

for your information

FYI

LANDGEWINN
INSIGHTS



Pflanzenkohle:
Kohlenstoffbindung, Bodenverbesserung
und Energieversorgung zusammendenken

Was Akteure aus der Praxis bewegt

Autoren: Johannes Rupp, Hannes Bluhm

LANDGEWINN

Die Herstellung von Pflanzenkohle mithilfe der Pyrolyse – d. h. die thermo-chemische Umwandlung von bevorzugt regional verfügbaren Rest- und Abfallstoffen – ist durch den benötigten Aufbau von Kohlenstoffsinken (sogenannter Negativemissionen) eine vielversprechende Klimaschutztechnologie in der Landwirtschaft. Eingebracht auf landwirtschaftlich genutzten Flächen kann die Kohle langfristig Kohlenstoff in Böden binden und zudem bei einer vorherigen Aufladung mit Nährstoffen die Wasserspeicherkapazität und Nährstoffverfügbarkeit der Böden verbessern. Durch den vielerorts bereits stattfindenden Aufbau und Betrieb von Pyrolyse-Anlagen können Stoffkreisläufe durch die Produktion und Anwendung von Pflanzenkohle geschlossen werden. Bei diesem Verfahren werden zusätzlich Wärme und potenziell auch Strom bereitgestellt. Die Einführung von Pyrolyse-Anlagen, besonders in ländlich geprägten Regionen, wirkt sich somit vorteilhaft sowohl für die Landwirtschaft als auch den Energiesektor aus und trägt darüber hinaus zum Erreichen der Klimaneutralität bis 2045 bei. Doch was bewegt die Akteure entlang der Wertschöpfungskette in dieser Phase der Produkt- und Marktentwicklung? Was gibt es für Erfahrungswerte und welche Hebel und Hemmnisse für die weitere Verbreitung der Herstellung und Anwendung von Pflanzenkohle lassen sich identifizieren?

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Landgewinn“ ([s. Information auf Seite 14](#)) haben wir uns zu diesen Fragen in einer Online-Diskussion am 05.07.2022 mit verschiedenen Akteuren ausgetauscht: Einem Hersteller und Betreibern von Pyrolyse-Anlagen, einem Projektierer von Pflanzenkohleprojekten, mehreren Vertretern aus den Bereichen Veredelung und Vertrieb von Pflanzenkohle (PK) sowie der Beratung und Qualifizierung von landwirtschaftlichen Betrieben, ebenso wie mit landwirtschaftlichen Anwendern und weiteren Personen aus der Forschung und einem Verbandsvertreter.

In diesem Info-Sheet stellen wir die aus der Diskussion gewonnenen Erkenntnisse und Sichtweisen der Akteure auf die PK dar und geben Empfehlungen für die weitere Entwicklung der PK als Klimaschutztechnologie ([s. Seite 8 f.](#)). Außerdem finden Sie im Info-Sheet weitere Hintergrundinformationen zur Technologie, zu Potenzialen und zu Betreibermodellen. Die Informationen sollen Entscheidungsträger*innen in Politik und Praxis insbesondere durch das Aufzeigen von derzeitigen Hemmnissen und möglichen Lösungsansätzen bei der zukünftigen Gestaltung der Rahmenbedingungen für die PK Orientierung bieten.

Die Pflanzenkohle – Potenziale für Klimaschutz, Land- und Energiewirtschaft

Aus Sicht der Teilnehmenden der Online-Diskussion bietet die PK hinsichtlich der Ökonomie und Ökologie durch ihre Herstellung und Anwendung ein breites Spektrum an Potenzialen – vor allem für den Klimaschutz, die Landwirtschaft und mit der Option zur Energieauskopplung auch für das Energiesystem. Um diese Potenziale zu erschließen, müssen laut den Akteuren politisch-rechtliche Bedingungen erfüllt und die Informationslage und Kommunikation verbessert werden. Auch gibt es bei der Auswahl geeigneter Ausgangsstoffe, für die in der Landwirtschaft angewandten Pyrolyse-Verfahren sowie bei der Einbringung und der Messung der Wirkung der PK noch offene Fragen und den Bedarf, weitere praktische Erfahrungen zu sammeln.

Nutzen für Mensch und Umwelt

Ökonomisch bedeutsam für den Einsatz der PK in der Landwirtschaft sind die Wahl der Ausgangsstoffe, der Herstellungsprozess, die Anwendungsbereiche und Betreibermodelle. Bislang war der Einkauf von PK recht kostspielig aufgrund der geltenden regulativen Eingrenzung auf unbehandelte holzartige Biomasse als Ausgangsmaterial. Die PK musste einen Kohlenstoffgehalt von mindestens 80 Prozent gewährleisten. Durch die Öffnung möglicher Ausgangsstoffe im Bereich der Rest- und Abfallstoffe durch die im Juli 2022 in Kraft getretene neue [EU-Düngemittelverordnung \(2019/1009\)](#) erweitern sich die Handlungsspielräume und lassen sich die Kosten senken. Mit der neuen Verordnung sind die Nutzung von Grünschnitt, Landschaftspflegematerial, Reststoffe aus der landwirtschaftlichen Produktion, wie zum Beispiel Stroh, Getreidespelzen oder Reststoffe aus der Lebensmittelerzeugung, einsetzbar. Als interessantes Pyrolysematerial werden auch Paludikulturen genannt sowie perspektivisch der Einsatz von Klärschlamm; vor allem hinsichtlich einer möglichen Phosphorrückgewinnung.¹

Durch die Erweiterung der Ausgangsstoffe wird für landwirtschaftliche Betriebe die kostengünstige Herstellung von PK über kleinere Pyrolyse-Anlagen attraktiver. Für diese Form der dezentralen Produktion sprechen die geringen Transportkosten von Biomasseinput und PK-Produkt, insbesondere bei unmittelbarer Erzeugung und Anwendung der PK auf dem Hof oder in der Region. Größere, zentral betriebene Anlagen haben laut einem Anlagenhersteller und einem Veredler von PK den Vorteil, dass sie neben der Produktion von PK eine wirtschaftlich tragfähige Wärme- und Stromauskopplung ermöglichen können und die Einkommensmöglichkeiten der Anlagenbetreiber erweitern. Im Falle einer Eigennutzung oder einer Vor-Ort-Abgabe der bereitgestellten Energie können Strom und Wärme zur Senkung der Energiekosten für die Abnehmer*innen in der Region beitragen. Gleichzeitig sind derartige Anlagen für einzelne landwirtschaftliche Betriebe in der Anschaffung und im Betrieb sehr kostspielig. Der zusätzliche Vermarktungsaufwand für die Energiedienstleistungen ist im Rahmen des üblichen Hofbetriebs nicht darstellbar, so ein beteiligter Landwirt. Ein interessantes Betriebsmodell kann laut einer Person aus der Forschung und einem Anlagenhersteller die gemeinschaftliche Anlagenbeschaffung und der Betrieb im Verbund von mehreren landwirtschaftlichen Betrieben sein. Als Beispiel werden genossenschaftlich betriebene Anlagen genannt. Darüber lassen sich auch die Biomassebereitstellung und im Idealfall die Anrechnung der geschaffenen Kohlenstoffsenken

¹ Der Einsatz von Klärschlamm ist aktuell von der Düngemittelverordnung aufgrund von Bedenken einer Schadstoffbelastung, vor allem durch Schwermetalle, ausgeschlossen.

organisieren. Wird die PK in den landwirtschaftlichen Betrieben in Form von Kaskadennutzung vielfältig angewendet, kann dies die Kosten weiter reduzieren, zum Beispiel wenn die PK auch in der Tierfütterung und zur Bodenverbesserung eingesetzt wird. Dadurch wird das Tierwohl gefördert und der Bedarf an Düngemitteln gesenkt. Ein weiterer ökonomischer Anreiz ist laut einigen Teilnehmenden die Zertifizierung von PK als Kohlenstoffsénke, [s. Exkurs auf Seite 7](#).

Neben den durch die Pyrolyse geschaffenen langfristig stabilen Kohlenstoffverbindungen ist die PK für die landwirtschaftlichen Betriebe **ökologisch** in erster Linie aufgrund der Erhöhung der Wasser- und Nährstoffspeicherkapazität der Böden interessant (zum weiteren Nutzen, [s. Potenziale auf Seite 11](#)). Um diese Effekte zu erzielen, bedarf es der richtigen Behandlung der PK im Vorfeld der Einbringung in die Böden. Eine Aufladung der PK mit Nährstoffen kann beispielsweise über die Tierfütterung oder in der Fermentation bei Biogasanlagen erfolgen, verbunden mit der anschließenden Ausbringung von Festmist, Gülle oder Gärresten. Ökologisch vorteilhaft ist laut einem Landwirt in seinem Fall auch der verringerte Bedarf an herkömmlichen Mineraldüngern. Dieser liegt bei ihm bei einer Ersparnis von 50 Prozent. Bezüglich der erzielten Effekte fehlt es laut einzelnen Teilnehmenden der Online-Diskussion jedoch an längerfristigen Erfahrungswerten. Gleiches gilt für wissenschaftliche Daten zur Wirkung von verschiedenen Ausgangsstoffen und Herstellungsprozessen auf die Qualität der PK sowie zur langfristig gebundenen Menge an Kohlenstoff. Dies erfordert ein Sammeln von weiteren Erkenntnissen in der Landwirtschaft, im Idealfall begleitet durch die Wissenschaft.

Für das **Energiesystem** bietet die PK einen Mehrwert, wenn im Herstellungsprozess bei größeren Pyrolyse-Anlagen erneuerbare Energie in Form von Strom und Wärme ausgekoppelt werden (s. o.). Landwirtschaftliche Betriebe können diese Energie nutzen oder sie kann über die Anlagenbetreiber, unter anderem über die Bereitstellung des Stroms an Industriebetriebe, oder an Betreiber von Wärmenetzen in der Region verkauft werden. Entscheidend dabei ist laut einzelnen Teilnehmenden, dass PK-Projekte, insbesondere mit Blick auf den Standort der Pyrolyse-Anlage, von der Energienachfrage her gedacht werden. Anders als beim Strom, der bei fehlender regionaler Abnahme ins Stromnetz eingespeist werden kann, ist dies bei der Wärmeversorgung problematischer. Dies gilt vor allem für die Sommermonate, wenn es keinen Bedarf an Heizwärme gibt. Kleinere Anlagen haben den Vorteil, so ein Landwirt, da sie zu den hofeigenen Wärmebedarfen, zum Beispiel zur Erntetrocknung, beitragen können. Größere Investitionen müssen dazu nicht getätigt werden.

Bedingungen zum Heben der PK-Potenziale

Politisch-rechtlich ist die EU-Düngemittelverordnung (s.o.) und damit verbunden die Öffnung der Ausgangsstoffe für die PK-Herstellung laut den Teilnehmenden der Online-Diskussion „ein großer Schritt in die richtige Richtung“. Die rechtliche Lage (v. a. die nationale Düngemittelverordnung, DüMV) hemmte bislang die breite Anwendung der PK als Düngemittel in der Landwirtschaft, weil die Ausgangsstoffe auf holzartige Biomasse mit hohem Kohlenstoffgehalt beschränkt waren. Mit der Novellierung der europäischen DüMV wird nun die Produktion von PK als Düngemittel erleichtert. Es gibt politisch-rechtlich jedoch noch offene Punkte im Umgang mit der PK basierend auf Ausgangsstoffen jenseits von holzartiger Biomasse, so ein Vertreter aus dem Bereich Beratung und Forschung. Dies betrifft die EU-Chemikalienverordnung REACH („Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals“) und die Kennzeichnung der Konformität des Produkts mit den geltenden Anforderungen gemäß CE-Zertifizierung („Conformité Européenne“). Hier bedarf es jeweils der Klärung der konkreten Ausgestaltung. Für Letztere wird der Wunsch geäußert,

diese mit den Anforderungen der Zertifizierung gemäß [‘European Biochar Certificate‘ \(EBC\)](#) zu verschmelzen. Als europäisches Zertifikat für Pflanzenkohle bietet es Anhaltspunkte für eine einheitliche rechtliche Regelung für die Anlagenherstellung und damit verbunden die anvisierte Qualität der PK. Findet die EBC-Zertifizierung weitere Verbreitung, so ist laut einem Anlagenhersteller eine weitere Professionalisierung der PK-Industrie möglich.

Laut mehreren Teilnehmenden ist momentan der Prozess der Genehmigung von Pyrolyse-Anlagen problematisch. Aufgrund einer unterschiedlichen Handhabung von einzelnen Genehmigungsbehörden wird die Anlagenrealisierung erschwert. So werden Pyrolyse-Anlagen bei der Genehmigung teils in der Müllverbrennung, teils in der Holzverbrennung eingestuft, da sich einzelne Behörden auf verschiedene Verordnungen zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV) berufen. Um Planungssicherheit zu gewährleisten, wird der Bedarf nach einem abgestimmten Vorgehen gesehen. Kritisch angemerkt wird von einzelnen Teilnehmenden auch, dass es aktuell kaum Fördermöglichkeiten für Pyrolyse-Anlagen oder die PK-Anwendung gibt, jenseits von Forschung. Dadurch sei die Wirtschaftlichkeit von PK-Projekten gehemmt. Wünschenswert wäre der gezielte Auf- und Ausbau staatlicher Fördermaßnahmen. Dazu werden verschiedene Vorschläge gemacht: Pyrolyse-Anlagen mit Energieauskopplung sollten neben der Vergütung durch das Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) auch für die nachgewiesene Kohlenstoffsénke finanziell honoriert werden. Gleiches gilt für die erbrachten Umweltdienstleistungen der PK, wie zum Beispiel die Verminderung von Lachgasemissionen und des Nitrataustritts. Auch könnte für den beschleunigten Aufbau von Kohlenstoffsénken ein 100.000 Hektar-Förderprogramm aufgesetzt werden. Darüber könnten die beteiligten landwirtschaftlichen Betriebe kostengünstig PK erhalten und würden indirekt für die geleistete Kohlenstoffbindung honoriert.

Bezogen auf die **Informationsbereitstellung und Kommunikation** bedarf es zur Verdeutlichung des Potenzials der PK laut einem Verbandsvertreter mehr Aktivitäten, die landwirtschaftliche Akteure adressieren. Aktuell ist die Popularität der PK nicht ausreichend gegeben, um Produktion und Anwendung in die Breite der Landwirtschaft zu tragen. Hilfreich wäre die spezifischere Ausrichtung von PK-Fachtagungen auf Akteure aus der Landwirtschaft und weitere Vortragstätigkeiten in landwirtschaftlichen Arbeitsgruppen im Rahmen von Beratungsleistungen. Ein weiterer Hebel ist die Förderung einer aktiven Netzwerkbildung, verbunden mit dem Aufzeigen von Synergien durch die Koppel- und Kaskadennutzung der PK. Dies kann auch zum Aufbau von gemeinsam getragenen Wirtschaftsstrukturen führen. Die Teilnehmenden der Online-Diskussion nannten als Beispiele die Gründung von kooperativen Betreibermodellen innerhalb der Landwirtschaft sowie den Austausch mit Akteuren aus anderen Bereichen wie der Agroforstwirtschaft. Ebenso als bedeutsam eingestuft wird der Austausch mit Wissenschaft und Industrie zum Beispiel aus dem Anlagenbau oder der PK-Veredelung. Darüber lassen sich für die weitere Verbreitung der Herstellung und Anwendung von PK in der Landwirtschaft die Glaubwürdigkeit erhöhen und Produktinnovationen kennenlernen. Gleiches gilt für den Aufbau von Kontakten zu Medien und in die Politik.

Bedarfe und Handlungsmöglichkeiten einzelner zentraler Akteure

Anhand der Diskussionsbeiträge haben wir Bedarfe und Handlungsmöglichkeiten von verschiedenen Akteursgruppen für die Entwicklung von PK-Projekten identifiziert (s. Tab. 1). Bei der Planung und Entwicklung weiterer Anlagen und Anwendungen von PK sollten diese frühzeitig berücksichtigt und – wo möglich – miteinander verknüpft werden.

Tabelle 1: Übersicht an Bedarfen und Handlungsmöglichkeiten für ausgewählte Akteursgruppen der PK-Anwendung (eigene Darstellung)

**) Bedarfe der Genehmigungsbehörden konnten nicht identifiziert werden, da keine Vertreter*innen von dieser Gruppe an der Online-Diskussion teilnahmen.*

Akteure der PK	Bedarfe der Akteure für die Entwicklung von PK-Projekten	Handlungsmöglichkeiten der Akteure
Landwirtschaft tlw. als Hersteller und v. a. Anwender von PK	<ul style="list-style-type: none"> - Information zu wirtschaftlich tragfähigen Geschäftsmodellen - Information zu Erkenntnissen und Erfahrungswerten zur Wirkung von verschiedenen Ausgangsstoffen und Herstellungsprozessen auf die Qualität der PK, sowie zur gebundenen Menge an Kohlenstoff 	<ul style="list-style-type: none"> - Verwertung von Reststoffen in kleinen betriebs-eigenen Pyrolyse-Anlagen - Zusammenschluss von mehreren Betrieben bei größeren Pyrolyse-Anlagen, inkl. Wärme- & Stromauskopplung - Diversifizierung der PK-Anwendung: Einsatz als Wirtschaftsdünger, Tierfutter, Kohlenstoffsenske
Projektierer von PK-Konzepten (inkl. Hersteller von Pyrolyse-Anlagen) Veredler und Vertrieb	<ul style="list-style-type: none"> - Unterstützung durch Förderung von Pyrolyse-Anlagen und PK-Anwendungen - Einheitliche rechtliche Anforderungen an die Anlagenherstellung und die Qualität der PK; idealerweise gemäß EBC-Zertifizierung - Planungssicherheit bei der Anlagenrealisierung durch abgestimmtes Vorgehen bei der Genehmigung 	<ul style="list-style-type: none"> - Zusammenführung von Angebot und Nachfrage vor Ort - Förderung der Koppel- und Kaskadennutzung über regionale und ganzheitliche Konzepte mit Energieauskopplung, Bodenverbesserung, Zertifizierung der Kohlenstoffbindung - Förderung von landwirtschaftlichen Zusammenschlüssen bei der Herstellung von PK - Austausch und Vernetzung mit Landwirtschaft und Wissenschaft zur Herstellung und Anwendung von PK
Interessenvertretung, Beratung und Forschung	<ul style="list-style-type: none"> - Einheitliche rechtliche Anforderungen an die Anlagenherstellung und die Qualität der PK; idealerweise gemäß EBC-Zertifizierung - Planungssicherheit bei der Realisierung von Pyrolyse-Anlagen durch abgestimmtes Vorgehen bei der Genehmigung - Generierung von wissenschaftlichen Daten zur Wirkung von verschiedenen Ausgangsstoffen und Herstellungsprozessen auf die Qualität der PK, sowie zur gebundenen Menge an Kohlenstoff 	<ul style="list-style-type: none"> - Informationen und Kommunikation zum Nutzen der PK als Maßnahmen zum Klimaschutz, Bodenverbesserung, Energiebereitstellung; zzgl. weiteren Verwertungsoptionen der Koppel- und Kaskadennutzung - Aufzeigen von Synergien mit anderen Bereichen bzgl. Ausgangsstoffen und PK-Anwendung, z. B. Agroforstwirtschaft - Stärkung der EBC-Zertifizierung zur Professionalisierung der industriellen PK-Herstellung - Austausch und Vernetzung mit Wissenschaft, Medien und Politik - Realisierung von Forschung und Entwicklung, mit Fokus auf die Generierung von wissenschaftlichen Daten
Genehmigungsbehörden*)	<ul style="list-style-type: none"> - K.A. 	<ul style="list-style-type: none"> - Auf übergeordneter Ebene: Verständigung auf ein abgestimmtes Vorgehen bei der Genehmigung von Pyrolyse-Anlagen

Exkurs: Zertifizierung von Pflanzenkohle als Kohlenstoffsenke

Beim Thema Zertifizierung von PK als Kohlenstoffsенke waren der Bedarf nach einer einheitlichen methodischen Bemessungsgrundlage zur Quantifizierung der Kohlenstoffspeicherfähigkeit und somit des Senkenwerts der PK sowie Ansätze der finanziellen Honorierung dieser Leistung Schwerpunkte der Online-Diskussion.² Beim Thema Bemessungsgrundlage wird der Ansatz der EBC-Zertifizierung eingebracht (s. EBC 2020), der laut einzelnen Teilnehmenden einen guten Ausgangspunkt für die Verständigung auf eine wissenschaftlich solide und einheitliche Methodik bietet. Zentrale Messgröße ist die Erfassung des Kohlenstoffgehalts des organischen Materials (‘Total Organic Carbon‘, TOC) im Boden. Gibt es eine gemeinsame Verständigung über die Zertifizierungsmethodik, lässt sich in Fachkreisen und mit der Politik leichter über eine breit angelegte finanzielle Honorierung der erbrachten Senkenleistung diskutieren. Als mögliche Wege der Honorierung werden in der Diskussion folgende Optionen genannt: Einbindung der PK in das Emissionshandelsregime, Verkauf von CO₂-Kompensationen über Dienstleister an Dritte, wie zum Beispiel Anlagenbetreiber und/oder landwirtschaftliche Betriebe, sowie Verkauf von klimapositiven Produkten zur Deckung der Mehrkosten über höhere Einnahmen. Aktuell ist der PK-Kohlenstoffmarkt primär ein freiwilliger Markt.³

² Die denkbare Tragweite der Zertifizierung veranschaulicht folgendes Rechenbeispiel: Mit der jährlichen Produktion einer durchschnittlichen, modernen Pyrolyse-Anlage von 1.000 t Pflanzenkohle, lassen sich nach den EBC-Zertifizierungsregeln fast 2.500 t CO_{2eq} langfristig der Atmosphäre entziehen (EBC 2020). Mit einem CO₂-Preis von 30 € pro Tonne (Bundesregierung 2022) ergäbe sich aus dem Verkauf von CO₂-Zertifikaten rein rechnerisch ein Erlös von bis zu 75.000 € pro Jahr. Beim aktuellen CO₂-Preis von fast 90 € pro Tonne (Borse.de 2023) wären dies rund 225.000 € pro Jahr.

³ Siehe als Anbieter von Zertifikaten carbonfuture: <https://www.carbonfuture.com> sowie das klimapositiv Label der kohlekumpels: <https://kohlekumpels.de/>

Empfehlungen für die weitere Entwicklung der Pflanzenkohle

Der Austausch in der Online-Diskussion hat gezeigt, dass die PK ein vielfältiges Potenzial bietet. Durch die Schaffung von Kohlenstoffsenken und die erneuerbare Energiebereitstellung in Form von Strom und Wärme kann ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden. Die Verbesserung der Wasser- und Nährstoffspeicherkapazität der Böden ist zudem positiv für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels, vor allem an zunehmende Hitze und Trockenheit. Als weitere gesellschaftliche ‚Zusatznutzen‘ sind die Reduktion von Wirtschaftsdüngern, Lachgasemissionen und des Nitrataustritts sowie die Förderung von Tierwohl über Fütterung zu nennen.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen und den Sichtweisen der Akteure auf die PK geben wir folgende Empfehlungen für die weitere Entwicklung der PK als Klimaschutztechnologie:

- ⇒ Bei der Mobilisierung von landwirtschaftlichen Betrieben, aber auch von Politik und Gesellschaft für das Thema PK, sollte zukünftig sowohl das ökologische als auch das ökonomische Potenzial vermehrt thematisiert werden. Bedeutsam dafür ist die Bereitstellung von Informationen zu wirtschaftlich tragfähigen Geschäftsmodellen und die Intensivierung der Kommunikation, zum Beispiel über Vortrags- und Beratungsaktivitäten, Fachtagungen, ebenso wie über eine vermehrte Öffentlichkeitsarbeit. Damit kann der Einsatz von PK in die Breite getragen und die Umsetzung von weiteren Projekten forciert werden. Hier sollten Akteure aus der PK-Branche die Netzwerkbildung mit Akteuren aus anderen Bereichen (v. a. der Land- und Energiewirtschaft, sowie Wissenschaft, Industrie, Politik und Medien) weiter auf- und ausbauen.
- ⇒ Die Mobilisierung von möglichen Ausgangsstoffen für die Herstellung der PK sollte das Spektrum an möglichen Biomassen (wie z. B. die Nutzung von Grünschnitt, Landschaftspflegematerial, Stroh, etc.) ausschöpfen. Hier sind vor allem die vor Ort verfügbaren Biomassestoffströme und Koppel- und Kaskadennutzungsmöglichkeiten für PK-Projekte zu betrachten, um zur Steigerung der Wertschöpfung in einer Region beizutragen. Konkurrenzen mit höherwertigen Nutzungen sind bei Rest- und Abfallstoffen zu vermeiden.
- ⇒ Auch aus ökonomischen Gründen sollten bei der Planung der Standorte für Pyrolyse-Anlagen Angebot und Nachfrage gut aufeinander abgestimmt werden. Dadurch lassen sich sonstige Kosten wie zum Beispiel für Transport reduzieren.
- ⇒ Können die Energiebedarfe von landwirtschaftlichen Betrieben und anderen Nachfragenden in der Region (z. B. Industriebetriebe, Einrichtungen der öffentlichen Hand, regionale Wärmenetzbetreiber, etc.) von größeren Pyrolyse-Anlagen gedeckt werden, sollte auch die Auskopplung von Wärme und Strom frühzeitig eingeplant werden.
- ⇒ Investitionen in größere Pyrolyse-Anlagen, die für einzelne Landwirt*innen zu kostspielig sind, können über kommunale und regionale Partner (z. B. Biomassehöfe, Kompostwerke) realisiert werden, oder alternativ über einen Zusammenschluss mehrerer landwirtschaftlicher Betriebe (z. B. organisiert als Genossenschaft).
- ⇒ Mit der weiteren wissenschaftlichen Untersuchung und Aufklärung zur Wirkung von verschiedenen Ausgangsstoffen und Herstellungsprozessen auf die Qualität der PK sowie zur langfristig gebundenen Menge an Kohlenstoff kann bestehenden Unsicherheiten bei der Herstellung und Anwendung der PK

entsprochen werden. Hier empfiehlt es sich, den Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis zum Beispiel über gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu stärken.

- ⇒ Ein Hebel zur weiteren Produkt- und Marktentwicklung der PK und zum Sammeln von weiteren Erfahrungen sind Förderprogramme auf Bund- und Länderebene. Gleiches gilt für die Integration der PK-Anwendung als Umweltdienstleistung in die Förderrichtlinien der ‚Gemeinsamen Agrarpolitik‘ (GAP) der EU. Diese Optionen sollten auf den entsprechenden politischen und administrativen Ebenen thematisiert werden.
- ⇒ Für die weitere Professionalisierung der industriellen PK-Herstellung bedarf es einheitlicher rechtlicher Anforderungen. Vielversprechende Anhaltspunkte bietet die EBC-Zertifizierung, die zum Beispiel Anforderungen an die Anlagenherstellung und die Qualität der PK definiert. Gleiches gilt für die Schaffung einer wissenschaftlich fundierten, einheitlichen Bemessungsmethodik für die Zertifizierung der Kohlenstoffsensoren. Auch hier bietet die EBC-Zertifizierung Orientierung.
- ⇒ Um laufende Prozesse zu beschleunigen und das bislang vielerorts freiwillige Engagement der Akteure zu honorieren, sollte bei der Genehmigung von Pyrolyse-Anlagen ein abgestimmtes Vorgehen zwischen den Genehmigungsbehörden angestrebt werden. Damit kann die Planungssicherheit für die Herstellung und somit auch für die Anwendung der PK verbessert werden.

Hintergrundinformationen zur Pflanzenkohle

Technologie

Die Pflanzenkohle ist ein festes, kohlenstoffreiches Material, das zu großen Teilen aus thermisch stabilisierten Kohlenstoffbindungen der Ausgangsbiomasse besteht. Die Herstellung von PK erfolgt durch den Pyrolyseprozess (s. Abb. 2-3). Neben Pflanzenkohle entsteht über die Erhitzung von Biomasse unter Ausschluss von Sauerstoff in einer thermo-chemischen Umwandlung zudem Synthesegas und Pyrolyseöl. Das Verhältnis hängt unter anderem von der Ausgangsbiomasse, der Temperatur und der Geschwindigkeit der Aufheizung im Kessel ab. Bei einem Pyrolyseprozess bei 400 °C und einer Aufheizrate von unter 2 °C pro Sekunde (sogenannte „langsame Pyrolyse“) werden je nach verwendeter Biomasse und Prozessführung beispielsweise ca. 26 Prozent der Ausgangsbiomasse in PK, 53 Prozent in Gas und 21 Prozent in Öl umgewandelt (vgl. Abbildung 1) (Schmidt et al. 2018). Der Prozess der Pyrolyse verbraucht dabei nur einen kleinen Teil der Energie (ca. 6 bis 15 Prozent), die in der eingesetzten Biomasse steckt und kann in modernen Anlagen allein durch die Verbrennung des entstehenden Synthesegases betrieben werden (Crombie und Mašek 2014). Als Nebenprodukt entsteht Abwärme, die beispielsweise in lokale Wärmenetze abgeführt werden kann.

Laut Aussagen aus der Online-Diskussion ist die Technologie der Pyrolyse-Anlagen aktuell noch nicht vollständig ausgereift, um wirtschaftlich ein bestmögliches Ergebnis zu erzielen. Dies hängt unter anderem an Optimierungsbedarfen bei der Auskopplung von Strom und Wärme.

Abbildung 1: Darstellung der Herstellung und Anwendungsmöglichkeiten von Pflanzenkohle sowie von Synthesegas und Pyrolyseöl (Eigene Darstellung)

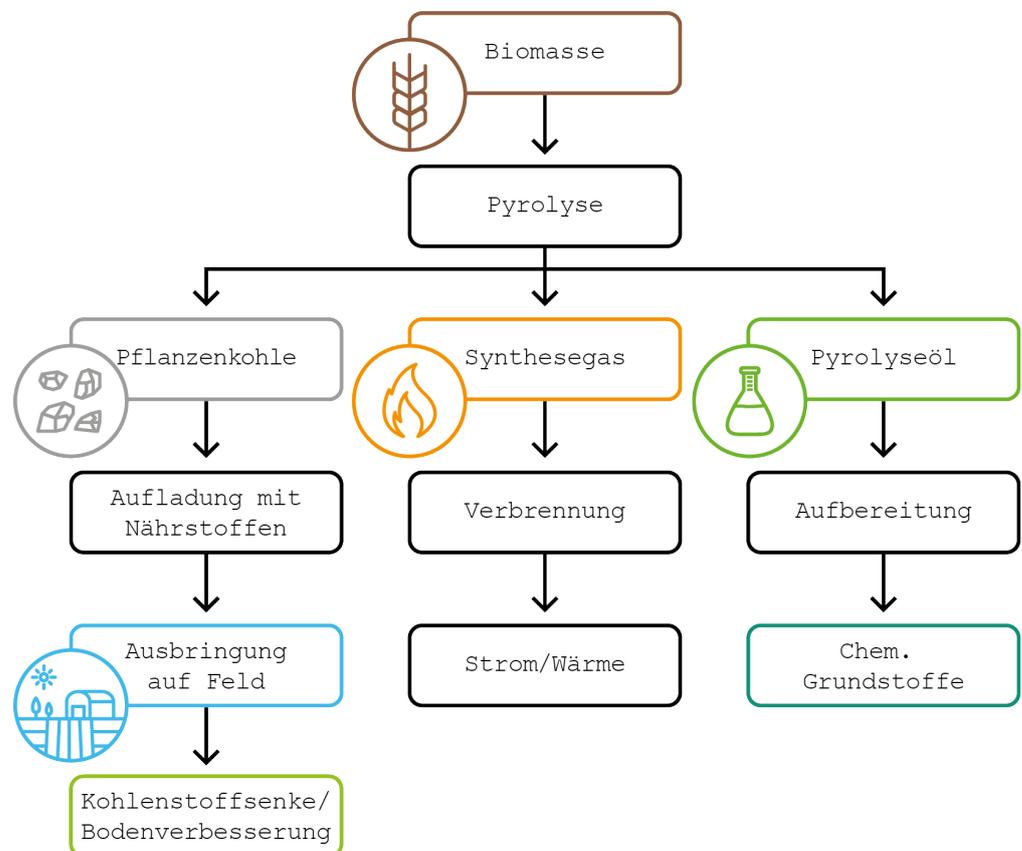


Abbildung 2: Industrielle Pyrolyse-Anlage zur Herstellung von Pflanzenkohle
(© Daniel Kray, Hochschule Offenburg)



Abbildung 3: Ausgangsstoff und finales Produkt der Pflanzenkohle
(© Fachverband Pflanzenkohle)

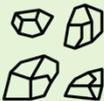
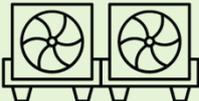


Aus anlagentechnischer Sicht sind fast alle Biomassen als Ausgangsstoffe nutzbar. Die Aufbereitung von einzelnen Biomassen ist jedoch teilweise aufwendiger. Werden beispielsweise bei der Herstellung von PK standardisierte, düngemittelartige Produkte angestrebt, so ist laut den Rückmeldungen aus der Online-Diskussion auf die Mischung von verschiedenen Ausgangsstoffen zu achten. Bei homogener PK-Qualität lässt sich dadurch ein möglichst optimaler Anlagenbetrieb rund ums Jahr gewährleisten. Aufwendig ist die Herstellung von PK, wenn bei der Verarbeitung in der vorgelagerten Schredderanlage zur Zerkleinerung der Biomasse Steine vermieden werden sollten. Teilweise bedarf es bei größeren Volumina von Biomassen auch einer vorherigen Pelletierung zur Verbesserung der Kompaktheit.

Potenziale

Um die Ziele zur Klimaneutralität in Deutschland bis 2045 zu erreichen, kann die PK einen signifikanten Beitrag leisten. Insgesamt ist eine Bindung von 30 bis 50 Prozent des ursprünglich in der Pflanze enthaltenen Kohlenstoffs langfristig in der PK möglich (Schmidt et al. 2018). Die PK gehört neben der Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung („Bioenergy with Carbon Capture and Storage“, BECCS), der direkten Abscheidung von Kohlendioxid aus der Luft („Direct Air Carbon Capture and Storage“, DACCS) und der Aufforstung zu den vier vielversprechendsten Kohlenstoffsinken (s. Abbildung 4).

Abbildung 4: Potenzi-
ale verschiedener
Kohlenstoffsenken-
Technologien pro Jahr
(Eigene Darstellung
in Anlehnung an Ko-
pernikus-Projekt Ari-
adne (2021))

 <p>Pflanzenkohle</p> <p>Bindung von bis zu 10 Mt CO₂eq/a. Moderates Risiko der Wiederfrei- setzung.</p>	 <p>BECCS</p> <p>Bindung von bis zu 24 Mt CO₂eq/a. Geringes Risiko der Wiederfrei- setzung.</p>
 <p>DACCS</p> <p>Bindung von bis zu 16 Mt CO₂eq/a. Geringes Risiko der Wiederfrei- setzung.</p>	 <p>Aufforstung</p> <p>Bindung von bis zu 2 Mt CO₂eq/a. Hohes Risiko der Wiederfrei- setzung.</p>

Im Jahr 2019 wurden in Deutschland 810 Mt CO₂eq emittiert. Allein die PK hat mittelfristig das Potenzial jährlich 10 Mt CO₂ davon zu binden (vgl. Kopernikus-Projekt Ariadne 2021). Global betrachtet gibt es ein jährliches Senkenpotenzial durch die Anwendung von PK von 0,65 bis 35 Gt CO₂eq (Azzi et al. 2021). Das ist im Idealfall fast so viel wie die weltweiten CO₂-Emissionen in 2021 von 37,1 Gt CO₂eq (Global Carbon Project 2022). Abhängig ist das Ausschöpfen dieser Potenziale von der Art der Biomasse, der Produktion und dem Einsatzbereich.⁴

Die Erhöhung der Wasser- und Nährstoffspeicherkapazität des Bodens durch die Anwendung der PK liegt Schätzungen zufolge bei rund 10 Prozent. Abhängig sind diese Werte von den Bodeneigenschaften (pH-Wert, Bodenbeschaffenheit) und der Einbringungsart (Jeffery et al. 2011).

Weitere positive Umwelteffekte der PK werden in einer Auswertung von 26 verschiedenen Meta-Studien von Schmidt et al. (2021) dargestellt. Relevant für die dargestellten Effekte ist der Bodentyp. Die Autor*innen zeigen, dass sich die PK im Durchschnitt begünstigend auf das Pflanzenwachstum (+16 Prozent), die Wurzelbildung (+32 Prozent) und Photosyntheserate (+27 Prozent) auswirkt. Neben der Steigerung des organischen Bodenkohlenstoffanteils (+39 bis +52 Prozent) nimmt auch die Verfügbarkeit von Phosphor (+45 Prozent) und Stickstoff (+11 Prozent) zu. Es konnte zudem nachgewiesen werden, dass Nutzpflanzen, die auf mit Schwermetallen belasteten Böden wachsen, durch die ausgebrachte PK weniger Schwermetalle aufnehmen. Darüber hinaus hat die Auswertung gezeigt, dass weniger Methan (-61 Prozent) und Lachgas (-12,4 bis -38 Prozent) in die Atmosphäre entweichen und die Nitratauswaschung (-12 bis -26,6 Prozent) verringert wird.

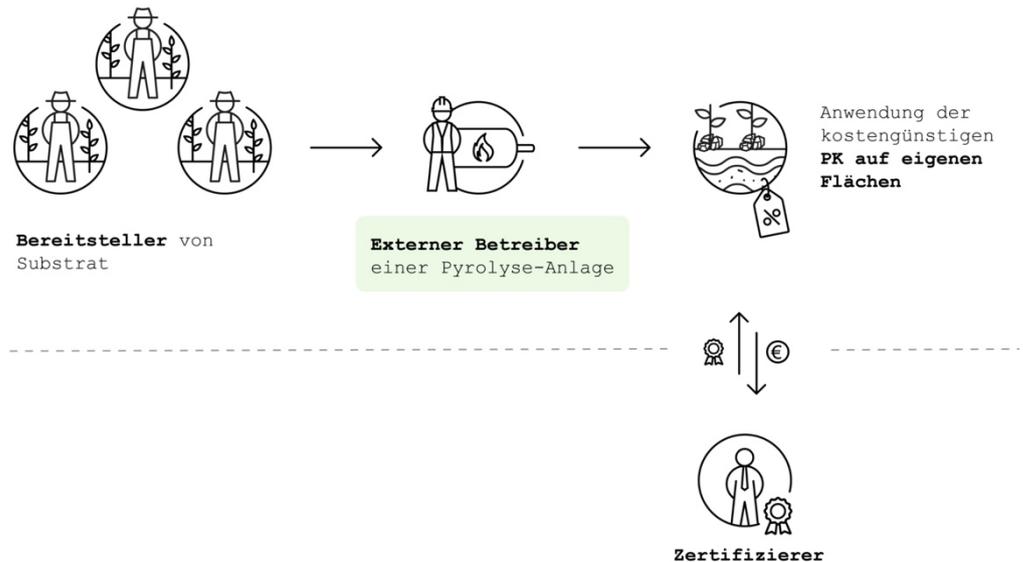
⁴ Wissenschaftlich nicht abschließend geklärt ist die durchschnittliche Verweildauer von Pflanzenkohle im Boden (Schmidt et al. 2018). Einige Feldversuche zeigen, dass sich der Kohlenstoffgehalt bereits nach zwei Jahren um bis zu einem Viertel verringert (de la Rosa et al. 2018). Andere Berechnungen gehen von einer vergleichbaren Reduktion erst nach (deutlich) mehr als 100 Jahren aus (Schmidt et al. 2018 oder Wang et al. 2015).

Betreibermodelle

Die breitangelegte Herstellung und Anwendung der PK ermöglicht – neben einem Nutzen für die Land- und Energiewirtschaft sowie den Klima- und Umweltschutz – eine Steigerung der regionalen Wertschöpfung. Dies spiegelt sich in den Gewinnen der beteiligten Unternehmen und Betriebe, den Einkommen der Beschäftigten sowie Steuern, die bei den Kommunen vor Ort anfallen, wider.

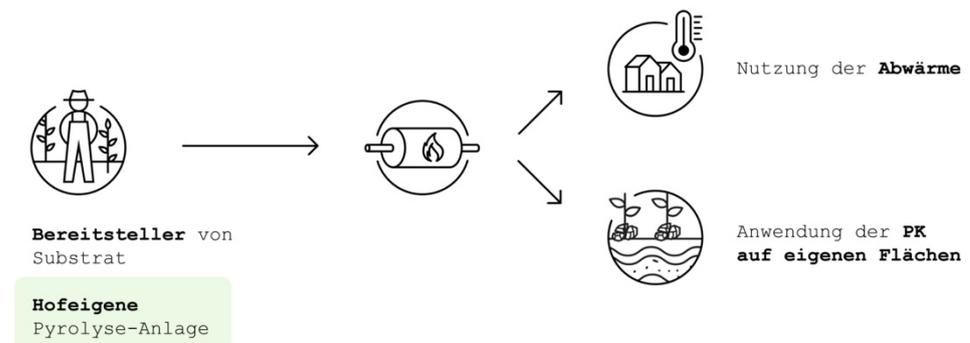
Für die landwirtschaftlichen Betriebe, die Substrat für die Herstellung der PK bereitstellen, sind folgende exemplarischen Betriebs- und Geschäftsmodelle bei der Projektentwicklung denkbar (s. Abb. 5-7):

Abbildung 5: Auslagerung der Pyrolyse an externen Betreiber (Eigene Darstellung)



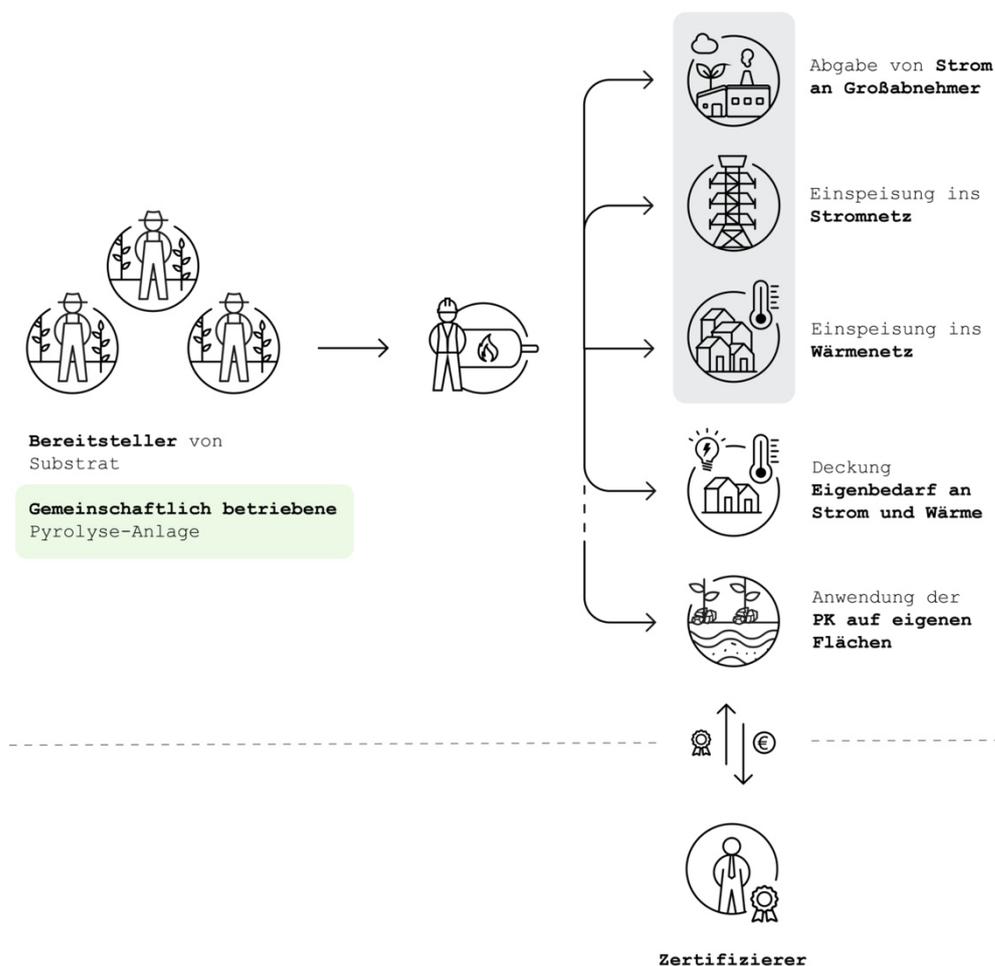
- ⇒ Landwirtschaftliche Betriebe stellen Substrat für externe Betreiber einer Pyrolyse-Anlage bereit und erhalten dafür kostengünstig PK. Diese können sie auf eigenen Flächen ausbringen.
- ⇒ Wollen die landwirtschaftlichen Betriebe als Anwender der PK ebenfalls von der geschaffenen Kohlenstoffsénke finanziell profitieren, bspw. über den zertifizierten Verkauf von ‚klimapositivem‘ Gemüse, müssen sie von einem Zertifizierer entsprechende Gutschriften erwerben.

Abbildung 6: Pyrolyse im kleinskaligen Maßstab (Eigene Darstellung)



- ⇒ Landwirtschaftliche Betriebe stellen Substrat für den Betrieb einer hofeigenen Pyrolyse-Anlage bereit. Daran gekoppelt erfolgt die Ausbringung der PK auf eigenen Flächen sowie bei Bedarf die Nutzung der Abwärme.

Abbildung 7: Pyrolyse im großskaligen Maßstab (Eigene Darstellung)



- ⇒ Landwirtschaftliche Betriebe stellen Substrat für eine gemeinschaftlich betriebene Pyrolyse-Anlage bereit. Über diese erfolgt die Auskopplung von Strom und Wärme und Belieferung an Dritte zusätzlich zur Eigenbedarfsdeckung. Im Anschluss findet die Ausbringung der PK auf den eigenen Flächen der landwirtschaftlichen Betriebe statt.
- ⇒ Wollen die landwirtschaftlichen Betriebe als Hersteller und Anwender der PK ebenfalls von der geschaffenen Kohlenstoffsénke finanziell profitieren, bedarf es wie in Abb. 5 dargestellt der Einbindung eines Zertifizierers.

Bei den dargestellten Optionen ist zu beachten, dass ein freiwilliger Markt zur finanziellen Honorierung von Kohlenstoffsénken bislang nur in Teilen entwickelt ist.

Das Projekt Landgewinn

Das Forschungsprojekt ‚Landgewinn‘ hat zum Ziel, den deutschen Landwirtschaftssektor in Interaktion mit anderen Sektoren im Energiesystem umfassend zu bewerten. Neben der Herstellung und Anwendung von PK als Kohlenstoffsénke (sogenannte Negativemission) untersucht der Forschungsverbund die Agri-Photovoltaik sowie nachhaltige Antriebskonzepte für Landmaschinen auf der Energienachfrageseite.

Die Leitung des Forschungsprojekts liegt bei der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Medien Offenburg, in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg im Breisgau, der Hochschule für öffentliche Verwaltung Kehl und dem Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) in Berlin. Gefördert wird das Vorhaben durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms.

Weitere Informationen finden Sie auf www.fyi-landgewinn.de.

Literatur

Azzi, Elias S., Erik Karlton, und Cecilia Sundberg (2021): Assessing the diverse environmental effects of biochar systems: An evaluation framework. *Journal of Environmental Management*, 286: 112154.

Boerse.de (2023): CO₂-Emissionsrechte. Siehe <https://www.boerse.de/rohstoffe/Co2-Emissionsrechtepreis/XC000A0C4KJ2> [zuletzt aufgerufen 28.06.2023].

Bundesregierung (2022): Ermäßigter Steuersatz für Gas, weniger Stromkosten. Siehe <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/entlastung-fuer-deutschland/entlastung-energieabgaben-2125006> [zuletzt aufgerufen 28.06.2023].

Crombie, Kyle und Ondrej Mašek (2014): Investigating the potential for a self-sustaining slow pyrolysis system. *Bioresource Technology*, 162: 148–156.

de la Rosa, José María, Mario Rosado, Marina Paneque Carmona, Ana Z. Miller und Heike Knicker (2018): Effects of aging under field conditions on biochar stability in soils. *Science of the Total Environment*, 613–614: 969–976.

EBC (2020): Certification of the carbon sink potential of biochar, Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland. (<http://European-biochar.org>). Version 2.1E of 1st February 2021.

Global Carbon Project (2022): CO₂-Emissionen weltweit in den Jahren 1960 bis 2021, siehe <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37187/umfrage/der-weltweite-co2-ausstoss-seit-1751/> [zuletzt aufgerufen 28.06.2023].

Jeffery, Simon, Frank GA Verheijen, Marijn van der Velde und Ana Catarina Bastos (2011): A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*, 144 (1): 175–187.

Kopernikus-Projekt Ariadne (2021): Ariadne-Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 – Szenarien und Pfade im Modellvergleich.

Schmidt, Hans-Peter, Andrés Anca-Couce, Nikolas Hagemann, Constanze Werner, Dieter Gerten, Wolfgang Lucht und Claudia Kammann (2018): Pyrogenic carbon capture and storage. *GCB Bioenergy*, 11 (4): 573–591.

Schmidt, Hans-Peter, Claudia Kammann, Nikolas Hagemann, Jens Leifeld, Thomas D. Bucheli, Miguel Angel Sánchez Monedero und Maria Luz Cayuela (2021): Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. *GCB Bioenergy* 13 (11): 1708–1730.

Wang, Jinyang, Zhengqin Xiong und Yakov Kuzyakov (2015): Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *GCB Bioenergy*, 8 (3): 512–523.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Aufgrund eines
Beschlusses des
Deutschen Bundestages

Herausgeber:

**Institut für ökologische
Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH,
gemeinnützig**

Potsdamer Str. 105

D-10785 Berlin

Tel. +49-30-884594-0

Fax +49-30-8825439

www.ioew.de

Autoren:

Johannes Rupp, Hannes Bluhm

Gestaltung:

Room meets Freiland (vertreten
durch Freiland Hamburg GmbH)

Datum:

August 2023

