme Kapazität in 2045
DACCS	-	16 Mio. t CO <sub>2</sub> / Jahr
BECCS	1 Mio. t CO <sub>2</sub> / Jahr	24 Mio. t CO <sub>2</sub> / Jahr
Pflanzenkohle	5 Mio. t CO <sub>2</sub> / Jahr	10 Mio. t CO <sub>2</sub> / Jahr
Wieder- / Aufforstung	1 Mio. t CO <sub>2</sub> / Jahr	2 Mio. t CO <sub>2</sub> / Jahr
Beschleunigte Verwitterung	3 Mio. t CO <sub>2</sub> / Jahr	9 Mio. t CO <sub>2</sub> / Jahr
Bodenkohlenstoffanreicherung (Fruchtfolge, Bodendecker, Dauerkulturen)	2-4 Mio. t CO <sub>2</sub> / Jahr	3-6 Mio. t CO <sub>2</sub> / Jahr
Agroforstsysteme	2- 6 Mio. t CO <sub>2</sub> / Jahr	4-14 Mio. t CO <sub>2</sub> / Jahr
Summe	14-20 Mio. t CO <sub>2</sub> / Jahr	68-81 Mio. t CO <sub>2</sub> / Jahr

Abbildung: Eigene Darstellung auf Grundlage Ariadne-Analyse (2023) [81]

<sup>25</sup> Diesbezüglich ist Dänemark Vorreiter: in 2024 haben sich Politik, Landwirtschaft und Umweltverbände darauf verständigt, bis 2030 insgesamt 2 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> durch Pflanzenkohle zu binden. [86]

### Biomasse als limitierender Faktor

Biomasse ist weltweit der limitierende Faktor für Pflanzenkohle, wobei es jedoch deutliche regionale Unterschiede gibt. In Deutschland gilt verfügbare Biomasse grundsätzlich als sehr gering. Ein gezielter Anbau von Ausgangsmasse für Pflanzenkohle ist aufgrund des Flächenbedarfs problematisch, zumal nicht nur Flächenkonkurrenz zur Lebensmittelproduktion und zum Naturschutz besteht, sondern auch zur Energiegewinnung aus Biomasse. Da auch die Nutzung von Holz keine Option darstellt<sup>26</sup>, wird das Biomassenpotenzial für Pyrolyse in anfallenden Reststoffen gesehen, die derzeit keine Verwertung finden: insbesondere in Stroh, Gärresten und Kompostierungsresten sowie Landschaftspflegematerial. [87] [88] In Zusammenhang mit der Resteverwertung wird auch die Pyrolyse von Klärschlämmen diskutiert, die nicht nur eine klimafreundlichere Alternative zur Verbrennung darstellen, sondern darüber hinaus die Rückgewinnung von Phosphor ermöglichen würde. [88] Das Biomassepotenzial kann in der Datenbank des Deutschen Biomasseforschungszentrum abgefragt werden: das technische Potenzial<sup>27</sup> von Holz von Landschaftspflegeflächen wird aktuell auf 2,1 Millionen Tonnen Trockenmasse geschätzt, ist allerdings mit hohen Unsicherheiten behaftet. [90]

### Honorierung von Kohlenstoffsenken-Leistung

Der freiwillige Kohlenstoffmarkt bietet Unternehmen, aber auch Privatpersonen und Organisationen die Möglichkeit, Klima-Zertifikate zu kaufen und hierüber eigene, nicht vermeidbare Emissionen durch Klimaschutzprojekte an anderer Stelle auszugleichen. Jedes Zertifikat entspricht einer Tonne CO<sub>2</sub>. Viele Unternehmen, die nicht durch den gesetzlich geregelten Emissionsmarkt (EU-ETS, deutscher nEHS) verpflichtet sind, machen davon Gebrauch, um sich vor allem aus Marketingzwecken bilanziell „klimaneutral“ zu rechnen. Der freiwillige Kompensationsmarkt wächst<sup>28</sup> und ist bisweilen unübersichtlich. [91] Private Standards (z.B. Verified Carbon Standard, GoldStandard) versuchen einem Greenwashing vorzubeugen. Es bestehen dennoch erhebliche Zweifel an der Wirksamkeit vieler Projekte. Die niedrigen Zertifikatspreise gleichen nicht ansatzweise die Umweltkosten jeder emittierten Tonne CO<sub>2</sub> aus, die das Umweltbundesamt mit etwa 195 EURO für das Jahr 2020 ansetzte. [92]

Der Hauptkritikpunkt ist, dass bisherige CO<sub>2</sub>-Zertifikate meist nur die Reduktion von Emissionen gegenüber einem Referenzszenario bescheinigen, beispielhaft die Zertifizierung eingesparter Emissionen durch ein Klimaschutzprojekt, ohne welches Wald gerodet wäre. Um die Klimakrise abzumildern bedarf es aber zwingend zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Entnahme aus Atmosphäre. [93] Über Pflanzenkohle kann atmosphärischer Kohlenstoff nachweisbar entnommen und dauerhaft gespeichert werden. Über Zertifikate wird diese Senkenleistung seit 2019 gehandelt und damit honoriert. Diese Zertifikate kosten etwa das Zehnfache herkömmlicher Klimazertifikate: Preise liegen zwischen 100 und 200 Euro. [89] [94]

---

<sup>26</sup> Holz soll möglichst direkt stofflich zum Beispiel als Baumaterial verwendet werden.

<sup>27</sup> Das technische Potenzial beschreibt die aus technischer Sicht (z.B. Bergungsraten, aber auch gesetzlicher Beschränkungen) stofflich oder energetisch nutzbare Menge einer Biomasse. [90]

<sup>28</sup> In 2021 wurden in Deutschland 43,6 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> in Form von Zertifikaten verkauft und stillgelegt. [91]



Zwischenzeitlich gibt es auch zur Zertifizierung von C-Senken verschiedene Standards und Handelsplattformen auf dem freiwilligen Kompensationsmarkt: zum Beispiel Puro Earth (finnischer Pionier) oder Carbonfuture.<sup>29</sup> Der Global Biochar C-Sink Standard, der korrespondierend zum Pflanzenkohlegütestandard durch das Ithaka Institut entwickelt wurde, gilt derzeit als der strengste und wird hier in den Grundsätzen dargestellt. Für unseren Ansatz in der Landschaftspflege, ist der nachfolgende Artisan C-Sink Standard, der die handwerkliche Pflanzenkohleherstellung zertifiziert, aber interessanter.

### **Standard für Pflanzenkohle basierte Kohlenstoffsenken**

Der Global Biochar C-Sink Standard wurde 2020 eingeführt. Er wird ebenso wie der EBC-Gütestandard für Pflanzenkohle durch die Carbon Standards International (CSI) verwaltet. Bescheinigt wird das Kohlenstoffsenken-Potenzial ab Werkfaktor eines Produzenten, welches sich aus dem Kohlenstoffgehalt (zertifizierter) Pflanzenkohle abzüglich aller durch Herstellung, Lagerung, Transport und Biomassebereitstellung verursachten Emissionen errechnet. Um die Senkenleistung ab Werkfaktor auch sicherzustellen, denn erst mit der Einbindung in Böden oder Materialien wird Pflanzenkohle zur Kohlenstoffsenke, müssen akkreditierte Händler den weiteren Weg der Pflanzenkohle in einem Tracking-System nachvollziehen. Der Standard bezieht bei Boden Anwendungen eine Abbaurate des Kohlenstoffs von 0,3% ein. Kohlenstoffsenken in Materialien (z.B. pflanzenkohlebasierter Beton) gelten hingegen während der Lebensdauer als permanent, verlieren aber bei Wegfall (Abriss, Vernichtung) ihre Klimaschutzwirkung. [96]

Im Juni 2024 wurde der Standard grundlegend überarbeitet. Vor dem Hintergrund, dass Pflanzenkohle zu einem überwiegenden Teil aus einer permanenten Kohlenstofffraktion und einer fragilen, durch Mikroorganismen abbaubare Kohlenstofffraktion besteht, wird nun die Senkenleistung in eine höherwertige, permanente (C-Sink 1000<sup>30</sup>) und temporäre (C-Sink 20) unterschieden. Die temporäre Senke kann dazu genutzt werden, prozessbedingte Methanemissionen<sup>31</sup> bei der Lagerung von Biomasse, auszugleichen. Die so generierten Kohlenstoffsenken, werden im neuen Global C-Sink Register erfasst.

Mit der Generierung und dem Handel von Pflanzenkohle-Zertifikaten sind für Hersteller hierzulande neue Einnahmemöglichkeiten und für Anwender relevante Kostenersparnisse entstanden, was Pflanzenkohle insgesamt deutlich attraktiver macht.

### **Artisan C-Sink Standard als Vorbild für Naturschutzkohle?**

Mit diesem innovativen Ansatz, der Klimaschutz und Entwicklungszusammenarbeit verbindet, können Kleinbauern im globalen Süden<sup>32</sup> für ihre Klimadienleistung, die aus dem handwerklichen Herstellen von

---

<sup>29</sup> Die EU hat kürzlich mit dem Carbon Removal Certification Framework (CRCF) einen Rahmen zur Zertifizierung von CO<sub>2</sub>-Entnahmen und Senken gesetzt. Sie unterscheidet die Kategorien: Permanent Carbon Removals (z.B. DACCS, BECCS), Carbon Farming (Wiederaufforstung, Agroforst, Anreicherung Bodenkohlenstoff) und Carbon Storage (z.B. in Bauprodukten). Pflanzenkohle ist zwar nicht ausdrücklich genannt und könnte im Prinzip in alle drei Kategorien fallen. Der WWF sieht dies kritisch. [95]

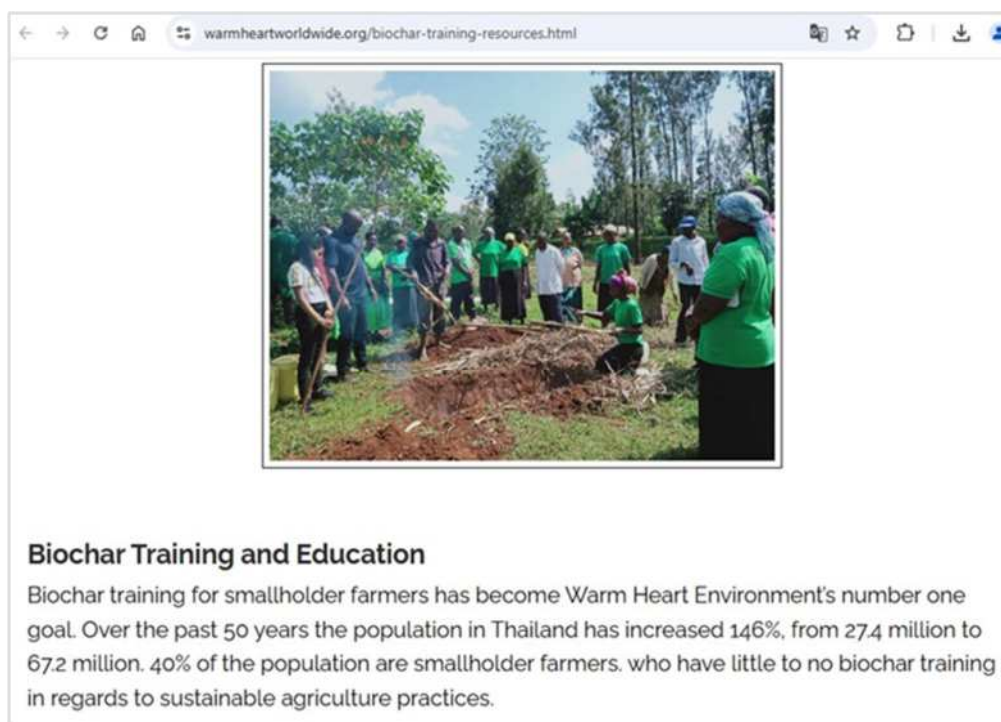
<sup>30</sup> Die Zahl beschreibt die Permanenz in Mindestjahren.

<sup>31</sup> Methan hat ein um den Faktor 86 größeres Treibhauspotenzial, verweilt jedoch nur rund 20 Jahre in der Atmosphäre.

<sup>32</sup> gemäß Klassifizierung der World Bank: Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen

Pflanzenkohle und deren Einbringung in Böden resultiert, Einnahmen erzielen. Ganz nebenbei steigern sie die Fruchtbarkeit ihrer Böden. Der Standard wurde 2022 durch das Ithaka Institute in Kooperation mit dem gemeinnützigen Unternehmen für Entwicklungszusammenarbeit Biochar Life entwickelt und im Jahr 2024 überarbeitet. Er folgt der Grundidee, dass das Potenzial pflanzenkohlebasierter CO<sub>2</sub>-Entnahme in den tropischen und subtropischen Klimazonen am größten ist und bezieht Kleinbäuerinnen so ein, dass sie ihre Klimadienleistung für die Welt auch mit Weltmarktpreisen vergütet bekommen. [97]

Die Farmer müssen geeignete manuelle Verkohlungsöfen verwenden, welche nachweislich bei korrekter Bedienung hochwertige Pflanzenkohlen hervorbringen; häufig sind dies Kon-Tiki oder Erdgruben und Pyrolysekocher. Der Standard fordert die Schulung von Farmerinnen und besondere Sorgfalt bei der eingebrachten Biomasse: diese muss nachhaltig entstanden sein (in der Regel handelt es sich um Ernterückstände) und für eine gute Prozessführung gut getrocknet und gelagert werden. Es besteht ein Tracking System, aus welchem ersichtlich wird, dass Pflanzenkohle auch tatsächlich im Boden angewendet (und nicht verbrannt) wird. Die Registrierung der Zertifikate erfolgt im bereits oben genannten Global C-Sink Register. Vor Ort bündelt und übernimmt ein Projektentwickler die organisatorischen Aufgaben als C-Sink Manager. Der Artisan C-Sink ist in seinen Berechnungen defensiv: die permanente Senkenleistung (C-Sink 1000) wird beispielsweise bei Kon-Tiki-Kohle auf 75% begrenzt. Die temporäre Kohlenstoffsénke (C-Sink 20) kann genutzt werden, um die beim Herstellungsprozess erzeugten Treibhausgase auszugleichen. Da diese bei manuellen Verkohlungsgeräten höher ausfallen, sind teilnehmende Farmerinnen angehalten zusätzliche Gehölzpflanzungen vorzunehmen.



**Biochar Training and Education**

Biochar training for smallholder farmers has become Warm Heart Environment's number one goal. Over the past 50 years the population in Thailand has increased 146%, from 27.4 million to 67.2 million. 40% of the population are smallholder farmers, who have little to no biochar training in regards to sustainable agriculture practices.

Abbildung: Warm Heart mit Projekt BiocharLife [98]

Ein bekanntes Projekt der Biochar Life findet derzeit in Nordthailand statt: hier sollen auf Grundlage des Artisan Standards innerhalb von 5 Jahren ca. 35.000 Tonnen CO<sub>2</sub> gebunden werden. Die generierten CO<sub>2</sub>-Zertifikate werden von großen Finanzdienstleistern gekauft, beispielsweise vom Versicherungsunternehmen Swiss Re. [99] Laut Projektträger erhält ein teilnehmender Landwirt durchschnittlich rund \$ 369 aus diesem Projekt.

Wenngleich der Artisan C-Sink aufgrund der örtlichen Beschränkung hierzulande keine Anwendung findet, so ist er aus zweierlei Überlegungen dennoch für unseren Ansatz einer mobilen Verkohlung in der Landschaftspflege interessant:

- die Vorgaben an die handwerkliche Erzeugung von Pflanzenkohlen basieren auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und sollten auch hier beherzigt werden
- für hiesige Landschaftspflege stellt sich die Frage, ob ihre Klimaschutzleistung ebenfalls zertifiziert und gehandelt werden könnte, so dass neue Einnahmequellen für den Naturschutz erschlossen werden.

## Mobiler Verkohlungsansatz in der Landschaftspflege

### Projektansatz CarboMob als Vorbild

Der einzige Projektansatz zur mobilen Verkohlung, den wir hierzulande recherchieren konnten, ist der CarboMob, der zwischen 2011 und 2014 in Baden-Württemberg entwickelt und erprobt wurde. Ziel war es, Schnittgut aus Naturschutz, Weinbau und anderen Kulturen sinnvoll zu verwerten. Mit Unterstützung des Landesnaturschutzverbandes wurde das Konzept in zwei Naturschutzgebieten rund um Freiburg erprobt und mit anderen Verwertungs- und Beseitigungsmethoden wie Hackschnitzelverheizung und offener Verbrennung verglichen. Die Verkohlungsanlage auf einem gelände- und straßentauglichen Anhänger stammte aus einem parallel laufenden Projekt, das durch den badenova Innovationsfonds gefördert wurde. [100] [101]



Abbildung: Carbo-Mob (2013) [100]

Kern der Anlage bildete ein etwa 1 Meter breiter und 1,60 Meter hoher Modellofen namens „BIGchar“ der damaligen australischen Firma Black is Green (heute Pyrocal). [102] Es handelte sich im Grunde genommen nicht um eine Pyrolyseanlage, sondern um einen Verbrennungsofen in Etagen, bei dem Kohlepartikel jedoch vor der vollständigen Verbrennung nach unten ausgetragen wurden. Bei Temperaturen von 400-600 °C konnten größere Mengen an Holzhäckseln (80-120 kg/h Trockenmasse) in wenigen

Minuten karbonisiert werden. Die aus unterschiedlichem Landschaftspflegematerial hergestellten Pflanzenkohlen wiesen gute Qualitäten auf, Schadstoffbelastungen (Schwermetalle, PAK und andere) wurden nicht festgestellt beziehungsweise lagen im unbedenklichen Bereich. Durch die spezielle Luftführung im Ofen, vom Hersteller als „natural draft“ bezeichnet, wurden unerwünschte Gase reduziert, verbleibende in einem Nachverbrenner behandelt. Gegenüber Holzscheit- bzw. Hackschnitzelfeuerungsanlagen wies der CarboMob nur unwesentlich schlechtere Abgaswerte<sup>33</sup> auf.

Laut Projektleiterin wurde angesichts verschärfter Anforderungen an die Luftqualität (gemäß TA Luft) dennoch der Einbau eines teuren Feinstaubfilters notwendig, was die Weiterentwicklung des CarboMobs unwirtschaftlich gemacht hätte. Angesichts des Einsparpotenzials klimawirksamer Abgase insbesondere gegenüber der offenen Verbrennung in der Landschaftspflege und auch gegenüber der Kompostierung<sup>34</sup> sei

<sup>33</sup> Kohlenmonoxid CO, Stickoxid NOx und Feinstaub

<sup>34</sup> Der im Kompost gespeicherte Kohlenstoff ist bereits nach 20 Jahren wieder freigesetzt.

die immissionsschutzrechtliche Gleichsetzung der mobilen Verkohlung mit Feuerungsanlagen eigentlich nicht gerechtfertigt.

Die Projektleiterin resümierte auch, dass die Anlage ein hohes Maß an händischem Dazutun erforderte. Der Auf- und Abbau der Anlage beanspruchte bereits rund eine Stunde. Durch permanente Aufsicht sowie Feinsteuerung bei unerwünschter Gasentwicklung wurde eine Arbeitskraft fortlaufend gebunden. Für eine durchschnittliche Schnittgutmenge von 10-15 Kubikmeter wurden etwa 2 Arbeitstage angesetzt. Ein größerer Ofen hätte gegebenenfalls den Zeitaufwand minimieren können. Erschwerend kam hinzu, dass die offene Ofentechnik nur an regenfreien und windstillen Tagen betrieben werden konnte.

Pyrolyse setzt grundsätzlich einen hohen Trocknungsgrad<sup>35</sup> der Ausgangsmasse voraus. Um dies im Gelände zu gewährleisten, wurde im Modellprojekt das Schnittgut auf Trockengestellen gelagert: nach einer Trocknungszeit von 4-9 Monaten wies das Schnittgut noch eine Restfeuchte von noch ungefähr 30% auf. Die Lagerung unter einem wasserabweisenden Vlies trug zu geringfügig besseren Ergebnis bei. Erst am Verwertungstag wurde das Schnittgut gehäckselt<sup>36</sup> und in austauschbare Gitterboxen für eine Vortrocknung durch abgeleitete Prozesswärme gefüllt, womit schließlich der geforderte Trockengrad von 80-85% erzielt wurde. Dies stellt einen großen Vorteil dieses mobilen Ansatzes dar.

Eine vorgenommene Wirtschaftlichkeitsberechnung legte dar, dass ein profitabler Betrieb nur mit einem Ofen höherer Durchsatzkapazität möglich wäre. Unsicherheiten gab es zum damaligen Zeitpunkt in Bezug auf Preis und Absatz von Pflanzenkohle, die damals prognostizierte Preisspanne traf heutige Preise allerdings sehr gut. Die Wirtschaftlichkeit im Verhältnis zur Verbrennung wäre dann gegeben, würden Umweltkosten, insbesondere Treibhausgasemissionen mit eingepreist. Die Studie zeigte auch relevante rechtliche Fragen auf, die unserer Recherche nach bis heute nicht beantwortet werden können (vgl. Kapitel Rechtliche Rahmenbedingungen).

### **Unser mobiler Verwertungsansatz**

Angesichts verheißungsvollen Themas Pflanzenkohle sowie unseres Zufallsfundes einer neuen Retorte in der Land- und Forstwirtschaft (Vario-Retorte der Firma SPSC) haben wir uns gefragt, ob wir unser Landschaftspflegematerial am Entstehungsort mit dieser Retorte - gegebenenfalls mit einem Kon-Tiki als Alternative - verkohlen und damit den mit finanziellem und personellen Aufwand verbundenen Abtransport in die nächste Kompostierungsanlage einsparen können. Dazu haben wir zunächst die in Frage kommenden Anlagen dem CarboMob gegenübergestellt (vgl. Tabelle im Anhang) und eine Mengenabschätzung unserer potenziellen Biomasse vorgenommen.

---

<sup>35</sup> Höhere Feuchtegehalte wirken sich unmittelbar negativ auf die Abgassituation aus: beispielsweise wird bei der Verfeuerung von Holz mit einer Restfeuchte von 35% eine 5-fach höhere Kohlenmonoxid gegenüber trockenem Kaminholz erzeugt.

<sup>36</sup> Die Lagerung von Hackschnitzel ist hinsichtlich Trocknung und Gasentwicklung kontraproduktiv.

### Potenzielle Biomasse für die mobile Verkohlung

Für die Verkohlung in den beiden Geräten eignet sich lediglich der holzige Grünschnitt, der bei unseren ehrenamtlichen Landschaftspflegeeinsätzen anfällt. Höherwertiges Landschaftspflegeholz aus Gehölzpflege wird bereits über Lohnunternehmen einer Verwertung (Hackschnitzel) zugeführt und den Pflegekosten gegengerechnet; die Pyrolyse des krautigen Materials wäre nur unter besonderer Vorbehandlung (Pelletierung) möglich gewesen.<sup>37</sup> Dieses Material muss also weiterhin in die Kompostierung abtransportiert werden.



Abbildung: Landschaftspflegematerial aus Ehrenamtseinsätzen [105]

Aus den Gebührenrechnungen Entsorgung haben wir exemplarisch für zwei Jahren die Gewichtsangaben der Biomasse entnommen; den Grünschnitt haben wir entsprechend seines Entsorgungsdatums in überwiegend holziges oder krautiges Material zugeordnet: holziges aus der Gehölzschnittsaison, krautiges Material aus den restlichen Monaten. Die Volumenabschätzung erfolgte über einen Umrechnungsfaktor für losen Grünschnitt. [103] und korrespondiert mit der ungefähren Anzahl unserer Fahrten mit durchschnittlichen Ladevolumen.

Das holzige Landschaftspflegematerial ist für die Pyrolyse in manuellen Geräten zu inhomogen: auf der einen Seite feines, sperriges Geäst mit hohem Rindenanteil und teilweise noch belaubt, beispielsweise Brombeeraufwuchs, auf der anderen Seite Stangenhölzer in unterschiedlichen Dicken; in unserer Landschaftsarbeit fallen nur sehr wenige Wurzelstöcke an, an welchen Erde oder Steine anhaften könnten. Selten entnehmen auch wir dickeres Stammholz für unseren Eigenbedarf an Kaminholz. Dem Augenschein nach macht die Fraktion Stangenh Holz etwa ein Drittel des abtransportierten Volumens aus. Bei einem durchschnittlichen spezifischen Gewicht von  $400 \text{ kg/m}^3$  (beim Landschaftspflegematerial dominieren eher Weichhölzer) kommen wir somit auf ein Potenzial von jährlich 4,5 Tonnen holzigem Material, welches sich zur Pyrolyse in manuellen Geräten eignet.

<sup>37</sup>Dieses fällt uns nur in wenigen Bereichen ohne Beweidung an (z.B. nasse Bereiche, Bereiche mit invasiven Neophyten).

<b>Landschaftspflegematerial aus Ehrenamtseinsätzen</b>		
Durchschnittswerte über die Saison 2022/23 und 2023/24 (Quelle Gebührenrechnung)		
	<b>Gewicht (lose)</b>	<b>Volumen</b>
überwiegend holzig	8,5 t	34 m <sup>3</sup>
- <i>darunter: Fraktion Stangenholz/ überwiegend Weichholz (geschätzt)</i>	<i>4,5 t</i>	<i>11 m<sup>3</sup></i>
überwiegend krautig	5,5 t	22 m <sup>3</sup>
Gesamtmenge	14,0 t	56 m <sup>3</sup>

Zur Abschätzung von Grünschnittmengen andernorts sei an dieser Stelle noch der flächige Berechnungsansatz aus der „Handlungshilfe zur rechtssicheren Erfassung, Aufbereitung und hochwertigen Verwertung“ der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg genannt, der bei uns jedoch nicht zum Tragen kam, da ein großer Anteil bereits durch Lohnunternehmen verwertet wird. [104] [Anhang Tabelle]

### **Vorbehandlung des Ausgangsmaterial**

Die Pyrolyse stellt in Bezug auf die Technik der hier betrachteten Geräte bestimmte Mindestanforderungen an das Ausgangsmaterial (vgl. auch Vergleich Anlagen im Anhang):

- Trocknungsgrad des Ausgangsmaterials<sup>38</sup>: bestimmt maßgeblich die Qualität des Pyrolyseprozesses und folglich die Kohlequalität und sollte bei mindestens 75%<sup>39</sup> liegen
- Konfektionierung und Homogenisierung des Ausgangsmaterials: wirkt sich auf den Verkohlungsgrad und folglich die Kohlequalität aus; unter Umständen sind sehr große Partikel nicht vollständig verkoht.
- Vermeidung oder Beseitigung von Verunreinigungen mit Steinen oder Erden: Verunreinigungen schädigen die Anlage (z.B. durch Verschlackung) und beeinflussen die Kohlequalität (Aschegehalt, Schadstoffe).

Für die Praxis – so haben wir aus vielen Gesprächen erfahren – gibt es keine Blaupause zur Herstellung guter Pflanzenkohle. Jede (auch industrielle) Anlage benötigt etliche Kohleversuche bis eine optimale Feinabstimmung zwischen Anlage und Ausgangsmaterial gefunden ist.

Für Lufttrocknung von Holz gilt hierzulande eine einfache Faustregel: 1 Jahr Trocknung je Zoll (1 Zoll entspricht 2,54 cm). Im Rahmen des Projekts CarboMob wurden bereits nach einem halben Jahr ein Trocknungsgrad zwischen 72 und 82 durch luftiges Aufstellen von Ästen und Stangenhölzern auf Holzgestellen erzielt; es ist aber fraglich – und konnte im Rahmen der Potenzialanalyse auch nicht getestet werden - ob dies für unsere Gebiete zutreffen würde. Ein Standort mit Sonneneinstrahlung wäre natürlich günstig<sup>40</sup>. Um

<sup>38</sup> Vor dem Hintergrund, dass frische Biomasse immer feucht ist, finden Verfahren, wie hydrothermale oder vapo-thermale Karbonisierung hohen Zuspruch, deren Produkte aber per Definition keine Pflanzenkohlen darstellen, da sie nicht die gleichen positiven Eigenschaften als Bodenhilfsstoff aufweisen, und im Gegensatz zur Pyrolyse Energiezufuhr benötigen.

<sup>39</sup> korrespondierend zum Standard Artisan C-Sink [97]. Kaminholz gilt im Übrigen ab einer Restfeuchte von 18% als trocken.

<sup>40</sup> Hierzu empfiehlt der Standard Artisan C-Sink für Sontentrocknung im globalen Süden: drei Tage bei Ausgangsmaterial mit einem Durchmesser unter 30 mm in dünner Schichtung.

ein erneutes, arbeitsaufwendiges Verlagern des Holzes zu vermeiden, sollte der Lagerplatz außerdem mit dem späteren Verkohlungsplatz identisch sein; aufgrund von Abstandsregeln käme damit nur eine Stelle im offenen Gelände in Frage. Hier wäre eine Abdeckung des Materials mit einem luftdurchlässigen, aber Wasser abweisenden Vlies – wie im Projekt CarboMob vorgeschlagen – zwingend. Um eine ausreichende Trocknungszeit einerseits, die Einbindung in Arbeitsabläufe andererseits zu gewährleisten, könnte bei Landschaftspflegeeinsätzen das jeweils abgelagerte Holz des Vorjahres verkohlt werden. Knappe Fläche, die dem Schutz der Natur vorbehalten ist, würde allerdings reduziert.

Eine Homogenisierung von Grünschnitt zwecks gleichmäßiger Verkohlungsergebnisse könnte je nach Anlage über zwei Wege geschehen: Häckselung und Durchmischung oder Konfektionierung und Getrenntlagerung unterschiedlicher Gehölzfraktionen. Während der CarboMob nur Häcksel, ein Kon-Tiki hingegen nur sperriges Material verarbeiten kann, pyrolysiert die betrachtete Retorte sowohl Stückgut als auch Häcksel<sup>41</sup>, ein großer Vorteil dieser Anlagentechnik. Die maschinelle Häckselung würde zur deutlicher Arbeitersparnis führen, ist aber mit zusätzlichen (Anschaffungs-)kosten verbunden, da hohe Anforderungen an das Gerät bestehen: Toleranz gegenüber Fremdmaterial (Steine, Metalle), Leistung, Größeneinstellung Häcksel. Die Suche nach einem geeigneten Gerät gestaltete sich im Rahmen der CarboMob-Studie beispielsweise als nicht einfach. Die Stückgutvariante hingegen erfordert nicht nur die händische Vorsortierung des holzigen Materials in getrennte Lager; die jeweilige Grünschnittfraktion müsste dann vor dem Befüllen von Retorte oder Kon-Tiki noch händisch (mit Motorsäge) in kleinere Abschnitte geteilt werden, um das Volumen der Behältnisse möglichst gut auszufüllen. Es wird offensichtlich, dass beide Varianten Vor- und Nachteile haben.

### **Naturschutzkohle als Ergebnis**

Mit unserem ermittelten Holzpotenzial von rund 4,5 Tonnen könnten in 6 Batches mit der Vario-Retorte L etwa eine Tonne Naturschutzkohle hergestellt werden (entspricht einem Volumen<sup>42</sup> von rund 4 m<sup>3</sup>). Im handelsüblichen Kon-Tiki wären dazu rund 35 Durchgänge notwendig bei geringerer Kohleausbeute (700 kg Naturschutzkohle); es ist klar, dass nur ein Kon-Tiki mit höherer Durchsatzkapazität für die Landschaftspflege in Frage käme.

Als Abnehmer fallen private Hobbygärtnerinnen ins Auge, die bereit sind, für regionale „Naturschutzkohle“ aus ehrenamtlicher Landschaftspflege (Produktstory) eine großzügige zweckgebundene Spende zu geben; der Ansatz korrespondiert mit der gängigen Praxis in der Bewirtschaftung von Streuobstwiesen<sup>43</sup>. Da nur unverarbeitete (nicht vermahlene) und „ungeladene“ Naturschutzkohle (ohne Nährstoffe) angeboten

---

<sup>41</sup> für letzteres würde ein zusätzlicher Arbeitsschritt benötigt.

<sup>42</sup> bei einem durchschnittlichen Schüttgewicht von 250 kg/ m<sup>3</sup> (mittelleichte Pflanzenkohle)

<sup>43</sup> Bei Weitergabe von Erzeugnissen gegen Spende gelten schenkungsrechtliche Haftungsprivilegien gelten, wonach Schenkende nur bei Schäden haften, die sie absichtlich oder grob fahrlässig verursachen. Langjährige Erfahrung (und wissenschaftliche Begleitung) zeigen, dass in manuellen Geräten gute Pflanzenkohlen erzeugt werden können; das Haftungsrisiko ist vor diesem Hintergrund unseres Erachtens überschaubar.



werden könnte, wäre das Erzeugnis für Hobbygärtnern mit Eigenkompostierung interessant. Für eine jährliche Kompostmiete in einem (städtischen) Hausgarten (Fassungsvermögen etwa 500 Liter) werden rund 10 bis 15 kg Pflanzenkohle benötigt: die Pflanzenkohle wird mit wenigen Handschaufeln über jede neue organische Schicht gestreut, so dass diese in der fertigen Komposterde einen Volumenanteil von bis zu 10% ausmacht (dies entspricht der gängigen Praxis). Mit dem jährlichen Output von 1 Tonne Naturschutzkohle könnten somit rund 80 Komposte mit Naturschutzkohle angereichert werden. Dazu wären Gebinde von (noch handlichen) 60 Liter Verpackungen überlegenswert, welche an Aktionsständen angeboten werden könnten; denkbar wären aber auch lose „Kofferraum-Ladungen“ an Selbstabholer. In jedem Fall wäre auch hier eine Zwischenlagerung am Hof notwendig.

### **Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit**

Vor dem Hintergrund der hohen Anschaffungskosten für die Retorten-Anlage<sup>44</sup> haben wir einfache Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit angestellt (vgl. Tabelle Anhang). Eine solche könnte gegeben sein, wenn eine Kooperation mit mindestens zwei weiteren regionalen Partner bestehen und der Arbeitsaufwand durch einen hohen Anteil ehrenamtlichen Engagements getragen werden würde. Einnahmemöglichkeiten über einen Zertifikate-Handel bestehen für den mobilen Ansatz nicht. Vielmehr müsste bei den Abnehmern die Bereitschaft bestehen, für regionale Naturschutzkohle aus Landschaftspflege großzügig zu spenden. Das kann bei dem insgesamt großen Volumen nicht garantiert werden.

### **Unser Fazit zur mobilen Verkohlung**

Im Rahmen der Potenzialanalyse ist deutlich geworden, wie komplex die Herstellung von Pflanzenkohle im Allgemeinen und für die mobile Verkohlung im Besonderen ist. Letztere hat zwar das Alleinstellungsmerkmal, anfallendes Biomassepotenzial direkt am Entstehungsort zu verwerten und ortsnah zu nutzen. Der technisch anspruchsvolle Pyrolyseprozess muss bei einem nur geringem Grad an Automatisierung jedoch durch einen beträchtlichen Arbeitsmehraufwand ausgeglichen werden. Diesen können wir im Rahmen unserer Landschaftspflegearbeit – auch zusammen mit dem Ehrenamt – nicht leisten. Vor diesem Hintergrund verwundert es nicht, dass sich der Ansatz in Deutschland nicht durchgesetzt hat. Des Weiteren ist zu resümieren, dass zwar eine Nachfrage nach regionalen Produkten (vgl. Streuobst) und auch eine Nachfrage<sup>45</sup> nach (zertifizierter) Pflanzenkohleprodukte besteht; ob wir jedoch ausreichend Abnehmer für unsere Naturschutzkohle finden, kann nicht geklärt werden. Zweifel an einer Realisierung bestehen auch angesichts rechtlicher Rahmenbedingungen (vgl. nächstes Kapitel).

---

<sup>44</sup> Der Preis der Vario L wird aktuell mit 33.750 € beziffert. Das handelsübliche kleine Kon-Tiki ist aus dieser Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ausgeschlossen (siehe weiter oben).

<sup>45</sup> Unbehandelte Pflanzenkohle ist beispielsweise in einem lokalen Gartencenter erhältlich gewesen [106].

## Energiebilanz

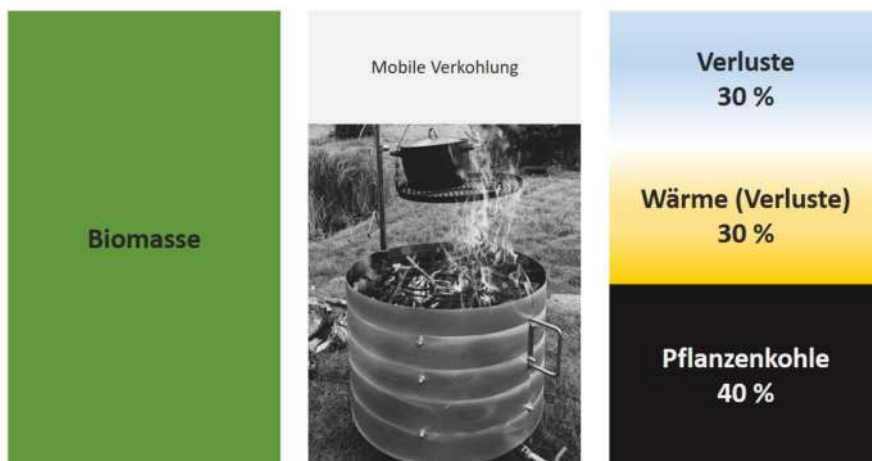


Abbildung: Geschätzte Energieausbeute auf Basis Quicker (2016) [107]

Insbesondere aber vor dem Hintergrund, dass ein großer Anteil der in der Biomasse steckenden Energie (in Form von Wärme) ungenutzt bleibt, kommen wir zu dem Schluss, dass die mobile Verkohlung ein nur geringes Potenzial in der Landschaftspflege hat. Die Verwertung unseres Landschaftspflegematerials wäre in einer nahe gelegenen (industriellen) Pyrolyseanlage mit Wärmekonzept (EBC-Standard) – beispielsweise bei einem Kompostierungswerk, zu dem wir ohnehin den Grünschnitt abfahren – klimaförderlicher (vgl. hierzu Kapitel Pflanzenkohle-Projekte mit Bio-Mehrwert).

## Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Herstellung von „Naturschutzkohle“ berührt unseres Erachtens folgende Rechtsbereiche:

- Naturschutzrecht: hinsichtlich Entstehungsort in geschützten Teilen von Natur und Landschaft
- Kreislaufwirtschaftsgesetz: hinsichtlich Behandlung und Verwertung von Reststoffen
- Bodenschutzrecht bzw. Düngerecht: hinsichtlich Anwendung in Böden
- Immissionsschutzrecht: hinsichtlich möglicher Schadstoff-Emissionen beim Herstellungsprozess.

Wir beziehen uns auf die jeweiligen Rechtsnormen und andere Quellen, möchten aber betonen, dass eine juristische Bewertung im Rahmen dieses Leitfadens nicht möglich ist.

### Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege

Ein generelles Feuerungsverbot ist in Bundes- (BNatSchG) und Landesnaturschutzgesetz (LNatSchG NRW) nicht zu finden. Die Kreise und kreisfreien Städte setzen in ihren Landschaftsplänen rechtverbindlich fest, welche Ge- und Verbote zur Erreichung des Schutzzwecks für besonders geschützte Teile von Natur und Landschaft notwendig sind (gebietsbezogener Ansatz); in der Regel werden dabei irgendwie geartete Feuerungsverbote (z.B. Lager-/Grillfeuer, Feuerwerke) zum Schutzzweck ausgesprochen und zwar im Textteil in den allgemeinen Festsetzungen für besonders geschützte Teile von Natur und Landschaft und/ oder in den besonderen Festsetzungen einzelner Schutzgebiete.

Wir gehen davon aus, dass die mobile Verkohlung – auch wenn es sich streng genommen nicht um Verbrennung, sondern um die hochwertige Verwertung von Landschaftspflegematerial mittels Pyrolyse handelt – den Feuerungsverboten unterliegt und im Übrigen auch Transport, Aufstellung und Zwischenlagerung im Schutzgebiet eine Beeinträchtigung für Flora und Fauna darstellen können. Vor diesem Hintergrund sind mögliche negative Auswirkungen auf das jeweilige Schutzgebiet zu ermitteln und abzuwägen. Auf Grundlage einer naturschutzfachlichen Einschätzung können die Unteren Naturschutzbehörden bei Geringfügigkeit von Auswirkungen eine Ausnahme erteilen (§ 75 LNatSchG zu § 67 und §63 Abs. 4 BNatSchG).

### Belange der Abfall- und Kreislaufwirtschaft

Landschaftspflegematerial gilt gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetzes<sup>46</sup> als Bioabfall und unterliegt (bei Boden-anwendung) damit ebenso wie Garten- und Parkabfälle sowie Nahrungsmittel- und Küchenabfälle den umfassenden Verwertungsvorgaben der Bioabfallverordnung (BioAbfV) sowie den Anforderungen des Düngemittelrechts bei Inverkehrbringen in landwirtschaftlich, forstliche oder gärtnerische Böden. Die rechtliche Abfalleigenschaft von Landschaftspflegematerial ist damit begründet, dass dieses nicht zweckgerichtet angebaut wird und der Besitzer sich dessen entledigen will. Dies erschwert allerdings seine Verwertung im Sinne unseres mobilen Verkohlungsansatzes. Bestrebungen des Deutschen Verbandes für Landschafts-

---

<sup>46</sup> Ziel des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist die Schonung natürlicher Ressourcen. Im Umgang mit Abfällen sieht es eine fünfstufige Abfallhierarchie vor: Vermeidung vor Wiederverwendung vor Recycling und Rückgewinnung sowie schließlich Entsorgung.

pflege (DVL), Landschaftspflegematerial aus dem Geltungsbereich des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zu entnehmen, blieben bislang erfolglos. [109] Dagegen wird unter anderem das phytohygienische Risikopotenzial angeführt, welches bei den hohen Temperaturen der Pyrolyse jedoch nicht gegeben wäre.

Das Ende der Abfalleigenschaft kann gemäß § 5 KrWG herbeigeführt werden, wenn der Abfall ein Verwertungsverfahren durchlaufen hat, so beschaffen ist, dass er für bestimmte Zwecke verwendet wird und eine Nachfrage nach ihm besteht (z.B. Kompost). Die Produkteigenschaft richtet sich nach den geltenden technischen und rechtlichen Anforderungen um sicher zu stellen, dass keine schädlichen Auswirkungen auf Mensch oder Umwelt bestehen. In der Landschaftspflege trifft dieses Vorgehen (Ende der Abfalleigenschaft) regelmäßig auf Stammholz zu, welches durch Lohnunternehmen zumeist vor Ort gehäckselt und als Produkt Landschaftspflegehackschnitzel entsprechend gültiger Rechtsnormen zur energetischen Nutzung vertrieben wird. Landschaftspflegematerial, welches zu Pflanzenkohle zwecks Boden Anwendung verwertet werden soll, muss gemäß den Vorgaben des Düngemittelrechts hergestellt werden, damit es Produkteigenschaften erhält und seine Abfalleigenschaft verliert; andernfalls würde – lapidar ausgedrückt „verkohelter Abfall“ vorliegen.

Für Nebenprodukte, die von land- und forstwirtschaftlichen Flächen stammen (beispielsweise Ernterückstände) und als unbedenklich gelten, liegt hingegen keine Abfalleigenschaft vor (§2 (2) 5 KrWG). Vom Geltungsbereich des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ausgenommen ist auch Grünschnitt, welches einer Eigenverwertung zugeführt wird. Private Haushalte können beispielsweise von der Überlassungspflicht ihrer Bioabfälle an öffentlich-rechtliche Entsorgungsunternehmen (§17 (1) KrWG) ausgenommen werden, wenn sie eine Eigenkompostierung auf ihren Grundstücken gewährleisten können. Davon machen auch Kleingärten oder Solidarische Landwirtschaftsinitiativen (SoLaWis) Gebrauch, die ihren Grünschnitt am Entstehungsort kompostieren oder eben auch verkohlen und in ihre eigenen gärtnerisch genutzten Böden einbringen. Dieses Vorgehen trifft aber zuversichtlich nicht auf die Landschaftspflege in Schutzgebieten zu, da aus naturschutzfachlichen Gründen für gewöhnlich ein Nährstoffentzug angestrebt wird.

Es ist unklar und kann im Rahmen dieser Potenzialanalyse auch nicht überprüft werden, wie Naturschutzkohle aus mobiler Verkohlung in der Landschaftspflege seine Abfalleigenschaft verlieren kann, ohne eine Produktdeklaration zu durchlaufen.

### **Bodenschutzbelange / Düngemittelrecht**

Der Einsatz von Pflanzenkohle in Landwirtschaft und Gartenbau unterliegt dem Düngemittelrecht. Dieses bezweckt, Gefahren für die Gesundheit von Mensch und Tier sowie für den Naturhaushalt abzuwenden und stellt damit auch den Schutz des Bodens sicher (vgl. auch §3 BBodSchG). Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel dürfen nur nach Maßgabe dieses Rechts in Verkehr gebracht werden.

Die deutsche Düngemittelverordnung (DüMV) lässt dazu bislang lediglich Holzkohlen aus unbehandeltem Holz und mit einem Mindestkohlenstoffgehalt (80 %) für Kultursubstrate und als Trägersubstanz für Düngemittel zu. Mit der EU-Düngemittelverordnung EU 2019/1009, welche 2023 in Kraft getreten ist, ist die Bandbreite von Ausgangsmaterialien (auch Landschaftspflegematerial) erheblich erweitert worden. Das Europäische Recht ist aber noch nicht in nationales Recht umgesetzt; es besteht auch in Bezug auf Schadstoffgrenzwerte noch keine Harmonisierung. Die EU-Verordnung korrespondiert mit der EBC-Zertifizierung, liegt bei bestimmten Grenzwerten jedoch unter dem anspruchsvolleren Standard. (Industrielle) Pflanzenkohlehersteller in Deutschland können aktuell je nach Ausgangs- und Produkteigenschaft eine Zulassung auf Grundlage der deutschen DüMV beantragen oder durchlaufen ein Konformitätsverfahren (CE-Kennzeichnung) auf Grundlage der EU-Düngemittelverordnung.

Mit der europäischen Durchführungsverordnung EU 2019/2164 wurde in 2020 auch die Möglichkeit geschaffen, Pflanzenkohle als Bodenverbesserer im Ökolandbau zu verwenden. Der Demeter-Verband erlaubt Pflanzenkohlen, die dem EBC-Standard AgroBio entsprechen, als organischen Dünger und Mulchmaterial. In der Betriebsmittelliste des Forschungsinstituts für biologischen Landbau (FiBL) sind verschiedene Pflanzenkohleprodukte aufgelistet, die für den ökologischen Landbau zugelassen sind, darunter gärtnerische Erden, die auch für den Hobbygärtner interessant sein können.

### **Emissionen mobiler Verkohlungsanlagen (Immissionsschutzrecht)**

Die 4. BImSchV enthält im Anhang 1 eine abschließende Liste genehmigungspflichtiger Anlagen, die nach Verfahrensart und Ausgangsmaterial zugeordnet werden. Steht die Verwertung von Landschaftspflegematerial (welches gemäß KrWG als Abfall definiert ist) im Vordergrund, besteht eine Zuordnung im Anhang 1 unter Nr. 8.1.1.4: Pyrolytische Verwertung von geringen, nicht gefährlichen Abfällen, wonach ein vereinfachtes immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren notwendig wäre. Davon ausgenommen sind aber Anlagen, die eine Behandlung am Entstehungsort und dort nicht länger als 12 Monate vornehmen (§ 1 (2) Satz 2 4. BImSchV). Beides trifft auf eine mobile Verkohlungsanlage zu, so dass sie genehmigungsfrei sind.

Wegen geringer Feuerungswärmeleistung (unter 1 MW) könnten für manuelle Anlagen die Regelungen der 1. BImSchV für kleine und mittlere Feuerungsanlagen gelten, wenngleich es sich eigentlich nicht um Verfeuerungsanlagen zwecks energetischer Nutzung, sondern um Verkohlungsanlagen zwecks stofflicher Verwertung handelt. Von den Anforderungen, die sich aus der 1. BImSchV hinsichtlich Emissionsgrenzwerte und Überwachung ergeben, sind allerdings wiederum solche Feuerungsanlagen ausgenommen, die nicht regelmäßig und länger als 3 Monate am selben Ort betrieben werden (§1 (3) Punkt 3 1. BImSchV). Der Gesetzgeber wird damit zuversichtlich kleinere mobile Öfen, Grille und Feuerschalen, die gelegentlich im privaten Rahmen genutzt werden, im Blick gehabt haben.

Die in dieser Studie betrachteten mobilen Jedermann-Verkohlungsgeräte, könnten darunterfallen, sofern sie nur gelegentlich genutzt werden. Damit wären sie nicht an die anspruchsvollen Emissionsgrenzwerte für Staub und Kohlenmonoxid gebunden, wie sie seit 2015 für Einzelraumfeuerungsanlagen bestehen. Wohl

aber sind sie dann an das allgemeine Verbrennungsverbot im Freien (übrigens auch Brauchtumsfeuer) gemäß § 7 Landes-Immissionsschutzgesetz in NRW gebunden, um die Nachbarschaft beziehungsweise Allgemeinheit nicht zu gefährden oder erheblich zu belästigen. Gemeinden können Einzelheiten in ordnungsbehördlichen Verordnungen bestimmen, aber auch Ausnahmen (z.B. Brauchtumsfeuer) zulassen. In der Praxis werden auf dieser Grundlage Grills, Feuerschalen und andere Feuerungsanlage mit geringer Größe und gelegentlicher Anwendung auf privatem Grundstück geduldet, zumindest solange es keine Beschwerden gibt. In jedem Fall würden dann die Anforderungen an Brennstoffe nach §3 1. BImSchV gelten, die Landschaftspflegematerial im Prinzip ausschließen, zumindest aber einen Mindesttrocknungsgrad (Feuchtegehalt < 25%) für „Brennholz“ vorsehen. Des Weiteren sind ordnungsrechtliche Mindestabstände einzuhalten, in der Regel 10 Meter zum Nachbargrundstück sowie 50 Meter zu Gebäuden und öffentlichen Wegen. Das Landesforstgesetz fordert außerdem einen Mindestabstand zum Waldrand von 100 Metern (§47 LFoG NRW). Grundsätzlich haben Betreiber Pflichten, Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass sie dem Stand der Technik entsprechen (§ 22 BImSchG).

Bereits die Studie zur mobilen Verkohlungsanlage des Carbo-Mobs aus dem Jahr 2014 hat die Schwierigkeit einer eindeutigen Zuordnung in bestehende Kategorien des Immissionsschutzrechts aufgezeigt. Der mobile Ansatz war zu dem Zeitpunkt vollkommen neu; unsere Recherchen konnten diesbezüglich keine neuen Erkenntnisse aufzeigen. In der Praxis ist eine Abstimmung mit der jeweiligen örtlichen Umweltbehörde unumgänglich. Laut Hersteller der mobilen Batch-Retorte können die anspruchsvollen Emissionsgrenzwerte für Kleinfeuerungsanlagen gemäß 1. BImSchV eingehalten werden. Mögliche Anforderungen, wie sie die 4. BImSchV an industrielle Verkohlungsanlagen stellt, können mobile Geräte grundsätzlich nicht erfüllen.

## Pflanzenkohle-Projekte mit Bio-Mehrwert

Die mobile Verkohlung in der Landschaftspflege ist – wie unsere Recherche ergeben hat – kein nachhaltiger Ansatz sein; die Einbettung von Pflanzenkohle aus Landschaftspflege in eine regionale Kreislaufwirtschaft hingegen schon. Wir zeigen hier interessante Ansätze auf.

### Freiburger Pflanzenkohle

Die erste kommunale Pyrolyseanlage entstand 2017 auf der ehemaligen Mülldeponie auf dem Eichelbuck mit Unterstützung des Landes Baden-Württemberg und der badenova. Hintergrund war, neue Energiequellen für zwei Mikrogasturbinen zu finden, die mit stetig zurückgehendem Deponiegas betrieben wurden. Grünabfälle aller Art landen heute im Umschlag- und Verwertungszentrum Eichelbuch, werden dort getrennt und unterschiedlich verwertet. [110] Aus den Hackschnitzeln der holzigen Fraktion stellt die kommunale ASF jährlich rund 80-100 Tonnen Pflanzenkohle her. Die Pflanzenkohle ist EBC zertifiziert. Kleinabnehmer können 50 Liter Säcke ab 49 Euro erwerben. [111]

### Darmstädter Pflanzenkohle

Auf dem Gelände der Kompostierungsanlage in Darmstadt-Kranichstein hat der städtische Eigenbetrieb EAD in 2022 eine recht große Anlage, beruhend auf zwei Meilern der Firma CTS in den Betrieb genommen. Nach anfänglichen Schwierigkeiten (die sich durch fehlende Bauteillieferung ergaben), können nun jährlich bis zu 4.000 Tonnen holziger Grünschnitt und Kompostierungsrückstände zu etwa 1.000 Tonnen Pflanzenkohle karbonisiert werden. Die Prozess-Abwärme fließt einerseits in den Trocknungsprozess, versorgt aber auch den gesamten Betriebshof und wird verstromt. Die Pflanzenkohle ist EBC zertifiziert, wird derzeit auf städtischen Baumscheiben und bei lokalen Garteninitiativen angewendet und gelangt seit diesem Jahr auch in den lokalen Handel. Startkapital hat die EAD von einer amerikanischen Stiftung<sup>47</sup> erhalten. [112]

### Biomehrwert-Initiative in Münster

Auch die Stadt Münster beabsichtigt, zusätzlich zu Kompostierung und Biomassevergärung, die Pflanzenkohleproduktion zu etablieren. Neben Siebresten aus der Kompostierung sollen gegebenenfalls auch Gärreste karbonisiert werden. Im Rahmen eines von der EU geförderten Projektes<sup>48</sup> wurde eine Potenzialanalyse durchgeführt. Die Projektkoordination liegt bei den Abfallwirtschaftsbetrieben Münster (avm), die derzeit Fördermöglichkeiten prüft. [114]

---

<sup>47</sup> Die Stiftung Bloomberg Philantropies hat 2022 insgesamt sieben Städte weltweit unterstützt, die den Pflanzenkohlensatz der Stadt Stockholm adaptieren; dieser Stockholmer Ansatz ging als Gewinnerkonzept eines früheren Wettbewerbs der Stiftung hervor. [113]

<sup>48</sup> Das EU-Projekt „HOOP“ sollte in acht Leuchtturmstädten mit unterschiedlichen Ansätzen aufzeigen, wie sich städtische Bioabfälle besser im Sinne einer Kreislaufwirtschaft verwerten lassen; Bioabfälle machen hier den größten Anteil am Siedlungsabfall aus, werden jedoch nur zu 40% recycelt. [115]

### **Pflanzenkohle und Fernwärme aus Bochum**

Die Bochumer Stadtwerke verfolgen nicht den Eigenbetrieb einer Karbonisierungsanlage, sondern sind eine Kooperation mit der Bau- und Betreiberfirma Novocarbo (Hamburg) eingegangen, die deutschlandweit bereits verschiedene Produktionsstätten unter dem Namen „Carbon-Removal-Parks“ errichtet hat. In Bochum soll die Prozess-Wärme in lokale Wärmenetze einfließen. Die Anlage basiert auf der PYREG Technik und ab Ende 2024 auf dem Firmengelände des städtischen Entsorgungsunternehmens entstehen und bereits ab Mitte 2025 etwa 3.300 Tonnen Pflanzenkohle jährlich produzieren. [116]

### **TerraBoGA und andere Projekte an der Freien Universität Berlin**

In 2013 wurde im Botanischen Garten Berlin eine kleinere, stationäre Pyrolyseanlage errichtet, um vor Ort Grünschnitt zu verkohlen und Pflanzenkohle zu nutzen. Mit diesem Projekt verfolgten Wissenschaftler der Freien Universität Berlin (AG Geoökologie) die modellhafte und praxisnahe Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft. [117] Die Anlage ist aktuell aufgrund von Erneuerungsmaßnahmen außer Betrieb. In einem darauffolgenden Projekt BodenBerufsBildung wurden weitergehende Überlegungen zum klimafreundlichen Gärtnern angestellt und umfangreiches Umweltbildungsmaterial erstellt. [108] [121] Im aktuellen Projekt CarbonStoreAge untersucht das Fachgebiet das Potenzial von Stadtböden in Berlin als C-Senke; ein Schwerpunkt liegt auf Baumscheiben mit pflanzenkohlebasierten Substraten. [118]

### **Landwirtschaft 5.0**

Dahinter verbirgt sich ein „Think Tank“ von mittlerweile mehr als 50 Projektpartnern: wissenschaftliche Einrichtungen, Firmen aus dem Bereich erneuerbare Energien, vor allem aber auch Landwirte mit Demonstrationsbetrieben. Das Projekt wird an der Hochschule Offenburg koordiniert. Es soll praxistaugliche Lösungen für ein Zusammenwirken von Klimaschutz, Landwirtschaft und Biodiversität aufzeigen, und zwar beruhend auf: Biodiversitäts- und Biomassestreifen, Pflanzenkohle, Elektromobilität und Agro-Photovoltaik. Angestoßen mit einem Crowdfunding, wurden zwischenzeitlich 10 Millionen öffentlicher und private Fördergelder akquiriert, welche in insgesamt acht Projekte fließen. Im Projekt „Landgewinn“ liegt der Fokus auf Dekarbonisierung in der Landwirtschaft mittels Pflanzenkohle und Elektrifizierung. Das Projekt „PK-BiG“ untersucht den Einsatz von Pflanzenkohle im Gemüseanbau. Es werden auch neue Kommunikationskonzepte erprobt. [119]

### **Klimapatenschaft des Netzwerks Blühende Landschaft**

Das Netzwerk wurde 2003 durch den Verein Mellifera mit dem Ziel gegründet, Blühstreifen in der Kulturlandschaft zu fördern: unter anderem wurde die Saatgutmischung „Blühende Landschaft“ für den landwirtschaftlichen Einsatz entwickelt. Seit etwa 2008 liegt der Fokus auf der Gesamtheit Pflanzen besuchender Insekten und Biodiversität im Allgemeinen. Im neuen Projekt „Klimapate“ geht es um die Verknüpfung von Pflanzenkohle mit biodiversitätsfördernden Maßnahmen. Projektgebundene Spenden über das Klimapatenprogramm fließen in den Kauf von Pflanzenkohle und dessen Einbringung in Blühstreifen. Das Netzwerk betreibt bekanntermaßen gute Öffentlichkeitsarbeit (siehe anschauliche Info-Grafik zu Pflanzenkohle) und ist mit verschiedenen Akteuren der Pflanzenkohle-Szene vernetzt. [120]



## Pflanzenkohle in der Bildung für nachhaltige Entwicklung

„In jeder Hand voll Pflanzenkohle ist ein gutes halbes Kilo atmosphärischer Kohlenstoff gebunden. Bringen wir diesen Kohlenstoff in unseren Boden, können wir ihn langfristig speichern und damit einen Beitrag zum Klimaschutz leisten.“ Mit diesem Eingangs-Statement leiten wir zukünftig unsere neue Veranstaltung für Erwachsene (Zielgruppe Hobbygärtner) ein und möchten mit dem „Begreifen“ von Kohlenstoff, der aus der Atmosphäre stammt, das Thema Pflanzenkohle weiter in die Gesellschaft tragen.<sup>49</sup> Dies soll in einem Praxis-Workshop zur Pflanzenkohle-Herstellung am Kon-Tiki geschehen. Im gemeinsamen Austausch werden die Vor- und Nachteile von Pflanzenkohle, ihre Bedeutung für Klimaschutz- und -anpassung sowie Anwendungsmöglichkeiten im Garten erörtert. Auch die Relevanz von Abwärme-Nutzung wird durch gemeinsames Kochen erlebbar gemacht.<sup>50</sup>



Ziel ist, Teilnehmende dazu zu ermutigen, Pflanzenkohle im eigenen Garten auszuprobieren und sie im Klimagärtnern zu bestärken. Das Verkohlungsgerät kann an Interessierte ausgeliehen werden. Im Rahmen der praktischen Vorführung wird aber auch deutlich, dass für die richtige Bedienung des Gerätes Erfahrung und hoher Arbeitsaufwand notwendig sind; nicht von ungefähr ist die Köhlerei eine alte Handwerkskunst.

Abbildung: Eine Handvoll Pflanzenkohle [118]

So mag das Resümee der Umweltbildungsveranstaltung, aber auch dieser Studie lauten: Überlassen wir die Pflanzenkohleproduktion – zumindest in größerem Maßstab – dem modernen Köhler mittels nachhaltiger Pyrolyseanlagen, sorgen wir aber alle dafür, dass „Kohle“ nicht verbrannt wird, sondern in (gärtnerische) Böden gelangt und fossiler Kohlenstoff im Boden verbleibt.

<sup>49</sup>: Für den Erwerb eines kleineren Kon-Tikis und die Entwicklung eines BNE-Veranstaltungsmoduls inklusive Anschauungsmaterial haben wir zusätzliche Mittel durch die Stiftung Umwelt und Entwicklung NRW erhalten.

<sup>50</sup>: Das Veranstaltungsmodul kann bei uns angefragt werden. Weitere hochwertige Bildungsmaterialien sind u.a. in der Bodenberufsbildung der Freien Universität Berlin abrufbar. [121]

## Anhang

### Quellen und weiterführende Literatur

#### Pflanzenkohle – Grundlegendes

- [1] EBC (2012-2023): European Biochar Certificate – Richtlinien für die Zertifizierung von Pflanzenkohle', Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland (Version 10.3G vom 5. April 2023) [https://www.carbon-standards.com/docs/transfer/36\\_004DE.pdf](https://www.carbon-standards.com/docs/transfer/36_004DE.pdf)
- [2] EBC (2024): European Biochar Certificate – Positivliste zulässiger Biomassen zur Herstellung von Pflanzenkohlen (letzte Aktualisierung 20.062024) <https://www.carbon-standards.com/docs/transfer/4000095DE.pdf>
- [3] Quicker, P. / Weber, K. 2016): Einführung / Begrifflichkeiten in: Quicker, P. / Weber, K. (Hrsg. 2016): Bio-kohle. Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Biomassekarbonisaten, Wiesbaden
- [4] Glaser, B. (2021): Terra Preta - Entstehung und Rolle für Klimaschutz und Stoffkreisläufe in: Lozan, J.L./ Breckle, S.-W. / Graßl, H. / Kasang, D. (Hrsg. 2021): Warnsignal Klima: Boden und Landnutzung. S. 380-387, Wissenschaftliche Auswertungen in Kooperation mit GEO, Hamburg. [www.warnsignal-klima.de](http://www.warnsignal-klima.de) DOI:10.25592/warnsignal.klima.boden-landnutzung.53
- [5] Lehmann, J. / Joseph, St. (2015): Biochar for environmental management: An introduction in: Lehmann, J. / Joseph, St. (2015): Biochar for Environmental Management. Science, Technology and Implementation. 2. Auflage
- [6] Nitsch, H. (2023): Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft: Chancen und Herausforderungen. Institut für Ländliche Strukturforchung IFLS. [https://www.ifls.de/fileadmin/user\\_upload/Pflanzenkohle\\_Bericht\\_IFLS\\_Rentenbank.pdf](https://www.ifls.de/fileadmin/user_upload/Pflanzenkohle_Bericht_IFLS_Rentenbank.pdf)
- [7] Gavrilă Trif-Tordai, Ioana Ionel (2015): Van-Krevelen-Diagramm für verschiedene feste Brennstoffe. CC BY-SA 3.0 via wikipedia
- [8] Sanei, H. et. al. (2024): Assessing biochar's permanence: An inertinite benchmark in: International Journal of Coal Geology Volume 281, 5 January 2024; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166516223002276?via%3Dihub>
- [9] Freie Universität Berlin (2017-2019): Die Herstellung von Pflanzenkohle. Prozess, Anlagen, Produkte, Qualitätskontrolle. Bildungsmaterialien im Rahmen des Projektes BodenBerufsBildung, CC BY-NC, <https://www.geo.fu-berlin.de/geog/fachrichtungen/physgeog/geooekologie/medien/DBU-Bildungsmaterialien.html>
- [10] Heidas (2004): Brennendes Streichholz, CC BY-SA 3.0 via wikicommons
- [11] Carbon Standards International AG, Frick/ Schweiz: Website <https://www.carbon-standards.com/de/home>
- [12] Umweltbundesamt (UBA 2016): Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe. Umweltschädlich! Giftig! Unvermeidbar?
- [13] PYREG (2023): Pyrolyse eliminiert nicht nur PFAS aus Klärschlämmen, die Biochar absorbiert zudem PFAS in kontaminierten Böden, <https://pyreg.com/de/pyrolyse-eliminiert-nicht-nur-pfas-aus-klaerschaemmen-sondern-absorbiert-auch-pfas-in-kontaminierten-boeden/>

#### Historische Einordnung in die Kulturlandschaft und heutige Akteure

- [14] Glaser, B. (2021): Terra Preta - Entstehung und Rolle für Klimaschutz und Stoffkreisläufe in: Lozan, J.L./ Breckle, S.-W. / Graßl, H. / Kasang, D. (Hrsg. 2021): Warnsignal Klima: Boden und Landnutzung. S. 380-387,

Wissenschaftliche Auswertungen in Kooperation mit GEO, Hamburg. [www.warnsignal-klima.de](http://www.warnsignal-klima.de).

DOI:10.25592/warnsignal.klima.boden-landnutzung.53

- [15] Schmidt HP. / Taylor, P. (2014): Kon-Tiki - Die Demokratisierung der Pflanzenkohleproduktion, in: Ithaka-Journal 2014 Arbaz, Schweiz, pp. 450-454, <https://ithaka-journal.net/de/ct/151-kon-tiki-die-demokratisierung-der-pflanzenkohleproduktion>
- [16] Schmidt, H.-P. (2011): Wege zu Terra Preta – Aktivierung von Pflanzenkohle, in Ithaka-Journal 2011 Arbaz, Switzerland, pp. 450-454, <https://www.ithaka-journal.net/de/ct/123-wege-zu-terra-pret-a-aktivierung-von-pflanzenkohle?lang=en>
- [17] Dunst, G. / Sonnenerde (2021): Schwarzerde – Terra Preta selber herstellen. <https://www.sonnenerde.at/de/erdgefluester/detail/schwarzerde-terra-pret-a-selber-herstellen>
- [18] Europäischer Köhlerverband, Website: Grundlagen <https://www.europkoehler.com/koehler-grundlagen.cfm>
- [19] Sager, Ch. (2016): Pyrolytische Karbonisaterzeugung / Urprünge der Köhlerein in: Quicker, P. / Weber, K. 2016 Biokohle. Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Biomassekarbonisaten, Wiesbaden
- [20] Biologische Station Rhein-Berg (2018-2019): Wir machen Kohle, in: LVR-Fachbereich Regionale Kulturarbeit (Hrsg. 2021) LVR-Netzwerk Kulturlandschaft. Band 4 (2016-2020). Köln
- [21] Schmidt, H.-P. (2022): Biochar zur Rettung des Klimas. Vortrag auf dem Biochar Symposium, <https://www.youtube.com/watch?v=2NFQRWRO33U>
- [22] Huber, M. (2020): Grüner Asphalt mit Pflanzenkohle. Vortrag auf dem Biochar Forum 2020 des Fachverbandes German Biochar, <https://german-biochar.org/marcel-huber-gruener-asphalt-mit-pflanzenkohle/>
- [23] Deutsche Schreberjugend: Projekt Karbonara – Feuer & Flamme fürs Klima. [www.karbonara.de](http://www.karbonara.de)
- [24] Scheub, Ute / Schwarzer, Stefan (2017): Die Humusrevolution. Wie wir den Boden heilen, das Klima retten und die Ernährungswende schaffen, oekom Verlag
- [25] Bates, Albert / Draper, Kathleen (2021): Cool Down. Mit Pflanzenkohle die Klimakrise lösen? oekom Verlag
- [26] Das Erste / Wissen vor acht – Erde (06.12.2023): Kohle gegen den Klimawandel <https://www.ardmediathek.de/video/wissen-vor-acht-erde/kohle-gegen-den-klimawandel/das-erste/Y3JpZDovL2Rhc2Vyc3RlLm-RlL3dpc3NlbiB2b3lgYWwNodCAtIGVvZGUvMjAyMy0xMi0wNi8xOS00NS1NRVo>
- [27] WDR/ planet schule (12.03.2024): CO2 in Kohle speichern – Kühlung für die Erde <https://www.ardmediathek.de/video/planet-schule/co2-in-kohle-speichern-kuehlung-fuer-die-erde/wdr/Y3JpZDovL3N3ci5kZS9hZXgvczE5MTk3OTU>
- [28] Fachverband German Biochar mit eigenem Youtube-Kanal: <https://www.youtube.com/@germanbiochar>
- [29] International Biochar Initiative (IBI): Website <https://biochar-international.org/>
- [30] Netzwerk Blühende Landschaft: Projekt Pflanz Kohle <https://bluehende-landschaft.de/projekte/pflanz-kohle/>
- [31] Terra Preta Förderverein: Website des Vereins: <https://www.fv-terrapreta.de/>

### Produktion von Pflanzenkohle

- [32] European Biochar Industry Consortium (EBI 2024): Market Report 2023/2024 <https://old.biochar-industry.com/2024/european-biochar-market-report-2023-2024-available-now/>
- [33] Anlagenhersteller, beispielhaft:  
PYREG, Dörth: <https://pyreg.com/de/>.

- CTS Carbon Technik Schuster, Neresheim: <https://ct-schuster.de/>
- NGE, Feldkirchen/ Österreich: <https://nge.at/>
- SynCraft, Schwaz / Österreich: [www.syncraft.at/](http://www.syncraft.at/)
- [34] Anlagenbetreiber, beispielhaft
- Novocarbo, Hamburg: <https://www.novocarbo.com/de/>
- Bochumer Stadtwerke (2024): Grüne Fernwärme durch Pflanzkohle: Novocarbo kooperiert mit Stadtwerken Bochum. <https://www.stadtwerke-bochum.de/privatkunden/ihre-stadtwerke/presse-medien/presse-meldung/gruene-fernwaerme-durch-pflanzenkohle-novocarbo-kooperiert-mit-stadtwerken-bochum>
- [35] Pflanzkohlevertrieb, beispielhaft:
- Carbuna AG, Memmingen: <https://carbuna.com/>
- KeepItGrün, Bochum: <https://keep-it-gruen.shop/>
- [36] Herstellung Pflanzkohle basierte Erden und Substrate, beispielhaft:
- Sonnenerde GmbH, Riedlingsdorf Österreich: <https://www.sonnenerde.at/de/>
- [37] Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI2019): VDI 3933 Emissionsminderung – Erzeugung von Biomassekarbonisaten <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-3933-emissionsminderung-erzeugung-von-biomassekarbonisaten>
- [38] Fachverband German Biochar: Manuelle Anlage <https://german-biochar.org/pflanzenkohle/manuelle-anlagen/>
- [39] Söhlmetall, Obertaufkirchen: <https://www.soehlmetall-shop.de/p/kon-tiki-50>
- [40] Egos, Bottrop: <https://www.pflanzenkohle24.de/kon-tiki/>
- [41] Prodana, Neumarkt: <https://www.prodana.de/kon-tiki>
- [42] Biologische Station Haus Bürgel/ Strunk, B. (2024): Kon-Tiki im Garten von Haus Bürgel
- [43] Schmidt HP. / Taylor, P. (2014): Kon-Tiki - Die Demokratisierung der Pflanzkohleproduktion, in: Ithaka-Journal 2014 Arbaz, Schweiz, pp. 450-454, <https://ithaka-journal.net/de/ct/151-kon-tiki-die-demokratisierung-der-pflanzenkohleproduktion>
- [44] Cornelissen G. et. al. (2016): Emissions and Char Quality of Flame-Curtain "Kon Tiki" Kilns for Farmer-Scale Charcoal/Biochar Production. PLoS ONE 11(5) <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0154617>
- [45] Umweltbundesamt (UBA 2024): Pflanzkohle möglichst umweltfreundlich kaufen oder herstellen. Umweltbundesamt <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/garten-freizeit/pyrolyseoefen-zur-herstellung-von-pflanzenkohle#gewusst-wie>
- [46] Gutzweiler, St. (2011): TLUD-Pyrolysegeräte zur Pflanzkohleherstellung. [http://www.kaskad-e.ch/pdfs/A3-Poster\\_TLUD-Verfahren.pdf](http://www.kaskad-e.ch/pdfs/A3-Poster_TLUD-Verfahren.pdf)
- [47] El Carbonero: Der Selbstbau-Pyrolysekoher <https://el-carbonero.de/>
- [48] Sagawe & Sohn GbR, Hameln: Chantico Terrassenofen <https://chantico-terrassenofen.de/>
- [49] Kaskad-E / Gutzweiler St., Basel/ Schweiz: PyroCook [www.kaskad-e.ch](http://www.kaskad-e.ch)
- [50] SPSC GmbH, Ottobrunn: Retorten für die Biokohleproduktion <https://www.sp-sc.de/retorten-fur-die-biokohleproduktion/>
- [51] Österreichisches Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BKUEMIT Hrsg. 2024): Pyrolysetechnologien in Europa; Berichte aus Energie- und Umweltforschung 14/2024. Wien [https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw\\_pdf/schriftenreihe/schriftenreihe-2024-24-pyrolysetechnologien-europa.pdf](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/schriftenreihe/schriftenreihe-2024-24-pyrolysetechnologien-europa.pdf)

- [52] TakaChar: Tavator
- [53] BioAgriGroup, Kapstadt: Biolyser
- [54] Exeter Charcoal, Großbritannien: Exeter Retort
- [55] Biomacon GmbH, Rehburg: Farm Edition, [www.biomacon.com/farm-edition](http://www.biomacon.com/farm-edition)
- [56] Pyronet GmbH, Basel / Schweiz: [www.pyronet.ch/](http://www.pyronet.ch/)
- [57] Guntamatic Heiztechnik GmbH, Bruck/ Österreich: [www.guntamatic.com/heizungen/pflanzenkohleheizung/](http://www.guntamatic.com/heizungen/pflanzenkohleheizung/)

### **Anwendungsbereiche von Pflanzenkohle**

- [58] Schmidt, H.-P. et. al. (2021): Pflanzenkohle in der Landwirtschaft. Hintergründe zur Düngertilgung und Potentialabklärung für die Schaffung von Kohlenstoff-Senken (Agroscope Science, 112). [https://cdn1.site-media.eu/images/document/5507464/PflanzenkohleinderLandwirtschaft\\_Agroscope-ScienceNr.112\\_2021\\_Leifeldetal.pdf](https://cdn1.site-media.eu/images/document/5507464/PflanzenkohleinderLandwirtschaft_Agroscope-ScienceNr.112_2021_Leifeldetal.pdf)
- [59] Schmidt, H.-P. et. al. (2021): Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. GCB Bioenergy, 13,1708– 1730. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12889>
- [60] Nitsch, H. (2023): Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft: Chancen und Herausforderungen. Institut für Ländliche Strukturforchung IFLS. [https://www.ifls.de/fileadmin/user\\_upload/Pflanzenkohle\\_Bericht\\_IFLS\\_Rentenbank.pdf](https://www.ifls.de/fileadmin/user_upload/Pflanzenkohle_Bericht_IFLS_Rentenbank.pdf)
- [61] Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (o.A.): Pflanzenkohle: Das Klima schützen und Böden verbessern <https://www.praxis-agrar.de/pflanze/ackerbau/pflanzenkohle>
- [62] Ökolandbau (o.A.): Pflanzenkohle: Einsatzmöglichkeiten im Öko-Landbau. <https://www.oekolandbau.de/bio-in-der-praxis/oekologische-landwirtschaft/oekologischer-pflanzenbau/duengung-und-naehrstoffmanagement/bodenverbesserer/pflanzenkohle-einsatzmoeglichkeiten-im-oeko-landbau/>
- [63] Carbuna AG (o.A.): Amino Terra Substrat (ATS) Pflanzenkohlebasierter N-K Dünger <https://carbuna.com/products/carbuna-ats-2-n-pflanzenkohle-nk-duenger-2-3-2-0>
- [64] Schmidt, Hans-Peter; Kammann, Claudia; Gerlach, Achim; Gerlach, Henning (2016): Der Einsatz von Pflanzenkohle in der Tierfütterung. In: Ithaka-Journal 2016 Arbaz, Switzerland, pp. 450-454, [www.ithaka-journal.net/de/ct/158](http://www.ithaka-journal.net/de/ct/158)
- [65] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL 2022): Torffrei gärtner, Klima schützen - Die Torfminderungsstrategie des BMEL <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/torfminderungsstrategie.html>
- [66] Industrieverband Garten (IVG) e.V. (2024): Ausgangsstoffe für Substrate. Welche Ausgangsstoffe für Substrate und Erden verwendet werden (abgerufen am 22.10.24) <https://erden-substrate.info/substratausgangsstoffe/ausgangsstoffe-fuer-substrate/>
- [67] Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW 2015): Torf und Torfersatzprodukte im Vergleich: Eigenschaften, Verfügbarkeit, ökologische Nachhaltigkeit und soziale Auswirkungen <https://www.zhaw.ch/storage/lsm/institute-zentren/iunr/oekobilanzierung/eymann-2015-lca-torf.pdf>
- [68] Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW 2019): Erweiterung der Studie <https://digitalcollection.zhaw.ch/server/api/core/bitstreams/1d4cb217-8a87-4c19-8ffc-bc04efd5f0d0/content>
- [69] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2024): Produkt-Datenbank u.a. zu torffreien Erden und Torfersatzstoffen, darunter auch etliche Substrate mit Pflanzenkohle. <https://www.die-nachwachsende-produktwelt.de/fuer-verbraucher/produktwelt/garten/torffreie-erden-und-torfersatzstoffe>

- [70] Verora, Edlibach/ Schweiz <https://www.verora.ch/>
- [71] Sonnenerde, Riedlingsdorf/ Österreich <https://www.sonnenerde.at/de/>
- [72] Palaterra Hengstbacherhof <https://klimafarmer.de/pages/hof-verkauf-palaterra>
- [73] Sonnenerde (2020): Stadtbaumpflanzung der Zukunft. Schwammstadt, Stockholmer Baumpflanzsystem <https://www.youtube.com/watch?v=p7H4d9zBfN4>
- [74] Tomas Stoisser (Stadt Graz 2018): Erfahrungen mit dem Stockholm-System in Graz [https://boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H87000/H87400/Startseite/News\\_Container/2018\\_Symposium-Regenwasser/B2\\_02\\_STADLER\\_STOISSER\\_Praesentation\\_20181107.pdf](https://boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H87000/H87400/Startseite/News_Container/2018_Symposium-Regenwasser/B2_02_STADLER_STOISSER_Praesentation_20181107.pdf)
- [75] Elisa Heißenberger (relevant 2024): Schwammstadt: Wo Bäume glücklich wachsen, <https://www.relevant.news/schwammstadt-wo-baeume-gluecklich-wachsen/>
- [76] Hochschule Geisenheim (Institut für angewandte Ökologie) (2023): Black2GoGreen – Plattform für Wissenstransfer, Kompetenzaufbau & Praxiseinsatz zur Minderung des Klimawandels, <https://black2gogreen.com/>
- [77] Stockholms stad (2017), Deutsche Übersetzung durch Carbuna AG (2024): Pflanzgruben in der Stadt Stockholm – ein Handbuch <https://carbuna.com/pages/handbuch-stockholm>
- [78] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL 2023): Überarbeitung der FLL Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 1 + 2 <https://www.fll.de/ueberarbeitung-der-fll-empfehlungen-fuer-baumpflanzungen-teil-1-2/>

### Pflanzenkohle und das Klima

- [79] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2018): 1,5 ° C Globale Erwärmung. IPCC Sonderbericht (SR1.5, 2018) – Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (deutschen Übersetzung [https://www.de-ipcc.de/media/content/SR1.5-SPM\\_de\\_barrierefrei.pdf](https://www.de-ipcc.de/media/content/SR1.5-SPM_de_barrierefrei.pdf)
- [80] Peters, G. (2022): Stylised pathways to “well below 2° C” <https://cicero.oslo.no/en/articles/stylised-pathways-to-well-below-2c>
- [81] Luderer, G./ Kost, Ch. / Sörgel, D. (Hrsg. PIK 2021): Ariadne-Report - Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045. Szenarien und Pfade im Modellvergleich [https://publications.pik-potsdam.de/rest/items/item\\_26056\\_9/component/file\\_29864/content](https://publications.pik-potsdam.de/rest/items/item_26056_9/component/file_29864/content)
- [82] Merfort, A. / Stevanovic, M. / Strefler, J. (Hrsg. PIK, 2023): Kopernikus-Projekt Ariadne - Energiewende auf Netto-Null: Passen Angebot und Nachfrage nach CO<sub>2</sub>-Entnahme aus der Atmosphäre zusammen? [https://ariadneprojekt.de/media/2023/01/Ariadne-Analyse\\_CO2-Entnahme\\_Januar2023.pdf](https://ariadneprojekt.de/media/2023/01/Ariadne-Analyse_CO2-Entnahme_Januar2023.pdf)
- [83] Kamman, C. (2016): Klimawandel und Kohlenstoffkreislauf in: Quicker, P. / Weber, K. (Hrsg. 2016): Biokohle. Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Biomassekarbonisaten, Wiesbaden
- [84] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2018): Special Report: Global Warming of 1,5 ° C chapter 4.3.7 Carbon Dioxide Removal (CDR) Figure 4.2 <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/chapter-4/>
- [85] European Biochar Industry Consortium e.V. (EBI 2020): EBI Whitepaper. Mit Pflanzenkohle basierten Kohlenstoffsenken dem Klimawandel entgegenwirken
- [86] Österreichischer Verein für Biomassekarbonisierung (ÖBIKA 2024): Dänemark veröffentlicht neue Pyrolysestrategie, um die Einführung von Biochar zu beschleunigen <https://oebika.com/2024/11/25/danemark-veroeffentlicht-neue-pyrolysestrategie-um-die-einfuehrung-von-biochar-zu-beschleunigen/>
- [87] Bauböck, R. / Karpenstein-Machan, M. (2021): Bioenergiedörfer im Wandel, in: Berichte über Landwirtschaft. Band 99, Ausgabe 3, herausgegeben vom BMEL: <https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/385>
- [88] Heinrich, Karin / Heinrich, Steffen: Vom Abfall zum Gartengold: Klärschlammveredlung mit Pyrolyse. 2022

- [89] Österreichisches Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität; Innovation und Technologie (BMK 2022): Entwicklung und Potenzial von Biokohle. Wien [https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:5c08fb41-31c2-464f-97d4-95a8928de58a/Biokohle\\_final.pdf](https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:5c08fb41-31c2-464f-97d4-95a8928de58a/Biokohle_final.pdf)
- [90] Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ 2023): Biomassepotenziale aus Abfällen und Reststoffen [https://www.dbfz.de/fileadmin/user\\_upload/Referenzen/Statements/StatusQuo\\_Abfall\\_und\\_Reststoffpotenziale.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Statements/StatusQuo_Abfall_und_Reststoffpotenziale.pdf)
- [91] Umweltbundesamt (Hrsg. 2021): Infopapier zur Marktanalyse Freiwillige Kompensation 2021 [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc\\_22-2022\\_infopapier\\_zur\\_marktanalyse\\_freiwillige\\_kompensation\\_2021.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_22-2022_infopapier_zur_marktanalyse_freiwillige_kompensation_2021.pdf)
- [92] Umweltbundesamt (UBA) Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostensätze 2020 [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-12-21\\_methodenkonvention\\_3\\_1\\_kostensaetze.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-12-21_methodenkonvention_3_1_kostensaetze.pdf)
- [93] Schmidt HP, Kammann C, Hagemann N, Kohlenstoff-Senken fürs Klima, Ithaka-Journal 2021 Arbaz, Switzerland, pp. 450-454, <https://ithaka-journal.net/de/ct/171-kohlenstoff-senken-fuers-klima>
- [94] Quantum Commodity Intelligence Website (10/2023: Analyseis: Long-term biochar carbon price already below \$ 100/t CO<sub>2</sub>e, say developpers: <https://www.qcintel.com/carbon/article/analysis-long-term-biochar-carbon-price-already-below-100-tco2e-say-developers-17670.html>
- [95] WWF (2024): Pressestatement zum Carbon Removal Certification Framework (CRCF): Ablasshandel fürs grüne Gewissen <https://www.wwf.de/2024/februar/pressestatement-zum-carbon-removal-certification-framework-crcf>
- [96] Ithaka Institut, Arbaz/ Schweiz (2024): Global Biochar C-Sink Standar. Version 3.1. <https://www.carbon-standards.com/docs/transfer/4000039EN.pdf>
- [97] Ithaka Institut, Arbaz/ Schweiz (2024) Global Artisan C-Sink. Guidelines for Carbon Sink Certification for artisan biochar production; Version 2.1 <https://www.carbon-standards.com/docs/transfer/4000000.pdf>
- [98] Warm Heart Foundation (o.A.): Projekt BiocharLife <https://www.warmheartworldwide.org/biochar-training-resources.html> & <https://www.biochar.life/warmheart>
- [99] Swiss Re Website (03/2024): Swiss Re's approach to using carbon certificates <https://www.swissre.com/sustainability/sustainable-operations/carbon-certificates.html>

### **Mobiler Verkohlungsansatz in der Landschaftspflege?**

- [100] Holweg, C. (2014): CarboMob: mobile Verkohlung für Restschnittgut aus Landschaftspflege, Wein- und Obstbau, Schlussbericht: [https://www.badenova.de/mediapool/media/dokumente/unternehmensbereiche\\_1/stab\\_1/innovationsfonds/abschlussberichte/2011\\_10/2011-12\\_AB\\_mobile\\_Verkohlung.pdf](https://www.badenova.de/mediapool/media/dokumente/unternehmensbereiche_1/stab_1/innovationsfonds/abschlussberichte/2011_10/2011-12_AB_mobile_Verkohlung.pdf)
- [101] Holweg, C. (2014): Biotop-Pflege durch Biomasse-Verkohlung. Ein Weg zur Vermeidung von Umweltschäden durch offene Verbrennung? Projektbericht; <https://lnv-bw.de/wp-content/uploads/2014/08/Biomasse-Verkohlung.pdf>
- [102] Black is Green Pty. Ltd. (2010): About BiG
- [103] Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2018): Umrechnungsfaktoren für die Abfallstatistiken, [https://www.statistik-bw.de/DatenMelden/Formularservice/33\\_A\\_Umrechnungsfaktoren.pdf](https://www.statistik-bw.de/DatenMelden/Formularservice/33_A_Umrechnungsfaktoren.pdf)
- [104] Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW Hrsg., 2021): Landschaftspflegematerial – Handlungshilfe zur rechtssicheren Erfassung, Aufbereitung und hochwertigen Verwertung, 1. Auflage, Karlsruhe, <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10221>

- [105] Biologische Station Haus Bürgel (2020): Landschaftspflegematerial aus Ehrenamtseinsätzen
- [106] Dehner (2024) Spezialerde <https://www.dehner.de/de/de/product/moola-pflanzenkohle-M200010432/>
- [107] Biologische Station Haus Bürgel (2024): Geschätzte Energieausbeute, Eigene Darstellung auf [3, S. 200] und [107, S. 116]
- [108] Freie Universität Berlin (2020): Verwertung von Gemüse- und Grünabschnittabfällen zur Herstellung von Pflanzkohlesubstraten für ein klimafreundliches Gärtnern. Abschlussbericht. [https://opac.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-32783\\_01-Hauptbericht.pdf](https://opac.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-32783_01-Hauptbericht.pdf)

### Rechtliche Rahmenbedingungen

- [109] DVL (Deutscher Verband für Landschaftspflege e.V.) 2024: Verwertung von Grüngut aus der Landschaftspflege, Nr. 31 der DVL-Schriftenreihe „Landschaft als Lebensraum)

### Pflanzkohle-Projekt mit Biomehrwert

- [110] Ingenieurbüro Roth & Partner (2020): Verwertung biogener Abfälle zur Erzeugung stofflicher, thermischer und elektrischer Energieträger und deren Nutzung <https://www.badenova.de/downloads/unternehmen/engagement/innovationsfonds-downloads/unternehmensbereiche/stab/innovationsfonds/abschlussberichte/2014/2014-06-abschlussbericht-asf-biogener-abfaelle.pdf>
- [111] Abfallwirtschaft und Stadtreinigung Freiburg (ASF o.A.): zertifizierte Pflanzkohle jetzt auch im Verkauf. <https://www.abfallwirtschaft-freiburg.de/de/news/Pflanzkohle.php>
- [112] Eigenbetrieb für kommunale Aufgaben und Dienstleistungen Darmstadt (EAD o.a.): Darmstädter Pflanzkohle. Unser gemeinsamer Beitrag zum Klimaschutz <https://pflanzkohle-darmstadt.de/>, Prozessbeschreibung Karbonisierung: [https://pflanzkohle-darmstadt.de/wp-content/uploads/2022/08/220805-EAD-Prozessbeschreibung\\_01.pdf](https://pflanzkohle-darmstadt.de/wp-content/uploads/2022/08/220805-EAD-Prozessbeschreibung_01.pdf)
- [113] Bloomberg Philanthropies (2022): Mayors Challenge <https://www.bloomberg.org/press/bloomberg-philanthropies-announces-mayors-challenge-winning-project-to-combat-climate-change-will-spread-to-seven-global-cities/>
- [114] Abfallwirtschaftsbetriebe Münster (avm 2022) [https://ifat.vku.de/fileadmin/user\\_upload/Kampagnenseiten/IFAT/Praesentationen/Dienstag/09\\_Di\\_13.30-14.00\\_Uhr\\_HOOP-Muenster\\_20220531.pdf](https://ifat.vku.de/fileadmin/user_upload/Kampagnenseiten/IFAT/Praesentationen/Dienstag/09_Di_13.30-14.00_Uhr_HOOP-Muenster_20220531.pdf)
- [115] Abfallwirtschaftsbetriebe Münster (avm 2024): Biomehrwert-Initiative der Stadt Münster im Rahmen des EU geförderten Projektes HOOP: <https://hooproject.eu/wp-content/uploads/2024/09/HOOP-D8.4-National-action-manuals-for-local-uptake-and-replicability-Germany.pdf>
- [116] Stadtwerke Bochum (2024): Grüne Fernwärme durch Pflanzkohle: Novocarbo kooperiert mit Stadtwerken Bochum <https://www.stadtwerke-bochum.de/privatkunden/ihre-stadtwerke/presse-medien/pressemeldung/gruene-fernwaerme-durch-pflanzkohle-novocarbo-kooperiert-mit-stadtwerken-bochum>
- [117] Fachbereich Geowissenschaften / Bodenberufsbildung der Freien Universität Berlin (2015): TerraBoGa <https://www.geo.fu-berlin.de/v/ag-geooekologie/terraboga/index.html>
- [118] TAZ (2023): Beachtliches Klimapotenzial <https://taz.de/Experte-ueber-Pflanzkohle/!5932353/>
- [119] Hochschule Offenburg (o.A.) Landwirtschaft 5.0: <https://fyi-landwirtschaft5.org/#Konzept> Projekt „Landgewinn“: <https://fyi-landgewinn.de/ueber-fyi-landgewinn/> Projekt „PK-BiG“ <https://fyi-pk-big.de/unsere-forschung/>



[120] Netzwerk Blühende Landschaft: Was ist Pflanzenkohle und wozu ist sie gut? <https://bluehende-landschaft.de/pflanzenkohle/>

Klimapatenschaften <https://bluehende-landschaft.de/handlungsempfehlung/klimapate-klimawandel-artenvielfalt/>

### **Ansatz Bildung für nachhaltige Entwicklung**

[121] Fachbereich Geowissenschaften / Bodenberufsbildung der Freien Universität Berlin (Hrsg. 2019): Pflanzenkohle – Bildungsmaterial für die berufliche Bildung [www.geo.fu-berlin.de/v/ag-geoökologie/bodenberufsbildung/bildungsmaterialien/index.html](http://www.geo.fu-berlin.de/v/ag-geoökologie/bodenberufsbildung/bildungsmaterialien/index.html)

## **Glossar und Abkürzungsverzeichnis**

- BCR *Biochar Carbon Removal*  
bezeichnet die CO<sub>2</sub>-Entnahme und Speicherung über Pyrolyse/ Pflanzenkohle
- BECCS *Bioenergy with carbon capture and storage*  
bezeichnet die Abscheidung von CO<sub>2</sub>, welches bei der Erzeugung von Bioenergie entweicht und in geologischen Formationen gespeichert wird
- CCS *Carbon Capture and Storage*  
bezeichnet die Abscheidung von CO<sub>2</sub> bei industriellen Anlagen, welches in tiefliegende geologischen Gesteinsschichten gespeichert wird
- CDR *Carbon Dioxide Removal*,  
bezeichnet die Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre; es gibt verschiedene CDR-Methoden
- CO<sub>2</sub>-Sequestrierung  
bezeichnet die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung, z.B. im Boden aber in Baustoffen
- DACCS *Direct Air Carbon Capture and Storage*  
bezeichnet die Abscheidung von CO<sub>2</sub> direkt aus der Luft und Speicherung in geologischen Formationen
- EBC *European Biochar Certificate*  
freiwilliger Standard zur Zertifizierung von Pflanzenkohle
- EU-ETS *EU Emissions Trading System*  
Europäischer Emissionshandel
- Gt Gigatonne, entspricht einer Milliarde (1.000.000.000) Tonnen
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change,  
Weltklimarat mit Sitz in Genf; dieser wurde 1988 gegründet
- kW Kilowatt (Heizleistung)
- LULUCF *Land Use, land Use change and Forestry*  
Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft
- nEHS Nationaler Emissionshandel
- THG Treibhausgas-Emissionen

### Chemische Bezeichnungen (vereinfacht)

- Ca Kalzium
- CH<sub>4</sub> Methan
- C Kohlenstoff
- CO Kohlenmonoxid
- CO<sub>2</sub> Kohlenstoffdioxid
- C org organischer Kohlenstoff
- Cu Kupfer
- Fe Eisen
- K Kalium
- Mg Magnesium
- Mn Mangan
- N Stickstoff
- N<sub>2</sub>O Distickstoffmonoxid (Lachgas)
- NH<sub>4</sub> Ammonium
- NO<sub>3</sub> Nitrat
- NO<sub>x</sub> Stickoxide
- P Phosphor
- PAK Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
- PCB Polychlorierte Biphenyle
- PCDD/F Polychlorierte Dibenzodioxine und Furane
- PFAS Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen

### Gesetze und Verordnungen

- 1. BImSchV – Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (2010, zuletzt geändert 2021)
- 4. BImSchV – Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (2013, zuletzt geändert 2024)
- BioAbfV – Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf Böden (Bioabfallverordnung) (1998, zuletzt geändert 2022)
- BBodSchG – Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz) (1998, zuletzt geändert 2021)
- BNatSchG – Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz) (2009, zuletzt geändert 2009)
- DüMV – Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung) (2012, zuletzt geändert 2019)
- EU Durchführungsverordnung 2019/2164 der Kommission vom 17. Dezember 2019 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 889/2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle
- EU Verordnung 2019/1009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 mit Vorschriften für die Bereitstellung von EU-Düngeprodukten auf dem Markt

- EU Verordnung 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur
- KrWG – Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz) (2012, zuletzt geändert 2023)
- KSG – Bundes-Klimaschutzgesetz (2019, zuletzt geändert 2023)
- LFoG – Landesforstgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (Landesforstgesetz) (1980, zuletzt geändert 2022)
- LImSchG – Gesetz zum Schutz vor Luftverunreinigungen, Geräuschen und ähnlichen Umwelteinwirkungen (Landes-Immissionsschutzgesetz) (1975, zuletzt geändert 2024))
- LNatSchG NRW – Gesetz zum Schutz der Natur in Nordrhein-Westfalen (Landesnaturenschutzgesetz) (2000)

## Tabellen- und Diagramme

### Anwendungsgebiete von Pflanzenkohle aus [58]

Tab. 1: Ausgewählte Anwendungen von PK (Schmidt, 2012). Je nach Anwendung sind unterschiedliche Eigenschaften der PK relevant, die entsprechend zu analysieren und zu überwachen sind.

Anwendungsbereich	Anwendung	Funktion
Boden	Träger für Dünger	Bedarfsgerechte Freisetzung von Nährstoffen, Vermeidung von Auswaschungen
	Additiv in Kompost und Gülle	Verringerung von Nährstoffverlusten und THG-Emissionen, höhere Wasserspeicherung und biologische Aktivität
	Bestandteil von Substraten für Stadtbäume	Wasser- und Nährstoffspeicher in gut drainiertem System mit schnellem Abfluss von Niederschlagswasser, Filter von Straßenabwässer
Tierhaltung	Additiv in der Silage	Stabilisierung der Fermentation des Futtermittels, Bindung von Pflanzenschutzmitteln und bestimmten Mykotoxinen
	Futterzusatz	Verbesserung des Tierwohls, v.a. für Milchvieh; zahlreiche Praxisberichte zu besserer Milchqualität (geringere Zellzahlen in der Milch) und geringeren Tierarztkosten vorhanden
	Einstreu	Verbessertes Stallklima, Vorbeugen von Entzündungen an Ballen oder Krallen
Umwelttechnik	Abwasserreinigung	Verbesserte Entwässerung von Klärschlamm
	Abwasserreinigung	Als aktivierte PK zum Ersatz von herkömmlicher Aktivkohle in der erweiterten Abwasserreinigung zur Spurenstoff-Elimination («4. Stufe der ARA»)
	Kontaminierte Böden	Bindung von organischen Schadstoffen
Energietechnik	Biogasanlagen	Erhöhung des spezifischen Gasertrags (mehr Gas bei gleichem Input) und Stabilisierung der Biogas-Prozesse
	Elektroden	Ausgangsmaterial zur Herstellung von Elektroden für verschiedene Anwendungen
Werkstoffe	Betonfertigteile, Beton-Pflastersteine	Additiv zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften, gerade beim Einsatz suboptimaler Sand-Qualitäten. Sandersatz.
	Putz für Innenwände	Isolation, besseres Raumklima durch Feuchtigkeitsregulation
	Obstverpackungen	Sorption von Ethylen, um Überreifung zu vermeiden oder zu verzögern
	Leitfähige Kunststoffe	Leitfähigkeit verschiedener Anwendungen verbessern, Ersatz von Russ
	Verbundstoffe	Erhöhung von Zugfestigkeit und Wärmekapazität, Strahlenschutz

## Zertifizierte Hersteller und Händler von Pflanzenkohle in Deutschland (abgerufen am 14.10.2024)



**Suchergebnis** [Link teilen](#)

für Land: **DE**, Kontroll-/Zertifizierungsstelle: **CERES-CERT AG**, Standard: **Biochar Certificate**

Ergebnisse: **29** Anzeigen: **25** **50**

Name	PLZ	Ort	Land	ID-Nummer	
Abfallwirtschaftsgesellschaft des Neckar-Odenwald-Kreises GmbH (AWN)	74722	Buchen	DE	452123	<a href="#">Details</a> →
ASF GmbH	79108	Freiburg	DE	448580	<a href="#">Details</a> →
Bioenergie Ahlintel GmbH & Co.KG	48282	Emsdetten	DE	458287	<a href="#">Details</a> →
BioEnergie Nienhaus	46414	Rhede	DE	452589	<a href="#">Details</a> →
bionero GmbH	95349	Thurnau	DE	459476	<a href="#">Details</a> →
BLOCK Bio Innovationen GmbH & Co. KG	25767	Osterrade	DE	460493	<a href="#">Details</a> →
Carbex GmbH	89561	Dischingen	DE	451489	<a href="#">Details</a> →
Carbon Cycle GmbH & Co. KG	92286	Rieden	DE	460882	<a href="#">Details</a> →
Carbuna AG	87700	Memmingen	DE	447887	<a href="#">Details</a> →
CarStorConTechnologies GmbH i.G.	26529	Marienhäfe	DE	456973	<a href="#">Details</a> →
CC Projekt Hamburg GmbH & Co. KG	20539	Hamburg	DE	453069	<a href="#">Details</a> →
Christoph Fischer GmbH · EM-Chiemgau	83071	Stephanskirchen	DE	460850	<a href="#">Details</a> →
Circular Carbon GmbH	94315	Straubing	DE	450795	<a href="#">Details</a> →
e4f prime gmbh	08309	Eibenstock	DE	448937	<a href="#">Details</a> →
FETZER Rohstoffe + Recycling GmbH	73054	Eislingen	DE	456522	<a href="#">Details</a> →
F. Ehrich GmbH & Co.KG	24768	Rendsburg	DE	447986	<a href="#">Details</a> →
klimafarmer GmbH	55283	Nierstein	DE	452525	<a href="#">Details</a> →
KohleHelden GmbH & Co. KG	34289	Zierenberg	DE	450816	<a href="#">Details</a> →
LUCRAT GmbH	48565	Steinfurt	DE	450172	<a href="#">Details</a> →
Mäier Vertriebs GmbH (Rosenheimer Erdenwerk)	83549	Eiselfing	DE	455399	<a href="#">Details</a> →
NITERRA Smart Solutions GmbH	46399	Bocholt	DE	448028	<a href="#">Details</a> →
Nordgau Carbon GmbH & Co. KG	92533	Wernberg-Köblitz	DE	458561	<a href="#">Details</a> →
Novocarbo GmbH	20095	Hamburg	DE	453648	<a href="#">Details</a> →
Ökologische Klärschlamm-trocknung Offenhausen GmbH	91238	Offenhausen	DE	458116	<a href="#">Details</a> →
Schierbecker Handels GmbH & Co.KG	24242	Felde	DE	453043	<a href="#">Details</a> →
SCS GmbH	70329	Stuttgart	DE	454649	<a href="#">Details</a> →
Städtwerke Groß-Gerau Versorgungs GmbH	64521	Groß-Gerau	DE	460470	<a href="#">Details</a> →
Südwestdeutsche Salzwerke AG	74076	Heilbronn	DE	456302	<a href="#">Details</a> →
Wissenschaftsstadt Darmstadt	64293	Darmstadt	DE	459044	<a href="#">Details</a> →

Ergebnistabelle Torf und Torfersatzprodukte im Vergleich aus [68]

Zusammenstellung der Ergebnisse der Substratkomponenten

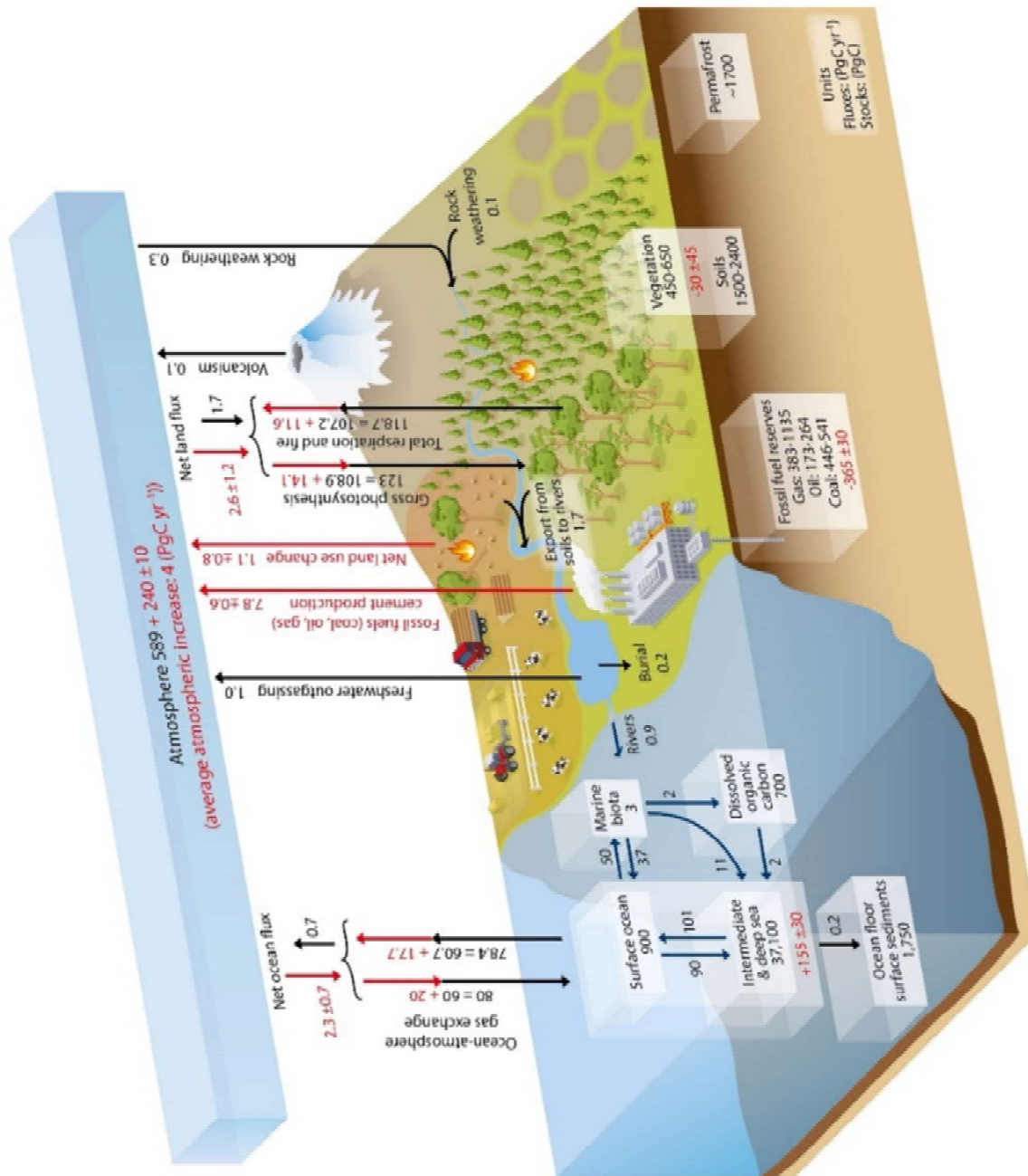
Tabelle 7-1: Pflanzenbauliche Eigenschaften, zukünftige Verfügbarkeit, Umweltauswirkungen und soziale Risiken der Substratkomponenten aus der Studie von 2015 und der 2019-Erweiterung. Die Gesamtumweltbelastung ist inklusive und exklusive der Schwermetall-Emissionen (SM) während der Nutzungsphase ausgewiesen. Die Farbcodierung (nach Tabelle A - 2 und Tabelle A - 3) kennzeichnet, ob das Resultat als positiv (■), eher positiv (■), eher negativ (■) oder negativ (■) beurteilt werden kann. (■): keine Daten / keine Beurteilung vorgenommen.

Büchlige Substratkomponenten (Studie 2015)	Pflanzenbauliche Eigenschaften										Verfügbarkeit	Preisabhängigkeit des Energieertrags	Umweltlastpunkte		Soziale Aspekte		
	Stichtichte, trocken	g/L	mg/l NO <sub>3</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N	mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Mg/l K <sub>2</sub> O	Salzgehalt	Stichtiefe in Blöcken	Wasserretentionsvermögen	Luftkapazität	Strukturstabilität	Mittel- bis langfristige Verfügbarkeit			Abhängigkeit des Energieertrags	kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>3</sup> Treibhauspotenzial		1000 UBP/m <sup>3</sup> inkl. exkl. SM aus Nutzung	kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>3</sup> Treibhauspotenzial
Schwarztorf	120-250	2,5-3,5	<50	630	640	0,4	klein	klein	70	20	mittel	+/-	gering	130 <sup>a</sup>	260 <sup>a</sup>	3700	Gesundheitl. Risiken
Weisstorf	80-120	2,5-3,5	<50	530	614	0,4	klein	klein	60	30	mittel	+/-	gering	32	38	300	keine Risiken
Rindensubstrat	200-300	5,0-7,8	4800	5150	51,5	2	gross	mittel	50	40	mittel	+/-	keine	90	110 <sup>a</sup>	330	keine Risiken
Grüngraskompost	600	7,8	70	700	2000	2	mittel	mittel	>60	30	klein	+/-	keine	29	62	260	keine Risiken
Reisspelzen	90-100	5,0-6,0	0	800	0,6	0,1	klein	klein	9	90	mittel	++	hoch	9,3	22	14	keine Risiken
Höfchensägen	80-130	4,7-6,0	60	80	100	0,1	klein	mittel	20	60	klein	++	mittel	9,2	37	13	keine Risiken
Holzspäne	130-140	3,5-4,0	60	80	100	0,2	klein	klein	30	>70	mittel	++	mittel	8,5	320	330	keine Risiken
Holzspäne (fein)	50-150	4,5-6,5	<50	600	0,8	0,8	klein	hoch	40	60	klein	+/-	hoch	40	120	230	keine Risiken
Coopast	80	4,0-5,5	<50	10	500	0,6	klein	hoch	70	30	klein	+/-	mittel	4,8	7,0	7,0	keine Risiken
Pyllit	160-230	4,5	<10	60	60	0,5	mittel	mittel	50	40	mittel	++	gering	26	93	71	keine Risiken
Landerde	1300	5,5-6,5	180	60	150	0,4	mittel	klein	50	40	mittel	++	gering	26	93	71	keine Risiken
TIFA	200	6,8	180	60	150	0,4	mittel	klein	50	40	mittel	++	gering	26	93	71	keine Risiken
Pflanzenkohle (Pyrolyse) <sup>a</sup>	300	5,2-8,8	<5	200	2000	2	gross	mittel	50	20	hoch	+	hoch	80 <sup>a</sup>	130 <sup>a</sup>	1700 <sup>a</sup>	keine Risiken
Pflanzenkohle (HTC)	340	5,8-8,4	6,4	300	1000	2	gross	mittel	60	20	hoch	+	hoch	11	90	30	keine Risiken
Chinaschiff	70	5,1-6,1	<5	30	300	0,2	klein	mittel	30	80	hoch	+	gering	27	130	130	keine Risiken
Haarfasern	31	7,0	20	60	900	0,5	klein	klein	50	40	mittel	+	mittel	17	69	39	keine Risiken
Flächschäben	150-220	5,0-5,6	10	80	300	0,2	klein	mittel	20	80	hoch	++	mittel	31	260	230	keine Risiken
Getreidespelzen (Mäher)	150	7,6	80	800	800	0,6	mittel	mittel	<20	80	mittel	++	mittel	15 <sup>a</sup>	65 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	keine Risiken
Schiff <sup>b</sup>	65	6,4	<6	600	100	0,3	klein	mittel	38	60	hoch	++	gering	19	38	35	keine Risiken
Torfmoos (Anbau)	30-60	3,3-5,8	klein	20	70	0,2	klein	klein	50	40	mittel	+	gering	19	38	35	keine Risiken
Pflanzenkohle-Kompost	620-810	7,2-7,5	gross	60	500	2	gross	mittel	60	30	mittel	+	mittel	80 <sup>a</sup>	130 <sup>a</sup>	780	keine Risiken

<sup>a</sup> Pflanzenkohle aus Holz mit ökonomischem Wert  
<sup>b</sup> Pflanzenkohle aus Abfallholz  
<sup>c</sup> Schiff aus Anbau  
<sup>d</sup> Schiff aus Naturschutzgebiet  
<sup>e</sup> 2018 aktualisiert  
<sup>f</sup> Die Verminderung der Umweltbelastung durch die potentielle Kohlenstoff-Speicherung der Pflanzenkohle übersteigt die hier ausgewiesene Umweltauswirkung.

**Terrestrischer Kohlenstoffkreislauf (Quelle IPCC 2018)**

[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_Chapter06\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter06_FINAL.pdf)



**Abschätzung des Mengenpotenzials von Landschaftspflegematerial aus [104]**

*Tabelle 4.1: Datengrundlage zur vereinfachten Abschätzung der anfallenden Menge an Landschaftspflegematerialien, untergliedert nach Maßnahmenart und Biotoptyp. Die Angaben beziehen sich auf die Trockenmasse.*

Maßnahmenart	Krautiges Landschaftspflegematerial		
	Gehölze, Saumvegetation, Ruderalvegetation	Biotoptyp Masswiesen, Auen, Ried, Mähwiesen, Weiden	(Halb-)Trockenrasen, Wacholderheiden
Mähen und Abräumen der Fläche	1–3 t/ha	4–8 t/ha	1–3 t/ha
Maßnahmenart	Holziges Landschaftspflegematerial		
	Feldgehölze, Baumreihen, Hecken	Biotoptyp Gehölze auf Feuchtwiesen, Auen, Ried, Mähwiesen, Weiden, Streuobstwiesen	Gehölze auf (Halb-)Trockenrasen, Wacholderheiden
Auslichten von Gehölzbeständen	4–10 t/ha	4–10 t/ha	1–3 t/ha
Beseitigung von Stockausschlägen	1–3 t/ha	1–3 t/ha	1–3 t/ha
Heckenpflege (auf den Stock setzen)	11–29 t/ha	4–10 t/ha	4–10 t/ha
Verbuschung randlich zurückdrängen	1–3 t/ha	1–3 t/ha	1–3 t/ha
Vollständige Beseitigung Gehölzbestände/Verbuschung	11–29 t/ha	4–10 t/ha	11–29 t/ha
Zurückdrängen/Entnahme bestimmter Gehölzarten	4–10 t/ha	4–10 t/ha	4–10 t/ha
Zurückdrängen von Gehölzsukzession	4–10 t/ha	4–10 t/ha	1–3 t/ha

**UJ&W**



**Mobile Verkohlungsanlagen im Vergleich, eigene Darstellung**

	<b>Carbo-Mob</b>	<b>Batch-Retorte</b>	<b>Kon-Tiki</b>
<b>Marktsituation</b>			
<b>Angebotsseite</b>	Eigenentwicklung Anlage zu Forschungszwecken (2011-2014) mit Ofentechnik aus Australien, keine Marktreife erlangt	nur ein Anbieter im deutschsprachigen Raum (SPSC) mit 2 Größen (S, L) weltweit > 100 verkauft weitere Ansätze bei Jungunternehmen, jedoch ohne Marktreife	div. Anbieter mit verschiedenen Volumina, teilw. untersch. Material alle basierend auf Open-Source Anlagekonzept Ithaka-Institut
<b>Marktpreise</b>	Angabe nicht möglich	€ 33.750 (L)	€ 1.000 - 2.000 (80-100l) (groß: rd. € 5.500 - 7.300)
<b>Abnehmer</b>	potenziell Land- und Forstwirtschaft sowie Landschaftspflege	Land- und Forstwirtschaft, Gärtnereibetriebe, Hobbygärtner, Forschungseinrichtungen	Solawis, Kleingartenvereine, Hobbygärtner Technik für Kleinbauern im globalen Süden entwickelt
<b>Technische Daten</b>			
<b>Funktionsweise</b>	Dreh-Herdofen (BiGchar auf Basis Herreshoff-Technik) Nachverbrenner mittels Prozessenergie	Batch-Retorte Brennkammer Pyrolysegase, Wärmeübertragung per Doppelmantel	Flammenvorhang
<b>Prozess</b>	kontinuierlich *	diskontinuierlich (Füllung wird luftdicht abgeriegelt)	kontinuierliches Befüllen bis Behälter voll ist
<b>Material</b>	Stahl sowie Leichtmetalle	Stahl mit Chemie- und Sonderlegierung	Stahlinnenbehälter, Außenmantel unterschiedliches hitzebeständiges Material
<b>Sonstiges</b>	Förderband, Gebläse, Steuerungskasten	Kippmechanismus zum Befüllen	Grillaufsatz (standardmäßig)
<b>Temperatur in Pyrolysezone</b>	400-600 °C	600-900 °C	650-750 °C (direkt unter Flammenvorhang)
<b>Größe</b>	Ofendurchmesser 1m, weitere Aufbauten (Ladefläche ca. 3 m Länge)	170 x 170 x 280 cm (B x T x H) (Größe Vario L)	< 1 m Durchmesser
<b>Volumen</b>	1.260 l (nur Ofen BiGchar 1000)	1.900 l (Vario L)	80-100 l (groß: 1.300 o. 2.500 l)
<b>Kapazität</b>	25-35 kg PK/ h (groß BiGchar 1800: 200-300 kg PK/h)	150-200 kg PK/ Batch	20-25 kg PK / Durchgang (groß: 900-1.100l o. 2.000-2.200l)
<b>Gewicht</b>	1,7 t inkl. Anhänger	rd. 1,5 t (L) ohne Anhänger	46-120 kg (klein je nach Ausführung) (groß: 0,65 o. 1,15 t)

<b>Betrieb</b>			
<b>Personalbedarf</b>	1 Person	1 Person	1 Person
<b>Zeitaufwand</b>	Inbetriebnahme Einsatzort: ca. 1 Std. Anheizphase: ca. 15-30 min. Abkühlzeit: ca. 30 min.	Verkohlungsprozess: rd. 4 Std. Anheizphase: rd. 1,5 Std. (abhängig vom Wetter) Abkühlungsprozess: 10-15 Std., 1 Batch/ Tag	3-4 Std. inkl. kurze Anheizphase nach Löschen und Entladen neuer Prozess möglich 2-3 Durchgänge pro Tag
<b>Automatisierung (Stromanschluss)</b>	energetisch selbsterhaltend, Einzelteile strombetrieben (Generator) händische Feinjustierung notwendig (z.B. Bestückung, Geschwindigkeit Rotorarme)	autark nach Anheizphase **	per Hand nachlegen, Erfahrung notwendig
<b>Anheizmaterial</b>	trockene Hackschnitzel	Holzscheite Menge je nach Witterung	Anheizen mit wenigen Holzscheiten
<b>Quenschwasser</b>	Kohlepartikel fallen in Löschwassertröge ca. 150 l pro Arbeitstag	innerhalb Prozess nicht notwendig für Weitertransport und Verarbeitung anfeuchten (Staubentwicklung, Brandgefahr)	Löschwasser zwecks Kohlequalität möglichst von unten per Schlauch
<b>Wetter-Abhängigkeit</b>	nur bei trockener Witterung und nahezu Windstille	unabhängig von Witterung Anheizphase jedoch u.U. länger	nur bei trockener Witterung (k.A. bzgl. Wind)
<b>Überwachung</b>	ständig notwendig (offenes System)	keine Überwachung bei Hofanwendung	ständig notwendig (offenes System)
<b>Mobilität</b>	fest installiert auf Anhänger (3 Meter)	Hebevorrichtung für Gabelstapler lt. Hersteller: mobile Anhängerlösung möglich	tragbar
<b>Wartung und Instandhaltung</b>	n.b.	gering	sehr gering

<b>Input</b>			
<b>Ausgangs-Material</b>	Walderntereste, Obststock-/ Rebstockrodung, Weichholz, Schilfrohr	Scheitholz (hart und weich), Hackgut, Rebstöcke Maisspindel, Walnusschalen, Heu und Stroh (brikettiert)	sperriges Holz, Holzscheite, Ruten (Luftzirkulation muss gegeben sein)
<b>Stückelung</b>	nur Häcksel (zusätzlicher Häckslers notwendig) Rutenhackgut (1-7 cm Dicke, max. 15 cm Länge)	gescheitelt, gehackt bei kleinerer Stückelung/ Häcksel Einsätze zwecks Luftzirkulation notwendig	sperriges Inputmaterial zwecks Luftzirkulation, feinere Fraktionen nur in dünnen Schichten in heiße Pyrolysezone
<b>Vorbehandlung</b>	Häckseln erforderlich *** dadurch Homogenisierung Geringe Vortrocknung im Anlagekonzept möglich	Stückelung bedarfsweise Homogenisierung zwecks Produktqualität notwendig Vortrocknung zwingend notwendig	Stückelung bedarfsweise (z.B. dickere Hölzer zu Beginn auflegen, dazu möglichst ge- trennte Lagerung) Vortrocknung zwingend
<b>Tolerierte Restfeuchte</b>	max. 25%	Scheitholz: max. 25% Hackgut: max. 15%	max. 25 % (Vorgabe Global Artisan C-Sink)
<b>Verschmutzungen</b> (Sand, Steine etc.)	mäßige Toleranz (Schwachpunkt Förder- band, Roste)	hohe Toleranz	hohe Toleranz
<b>Output</b>			
<b>Massenausbeute Pflanzenkohle</b> (Trockenmasse)	25-30%	ca. 30-45% (Referenz-Input: Scheitholz)	ca. 15-30% (Erfahrungswerte Ithaka-Institut: trockenes, dünnes Strauchmate- rial: rd. 25%, feuchtes, dickasti- ges Holz: rd. 15%)
<b>Qualität</b>	deutlich unter Schadstoff- grenzwerten hohe Brennwerte positive Biotests	EBC-Standards möglich (Referenzinput: Scheitholz)	bei richtiger Anwendung können EBC-Standards erreicht werden (Laboranalytik Ithaka Institut 2014)
<b>H/C-Verhältnis</b> (Verkohlungsgrad, Hinweis Stabilität)	k.A.	0,15-0,2	0,16 (Laboranalytik Ithaka Institut 2014)
<b>Abwärme</b>	Abwärmenutzung für Vor- trocknung! **** (Umlenkung Heißluft auf Häckselbehälter)	Wärmetauscher zusätzlich installierbar (nur bei stationärer Hofan- wendung)	Grillaufsätze für Wärmenutzung (bei fast allen Modellen serien- mäßig)

<b>Abgassituation</b>			
<b>Vorrichtung Abgasreinigung</b>	Nachverbrenner und Kaminrohr	Abgas- und Entspannungsbehälter/ Kamin integriert	nicht vorhanden; Pyrolysegase passieren Flammenvorhang, wo sie größtenteils verbrannt werden
<b>Zulassung/ Genehmigung</b>	lt. Projektleiterin Einhaltung Grenzwert Feinstaub gemäß TA Luft (Kleinfeuerungsanlagen) Feinstaubfiltereinbau notwendig und damit Betrieb unwirtschaftlich	lt. Hersteller: genehmigungsfrei (Hofanwendungen)	Einordnung entsprechend kleinen Feuerschalen, Grill, Terrassenöfen u.a.
<b>Bewertung Abgassituation</b>	Bewertung Carbo Mob gegenüber offener Verbrennung (Baden-Württemberg) deutlich positiv (Einsparung Treibhausgase und Feinstaub)	lt. Hersteller: Abgaswerte unterhalb Grenzwerte TA Luft (Kleinfeuerungsanlagen) (Referenzinput: Scheitholz)	bei richtiger Handhabe Prozess überwiegend rauchfrei, insgesamt Grenzwerte TA Luft nicht einhaltbar, im Vergleich zu Retorten deutlich mehr Treibhausgase (v.a. Methan)
<b>Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit</b>			
<b>Bewertung</b>	lt. Studie wäre ggf. Rentabilität bei größerer Anlage (Verarbeitungskapazität 150 kg/ h) und Reinerlös von mind. 2,20 €/ kg Naturschutzkohle gegeben (Daten aus 2014)	ggf. unter bestimmten Bedingungen: - Investitionsförderung - Gemeinschaftsnutzung - Spenderlöse - Lagermöglichkeiten vorhanden - geringe Lohnkosten, hohes ehrenamtliches Engagement	nicht relevant
<b>Gesamtbewertung</b>			
<b>Fazit</b>	aufgrund technischer (Freilandsituation) u. regulatorischer (insbes. TA Luft) Schwierigkeiten nicht in Deutschland durchsetzbar	gute Erfahrung bei Hofanwendungen/ Eigenverwertung (SoLaWi, Forschungseinrichtung) angesichts hoher Anschaffungskosten und hohem Aufwand (im Gelände) geringes Potenzial für Naturschutzkohle keine Abwärmenutzung	Umweltbundesamt: bis 2023 Warnung, seit 2024 unter bestimmten Voraussetzungen im privaten Bereich empfohlen
* kontinuierlicher Prozess für Freilandsituation vorteilhafter			
** Batch: Vorteil ist gleichzeitig Nachteil, im Prozess nicht steuerbar; daher besondere Sorgfalt bei Bestückung			
*** zusätzliches Häckselgerät notwendig, dafür aber auch Homogenisierung von Geäst			
****Abwärmenutzung macht Pflanzenkohleproduktion eigentlich erst nachhaltig			

**Einfache Kosten-Nutzen-Betrachtung, eigene Darstellung**

<b>Anlage</b>	<b>Mobile Retorte</b>	
Anschaffungswert (in €) Retorte und Anhänger/ Zubehör	40.000	davon Retorte: 33.750
Nutzungsdauer (in Jahren)	6	
Kapazität Anlage	165 kg/ Batch	
Anzahl Batches / Jahr	18	vorausgesetzt: 2 zusätzliche Kooperationspartner je 6 Batches / Jahr
Input holziges Hackgut (in kg / Jahr)	13.500	
Gesamtproduktion PK (in kg / Jahr)	3.000	
<b>Jährliche Kosten</b>		
Lohnkosten (in €)	9.000	1 Arbeitstag / rd. 500 € je Batch vorausgesetzt hohes ehrenamtliches Engagement (insbes. Überwachung)
Lagerkosten	0	vorausgesetzt Abstell- und Lagermöglichkeit vorhanden
Sonstige Kosten	2.000	einfache Laboranalytik ( 3 Mischproben) ggf. Verpackung Gebinde Instandhaltung
<b>Jährliche Erlöse</b>		
Umsatzerlös Naturschutzkohle (in €)	17.670	
Spende Naturschutzkohle (in €/kg)	5,90	60 Liter Gebinde aktuell: 4,30/kg