Bioökonomie
Ideenwettbewerb

DVL Deutscher Verband für Landschaftspflege

Pflanzenkohle aus Landschafts-pflege-Biomasse

Überblick über Technologie und Anwendungs-bereiche



Impressum

Herausgeber: Deutscher Verband für Landschaftspflege (DVL) e.V.
www.dvl.org

Text und Redaktion: Regine Holloh, Christiane Feucht, DVL

Titelbild: Sarah Harvolk-Schöning, DVL

© Deutscher Verband für Landschaftspflege e.V., Ansbach 2026

Die Publikation entstand im Rahmen des Projekts „Ideenwettbewerb Bioökonomie“ und ergänzt den Leitfaden „Verwertung von Grüngut aus der Landschaftspflege“ (2024) Nr. 31 der DVL-Schriftenreihe „Landschaft als Lebensraum“. Download und Bezug unter https://www.dvl.org/publikationen/artikelansicht/verwertung-von-gruengut-aus-der-landschaftspflege

Weitere Informationen und Download unter www.ideenwettbewerb.dvl.org

Das Projekt „Ideenwettbewerb Bioökonomie“ wird von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) betreut und gefördert durch das Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

Inhalt

1. Einleitung 4
2. Das Pyrolyseverfahren 5
3. Eigenschaften der Pflanzenkohle 6
   3.1 Qualität der Pflanzenkohle 7
   3.2 Anwendungsbereiche der Pflanzenkohle 8
4. Ausgangsstoffe und ihre Eignung zur Pyrolyse 9
   4.1 Holzige Biomasse 10
   4.2 Paludi-Biomasse 11
   4.3 Grünland-Biomasse 12
   4.4 Grünschnitt-Bioabfall 13
5. Logistische Voraussetzungen 15
   5.1 Verfügbarkeit und Lagerung der Biomasse 15
   5.2 Anlagetypen 16
6. Zertifizierung und rechtliche Einordnung der Pflanzenkohle 16
   6.1 Zertifizierung 17
   6.2 Pflanzenkohle als Düngemittel 17
   6.3 Pflanzenkohle in der Tierhaltung 18
   6.4 Pflanzenkohle als Baustoffzusatz 19
7. Bewertung durch den wissenschaftlichen Beirat 19
8. Fazit 19

1. Einleitung

Der Aufwuchs von extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen hat einen geringen Futterwert, während Grüngut von Straßenrandstreifen oder kommunalen Grünflächen verunreinigt sein kann und als Bioabfall eingestuft wird. Daher stellt die Verwertung dieser Gras-Biomasse viele regionale Akteure vor Herausforderungen. In vielen Fällen wird das Mahdgut kostenpflichtig entsorgt – eine Lösung, die weder ökologisch noch wirtschaftlich sinnvoll ist.

Eine zukunftsweisende und nachhaltige Lösung bietet die Herstellung von Pflanzenkohle durch Pyrolyse. Dieses thermochemische Verfahren ermöglicht es, selbst schwer verwertbare Biomasse stofflich und energetisch zu nutzen und dabei Kohlenstoff langfristig zu binden. Gleichzeitig können dadurch neue Wertschöpfungsketten und zusätzliche Einkommensquellen für landwirtschaftliche Betriebe, Kommunen und Unternehmen entstehen.

Diese Handreichung gibt einen praxisnahen Überblick über die Verwertungsmöglichkeiten von Gras-Biomasse durch Pyrolyse, wie den Einsatz von Pflanzenkohle. Sie erklärt, wie das Verfahren funktioniert, unter welchen Bedingungen es sinnvoll eingesetzt werden, kann und welche rechtlichen, technischen und wirtschaftlichen Aspekte zu beachten sind. Diese Übersicht soll eine Orientierung und Handlungsgrundlage bieten, um nachhaltige und wirtschaftliche Lösungen für die Verwertung von Biomasse entwickeln zu können.

2. Das Pyrolyseverfahren

Die Pyrolyse ist ein thermochemisches Verfahren, bei dem organisches Material unter Sauerstoffabschluss und bei Temperaturen von 350°-1000° Celsius verkohlt wird. Bei einer langsamen, vollständigen pyrolytischen Zersetzung werden pflanzliche Biomassen aufgespalten, es entstehen Pflanzenkohle, Pyrolysegas und Pyrolyseöl. Eine weitere bedeutsame Komponente, die während des Pyrolyseprozesses entsteht, ist die Abwärme.

Grundsätzlich hängt die Produktverteilung und -qualität vom Ausgangsmaterial, der Temperatur, der Aufheizrate (wie schnell das Material während der Pyrolyse erwärmt wird) und der Verweilzeit im Pyrolysereaktor ab. Grob eingeteilt entstehen aus

1.000 kg trockener (Restfeuchte von 25-35%) Biomasse etwa

- 200-400 kg Pflanzenkohle,
- 200-400 kg Pyrolysegas und
- 200–500 kg Pyrolyseöl.

Pyrolyseprodukte



Pflanzenkohle bindet Kohlenstoff in festen, molekularen Strukturen langfristig und klimarelevant. Pflanzenkohle kann vielseitig eingesetzt werden. Dafür sind teilweise Zertifizierungen notwendig.



Das entstehende **Pyrolysegas** wird als Brennstoff genutzt.



Auch das **Pyrolyseöl** kommt als Brennstoff für Heizungen und bei der Stromerzeugung zum Einsatz.



Die **Abwärme** der Pyrolysereaktoren kann auf unterschiedliche Weise genutzt werden, z.B. zur Trocknung von Biomasse, zur Beheizung, Einspeisung in Wärmenetze oder zur Stromerzeugung

Für die Wirtschaftlichkeit der Anlage sollten möglichst alle Produkte genutzt oder vermarktet werden. Die Nutzung der Abwärme spielt dabei erfahrungsgemäß die größte Rolle. Besonders sinnvoll ist die Nutzung im betrieblichen oder regionalen Kreislauf (z. B. Gewächshäuser, Trocknungsprozesse) oder die Einspeisung in ein Wärmenetz.

3. Eigenschaften der Pflanzenkohle

Pflanzenkohle zeichnet sich durch eine hohe Oberfläche aus - je nach Bearbeitungsverfahren und Ausgangsmaterial bis zu 400 m^2 pro Gramm – und besteht zu 50 – 90 % aus stabilen Kohlenstoffverbindungen. Das bedeutet, der Kohlenstoff kann langfristig im Boden gespeichert werden und dort über mehrere Jahrhunderte bis zu mehr als tausend Jahren gebunden werden.

Durch die Pyrolyse gehen Nährstoffe wie Stickstoff verloren. Die Pflanzenkohle ist daher nährstoffarm. Vorhandene Schwermetalle, zum Beispiel in Mähgut aus Straßenbegleitgrün durch Reifen-, Brems- und Straßenabrieb, bleiben jedoch erhalten und beeinflussen die Einsatzmöglichkeiten.



Abbildung 1 Pflanzenkohle besitzt eine poröse Struktur und eine sehr große Oberfläche. Foto: Oregon Department of Forestry, CC BY 2.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0>, via Wikimedia Commons

Definition Pflanzenkohle[1]:

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

3.1 Qualität der Pflanzenkohle

Der Gesamtkohlenstoffgehalt und der Aschegehalt zählen zu wichtigsten Kennwerten von Pflanzenkohle. Während der Kohlenstoffgehalt Aussagen zum Kohlenstoffspeicherpotenzial ermöglicht, beschreibt der Aschegehalt den Anteil mineralischer Bestandteile und damit die stoffliche Zusammensetzung der Pflanzenkohle. Ein hoher Gesamt-Kohlenstoffanteil (C) in der Pflanzenkohle zeigt an, dass die Pflanzenkohle wenig Asche oder andere unerwünschte Verunreinigungen enthält.

Die Stabilität von Pflanzenkohle ist ein Indikator dafür, wie lange der Kohlenstoff im Boden gebunden werden kann. Sie lässt sich anhand des Verhältnisses von Wasserstoff zu organischem Kohlenstoff (H/C_{org}) beurteilen. Je niedriger das H/C_{org}-Verhältnis, desto höher ist in der Regel die Stabilität der Pflanzenkohle.

Tabelle 1: Einordnung des H/C_{org}-Verhältnisses hinsichtlich der potenziellen Stabilität der Pflanzenkohle im Boden. Die Werte sind als Orientierung zu verstehen. Quelle: European Biochar Certificate (EBC).

H/C_{org}	Einordnung der Kohlenstoffstabilität
< 0,2	sehr hohe Stabilität, langfristige Kohlenstoffspeicherung
0,2–0,4	gut stabilisiert, langfristig beständig
0,4–0,7	ausreichend stabilisiert
> 0,7	wenig stabil, schnellerer Abbau im Boden möglich

[1] EBC (2012-2023) 'European Biochar Certificate – Richtlinien für die Zertifizierung von Pflanzenkohle', Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland. http://www.european-biochar.org Version 10.3G vom 5. April 2023

3.2 Anwendungsbereiche der Pflanzenkohle

Pflanzenkohle wird in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt, wobei die jeweiligen Anwendungen der Einsatzbereiche an spezifische rechtliche Vorgaben und Qualitätsanforderungen gebunden sind. Auf die rechtlichen Rahmenbedingungen sowie die Zertifizierung von Pflanzenkohlen wird in Kapitel 6. Zertifizierung und rechtliche Einordnung eingegangen.

Weit verbreitet ist der Einsatz von Pflanzenkohle als **Bodenverbesserer**[2] in der Landwirtschaft. Dafür wird sie mit Kompost oder Festmist gemischt und so mit Nährstoffen und organischen Verbindungen angereichert. Pflanzen können sich im Boden an der „aufgeladenen" Pflanzenkohle mit Nährstoffen versorgen. Darüber hinaus dient sie als Lebensraum für Mikroorganismen, bindet Wasser und trägt somit zum Wasserrückhalt im Boden bei[3]. Pflanzenkohle kann als **Düngemittel oder Bodenhilfsstoff** in der Landwirtschaft eingesetzt werden.

Pflanzenkohle ist ein in der EU gelistetes **Einzelfuttermittel** und wird daher auch als Futterkohle in der Tierernährung eingesetzt. Sie wird dem Futter in geringen Mengen beigemischt. Ihr werden verschiedene positive Wirkungen zugeschrieben, darunter auch die Bindung unerwünschter Stoffe im Verdauungstrakt sowie die Unterstützung einer stabilen Darmflora. Die empfohlene Dosierung variiert je nach Tierart und Herstellerangaben und liegt bei einer dauerhaften Zufütterung häufig in einer Größenordnung von bis zu 100 g pro Großvieheinheit und Tag. Dabei ist zu beachten, dass ausschließlich kontrollierte und für den Einsatz als Futtermittel zugelassene Pflanzenkohle verwendet werden darf. Obwohl die Effekte der Futterkohle auf Futterverwertung und Tiergesundheit wissenschaftlich bisher wenig untersucht sind, berichten Praktikerinnen und Praktiker von positiven Erfahrungen[4].

Pflanzenkohle kann zudem im Stall als **Zusatz zur Einstreu** genutzt werden. Sie soll dazu beitragen, dass beispielsweise in Tiefstreuställen die Verrottung beschleunigt und gleichzeitig die Entwicklung von Fliegenlarven gehemmt wird. Dadurch können Klauenkrankheiten, Gerüche und

---

[2] Glaser, B. (2021): Terra Preta – Entstehung und Rolle für Klimaschutz und Stoffkreisläufe. In: Lozán J. L., S.-W. Breckle, H. Graßl & D. Kasang (Hrsg.). Warnsignal Klima: Boden & Landnutzung. S. 380-387. *Wissenschaftliche Auswertungen in Kooperation mit GEO, Hamburg.*

[3] Schmidt et al. (2021): Pflanzenkohle in der Landwirtschaft – Hintergründe zur Düngerzulassung und Potentialabklärung für die Schaffung von Kohlenstoff-Senken. https://lnv-bw.de/wp-content/uploads/2021/08/Pflanzenkohle-in-der-LW_Ithaka_BLW_2021.pdf

[4] Nitsch, H. (2023) Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft: Chancen und Herausforderungen; https://www.ifls.de/fileadmin/user_upload/Pflanzenkohle_Bericht_IfLS_Rentenbank.pdf

Nährstoffverluste reduziert und die Tiergesundheit gefördert werden[4]. Wissenschaftliche Belege liegen auch hierzu allerdings noch nicht vor.

Ebenso gibt es positive Erfahrungen mit der **Zugabe** von Pflanzenkohle **zu Gülle**. Auch hier wird berichtet, dass Gerüche und Verluste flüchtiger Nährstoffe reduziert werden[4].

Pflanzenkohle wird im Zuge der Defossilisierung zunehmend für kommerzielle Anwendungen interessant. Der Einsatz von Pflanzenkohle als **Betonzusatzstoff** oder auch in anderen Bereichen der Bauindustrie ist daher Gegenstand aktueller Forschungs- und Entwicklungsarbeiten[5]. Erste Produkte wie zum Beispiel als Beimischung in Pflastersteinen zeigen das Potenzial von Pflanzenkohle für die Herstellung CO_2-reduzierter Baustoffe.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit für die dauerhafte Kohlenstoff-Bindung, **Kohlenstoffsenken-Zertifikate** im Rahmen des Treibhausgas-Emissionshandels oder an private Abnehmer zu verkaufen[6]. Es ist jedoch zu beachten, dass für die Zertifizierung hohe Anforderungen erfüllt werden müssen. Die Zertifizierung ist mit umfangreichen Dokumentationspflichten, Kosten sowie technischen und qualitativen Nachweisen verbunden[4].

4. Ausgangsstoffe und ihre Eignung zur Pyrolyse

Pflanzenkohle lässt sich aus unterschiedlichen Biomassen herstellen. Die Eigenschaften der Ausgangsstoffe haben dabei einen wesentlichen Einfluss auf die Beschaffenheit der Kohle, so sind kohlenstoffreiche, trockene und strukturell stabile organische Materialien, besonders geeignet. Ein hoher Ligninanteil, also ein hoher holziger Anteil in den pflanzlichen Zellen, führt zu einem höheren Kohlenstoffanteil und höheren Energiegehalts des Endprodukts. Homogenes Ausgangsmaterial erleichtert prinzipiell den technischen Pyrolyseprozess bei der Zuführung und thermochemischen Zersetzung und ermöglicht eine gleichbleibende Qualität.

---

[5] Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Institutsteil Sulzbach-Rosenberg, https://www.umsicht-suro.fraunhofer.de/de/unsere-loesungen/Biokohle.html

[6] EBC (2020), Zertifizierung des C-Senken Potentials von Pflanzenkohle, Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland. http://european-biochar.org Version 2.1D vom 25. Januar 2021

Neben den physikalischen Eigenschaften ist für die Verwertung durch Pyrolyse die rechtliche Einordnung des Landschaftspflegematerials von entscheidender Bedeutung. Biomassen von Flächen, deren Aufwuchs nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz als Abfall eingestuft wird, müssen gesondert behandelt und entsorgt werden.

In der Regel wird jegliches Mahdgut mit Entsorgungsabsicht, das nicht von landwirtschaftlichen Flächen stammt, als Abfall eingestuft. Darunter zählen u. a. Parkflächen, kommunale Gewässerrandstreifen, Straßenbegleitgrün oder Streuobstwiesen, sofern diese keiner landwirtschaftlichen Nutzung unterliegen. Diese Einstufung beeinflusst die späteren Anwendungsmöglichkeiten der Pflanzenkohle. Für ausführliche Informationen zur abfallrechtlichen Einordnung von Grüngut wird hier auf den DVL-Leitfadens „Verwertung von Grüngut aus der Landschaftspflege“[7] verwiesen.

Im Folgenden wird die Verwendungsmöglichkeiten für die Pyrolyse für eine Auswahl an pflanzlicher Biomasse dargestellt, die in der Landschaftspflege vermehrt anfällt und für die eine sinnvolle Verwertung gesucht wird. Da für einige Biomassen bislang nur begrenzte Erfahrungen vorliegen, werden ergänzend Ergebnisse aus Versuchen beschrieben.

4.1 Holzige Biomasse

Holzige Biomassen wie naturbelassene Rinde, unbehandeltes Holz aus der Forstwirtschaft und Sägewerken sowie Waldresthölzer und Heckenschnitt eignen sich besonders gut für die Pyrolyse, da sie einen hohen Ligninanteil besitzen. Dieser führt zu einer effektiven Verkohlung mit hohen Kohlegehalt des Endprodukts. Holzige Biomasse wird dem Pyrolysereaktor typischerweise als zerkleinertes Schüttgut zugeführt.

Viele Anlage sind für die Verwertung von Holzhackschnitzel ausgelegt und es lässt sich in der Regel eine hochwertige Pflanzenkohle erzeugen. Auch eine Beimischung von heterogenen und weniger ligninreichem Material ist möglich. Das optimale Mischungsverhältnis muss entsprechend der Anlage und Biomassezusammensetzung getestet und analysiert werden.

[7] Ausführliche Beschreibung DVL (2024): Verwertung von Grüngut aus der Landschaftspflege, Nr. 31 der Schriftenreihe „Landschaft als Lebensraum“. Kapitel 4



Abbildung 2 Holzhackschnitzel zählen zu den am häufigsten verwendeten Einsatzstoffen in Pyrolyseanlagen. Foto: Famartin, CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>, via Wikimedia Commons

4.2 Paludi-Biomasse

Der Einsatz von Paludi-Biomasse für die Pyrolyse wird derzeit noch erprobt. Die Rahmen ihres Pilotvorhabens „Klimafarm“ [8] hat die Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein einen Pyrolyse-Testversuch mit Binsen, Schilf und Seggen durchführen lassen. Im Versuch wurde das mit einer Strohmühle zerkleinerte Paludi-Material mit Holzhackschnitzel im Volumenverhältnis von 1:5 bzw. 1:2 gemischt und in zwei separaten Chargen der Pyrolyseanlage hinzugeführt. Beide Chargen lieferten eine Pflanzenkohle mit einem Gesamtkohlenstoffgehalt von etwa 80 %. Die spezifische Oberfläche lag bei beiden Proben bei rund 300 m^2/g, und auch das H/Corg Verhältnis betrug 0,17 bzw. 0,09 und weist somit in beiden Fällen auf eine stabile Pflanzenkohle hin.

[8] Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein: *Bericht zum Pyrolyseversuch der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein & BLOCK Bio Innovationen GmbH & Co. KG* (unveröffentlichter Projektbericht) https://www.klimafarm.stiftungsland.de/projektlogbuch

Auffällig war jedoch, dass sich bei der Probe mit dem erhöhten Paludianteil die Materialzufuhr über die Dosierschnecke zum Pyrolysereaktor verlangsamte.

Die Zuführung in bestehende Pyrolyseanlagen ist häufig auf dichtere, rieselfähige Materialien wie Hackschnitzel ausgelegt. Paludikulturen hingegen sind in der Regel leichter und weisen eine geringere Schüttdichte (Verhältnis von Masse zu Gesamtvolumen eines Schüttguts) auf. Dadurch kann es zu Problemen beim Transport, bei der Dosierung und vor allem bei der mechanischen Zuführung in den Reaktor führen. Infolgedessen ist die Produktion von Pflanzenkohle mit Zumischung von Paludi-Biomasse zwar grundsätzlich möglich, abhängig vom Mischverhältnis verläuft der Herstellungsprozess aber stärker störungsanfällig und weniger effizient als bei der Pyrolyse von reiner Holzbiomasse.



Abbildung 3 Der Einsatz von Paludikulturen in der Pyrolyse wird derzeit noch erprobt. Foto: Peter Roggenthin

4.3 Grünland-Biomasse

Im Rahmen eines EU-geförderten »Horizont 2020« Projekts[9] wurde die Pyrolyse von Gras erprobt. Da sich die Eigenschaften von Gras deutlich

[9] Gabriele Joanna Kowalski, Thomas Hoffmann, Thomas Heinrich & Benjamin Selge (2024): Aus Gras wird Kohle – die Nutzung von spätem Grasschnitt für die Bodenverbesserung. https://www.nationalpark-unteres-odertal.de/wp-content/uploads/JB-2024_Kowalski_GoGrass.pdf

von holziger Biomasse unterscheiden, stand eine Optimierung der Prozesstechnik im Mittelpunkt der Untersuchungen. Dabei wurde insbesondere die Materialaufbereitung und die Zufuhr des Materials in die Pyrolyseanlage untersucht.

Um einen homogenen Ausgangsstoff zu erhalten, wurde das Gras nach der Mahd zunächst getrocknet, zu Rund- oder Quaderballen gepresst und eingelagert. Vor dem Pyrolyseprozess wurden die Ballen wieder aufgelöst, das Material zerkleinert und anschließend zu Pellets verdichtet. Auf diese Weise wurde aus dem Gras ein Schüttgut hergestellt. Alternativ lässt sich das Gras auch zu Briketts verdichten und in dafür vorgesehene Pyrolyseanlagen einsetzen.

Im Projekt wurde auch erprobt, ob Gras ohne Vorverarbeitung eingesetzt werden kann. Dies führte jedoch aufgrund der geringen und inhomogenen Schüttdichte zu einer ungleichmäßigen Beschickung des Reaktors und zu Materialstau. Bei schwankenden Prozessbedingungen läuft die Pyrolyse weniger gleichmäßig und beeinflusst infolgedessen die Qualität der Pflanzenkohle sowie die Wirtschaftlichkeit. Pelletiertes oder brikettiertes Material ermöglicht hingegen eine gleichmäßigere Beschickung und stabile Prozessbedingungen. Insgesamt konnte mit allen Varianten Pflanzenkohle hergestellt werden. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass eine an die Materialeigenschaften angepasste Prozessführung entscheidend für einen stabilen und wirtschaftlichen Betrieb ist.

Die Pyrolyse von Gras ist auch durch seinen geringen Ligninanteil, einem hohen Feuchtegehalt und der Freisetzung von Chlor, das die Anlagenkomponenten korrodieren lässt, eine Herausforderung. Dennoch gibt es vielversprechende Ergebnisse in einer Mischung mit Hackschnitzeln. Hier sind weitere Erprobung und angepasste Verfahren erforderlich.

4.4 Grünschnitt-Bioabfall

Unter diesem Begriff wird Material zusammengefasst, das unter anderem bei Mäh-, Pflege- oder Schnittmaßnahmen meist auf kommunalen Flächen anfällt. Dazu gehören beispielsweise Rasenschnitt von Wegrainen, Straßenbegleitgrün, Material aus der Park- und Gartenpflege sowie Schnittgut aus öffentlichen Grünflächen.

Wie einleitend dargestellt, werden Grünschnitte von kommunalen Flächen in der Regel als Bio- bzw. Landschaftspflegeabfälle eingestuft. Daraus ergeben sich spezifische Anforderungen für ihre Verwertung in Pyrolyseanlagen sowie für die Nutzung der daraus hergestellten Pflanzenkohle.

Tabelle 2: Übersicht ausgewählter Ausgangsstoffe für die Pflanzenkohleherstellung

Ausgangsstoff	Eigenschaften	Erfahrungen Pyrolyse
Holzige Biomasse	hoher Lignin- und Kohlenstoffgehalt, gute Rieselfähigkeit	stabile Prozessführung, hohe Kohlequalität
Paludi-Biomasse	faserig, geringe Schüttdichte	Zuführung teils erschwert, Einsatz in Mischpyrolysen möglich
Grünland-Biomasse	hoher Feuchtegehalt, geringer Ligninanteil	Aufbereitung vorteilhaft (z. B. Trocknung, Brikettierung, Pelletierung), Einsatz in Mischpyrolysen
Grünschnitt-Bioabfall	heterogene Biomasse, teilweise holzige Anteile	rechtliche Vorgaben bei Verwertung und Anwendung beachten



Abbildung 4 Der Hang des Kanaldamms wird jährlich gemäht und das Mahdgut abgefahren. Foto: R. Klett, LPV Altötting

5. Logistische Voraussetzungen

Für den zuverlässigen Betrieb einer Pyrolyseanlage sind organisatorische Voraussetzungen zu erfüllen. Dazu zählen insbesondere die Prüfung der Verfügbarkeit, Lagerung und Aufbereitung der Biomasse sowie eine an den Anlagenbetrieb angepasste Logistik.

5.1 Verfügbarkeit und Lagerung der Biomasse

Viele eingesetzte Pyrolyseanlagen sind für einen kontinuierlichen Betrieb auf eine Beschickung mit einem möglichst homogenen Material ausgelegt[10]. Materialien mit einer faserigen Struktur, einer hohen Feuchtigkeit oder auch einer geringeren Schüttdichte, erfordern meist eine angepasste Aufbereitung oder auch eine spezifisch abgestimmte Zuführtechnik. So kann es bei einem Einsatz einer stark heterogenen Biomasse zu sogenannten „Brückenbildungen" kommen, die den Materialfluss und die Zufuhr in den Reaktor unterbrechen, und dadurch den Verbrennungsprozess beeinträchtigen.

Der Betrieb einer Anlage setzt somit voraus, dass sich die Verantwortlichen frühzeitig mit der über das Jahr verfügbaren Biomasse auseinandergesetzt und die Mengen und Zusammensetzung der vorliegenden organischen Massen kalkuliert haben. Das kann vor dem Hintergrund der witterungsbedingten und saisonalen Schwankungen, aber auch der natürlichen Variabilität der Aufwüchse herausfordernd sein. Auch müssen die Transportwege des Materials zur Anlage und die möglichen Lagerkapazitäten bei der ökonomischen Betrachtung mit einbezogen werden.

Die Aufbereitung des Materials ist entscheidend für eine effiziente Pyrolyse. Je nach Ausgangsmaterial umfasst sie die Zerkleinerung, gegebenenfalls die Trocknung, die Fremdstoffabscheidung sowie die Pelletierung oder auch Brikettierung. Insbesondere mit der Pelletierung und Brikettierung von Gras wurden, wie in Kapitel 4.3 Grünland-Biomasse berichtet, positive Erfahrungen gemacht.

Muss das Ausgangsmaterial gelagert werden, wird ein entsprechender Lagerplatz benötigt, der trocken, belüftet und brandsicher ist, um Qualität und Sicherheit zu gewährleisten.

---

[10] Schmidt, H.-P., Hagemann, N., Abächerli, F. et al. (2021): *European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar*.

5.2 Anlagetypen

Für die Pyrolyse sind unterschiedliche Anlagen geeignet, die sich zum einen in der Betriebstemperatur als auch in ihrer technischen Ausführung unterscheiden.

Anlagen mit Niedrigtemperaturverfahren können bei feuchteren Biomassen Vorteile bieten, da sie mit einem geringeren Energieeintrag arbeiten. Die Trocknung der Biomasse bleibt jedoch auch hier eine wesentliche Herausforderung. Dieses Verfahren führt meist zu höheren Pflanzenkohleausbeuten, während die Kohlenstoffstabilität der erzeugten Pflanzenkohle tendenziell geringer ausfällt.

Anlagen mit Hochtemperaturverfahren (über 500 °C) sind für ligninreiche Stoffe, also eher holziges Material, vorteilhaft. Diese führen in der Regel zu einer höheren Ausbeute an stabiler Pflanzenkohle sowie zu einer verbesserten Energieeffizienz des Gesamtprozesses.

Mechanisch unterscheiden sich die Pyrolyseanlagen vor allem durch Fördertechnik (Schnecken) für den Transport der Biomasse.

Eine sorgfältige Planung und genaue Definition des Inputmaterials ist entscheidend für einen reibungslosen und wirtschaftlichen Anlagenbetrieb. Eigenschaften, wie Korngröße, Gewicht und Dichte sowie der Feuchtegehalt und die Zusammensetzung der Biomasse sollten im Vorfeld bestmöglich geplant sein. Nur so kann eine entsprechend angepasste Anlage mit optimaler Fördertechnik gefunden werden, die zudem bestmöglich ausgelastet wird. Ebenso sollte klar sein, für welche Anwendung die Pflanzenkohle vorgesehen ist.

6. Zertifizierung und rechtliche Einordnung der Pflanzenkohle

Für die Vermarktung und Verwertung von Pflanzenkohle spielen sowohl freiwillige Zertifizierungssysteme als auch rechtliche Vorgaben eine wichtige Rolle. Neben Anforderungen an die Qualitätssicherung sind insbesondere Vorgaben des europäischen und nationalen Düngemittelrechts sowie weitere umweltrechtliche Regelungen zu beachten. Auf die Zertifizierung und die rechtlichen Rahmenbedingungen wird im Folgenden kurz eingegangen.

6.1 Zertifizierung

Für die Vermarktung und den praktischen Einsatz von Pflanzenkohle haben sich neben den gesetzlichen Mindestanforderungen freiwillige Qualitätsstandards bewährt. Die europaweit etablierteste Zertifizierung ist das **European Biochar Certificate (EBC)**. Die EBC-Richtlinien definieren zulässige Ausgangsbiomassen sowie verbindliche Qualitätsanforderungen und Grenzwerte für unterschiedliche Anwendungsbereiche der Pflanzenkohle. So werden die Pflanzenkohlen nach den Richtlinien des EBC in unterschiedliche Zertifizierungsklassen eingeteilt. Maßgeblich hierfür ist eine Positivliste zulässiger Biomassen, die vom **European Biochar Industry Consortium (EBI)** als Träger des European Biochar Certificate geführt und fortlaufend auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse sowie rechtlicher Rahmenbedingungen weiterentwickelt wird.

Je nach vorgesehener Verwendung der Pflanzenkohle gelten unterschiedliche Qualitätsanforderungen, Grenzwerte und Kontrollparameter. Die Zertifizierungsklassen legen somit fest, für welche Anwendungsbereiche die jeweilige Pflanzenkohle zugelassen ist. Jede Anwendung und damit jede Zertifizierungsklasse ist mit eigenen Anforderungen und Qualitätskriterien verbunden.

Da Schwermetalle aus dem Ausgangsmaterial während der Pyrolyse nicht abgebaut werden, sondern in der Pflanzenkohle verbleiben, legen die EBC-Richtlinien unter anderem Grenzwerte für Schwermetalle sowie für die organischen Schadstoffe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe fest. Eine Zertifizierung nach EBC trägt somit dazu bei, das Risiko einer Schadstoffanreicherung in Böden oder anderen Anwendungsbereichen zu minimieren und eine gleichbleibend hohe Qualität der Pflanzenkohle sicherzustellen.

Für die private Nutzung, beispielsweise im eigenen Garten, besteht hingegen keine Zertifizierungspflicht. Unabhängig davon sollte auf die Verwendung eines schadstoffarmen und qualitativ geeigneten Produkts geachtet werden.

6.2 Pflanzenkohle als Düngemittel

Nach der EU-Düngeprodukteverordnung (EU 2019/1009) muss das eingesetzte Ausgangsmaterial die Anforderungen der jeweiligen Komponentenmaterialkategorie erfüllen. Dabei handelt es sich um gesetzlich verbindliche Vorgaben für das Inverkehrbringen von EU-Düngeprodukten. Die Verordnung schreibt die Anteile der zulässigen Biomassen für die

Pyrolyse vor und legt das genaue Herstellungsverfahren und die Schadstoffobergrenzen fest. Im Gegensatz zur in Deutschland geltenden Düngemittelverordnung (DüMV) können hier grundsätzlich auch vermehrt pflanzliche Biomassen zur Herstellung von Pflanzenkohle eingesetzt werden.

Neben dem europäischen Rechtsrahmen müssen stets auch die nationalen Rechtsvorschriften der jeweiligen EU-Mitgliedsstaaten beachtet werden. Im Agrarbereich gelten darüber hinaus länderspezifische Regelungen zur Verwendung von Pflanzenkohle als Düngemittel.

Die deutsche Düngemittelverordnung schreibt im Gegensatz zur Verordnung auf EU-Ebene vor, dass „Holzkohle mit einem Kohlenstoffgehalt von mindestens 80 % C in der Trockenmasse, hergestellt aus chemisch unbehandeltem Holz“[11] als Ausgangsstoff für Pflanzenkohle genutzt werden muss, wenn sie als Düngemittel eingesetzt werden soll.

Diese nationalen Beschränkungen werden von Interessenverbänden der Pflanzenkohle kritisiert[12], die sich hier für eine Öffnung für weitere Ausgangsstoffe aussprechen. In Deutschland nutzen somit Produzenten den EU-Rechtsrahmen, um vermehrt nicht holziges Material mit in der Pyrolyse einzusetzen und die Kohle anschließend als EU-Düngeprodukt in EU-Ausland zu vermarkten.

6.3 Pflanzenkohle in der Tierhaltung

Pflanzenkohle kann als Einstreuzusatz sowohl im konventionellen als auch ökologischen Landbau eingesetzt werden. Die Verwendung als Futtermittelzusatz[13] ist nur in der konventionellen Tierhaltung zugelassen, die Kohle muss hier aber über eine Zertifizierung als Futterkohle verfügen. Ein Einsatz in der Fütterung des ökologischen Landbaus ist nicht gestattet[14].

---

[11] Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (DüMV) §5

12 German Biochar e.V (2025).: Forderung an die zukünftige Bundesregierung https://german-biochar.org/forderungen-an-die-zukuenftige-bundesregierung/

13 Verordnung (EU) Nr. 68/2013 der Kommission vom 16. Januar 2013 zum Katalog der Einzelfuttermittel

14 German Biochar e.V. (2020): Pflanzenkohle erhält EU-Biozulassung. https://german-biochar.org/pflanzenkohle-erhaelt-eu-biozulassung-fachverband-warnt-vor-unsachgemaessen-analysen/

6.4 Pflanzenkohle als Baustoffzusatz

Innerhalb Deutschlands stehen neben der landwirtschaftlichen Verwertung weitere Absatzmärkte für Pflanzenkohle zur Verfügung, dazu zählt zum Beispiel der Einsatz von Pflanzenkohle als Bauzusatzstoff, z.B. in Pflastersteinen oder in Dämmstoffen. Für diesen Bereich liegen bislang keine einheitlichen rechtlichen Vorgaben vor. Die Einordnung erfolgt über das entsprechende Bauprodukt und die dafür geltenden produktrechtlichen Anforderungen.

7. Bewertung durch den wissenschaftlichen Beirat

Der Wissenschaftliche Beirat für Düngungsfragen des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH) hat die Pflanzenkohle in einem Gutachten[15] folgendermaßen eingeordnet: „Pflanzenkohle bietet Chancen für einen nachhaltigeren Einsatz im Pflanzenbau, etwa für die Bodenfruchtbarkeit, den Nährstoffhaushalt und der Kohlenstoffspeicherung. Gleichzeitig sind viele Wirkungen noch nicht ausreichend wissenschaftlich abgesichert, insbesondere hinsichtlich Langzeitwirkungen, Klimabilanzen und Nutzungskonkurrenzen von Biomasse."

Der Beirat empfiehlt einen vorsichtigen, forschungsbasierten Einsatz. Qualitätsstandards wie z.B. Schadstoffgrenzen sind zwingend einzuhalten, und weitere Forschung ist notwendig, bevor eine breite Anwendung erfolgen kann. Im Kontext der Verwertung von Grasbiomasse kann die Pflanzenkohle daher eine vielversprechende Option darstellen, deren Potenziale weiter untersucht werden sollten.

8. Fazit

Die Verwertung von Biomasse durch Pyrolyse birgt erhebliches Potenzial für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft. Sie erfordert jedoch eine sorgfältige Planung, um eine dauerhafte Prozessstabilität und Produktqualität zu gewährleisten. Ein zentraler Baustein hierfür ist die realistische Erfassung der saisonal verfügbaren Biomassemengen sowie der daraus

[15] Biokohle in der Pflanzenproduktion – Nutzen, Grenzen und Zielkonflikte Standpunkt des Wissenschaftlichen Beirats für Düngungsfragen (2023) https://www.bmleh.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/duengung/biokohle-pflanzenproduktion.pdf?__blob=publicationFile&v=3

resultierenden Stoffströme. Ebenso wichtig ist ein genauer Blick auf die Logistik vor Ort, um Transportwege und damit verbundene Kosten wirtschaftlich zu gestalten.

Parallel dazu sollten sich Interessierte frühzeitig mit den unterschiedlichen Anlagentypen für die Pyrolyse auseinandersetzen. Die Technik der Anlage muss hier auf verfügbare Ausgangsmaterialien abgestimmt sein.

In diesem Zusammenhang stellt sich auch die zentrale Frage, welche Art von Pflanzenkohle unter den gegebenen Bedingungen wirtschaftlich und qualitativ sinnvoll produziert werden kann.

Ein weiterer Aspekt, der von Anfang an in die Planung mit einbezogen werden sollte, ist die Nutzung der entstehenden Prozesswärme durch die Pyrolyse. Eine effiziente Wärmenutzung kann wesentlich zur Wirtschaftlichkeit des Verfahrens und somit zur Produktion der Pflanzenkohle beitragen. Daher empfiehlt es sich, bereits in der Planungsphase kommunale Akteure oder potenzielle Wärmeabnehmer einzubeziehen, um eine möglichst vollständige Nutzung der Prozesswärme sicherzustellen.

Darüber hinaus ist eine frühzeitige Einschätzung der zu erwartenden Zertifizierungskosten entscheidend. Diese können je nach Zertifizierungskategorie variieren. Ein frühzeitiger Austausch mit potenziellen Abnehmern der Pflanzenkohle, möglicherweise auch mit Unternehmen aus dem Ausland, hilft dabei, die entsprechenden Anforderungen besser zu verstehen und Absatzmöglichkeiten realistisch einzuschätzen. Vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele sollte Pflanzenkohle zunehmend an Bedeutung als CO_2-Senke gewinnen. Steigenden Preise für CO_2-Zertifikate kann zur Wirtschaftlichkeit der Pyrolyseanlage beitragen.

Darüber hinaus bleibt weiterer Forschungsbedarf, um die Potenziale der Pflanzenkohle besser einschätzen zu können und ihren Einsatz bei der Kohlenstoffbindung und damit für den Klimaschutz zu erfassen.