

Pflanzenkohle als Multi-Talent

CO₂-Entnahme, erneuerbare Energie und Bodenverbesserung zusammen denken

Mit Pflanzenkohle kann langfristig CO₂ aus der Atmosphäre entnommen werden. Durch die landwirtschaftliche Anwendung können viele Zusatzvorteile entstehen, etwa ein klimaangepasster Boden. Außerdem kann erneuerbare Energie ausgekoppelt werden. Trotzdem steht das Multi-talent Pflanzenkohle noch vor einigen Hürden. Die Ergebnisse, die hier vorgestellt werden, basieren auf den Arbeiten im Forschungsprojekt „Landgewinn – Energiesystemanalyse von Dekarbonisierungsstrategien der Landwirtschaft“.

Von Antonia Kallina, Clara Lenk und Elmar Zozmann

Pflanzenkohle ist ein festes, kohlenstoffreiches Material, das mittels Pyrolyse hergestellt wird. Hierbei wird Biomasse in einer sauerstoffarmen Umgebung bei über 250 Grad Celsius thermo-chemisch umgewandelt (Lehmann/Joseph 2015). Neben Pflanzenkohle entstehen Pyrolyseöl und Synthesegas, welche zur Strom- und Wärmeproduktion verbrannt werden können. Pflanzenkohle wird in der Landwirtschaft als Bodenverbesserer, Düngemittelträger, Futterzusatz, Stalleinstreu und Gülleadditiv verwendet (Schmidt et al. 2021). Bei entsprechenden Herstellungsbedingungen wird sie zu einer permanenten Kohlenstoffsenke (Azzi et al. 2024). Daher wird sie in den letzten Jahren vermehrt zur atmosphärischen CO₂-Entnahme unter dem Stichwort *Biochar Carbon Removal (BCR)* diskutiert (Schmidt et al. 2019). Abbildung 1 zeigt beispielhaft, wie Pflanzenkohle aus Biomasse hergestellt werden kann.

Die Pflanzenkohlepyrolyse stellt folglich eine aussichtsreiche Technologie zur Energiebereitstellung und zur CO₂-Entnahme mit positiven Nebeneffekten in der Landwirtschaft dar. Durch die Verwertung von landwirtschaftlichen und kommunalen Reststoffen entstehen neue Wertschöpfungsmöglichkeiten. Trotz ausgereifter Technologie werden

viele Reststoffe aber noch nicht zu Pflanzenkohle weiterverarbeitet. Dieser Artikel analysiert die Herstellung von Pflanzenkohle aus ökologischer, ökonomischer und rechtlicher Perspektive. Exemplarisch für ein breites Portfolio aus Reststoffen werden Waldrestholz, Stroh und Klärschlamm betrachtet.

Ökologische Perspektive

Die ökologische Bewertung der Pflanzenkohletechnologie wurde als Ökobilanz mittels Nutzenkorbmethode durchgeführt und schließt die Aufbereitung von Biomasse, die Pyrolyse inklusive Anlagenbau, die Auskopplung von Energie und die agrarische Anwendung der Pflanzenkohle mit ein. Dem betrachteten System werden Nutzen zugeordnet, um den Vergleich zu einem Referenzsystem mit dem gleichen Nutzen zu ermöglichen. Der Nutzen, der vom Pyrolyse- und Referenzsystem gleichermaßen erbracht wird, lässt sich über die Verwertung von Reststoffen und die Bereitstellung erneuerbarer Energie in Form von Strom und Wärme (siehe Abbildung 1) darstellen. Damit die Systeme vergleichbar sind, müssen sie den gleichen Output an Energie aufweisen. Entsprechend muss zum Teil Energie aus konventioneller Herstellung rechnerisch ausgeglichen werden. Referenzsystem für die Pyrolyse von Waldrestholz und Stroh ist die Verbrennung in einem Heizkraftwerk (HKW) und für Klärschlamm die Verbrennung in der Monoverbrennungsanlage (MV). Der Fokus der ökologischen Bewertung lag auf dem Treibhauspotenzial.

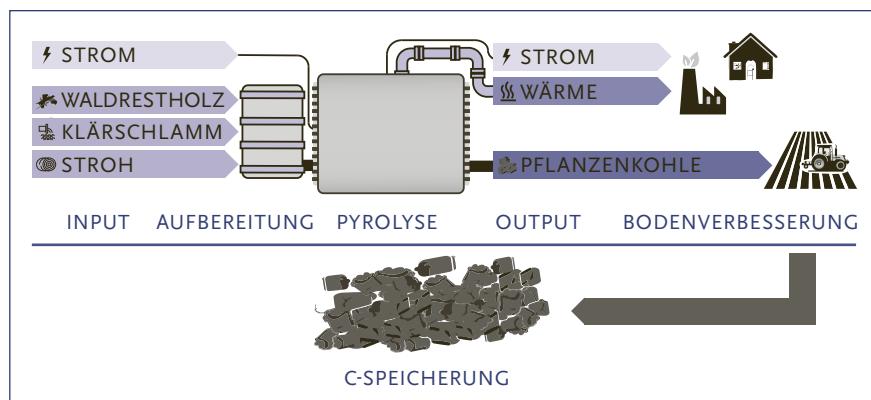


Abbildung 1: Beispielhafte Herstellung und Anwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft.

Quelle: Eigene Darstellung.

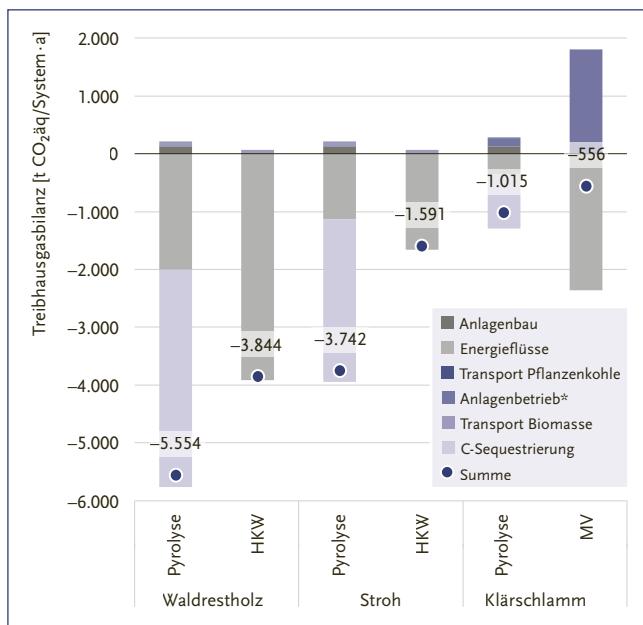


Abbildung 2: Treibhauspotenzial für Pyrolyse und HKW/MV. *Die Energieflüsse berücksichtigen Gutschriften durch Substitution konventioneller Energie und den rechnerischen Ausgleich. Quelle: Eigene Berechnungen.

In Abbildung 2 sind die Ergebnisse der drei Biomassen sowohl für die Pyrolyse als auch für die Referenzsysteme dargestellt. In allen Systemen sind die Ergebnisse in Summe negativ, weisen also im Vergleich zur rein konventionellen Bereitstellung von Energie Umweltvorteile auf. In den Pyrolysesystemen steht stellvertretend dafür das negative Treibhauspotenzial durch die C-Senke in Form von Pflanzenkohle. Bei den Referenzsystemen ist es die Einspeisung von Strom und Wärme. Am größten ist die Differenz zwischen Pyrolyse und Referenz bei der Betrachtung von Stroh.

Ökonomische Perspektive

Aus ökonomischer Perspektive wird die Wirtschaftlichkeit der Pflanzenkohleherstellung bewertet. Aktuelle Marktpreise für Pflanzenkohle wurden als Indikator für die entstehenden positiven Nebeneffekte in der Landwirtschaft verwendet, um herauszufinden, ob sich Herstellung und Anwendung von Pflanzenkohle für einen landwirtschaftlichen Betrieb lohnen. Dazu wurden alle anfallenden Kosten und Erlöse mit der Annuitätenmethode unter Berücksichtigung von Zinseffekten über eine Laufzeit von 15 Jahren gegenübergestellt. Auf der Kostenseite stehen die Anschaffung der Pyrolyseanlage, der Biomassebezug sowie laufende Kosten für Anlagenbetrieb und -wartung. Demgegenüber stehen Erlöse aus dem Verkauf der Pflanzenkohle, von Wärme und gegebenenfalls Strom sowie aus der Monetarisierung der CO₂-Entnahme. Je nach betrachteter Biomasse werden unterschiedliche Betriebskonzepte betrachtet: Stroh und Waldrestholz werden auf landwirtschaftlichen Betrieben und Klärschlamm in einem Klärwerk zu Pflanzenkohle verwertet.

Für die Analyse wurde ein wirtschaftlicher Zwischenhandelsverkaufspreis von unbehandelter Pflanzenkohle in Höhe von 300 €/t angenommen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Herstellung von Pflanzenkohle auf der Ebene eines landwirtschaftlichen Betriebs unter den angenommenen Kosten und Erlösen nicht wirtschaftlich ist, da die Herstellungskosten zwischen 303 und 1.270 €/t liegen. Die Analyse zeigt außerdem, dass größere Pyrolyseanlagen tendenziell wirtschaftlicher sind und die Inwertsetzung von allen Pyrolyseprodukten relevant ist: die Pflanzenkohle, die Vermarktung oder Eigenverwendung der Energie und die Monetarisierung der CO₂-Entnahme. Die Klärschlamm-Pyrolyse schneidet wirtschaftlich am schlechtesten ab, allerdings ist die Klärschlammverwertung eine kommunale, Kosten verursachende Entsorgungsaufgabe. Hier ist aus ökonomischer Perspektive der Vergleich zu anderen, tendenziell teureren Klärschlamm-Verwertungspfaden wie der MV interessant (Heinrich/Heinrich 2022).

Rechtliche Perspektive

Seit Einführung der EU-Düngeproduktverordnung 2019/1009 kann eine Vielzahl an biogenen Reststoffen zu Pflanzenkohle pyrolysiert werden, dazu gehören unter anderem auch Waldrestholz und Stroh. Diese pyrolysierten Produkte können in der EU als Dünger und Bodenhilfsstoff verwendet werden. Ausgenommen von der Zulassung ist bisher Klärschlamm-Karbonat.

Zur Erläuterung: Nach der deutschen Düngemittelverordnung (DüMV) dürfen Düngemittel und Bodenhilfsstoffe nur Kohle mit einem C-Gehalt von mindestens 80 Prozent in der Trockenmasse aus chemisch unbehandeltem Holz enthalten. Die DüMV 2019 hat jedoch nur einen begrenzten Geltungsbereich und gilt nur für das Inverkehrbringen von Düngemitteln, die nicht als EG-Düngemittel bezeichnet werden. Daneben weist die DüMV noch nicht auf die aktuellen Regelungen aus der Verordnung (EU) 2019/1009 und der delegierten Verordnung (EU) 2021/2087 und sollte aktualisiert werden.

Ein EU-Düngeprodukt darf nur aus Materialien bestehen, die die Anforderungen aus Anhang II der Verordnung 2019/1009 erfüllen. Grundsätzlich darf ein EU-Düngeprodukt durch Pyrolyse gewonnene Materialien enthalten. Es dürfen jedoch nur bestimmte Ausgangsmaterialien für ein pyrolysiertes EU-Düngeprodukt verwendet werden. In der delegierten Verordnung der EU-Kommission vom 7. Juli 2021 AB-L 427 zur EU-Düngeprodukte-Verordnung 2019/1009 sind solche Produkte aus der Pyrolyse von Klärschlamm nach Anhang II CMC 14 1a) ausdrücklich ausgenommen und nicht positiv in der Aufzählung in Nr. 1 enthalten. Daneben lehnte auch der nationale wissenschaftliche Beirat für Düngungsfragen das Begehr auf düngemittelrechtliche Zulassung von Klärschlamm-Karbonat ab (WBD 2024).

Bemerkenswert ist, dass Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen in EU-Düngeprodukten enthalten sein darf, wenn er durch thermische Oxidation und durch thermochemische Umwandlung unter nicht sauerstofflimitierenden Bedingungen verarbeitet wird gemäß Anlage II CMC 13, Nr. 1 e) der dele-

gierten Verordnung (EU) 2021/2087. Warum die Einhaltungen von Grenzwerten keine gängige Methode für die Zulassung von Klärschlamm-Karbonisat als Düngemittel und Bodenhilfsstoff ist, bleibt unverständlich, gerade da Klärschlamm an sich als EU-Düngemittel zugelassen ist. Die Anpassung des Rechtsrahmens scheint hier überfällig.

Fazit

Die Pyrolyse von Reststoffen zeigt ein ökologisches Potenzial gegenüber der konventionellen energetischen Verwertung von Reststoffen auf, insbesondere durch die Erzeugung von Negativemissionen. Ökonomisch stellen sich für eine breitere Anwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft vor allem zwei Fragen: Können die Herstellungskosten sinken und können die langfristigen positiven Anwendungseffekte für landwirtschaftliche Betriebe ökonomisch greifbar gemacht werden? Zusätzlich stellt die Monetarisierung der CO₂-Entnahme einen Schlüssel für eine breitere Anwendung dar. Dafür ist ein verlässlicher politischer Rahmen wichtig. Für Klärschlamm-Karbonisate stellt sich für die Anwendung in der Landwirtschaft die Frage, ob rechtliche Anforderungen auf Nährstoffrückgewinnung und Schadstoffgehalte eingehalten werden können.

Literatur

- Azzi, E. S./Li, H./Cederlund, H./Karlton, E./Sundberg, C. (2024): Modelling biochar long-term carbon storage in soil with harmonized analysis of decomposition data. In: *Geoderma* 441: 116761. DOI: 10.1016/j.geoderma.2023.116761
- WBD (2024): Biokohle in der Pflanzenproduktion – Nutzen, Grenzen und Zielkonflikte. In: BMEL (Hrsg.): Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft Nr. 239. Bonn, Wissenschaftlicher Beirat für Düngungsfragen. <https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/504/743>
- Heinrich, K./Heinrich, S. (2022): Vom Abfall zum Gartengold: Klärschlammveredlung mit Pyrolyse. Niederfrohna/Sachsen, Mironde Verlag.

- Lehmann, J./Joseph, S. (2015): Biochar for environmental management: An introduction. In: Lehmann, J./Joseph, S. (Hrsg.): *Biochar for Environmental Management* (2. Auflage). London, Taylor & Francis. 1–15. DOI: 10.4324/9780203762264-8
- Schmidt, H./Anca-Couce, A./Hagemann, N./Werner, C./Gerten, D./Lucht, W./Kammann, C. (2019): Pyrogenic carbon capture and storage. In: *GCB Bioenergy* 11/4: 573–591. DOI: 10.1111/gcbb.12553
- Schmidt, H./Kammann, C./Hagemann, N./Leifeld, J./Bucheli, T. D./Sánchez Monedero, M. A./Cayuela, M. L. (2021): Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. In: *GCB Bioenergy* 13/11: 1708–1730. DOI: 10.1111/gcbb.12889

AUTOR/INNEN + KONTAKT

Antonia Kallina ist Rechtsanwältin und wissenschaftliche Mitarbeiterin am Kehler Institut für Angewandte Forschung. Ihr Arbeitsschwerpunkt sind rechtliche Fragestellungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien.



Hochschule Kehl, Kehler Institut für Angewandte Forschung, Kinzigallee 1, 77694 Kehl. E-Mail: kallina@hs-kehl.de, Tel: +49 7851 894-195.

Clara Lenk ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Forschungsfeld Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz am Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW).



Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Potsdamer Straße 105, 10785 Berlin. E-Mail: clara.lenk@ioew.de, Tel: +49 30 884594-46.

Elmar Zozmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsfeld Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz am Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW).



Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Potsdamer Straße 105, 10785 Berlin. E-Mail: elmar.zozmann@ioew.de, Tel: +49 30 884594-66.

Jetzt aktuell:
greenya NRW
für Nordrhein-
Westfalen

Nachhaltig, fair & verantwortungsvoll.

Wir sind die Ökopioniere seit 1989 mit dem Einkaufsführer für nachhaltigen Konsum und gutes Leben.

GUTSCHEIN

Bitte gewünschte Ausgabe(n) ankreuzen, Ihre Adresse und € 1,60 Porto in Briefmarken pro Buch an uns senden. Um den Gutschein per E-Mail einzulösen, mailen Sie an info@greenya.de

greenya Verlag OHG | Lasbeker Str. 9 | 22967 Tremsbüttel
Fon +49 (0) 4532 - 21402 | Fax +49 (0) 4532 - 22077
info@greenya.de | www.greenya.de

- Nord (Hamburg, Schleswig Holstein) Ost (MV, BB, Berlin, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen)
- Nordrhein-Westfalen

Weitere Ausgaben sind in Vorbereitung.

greenya f. oekom Verlag 18.07.2024