

MSc. Freya Sternkopf

Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft

Pflanzenkohle

Potentiale und Risiken für die Landwirtschaft

Dresden, Samstag, 19. November 2022



Institut für Abfall- und
Kreislaufwirtschaft

Nutzung von Biomasse - Übersicht

Abb. 1: Unterteilung der Biomassenutzung

Kohlenstoff bzw. Kohlenstoffverbindungen sind nicht nur Energieträger, sondern auch wichtiger Roh- und Ausgangsstoff für die Industrie. Mit dem Ausstieg aus der fossilen Energiewirtschaft werden zukünftig viele dieser benötigten Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe wegfallen oder nicht mehr zu heutigen Preisen zur Verfügung stehen, insbesondere bei angemessener CO₂-Emissionen Bepreisung. Biogene Kohlenstoffe können hier neue Perspektiven schaffen.

Begriffsklärung Kohle

Biokohle

- wird gemäß UBA-Report 2016 nun für alle Eingangsstoffe und Verfahren verwendet
- Technisch werden Biokohlen sowohl durch thermochemische als auch durch hydrothermale Prozesse aus organischen Stoffen hergestellt
- Kohlenstoffgehalte zwischen 50 und 80 %

Pyrolysekohle

- durch Pyrolyse hergestellte Kohlen (auch z.B. aus Plastik)

Pflanzenkohle (engl.: biochar)

- pyrolytisch bei einem Sauerstoffgehalt unter 2 % und Temperaturen zwischen 350 und 1000 °C aus organischen Stoffen hergestellte Kohlen
- großer Teil der Publikationen zur Wirkung im Boden und nachhaltigem Einsatz in der Landwirtschaft

HTC Kohle

- Hydrothermal unter Sauerstoffausschluss bei Temperaturen zwischen 180°C und 240°C und erhöhtem Druck hergestellte Kohle

Abb. 2: Biomassekarbonisat
(Quicker&Weber, 2016)

Thermochemische Verfahren

Thermochemische Verfahren mit
kontinuierlicher Betriebsweise:

- Inkohlung in Form der hydrothermalen Carbonisierung (HTC) ohne Sauerstoffzufuhr als nasses Verfahren unter Zugabe von Wasser
- Pyrolyse: Verkohlung bei unter 2% Sauerstoff
- Biomassevergasung: leichte Zugabe von Sauerstoff; Ziel: Erzeugung von Brenngas

Abb. 3: Verfahren zur Biomasse-behandlung

Schlüsselbegriffe Pflanzenkohle

Pflanzenkohle (engl. Biochar): Poröses, kohlenstoffhaltiges Material, das durch pyrolytische Verkohlung pflanzlicher Ausgangsstoffe hergestellt wird.

Pyrolyse: Thermochemische Umwandlung von organischen Verbindungen, insbesondere Biomasse, in sauerstoff-limitierter Umgebung bei hohen Temperaturen.

NETs: Negativemissionstechnologien (engl. Negative Emission Technologies)

Kohlenstoffsequestrierung: Abscheidung und dauerhafte Speicherung von atmosphärischem Kohlenstoff.



Abb. 4:
Pflanzenkohle
aus Herstellung
im Erdtrichter

Ausgangsstoffe der Pflanzenkohleherstellung

- **Erntereste** aus der Landwirtschaft
- schnell **nachwachsender Biomasse**, z.B. Miscanthus, Hanf, Rutenhirse oder Durchwachsene Silphie
- **Organische Reststoffe** aus der Lebensmittelverarbeitung oder Sekundärnutzung von Biomasse, z.B. Trester, Nussschalen, Steinobst-Kerne, Kaffeesatz
- **Holz** aus Landschaftspflege, Kurzumtriebsplantagen, Ackerforstwirtschaft, Waldgärten, Feldrainen und urbanen Flächen
- Biomasse aus nachhaltiger Waldbewirtschaftung
- **Holzabfälle**, z.B. Waldrestholz und Sägereste, sowie rezykliertes Bau- und Nutzholz
- Biomassen und Ernterückstände, die **hygienisiert** werden müssen, um Krankheitserreger abzutöten und Infektionsketten zu unterbrechen, z.B. Tabakmosaikviren bei der Tomaten- oder Paprikaproduktion

Abb. 6: Ausgangsstoffe für Pflanzenkohle

Stoffströme bei der Herstellung von Pflanzenkohle

Je nach Prozessführung kann der Anteil des in der Biomasse enthaltenen Kohlenstoffs auf die 3 Endprodukte unterschiedlich ausfallen

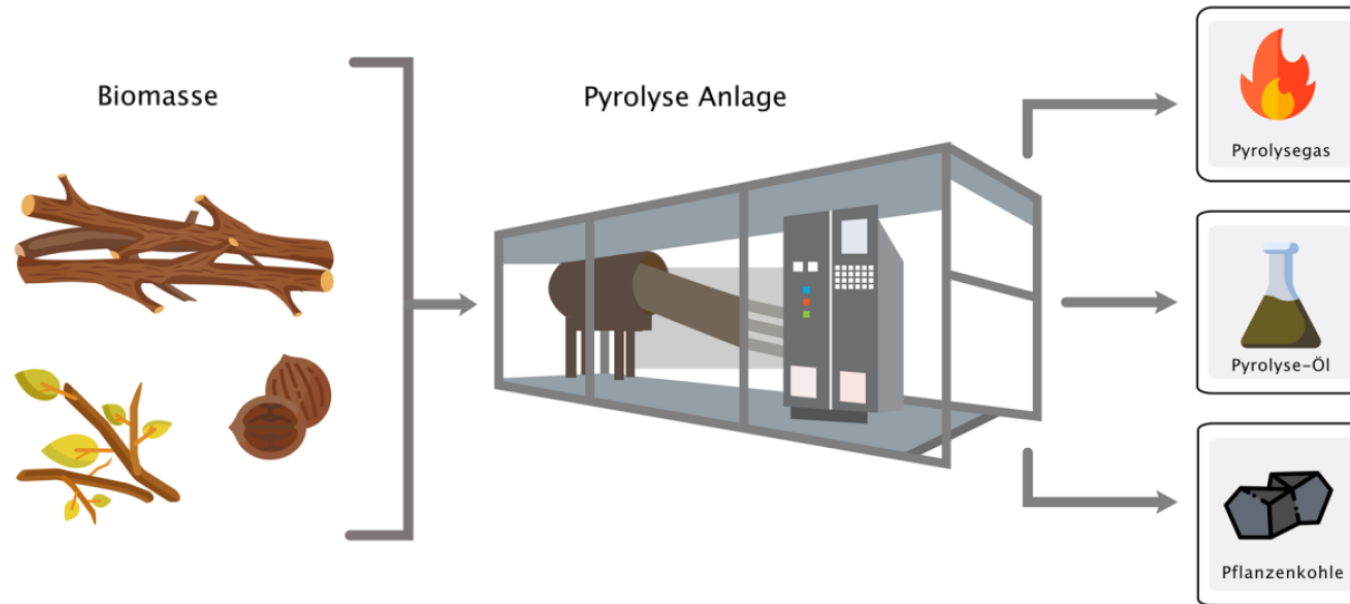
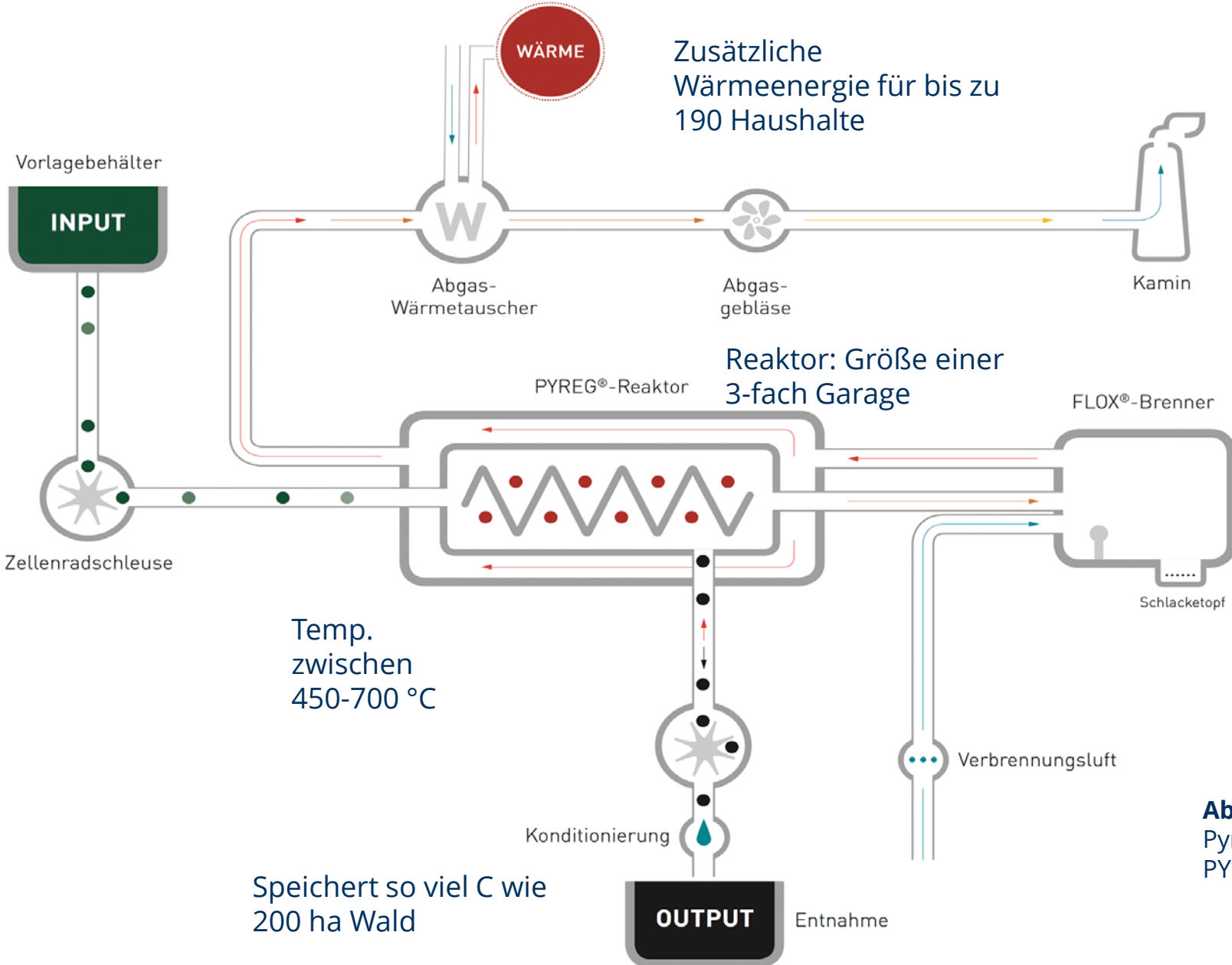


Abb. 7: Produkte der Biomassepyrolyse, copyright by EBI

- Herstellung von Pflanzenkohle unter Luftabschluss bei 350 °C - 1000 °C - Pyrolyse-Verfahren
- Abspalten von Wasser
- Endprodukte: Pflanzenkohle, Synthesegas und -öl + Wärme
- Mineralstoffe der ursprünglichen Biomasse werden größtenteils in der Pflanzenkohle gebunden

Pyrolyse zur Herstellung von Pflanzenkohle



WÄRME

Zusätzliche
Wärmeenergie für bis zu
190 Haushalte

Exothermer Prozess:
benötigte Energie wird
selbst hergestellt

Größenlimitierung:
Am besten
Pelletiertes Material

Temp.
zwischen
450-700 °C

Speichert so viel C wie
200 ha Wald

Abb. 8: Biomassepyrolyse mit
Pyreg Reaktor, copyright by
PYREG

Herstellung von Pflanzenkohle

- 24-Stunden-Betrieb bei 600 °C
- Rohstoff: Zellulosefasern und Getreidespelzen
- wird über Zellenradschleuse in Pyreg-Reaktor eingetragen
- produziert täglich ca. 1.500 kg hochwertige Pflanzenkohle
- das entstehende Gas wird abgesaugt, über Zyklon gereinigt und in Brennkammer bei 1.200°C verbrannt
- das verbrannte Abgas wird nach Reinigungsstufe über Mantel des Reaktors geführt und erhitzt das frisch eingetragene Material
- Prozess benötigt keine Fremdenergie
- Abgastemperatur ca. 600°C über Abgaswärmetauscher; Trocknung der Zellulosefasern

Abb. 9: Pflanzenkohle-Produktionsanlage in Österreich seit Juli 2012 in Betrieb (SONNENERDE - Gerald Dunst Kulturerden GmbH)

Herstellung von Pflanzenkohle



Abb. 10: Produkte der Biomassepyrolyse mikro bis makro

- Pflanzenkohle hat fein-krümelige und stark poröse Struktur (Achtung: Staub)
- Umweltfreundliche Herstellung von Pflanzenkohle mit bis zu vierfacher Wertschöpfung: (i) Erzeugung von CO₂-neutralem Strom, (ii) CO₂-neutraler Wärme, (iii) Pflanzenkohle und (iv) Negativemissionen
- EBC (European Biochar Certification) Zertifizierung zur Qualitätssicherung: Grenzwerte für PAKs, Schwermetalle etc., Festlegung von mind. Kohlenstoffgehalt und spez. Oberfläche (300m²/g)

Anwendungen von Pflanzenkohle

Der Fachverband für Pflanzenkohle e.V. listet über 50 Einsatzgebiete...

Im Garten- und Landschaftsbau

- Bodenverbesserung, Substitution von Torf
- Pflanzung von Stadtbäumen (Wurzellock-Stoff, Stockholm Modell)

Im Produktions- und Hobbygartenbau

- Bodenverbesserung,
- Substitution von Torf
- Verbessert und beschleunigt die Kompostierung durch höhere mikrobielle Aktivität

In Kläranlagen

- Aktivkohle aus problematischer Produktion kann durch Pflanzenkohle substituiert werden



Abb. 11: Verwendungsmöglichkeiten Pflanzenkohle 1

Anwendungen von Pflanzenkohle

In Kompostanlagen

- Verbessert und beschleunigt die Kompostierung durch höhere mikrobielle Aktivität

Industrielle Anwendungen

- Beimischung in Beton
- Katalysatoren, z.B. nanokomposit-Katalysatoren auf Basis von Pflanzenkohle zur Entfernung von endokrinen Disruptoren
- In der Kosmetikindustrie, z.B. Peelings, Hautreinigung
- In der Lebensmittelindustrie, z.B. als Farbstoff in Süßigkeiten

In der Landwirtschaft

- Ertragssteigerung und Humusaufbau
- Trockenresistenz und Wasserspeicherfähigkeit von Böden erhöhen
- Reduktion von Treibhausgasemissionen wie Methan und Lachgas
- Reduktion von Nitratauswaschungen



Abb. 12: Verwendungsmöglichkeiten Pflanzenkohle 2

Bodenwirkung von Pflanzenkohle

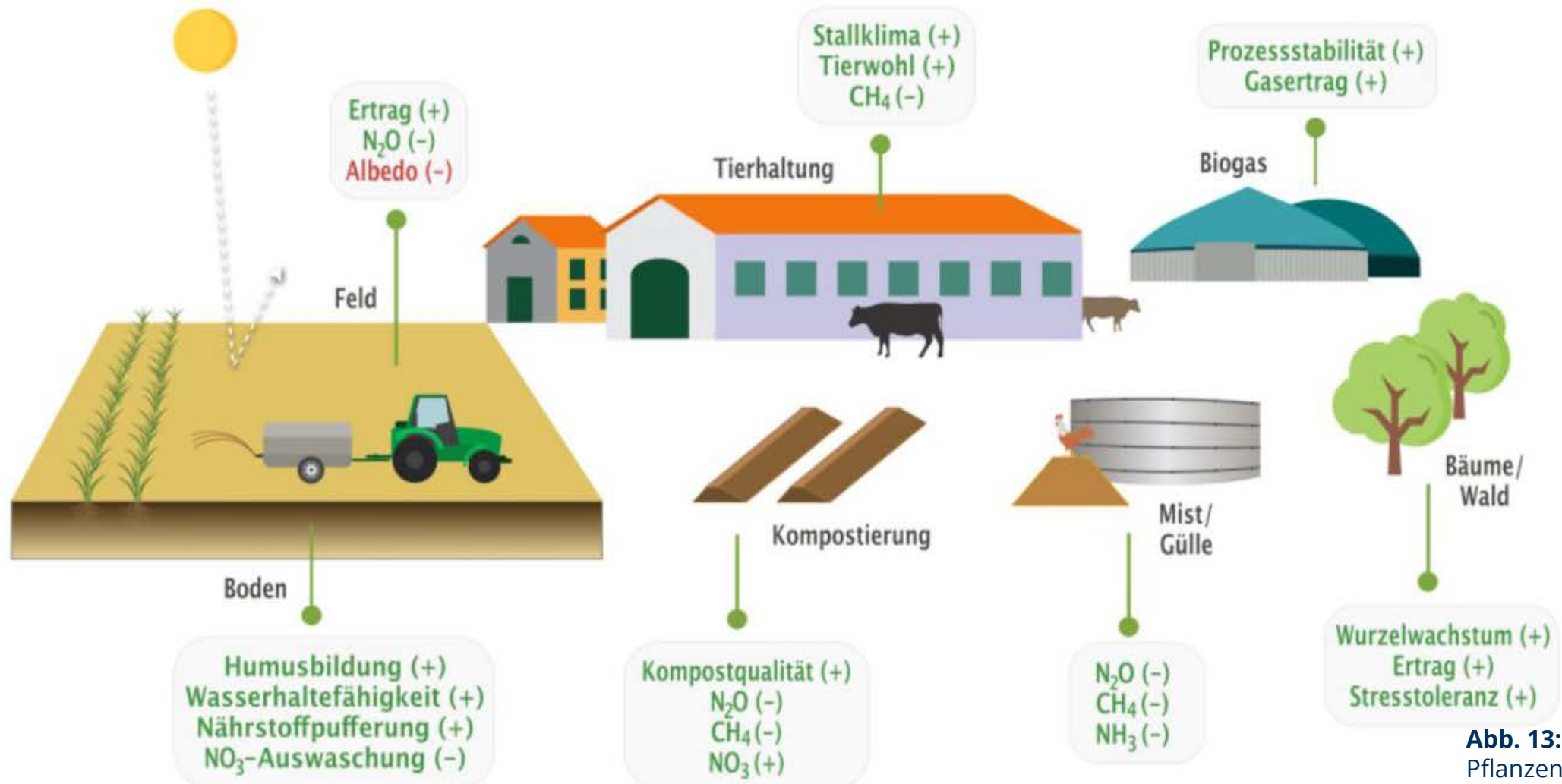


Abb. 13: Wirkung Pflanzenkohle, copyright by EBI

Nutzen von Pyrolyse in der Landwirtschaft

Abb. 14: Biogas und Pyrolyse Anlage

Sicherung regionaler Wärmenetze durch Pyrolyse

Nach Auslaufen EEG-Förderung ist der Weiterbetrieb von Biogas-Anlagen oft unwirtschaftlich

- Bestehende lokale Wärmenetze brauchen neue Wärmequellen

Biogas-/Stromerzeugung auf Basis von Mais ist ineffizient im Vergleich zu PV und Wind:

Solarer Wirkungsgrad: 1-2% (Mais) vs. ca. 20% (PV)

Ersatz Biogas-Anlage durch Pyrolyse-Anlage zur Erzeugung von Strom, Wärme, Pflanzenkohle, C-Senken-Zertifikaten und ggf. Wasserstoff

Vorteile:

- Wärmenetze bleiben in Betrieb
- Zusätzliche Entsorgungserlöse möglich (z.B. bei Landschaftspflege-Material oder Biotonne)
- Einnahmen für C-Senken-Zertifikate von Pflanzenkohle
- Mais-Anbaufläche wird frei für nachhaltigere Nutzung

Kaskadennutzung von Pflanzenkohle

Bsp. 1: Herstellung von Pflanzenkohle aus Waldrestholz, die Nutzung derselben zum Filtern von Abwasser in der Lebensmittelindustrie, wodurch sie mit Nährstoffen angereichert wird und das Wasser gereinigt wird, mit einer anschließenden Verwendung der aufgeladenen Pflanzenkohle als Düngemittel oder Düngemittel-Bestandteil, z.B. kombiniert mit Gesteinsmehlen, die ebenfalls CO₂ durch Verwitterung binden

Bsp. 2: Pflanzenkohlebeimischung in Silage (bessere Silierung), Fütterung (Tiergesundheit), Mist (Tiergesundheit, Geruch), Güllebehandlung (Geruchsbindung), Kompostierung (Förderung effektiver Mikroorganismen, Geruchsbindung) und schließlich Einsatz des Kompostes inkl. beladener Pflanzenkohle zur Bodenverbesserung (Nährstoffe, Humusaufbau)

Abb. 15:
Kaskadennutzung
Pflanzenkohle

Rechtliches zum Einsatz von Pflanzenkohle

EU-Vorschrift über Düngemittel (Verordnung 2019/1009) gültig seit 16. Juli 2022

- Ausweitung auf alle Arten von Düngemitteln, einschließlich organischer Düngemittel und Pflanzenkohle
- Erweiterung der Positivliste für Eingangsstoffe zur Produktion von Pflanzenkohle, insbesondere die explizite Öffnung für landwirtschaftliche, industrielle und kommunale Stoffnebenströme
- Etablierung einer ordentlichen Regulierung von Pflanzenkohle: Festlegung von Grenzwerten, um die Sicherheit von Anwendern, Arbeitnehmern und der Umwelt zu gewähren
- niedrigen Grenzwerte, insbesondere von PAK (6mg/kg Trockenmasse), jedoch nicht an definierte Analysemethoden gekoppelt
- Ausschluss von Klärschlämmen trotz besserer CO₂-Bilanz im Vergleich zur erlaubten Verbrennung und Ermöglichung von Phosphor Rückgewinnung
- Bei einer Prozessführung unter 500°C ist der im Klärschlamm-Pyrolysat enthaltene Phosphor ohne weitere Aufbereitungsschritte pflanzenverfügbar



Abb. 16: Pflanzenkohlelieferung

Rechtliches zum Einsatz von Pflanzenkohle

Durch die am 7.1.2020 in Kraft getretene Reform der **Verordnung (EG) Nr. 889/2008** ist Pflanzenkohle ab sofort im **EU-Bioanbau** zugelassen

- Die Pflanzenkohle darf allgemein aus pflanzlicher Biomasse hergestellt und unbehandelt oder mit bio-zugelassenen Produkten behandelt in den Boden gebracht werden
- Die Anwendung als Tierfutter in der Bio-Landwirtschaft ist weiterhin nicht gestattet
- Einziger Grenzwert für Schadstoffe: höchstens 4 mg/kg PAK (EBC-Premium-Standard)

Handhabung von Pflanzenkohle bei den Bioverbänden aktuell:

Bioland hat die Verwendung von Pflanzenkohle grundsätzlich erlaubt, wenn die Vorgaben der Öko-Verordnung bezüglich des PAK-Grenzwertes und der Behandlung der Ausgangsmaterialien eingehalten werden.

Der **Demeter-Verband** hat zum Januar 2022 seine überarbeiteten Zertifizierungsrichtlinien veröffentlicht. Darin ist Pflanzenkohle neu als organischer Dünger und als Mulchmaterial zugelassen. Voraussetzungen sind:

- PAK-Gehalte gemäß VO(EG) 889/2008 nach Toluol Extraktion
- Einhaltung der Schwermetallgrenzwerte nach dem Standard EBC-AgroBio

Der Demeter-Verband sieht den Einsatz von Pflanzenkohle vor allem als Kompostierungshilfe vor.

Biopark lässt den Einsatz von Pflanzenkohle als Düngemittel/Bodenverbesserer zu.



Abb. 17:
Pflanzenkohle aus eigener Herstellung im Kleingarten

Pflanzenkohle zur CO₂ Kompensation

- Für Klimaneutralität benötigt die EU bis 2050 ein jährliches Senkenvolumen von mind. 850 Mio. t CO₂
- 3 jetzt verfügbare Lösungen für Kohlenstoffsequestrierung: Aufforstung, Pflanzenkohle, Humusaufbau

Die schlussendliche Anwendungsart der Pflanzenkohle bestimmt die Dauerhaftigkeit der Kohlenstoffsенke:

- Jährliche Abbaurate von ca. 0,3% bei **Bodenanwendungen** von Pflanzenkohle
- Bei einer Verwendung von Pflanzenkohle als **Sandersatz im Beton** gibt es keine Abbaurate (Luftabschluss)
- Bei einer Anwendung als **Filtermaterial** entsteht hingegen nur dann eine dauerhafte Kohlenstoffsенke, wenn es langfristig deponiert wird
- Bei Anwendung als **Ersatz für fossilen Kohlenstoff** (energetische Nutzung oder z.B. als Reduktionsmittel in der Metallherstellung) entstehen keine Kohlenstoffsенken.



Abb. 18: Grillkohle

Synergien von Pflanzenkohle mit anderen NETs

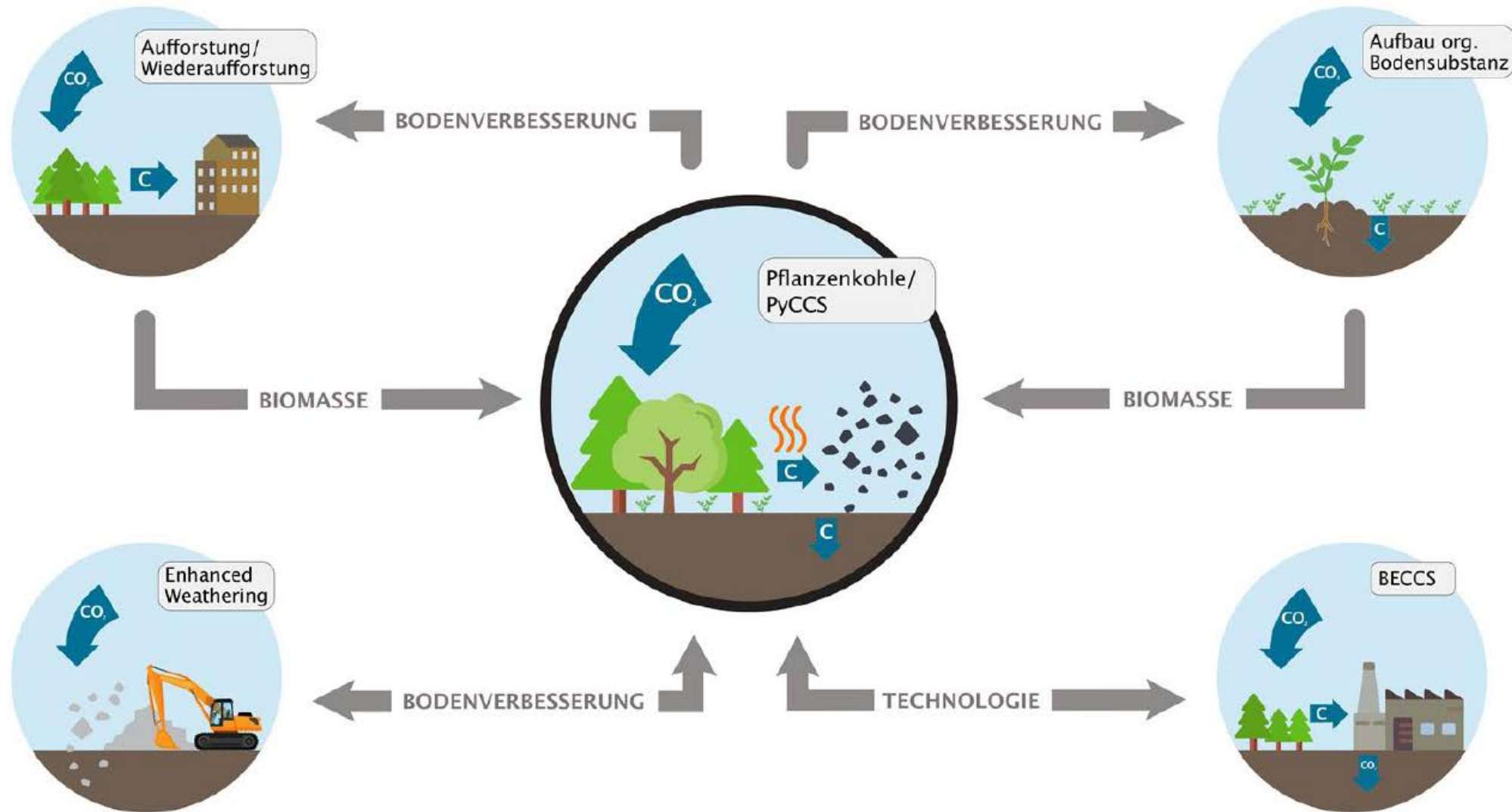


Abb. 19: Synergieeffekte Pflanzenkohle, copyright by EBI

Pflanzenkohle zur CO₂ Kompensation

Zusammenfassung	Umwelteffekt der Pflanzenkohle	in CO ₂ /Jahr
1) Produktion	350 t x 70 % C x 3,67 = t CO ₂	900
2) Substitution Erdgas	100 kW Wärme ganzjährig	500
3) Reduktion von Lachgas	Effekt relativ gesichert, Größenordnung noch nicht schätzbar	-
4) Reduktion des Mineraldüngers	20 ha, - 50 kg N / ha = 1 t N = 2 t Öl für 30 Jahre = 60 to Öl	187
5) Humuserhöhung Terra Preta	20 ha, 3 t / ha und Jahr, 30 Jahre	1.800
6) Erhöhtes Pflanzenwachstum	20 ha, + 10 % Ertrag = 2,5 to CO ₂ / ha - 30 Jahre	1.500
7) Reduzierte Bodenbearbeitung	20 ha, - 50 Liter Diesel = 153 kg CO ₂ - 30 Jahre	90
Summe		4.977

Tab. 1: CO₂-Kompensation durch Pflanzenkohle, source Prof. Dornack

Eine Pyrolyseanlage hat das Potential, jährlich rund 5.000 Tonnen CO₂ zu kompensieren, wobei davon 1.400 Tonnen wissenschaftlich abgesichert sind.

Herausforderungen der Pflanzenkohle

- bei Pyrolyse muss die Biomasse erst getrocknet werden, sehr nasse und cellulosehaltige Biomasse besser kompostieren
- Pflanzenkohleanwendungen bislang aufgrund der hohen Bereitstellungskosten lediglich in Nischenmärkten wirtschaftlich tragfähig (z.B. Weinanbau)
- Nachweis von positiver Wirkung oft erst bei Anwendungen ab 10t/ha
- Kaskaden- und Abwärmenutzung müssen beachtet werden
- hohe Variabilität der Ausgangsmaterialien und Verfahren führt zu Vielzahl von Produkten mit unterschiedlichen Eigenschaften (z.B. pH-Wert, Oberfläche, Nährstoffgehalt und Speicherfähigkeit von Wasser und Nährstoffen)
- Beladung der Pflanzenkohle in meisten Anwendungen nötig und komplex



Abb. 20: Pflanzenkohle aus Holz

Herausforderungen der Pflanzenkohle

Abb. 21: Pflanzenkohle
Ausbringung in der Landwirtschaft

1t Pflanzenkohle bindet unter Berücksichtigung aller Verluste rund 2 t CO₂. Wenn der Landwirt also für die Klimadienstleistung der Kohlenstoffsequestrierung heute beispielsweise 100 €/t CO₂ erhält, so bewirkt dies, dass er gut 20% der Pflanzenkohlekosten über die Klimaleistung finanziert bekommt. Steigt der Wert der Klimadienstleistung zukünftig auf beispielsweise 150 €/t CO₂ an, so deckt dies schon ein Drittel der Kosten.

Herausforderungen der Pflanzenkohle

Aktueller Marktpreis m ³	270 – 400 €
Aktueller Marktpreis t	630 – 1100 €
NET - Preis (atmosfair, carbonfuture)	5 - 119 € / t CO ₂ -eq
Herstellungskosten Pflanzenkohle pur	800 - 1000 €/t

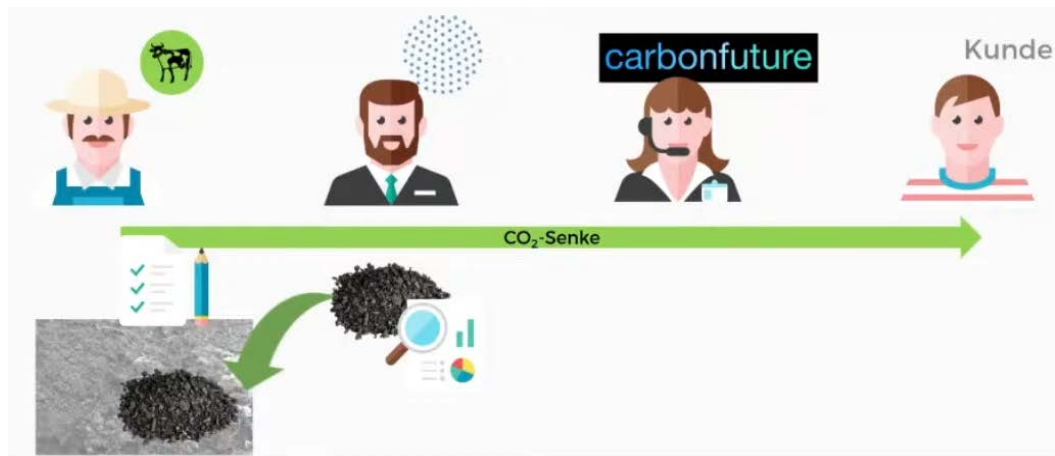


Abb. 22: copyright by Carbonfuture



Landwirtschaftliche Pflanzenkohle-Anwendungen

Verkaufte Menge

156,84/163,61 tCO₂e

Forschungsprojekt: thebiocharstory (Machbarkeitsphase)

Neue Konzepte zur standardisierten Beladung, sowie Logistik, Herstellung und Verbreitung von Pflanzenkohle in einer regionalen Kreislaufwirtschaft für den wirksamen Einsatz als Klimapuffer

Ziele:

- Kohlenstoff langfristig der Atmosphäre entziehen
- Auswirkungen als Bodenverbesserer nachweisen
- optimierte Beladung der Pflanzenkohle anknüpfend an die Sondierungsphase
- Ausarbeitung eines skalierbarer Businessansatz für die Herstellung, anwendungsorientierte Beladung von Pflanzenkohle, Logistik sowie Kommunikation mit Anwender*innen
- Entwicklung eines Prototyps für in sandigen Böden einsetzbare, beladene Pflanzenkohle
- schließen von regionalen Energie- und Stoffkreisläufe
- Schaffung neuer Perspektiven im ländlichen Raum



Abb. 24: Pflanzenkohle aus Holz

Projektphasen im Projekt thebiocharstory



Abb. 25: Projektphasen thebiocharstory

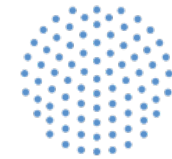
Netzwerk thebiocharstory



Agrar-Genossenschaft See eG



INSTITUT FÜR ABFALL- UND KREISLAUFWIRTSCHAFT



CARBUNA



ULRIKE MOHR



Karen Deprie
Koordinatorin Wissens- und Technologietransfer



Dr. Hannes Junginger, CEO



Eliška Černá **REHWALDT LANDSCAPE ARCHITECTS**



Eng. Landscaping and Garden Architecture, CULS Prague

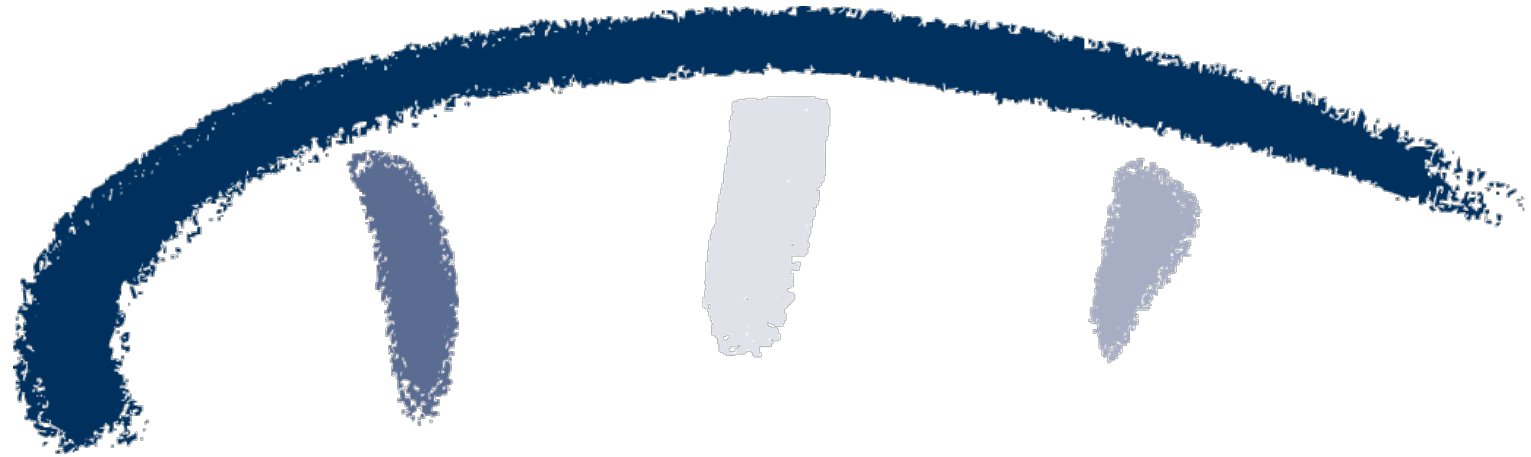


Erik Kreams

SÄCHSISCHER LANDESBAUERNVERBAND



Abb. 26: Projektpartner und Beirat thebiocharstory



»Wissen schafft Brücken.«