



# Pflanzenkohle als Kohlenstoffsenke: Technische, ökonomische und ökologische Aspekte

Begleitdokument für die Datenzusammenstellung zur  
Herstellung von Pflanzenkohle durch Pyrolyse

*Elmar Zozmann und Clara Lenk*

*Institut für ökologische Wirtschaftsforschung  
(IÖW)*

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Existierende ökonomisch-ökologische Bewertungen zur Herstellung und Anwendung von Pflanzenkohle sind häufig aufgrund ihres Fallstudiencharakters nicht generalisierbar. Um eine aktuelle und verallgemeinerbare Datengrundlage für weitere Analysen zu schaffen, werden in der Datenzusammenstellung drei generische Prozesskonfigurationen für die Herstellung und Anwendung von Pflanzenkohle definiert. Die Prozesskonfigurationen basieren auf empirisch erhobenen Daten, die um weitere Angaben aus der Literatur ergänzt werden. In diesem Begleitdokument werden die erfassten technischen, ökonomischen und ökologischen Parameter beschrieben. Einleitend wird kurz der Pyrolyseprozess, die Vorgehensweise der Recherche und die Ableitung der Prozesskonfigurationen dargestellt.

## Inhalt

|   |    |
|---|----|
| Abkürzungen.....  | 2  |
| 1. Beschreibung des Pyrolyseprozess .....                                     | 3  |
| 2. Methodische Hinweise .....   | 4  |
| 2.1 Vorgehensweise der Recherche .....  | 4  |
| 2.2 Ableitung der Prozesskonfigurationen für generische Pyrolyseanlagen ..... | 4  |
| 2.3 Aufbau der Datenzusammenstellung .....                                    | 4  |
| 3. Parameter .....  | 5  |
| 3.1 Technisch .....   | 5  |
| 3.1.1 Biomassebezogene Daten.....   | 5  |
| 3.1.2 Anlagenbezogene Daten.....  | 6  |
| 3.1.3 Outputbezogene Daten .....  | 6  |
| 3.1.4 Energiebezogene Daten.....  | 7  |
| 3.2 Ökonomisch .....  | 7  |
| 3.3 Ökologisch .....  | 8  |
| 4. Literaturverzeichnis .....   | 10 |

## Abkürzungen

|    |               |
|----|---------------|
| PK | Pflanzenkohle |
| C  | Kohlenstoff   |
| O  | Sauerstoff    |
| H  | Wasserstoff   |

# 1. Beschreibung des Pyrolyseprozess

Pyrolyse bezeichnet die thermische Spaltung eines Ausgangsstoffes in einer sauerstoffarmen Umgebung bei über 300 °C. In einer Vielzahl von Einzelreaktionen wird der Ausgangsstoff feste, flüssige und gasförmige Komponenten umgewandelt werden. Diese werden als Pflanzenkohle, Pyrolyseöl und Synthese- oder Pyrolysegas bezeichnet (Roberts et al. 2010).

**Pflanzenkohle (PK)** ist ein festes, kohlenstoffreiches Material. Durch die Pyrolyse wird der von der Ausgangsbiomasse aufgenommene Kohlenstoff thermisch stabilisiert. Die Herstellung und Anwendung von PK bietet deshalb Möglichkeiten zur langfristigen<sup>1</sup> Sequestrierung von Kohlenstoff (C) als Negativemissionstechnologie (Roberts et al. 2010; Schmidt et al. 2019). Zusätzlich kann PK in landwirtschaftlichen Böden zu einer Verbesserung der Mikrobiologie, des Nährstoffhaushalts, der Bodenstruktur und der Wasserspeicherfähigkeit führen (Schmidt et al. 2021b). Andere Anwendungsmöglichkeiten von PK sind beispielsweise in der Tierhaltung, in der Biogasproduktion oder in der Bauwirtschaft. Das bei der Pyrolyse entstehende **Synthesegas** besteht unter anderem aus Kohlenstoffmonoxid und -dioxid, Wasserstoff und Methan. Synthesegas ist ein brennbares Gas und kann für die Bereitstellung von Prozess- oder zusätzlicher Wärmeenergie verwendet werden (Li et al. 2023; Tripathi et al. 2016). Aus dem Synthesegas kann das **Pyrolyseöl** auskondensiert werden, das aus einer Vielzahl chemischer Verbindungen besteht.

Die Aufheizrate, Verweildauer im Reaktor und Reaktionstemperatur haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Mengenanteile der Pyrolyseprodukte. Eine schnelle Aufheizrate auf hohe Temperaturen (bis 1000°C) und eine sehr kurze Verweildauer (< 1 Sekunden bis 5 Sekunden) maximiert den Pyrolyseölertrag. Dies wird als schnelle Pyrolyse und Flash-Pyrolyse bezeichnet. Geringe Aufheizraten mit einer längeren Verweildauer (Minuten bis Stunden) maximieren den Pflanzenkohleertrag. Hier spricht man von **langsamer Pyrolyse** und es entstehen etwa gleiche Anteile an PK, Synthesegas und Pyrolyseöl (Roberts et al. 2010; Li et al. 2023; Tripathi et al. 2016). Verfahrenstechnisch wird zwischen kontinuierlich betriebenen Reaktoren und Batchreaktoren unterschieden. Kontinuierlich betriebene Reaktoren haben einen durchgehenden Biomassedurchlauf, während Batchreaktoren nach jedem Pyrolyseprozess neu befüllt werden (Hofbauer et al. 2016; Li et al. 2023).

Da die langsame Pyrolyse auf die maximale Herstellung von Pflanzenkohle abzielt, liegt der Fokus der Datenzusammenstellung auf diesem Verfahren. Die Datenzusammenstellung beschreibt einige relevante technische, ökonomische und ökologische Parameter der Herstellung von PK mittels langsamer Pyrolyse. Im Folgenden wird das methodische Vorgehen geschildert und anschließend relevante Parameter zur technischen, ökonomischen und ökologischen Darstellung der

---

<sup>1</sup> Aufgrund fehlender Langzeitstudien ist die exakte Beständigkeit von Pflanzenkohle im Boden schwer quantifizierbar und wird über kürzere Bodenexperimente in Verbindung mit mathematischen Modellen berechnet. Die Beständigkeit hängt außerdem vom Boden und von den Eigenschaften der Pflanzenkohle ab. Diese werden maßgeblich durch die Prozessführung bei der Produktion (Temperatur, Verweildauer, Aufheizrate) und die chemische Zusammensetzung der Ausgangsbiomasse bestimmt. PK mit einem H/C<sub>org</sub>-Verhältnis < 0,4 hat eine mittlere Verweildauer von über 1000 Jahren, folglich sind über 90% des Kohlenstoffs nach 100 Jahren noch vorhanden.

Pflanzenkohleherstellung beschrieben. Die aus unterschiedlichen Quellen recherchierte Zusammenstellung der hier beschriebenen Parameter wird als gesonderte Tabelle veröffentlicht.

## 2. Methodische Hinweise

### 2.1 Vorgehensweise der Recherche

Zur Erhebung von Primärdaten wurden im Jahr 2022/23 Fragebögen an Hersteller von Pyrolyseanlagen versandt. Abgefragt wurden technischen Angaben zur Pyrolyseanlage und ökonomische Angaben zur Wirtschaftlichkeit. Angefragt wurden insgesamt acht Unternehmen aus Deutschland und Österreich, von denen vier den Fragebogen, auch durch unterstützende Telefoninterviews, ausgefüllt haben, teilweise auch für mehrere Anlagengrößen. Aus Datenschutzgründen werden die erhobenen Daten als ein „best guess“ für drei unterschiedliche Anlagengrößen in der Datenzusammenstellung aufgeführt. Der „best guess“ stellt eine Mittelung der erhobenen Daten für eine durchschnittliche Anlagengröße basierend auf der subjektiven Einschätzung der Qualität der Daten dar.

Zusätzlich zur Primärdatenerhebung wurde eine Literaturrecherche zu technischen, ökonomischen und ökologischen Parametern durchgeführt. Die Recherche umfasst wissenschaftliche Literatur, Ergebnisse und Ergebnisberichte aus (Forschungs-)Projekten und öffentlich zugängliche Angaben von Anlagenherstellern. Für die Erhebung der ökologischen Parameter wurde außerdem auf eine im Projekt „Landgewinn“ durchgeführte Metastudie zurückgegriffen. Hier wurde Literatur zu Ökobilanzierung von Pflanzenkohle zusammengetragen und systematisch ausgewertet. Für die Datenzusammenstellung wurden zehn Studien aus der Metastudie ausgewählt und um eine Dissertation, Herstellerangaben und einen Datensteckbrief ergänzt.

### 2.2 Ableitung der Prozesskonfigurationen für generische Pyrolyseanlagen

Aus den zusammengestellten Daten wurden drei generische Prozesskonfigurationen abgeleitet. Diese umfassen Annahmen über technische, ökonomische und ökologische Faktoren der Herstellung und Anwendung von PK und sind im Tabellenblatt „Prozesskonfigurationen“ zu finden. Die Prozesskonfigurationen wurden hauptsächlich aus den Ergebnissen der Datenerhebung abgeleitet, da die Literaturdaten häufig veraltet sind oder nicht auf empirischen Daten basieren. Die Prozesskonfigurationen sind Ausgangspunkte für ökonomische und ökologische Analysen im Projekt „Landgewinn“ und können darüber hinaus für weitere Untersuchungen wie Szenarioanalysen sowie ökonomisch-ökologische Bewertungen oder Technologievergleiche genutzt werden.

### 2.3 Aufbau der Datenzusammenstellung

Die Datenzusammenstellung umfasst neben Deckblatt, Hinweisen und Quellenangaben drei Tabellenblätter mit Angaben zu technischen, ökonomischen und ökologischen Parameter. Für alle Einträge in diesen Tabellenblättern wird die Datenquelle, der Datentyp und das Jahr angegeben. Ein weiteres Tabellenblatt beinhaltet die oben beschriebenen Prozesskonfigurationen, die Ausgangspunkt für weitere Analysen sind.

## 3. Parameter

Die hier vorgestellten Parameter haben einen Einfluss auf die Herstellung und Anwendung von Pflanzenkohle und stellen gleichzeitig das Analyseraster dar, mit dem die gesammelten Daten aus der Recherche strukturiert zusammengestellt wurden.

### 3.1 Technisch

Das Tabellenblatt „Technisch“ umfasst Daten zur Ausgangsbiomasse, zur Anlage, zu den Pyrolyseprodukten sowie zur auskoppelbaren Energie.

#### 3.1.1 Biomassebezogene Daten

Die Ausgangsbiomasse hat einen wesentlichen Einfluss auf den Pyrolyseprozess und die Eigenschaften der Pyrolyseprodukte PK, Synthesegas und Pyrolyseöl. Zu den relevanten Eigenschaften der Ausgangsbiomasse gehören:

- **Art der Biomasse:** Biomasse kann in unterschiedliche Hauptgruppen eingeordnet werden, wie beispielsweise holzartige Biomasse, halmgutartige Biomasse oder aquatische Biomasse. Jede Biomasseart hat unterschiedliche Brennstoffeigenschaften. Die Brennstoffeigenschaften haben einen Einfluss auf den Pyrolyseprozess und auf die Eigenschaften der Pyrolyseprodukte (Hofbauer et al. 2016).
- **Heizwert:** Der Heizwert beschreibt die Wärmemenge, die bei einer vollständigen Verbrennung ohne Berücksichtigung der Verdampfungswärme des in der Biomasse enthaltenen Wassers freigesetzt wird. Ein hoher Heizwert bei der Ausgangsbiomasse bedeutet beispielsweise, dass im Pyrolyseprozess viel thermische Energie über eine Verbrennung von Synthesegas und Pyrolyseöl ausgekoppelt werden kann.
- **Wassergehalt:** Der Wassergehalt beschreibt den Anteil an Wasser in der Biomasse und beeinflusst den Heiz- und Brennwert der Biomasse (Hofbauer et al. 2016). Während der pyrolytischen Zersetzung reduziert die freigesetzte Reaktionsenergie die Feuchtigkeit in der Biomasse. Biomasse mit einem Wassergehalt von über 30 % ist nicht geeignet für die langsame Pyrolyse. Bei höheren Wassergehalten muss während des Prozesses zu viel Energie zum Trocknen bereitgestellt werden. Biomasse mit einem höheren Wassergehalt kann deshalb vorgetrocknet werden. Grundsätzlich ist allerdings trockene Biomasse besser geeignet, da weniger Energie für den Pyrolyseprozess benötigt wird (Tripathi et al. 2016).

Zusätzlich haben die Partikelgröße und die elementare Zusammensetzung der zu karbonisierenden Biomasse die Endprodukte der Pyrolyse. Größere Partikel brauchen länger, um vollständig karbonisiert zu werden, können aber auch die Bildung von PK leicht begünstigen. Die Mengenanteile von C, O und H wirken sich maßgeblich auf die Pyrolyse-Outputs aus. Ein hoher Anteil an C in der Ausgangsbiomasse führt in der Regel zu mehr Pflanzenkohle (Tripathi et al. 2016). Die Biopolymere Lignin, Hemicellulose und Zellulose bestimmen die Struktur und Eigenschaften der Biomasse und beeinflussen entsprechend den Pyrolyseprozess (Hofbauer et al. 2016). Ein hoher Anteil von Lignin führt in der Regel zu mehr Pflanzenkohle, während ein hoher Anteil von Zellulose zu mehr Synthesegas führt (Li et al. 2023).

### 3.1.2 Anlagenbezogene Daten

Die anlagenbezogenen Parameter beschreiben grundsätzliche technische Daten der Anlage.

- **Anlagengröße:** Die Anlagengröße wird entsprechend der Klassifizierung nach PK-Produktionsmenge durch das European Biochar Industry Consortium angegeben.<sup>2</sup>
- **Biomassedurchsatz:** Der Biomassedurchsatz beschreibt die Menge an Biomasse, die unter Annahme von 8000 Betriebsstunden durch den Reaktor geht. Die Angaben in t TS/a und t OS/a unterscheiden sich nur durch den Wassergehalt.
- **Wärme-/Stromauskopplung:** Dieser Parameter gibt an, inwiefern thermische und/oder elektrische Energie ausgekoppelt wird. Die Leistung/Energiemenge der Auskopplung wird unter den energiebezogenen Daten aufgeführt.
- **Energiebedarf:** Der Energiebedarf der Anlage ist die notwendige Energie, um die Anlage zu betreiben und die Reaktion aufrecht zu erhalten. Aufgrund der heterogenen Datenquellen ist der Energiebedarf in unterschiedlichen Einheiten angegeben.
- **Technische Anforderungen:** Technische Anforderungen umfassen hauptsächlich Anforderungen an die Ausgangsbiomasse wie beispielsweise die Partikelgröße oder ein Mindestheizwert.
- **Lebenszeit:** Die Lebenszeit der Anlagen beschreibt die Dauer, die die Anlage betrieben werden kann.
- **Temperatur:** Dieser Parameter beschreibt entweder die tatsächliche Temperatur oder die maximal mögliche Temperatur.

### 3.1.3 Outputbezogene Daten

Die Mengenanteile der Pyrolyseprodukte werden neben den chemischen Eigenschaften der Ausgangsbiomasse maßgeblich durch die Aufheizrate, die Verweildauer und die Reaktionstemperatur bestimmt. Ein umfassender Überblick der Auswirkungen der Prozessparameter findet sich in der Studie von Li et al. (2023) oder Tripathi et al. (2016). In der Datenzusammenstellung wird für die drei Pyrolyseprodukte jeweils die absolute Menge, die Konversionsrate sowie der Heizwert angegeben, sofern in der Quelle vorhanden.

- **Ertrag:** Der Ertrag beschreibt absolut, wieviel der Ausgangsbiomasse in das jeweiligen Pyrolyseprodukt umgewandelt wird.
- **Konversionsrate:** Die Konversionsrate beschreibt relativ, wieviel der Ausgangsbiomasse in das jeweilige Pyrolyseprodukt umgewandelt wird. Sie wird in Gewichtsprozent angegeben.
- **Heizwert:** Siehe oben.

---

<sup>2</sup> Micro: < 100 t PK; Small: 100-199 t PK; Medium: 200-499 t PK; Large: 500-1.999 t PK; Very large: 2.000-4.999 t PK; Industrial: > 5.000 t PK. <https://www.biochar-industry.com/>

### 3.1.4 Energiebezogene Daten

Die energiebezogenen Parameter umfassen Daten über die auskoppelbare thermische und/oder elektrische Energie.

- **Nennleistung:** Die thermische/elektrische Nennleistung ist die auskoppelbare Leistung, die zusätzlich bereitgestellt werden kann.
- **Nutzbare Energiemenge:** Die nutzbare Wärme-/Strommenge ist die Menge an Energie, die unter Annahme von 8000 Betriebsstunden ausgekoppelt werden kann.
- **Brennstoffausnutzungsgrad:** Der Brennstoffausnutzungsgrad beschreibt das Verhältnis der ausgekoppelten Energie zur zugeführten Energie der Ausgangsbiomasse.

## 3.2 Ökonomisch

Die ökonomischen Parameter werden in einmalige Investitionskosten und periodische Betriebskosten unterschieden. Zu den einmaligen Investitionskosten gehört beispielsweise die Anfangsinvestition in den Anlagenbau. Periodische Betriebskosten beschreiben Kosten für Wartung und Instandhaltung, aber auch Kosten für Personal oder Versicherung. Auf eine Betrachtung von variablen Kosten für den Brennstoffeinsatz sowie andere Betriebsmittel wie Strom/Gas oder Wasser wird hier verzichtet, da diese projektspezifisch räumlich wie zeitlich stark variieren.

Die Investitionskosten für eine Pyrolyseanlage können in Kostenpositionen für die Biomassevorbereitung, den Pyrolysereaktor, die Nachbereitung und Verladung der PK, einer möglichen Energieauskopplung sowie baulichen Anlagen unterschieden werden. Zusätzlich entstehen Investitionsnebenkosten, die hauptsächlich die Kosten für Projektierung, Installation sowie Genehmigungs- und Prüfverfahren umfassen.

- **Biomassevorbereitung:** Zu Investitionskosten für die Biomassevorbereitung gehören – je nach eingesetzter Ausgangsbiomasse – Anlagen zur Trocknung, zur Zerkleinerung und Fördertechnik. Die erforderlichen Anlagen unterscheiden sich je nach notwendiger Vorbereitung. Werden beispielsweise fertig pelletierte, getrocknete Holzhackschnitzel angeliefert, besteht gegebenenfalls gar kein Investitionsbedarf. Wird feuchtes Waldrestholz verwendet, muss es vor der Pyrolyse getrocknet und zerkleinert werden. Wird eine feuchte Biomasse wie Klärschlamm eingesetzt, ist eine andere Fördertechnik und eine Vortrocknung notwendig.
- **Pyrolysereaktor:** Der Pyrolysereaktor unterscheidet sich nach eingesetzter Technologie.
- **Nachbereitung und Verladung der PK:** Nach Austritt aus dem Reaktor wird die PK in der Regel mit Wasser gekühlt, um die Gefahr von Bränden zu minimieren. Ein übliches Verpackungssystem für die Lagerung und den Transport ist die Befüllung in Big-Bags. Wird die PK mit Nährstoffen aufgeladen, entstehen gegebenenfalls Extrakosten, beispielweise für einen Kompostwender.
- **Energieauskopplung:** Im Falle einer thermischen Energieauskopplung können Extrakosten für die Wärmeauskopplung und/oder für einen thermischen Speicher entstehen. Im Falle einer elektrischen Energieauskopplung entstehen Kosten für die Umwandlung von thermischer in elektrische

Energie, beispielsweise durch eine Heißgasturbine oder eine ORC-Anlage.<sup>3</sup>

- **Bauliche Anlagen:** Üblicherweise fallen bei Pyrolyseanlagen Kosten für ein Substratlager, einen Unterstand/Halle/Container für die Anlage selbst sowie für die Lagerung der PK an. Je nach Projekt können auch Kosten für das Grundstück anfallen.

In der Datenzusammenstellung sind die aufgeführten Kostenpositionen, sofern veröffentlicht, ausdifferenziert dargestellt.

Die Betriebskosten für eine Pyrolyseanlage können in Kosten für die Wartung und Instandhaltung, Personalkosten, Versicherungskosten, Kapitalkosten und sonstige Kosten unterschieden werden. Je nach Projekt/Unternehmung können unter sonstige Kosten beispielsweise Kosten für Marketing oder Werbung fallen. Anfallende Kapitalkosten sind stark von Zinssatz und Anteilen des eingesetzten Eigen- und Fremdkapitals abhängig. Da Kapitalkosten sehr projektspezifisch sind, werden diese nicht in der Datenzusammenstellung erfasst.

### 3.3 Ökologisch

Für eine ökologische Bewertung der Pflanzenkohletechnologie sind sowohl energetische Parameter als auch Eigenschaften der Pflanzenkohle relevant. Im Rahmen der Datenzusammenstellung wurden Energie-Inputs und -Outputs, der Ertrag der Pflanzenkohle im Verhältnis zum Biomasseinput, die Biomasseart, der Kohlenstoffgehalt der Pflanzenkohle und die Stabilität dieser ausgewertet. Weiterhin wurden auch die Applikationsraten der Pflanzenkohle in den Boden sowie weitere Effekte auf den Boden ausgewertet. Zusammenfassend wurden, soweit angegeben, auch die Treibhausgaspotentiale in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten erhoben.

- Zu den Eigenschaften der **Biomassen** siehe Kapitel 3.1.1.
- **Kohlenstoffgehalt:** Die Pyrolyse von Biomasse zu Pflanzenkohle hat das Potential Kohlenstoff zu binden und weist als Prozess ein Sequestrierungspotential auf. Dieses basiert auf dem Kohlenstoffgehalt, dem Wassergehalt und der angenommenen Stabilität der Pflanzenkohle. Exemplarisch für eine Tonne produzierte Pflanzenkohle mit einem Wassergehalt von 0 %, einem C-Gehalt von 50 % und einer Stabilität von 80 % ergibt sich ein theoretisches Potential von 1.468 kg CO<sub>2</sub>-eq.
- Emissionen, die bei der Bereitstellung von Biomasse, der Herstellung der Pflanzenkohle und dem Transport entstehen, müssen bei der Berechnung miteinbezogen werden und verringern das Potential entsprechend.
- Im Pyrolyseprozess können **Strom und Wärme ausgekoppelt** und genutzt werden und es besteht die Möglichkeit, in der Ökobilanzierung eine Gutschrift für vermiedene Energie aus dem Strommix bzw. Wärmemix anzurechnen.
- Auch **weitere Effekte auf den Boden** wurden in einigen Studien ausgewertet. In der Veröffentlichung *Pflanzenkohle in der Landwirtschaft* werden mögliche Effekte zusammengefasst (Schmidt et al.

---

3 Eine ORC-Anlage (Organic Rankine Cycle-Anlage) ist eine Art thermodynamisches Mikrokraftwerk, in dem aus thermischer Energie elektrische Energie erzeugt wird.

2021a): Unter anderem die Verringerung von Bodenemissionen wie  $N_2O$ , die Verringerung von Düngemittleinsatz oder eine Erhöhung des Ertrags. In den ausgewerteten Studien werden vor allem reduzierte  $N_2O$ -Emissionen betrachtet. Zum Teil finden auch der verringerte Düngemittleinsatz und die Ertragssteigerung Einzug in die Berechnungen.

- Die Ergebnisse der unterschiedlichen Studien in Bezug auf das **Treibhausgaspotential** variieren pro Tonne Pflanzenkohle zwischen  $-114 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$  und  $-3.014 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$  Je nach Fokus der Studie wird die Wirkung auch in Bezug auf den Biomasseinput angegeben (Ibarrola et al. 2012; Mohammadi et al. 2019).

## 4. Literaturverzeichnis

- Hofbauer, Hermann, Martin Kaltschmitt, Frerich Keil, Dietrich Meier und Johannes Welling (2016): Pyrolyse. In: *Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren*, hg. v. Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann, und Hermann Hofbauer, S. 1183–1265. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg.
- Ibarrola, Rodrigo, Simon Shackley und James Hammond (2012): Pyrolysis biochar systems for recovering biodegradable materials: A life cycle carbon assessment. *Waste Management* 32, Nr. 5 (Mai): 859–868.
- Li, Yize, Rohit Gupta, Qiaozhi Zhang und Siming You (2023): Review of biochar production via crop residue pyrolysis: Development and perspectives. *Biore-source Technology* 369 (Februar): 128423.
- Mohammadi, Ali, Maria Sandberg, G. Venkatesh, Samieh Eskandari, Tommy Dalgaard, Stephen Joseph und Karin Granström (2019): Environmental analysis of producing biochar and energy recovery from pulp and paper mill biosludge. *Journal of Industrial Ecology* 23, Nr. 5 (Oktober): 1039–1051.
- Roberts, Kelli G., Brent A. Gloy, Stephen Joseph, Norman R. Scott und Johannes Lehmann (2010): Life Cycle Assessment of Biochar Systems: Estimating the Energetic, Economic, and Climate Change Potential. *Environmental Science & Technology* 44, Nr. 2 (15. Januar): 827–833.
- Schmidt, Hans-Peter, Andrés Anca-Couce, Nikolas Hagemann, Constanze Werner, Dieter Gerten, Wolfgang Lucht und Claudia Kammann (2019): Pyrogenic carbon capture and storage. *GCB Bioenergy* 11, Nr. 4 (April): 573–591.
- Schmidt, Hans-Peter, Nikolas Hagemann, Fredy Abächerli, Jens Leifeld und Thomas Bucheli (2021a): Pflanzenkohle in der Landwirtschaft. Hintergründe zur Düngertilassung und Potentialabklärung für die Schaffung von Kohlenstoff-Senken. Agroscope. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/46567> (Zugriff: 5. Juli 2022).
- Schmidt, Hans-Peter, Claudia Kammann, Nikolas Hagemann, Jens Leifeld, Thomas D. Bucheli, Miguel Angel Sánchez Monedero und Maria Luz Cayuela (2021b): Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. *GCB Bioenergy* 13, Nr. 11 (November): 1708–1730.
- Tripathi, Manoj, J.N. Sahu und P. Ganesan (2016): Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 55 (März): 467–481.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Verantwortung für Datenzusammenstellung:

**Institut für ökologische Wirt-  
schaftsforschung (IÖW) GmbH, ge-  
meinnützig**

Potsdamer Str. 105  
D-10785 Berlin  
Tel. +49-30-884594-0  
Fax +49-30-8825439

[www.ioew.de](http://www.ioew.de)

**Kontakt:**

**Elmar Zozmann**

Email: [elmar.zozmann@ioew.de](mailto:elmar.zozmann@ioew.de)

**Clara Lenk**

Email: [clara.lenk@ioew.de](mailto:clara.lenk@ioew.de)

**Hannes Bluhm**

Email: [hannes.bluhm@ioew.de](mailto:hannes.bluhm@ioew.de)



| i | ö | w

INSTITUT FÜR  
ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG