

Entwicklung und Potenzial von Biokohle

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autoren: Alex Bergamo, Lorenz Strimitzer (Österreichische Energieagentur)

Gesamtumsetzung: Österreichische Energieagentur

Wien, August 2022

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des BMK und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an klimaaktiv@energyagency.at

Inhalt

1 Einleitung	4
2 Technische Grundlagen.....	6
3 Einsatzmöglichkeiten.....	11
4 Rechtliche Rahmenbedingungen und Qualitätssicherung.....	14
5 CO₂-Senkungspotential und Handel	17
6 Europäischer Biokohlemarkt.....	20
Literaturverzeichnis	26
Abbildungsverzeichnis.....	29
Über klimaaktiv	30

1 Einleitung

Als Biokohle bezeichnet man das poröse kohlenstoffhaltige Material, das durch Pyrolyse (oder Vergasung) von Biomasse hergestellt wird und nicht zur Verbrennung für die Energieerzeugung bestimmt ist. Seit Beginn des 21. Jahrhunderts wird Biokohle aufgrund seines Potentials Kohlenstoff langfristig zu speichern und aufgrund der vielen Anwendungsmöglichkeiten gründlich erforscht. Am internationalen Markt ist Biokohle seit ca. 10 Jahren zu finden und erfährt seit 2017 ein deutliches Wachstum.

Der Hauptgrund für das wachsende Interesse in diesem Bereich ist die Entdeckung von „Terra Preta“ in Amazonien. Obwohl Terra Preta schon zum ersten Mal im 19. Jahrhundert von amerikanischen Geologen erwähnt wurde, erlangte dessen Bedeutung erst in den Jahren 2001-2002 internationale Aufmerksamkeit¹. Terra Preta ist ein dunkler Boden im Amazonasbecken, der im Vergleich zu den umliegenden, wenig fruchtbaren Böden eine höhere Fruchtbarkeit und einen höheren Kohlenstoffgehalt aufweist. Es wird angenommen, dass sich diese Böden über Jahrhunderte hinweg durch das Mischen von Biokohle mit organischen Abfällen und das Einbringen dieser Mischung in den Boden gebildet haben.

Seit Beginn des 21. Jahrhunderts wurden schon mehr als 10.000 Studien zum Thema Biokohle veröffentlicht (Stand 2019)². Zu Beginn lag der Fokus hauptsächlich auf landwirtschaftliche Anwendungen, wie z.B. die Einbringung der Biokohle in den Boden als Bodenverbesserungsmittel. Nach gründlicher Untersuchung und nach Erlangung von größerer Aufmerksamkeit, wurde das Potential dieser kohlenstoffhaltigen Substanz auch in weiteren Bereichen untersucht. Beispiele für die stoffliche Nutzung von Biokohle in der Industrie sind Zusatzstoffe für Baumaterialien, Textilien oder Kunststoffe, Katalysatoren oder die Verwendung zur Adsorption und Reinigung von Wasser oder Gasen.

¹ William M. Denevan, William I. Woods. Discovery and awareness of anthropogenic amazonian dark earths (terra preta)

² Emna Abdeljaoued, Mathieu Brulé et al (2020): Bibliometric analysis of the evolution of biochar research trends and scientific production. In Clean Technologies and Environmental Policy

Seit der Unterzeichnung des Pariser Klimaschutzabkommens in 2015 beschäftigt man sich auch ausführlicher mit dem CO₂ Bindungspotential dieser Technologie. Im Spezialreport über Klimaschutz und Landnutzung vom IPCC (2019) wird die Pyrolyse von Biomasse mit anschließender Verwedung der Kohle, mit dem Ziel der langjährigen Sequestrierung von Kohlenstoff, kurz PyCCS, als vielversprechende negative Emmisionstechnologie (NET) bezeichnet. Ein Grund dafür ist die bereits existierende Technologie und die damit vereinfachte kurz- bis mittelfristige Skalierung. Auch auf Anwenderseite werden immer bessere Bedingungen für den Einsatz der Biokohle geschaffen. So wurden durch die Anpassung der EU Düngemittelverordnung (EU) 2019/1009, durch Pyrolyse oder Vergasung gewonnene Materialien, seit dem 16.06.2022 als Komponentenmaterialkategorie in EU-Düngerprodukten aufgenommen. Dies ermöglicht den EU weiten Einsatz von Biokohle in der Landwirtschaft, welcher zuvor durch die Einstufung der Biohle als Abfall nur in einzelnen Fällen und Mitgliedsstaaten möglich war.

2 Technische Grundlagen

Die thermochemische Umwandlung von Biomasse zu Biokohle geschieht unter sauerstofffreier Atmosphäre bei Temperaturen zwischen 220 und 700°C. Dieser Prozess wird als Pyrolyse bezeichnet und das Carbonisat, welches daraus hervorgeht, besteht aus turbostratisch angeordneten Schichten aus konjugiertem aromatischem Kohlenstoff³. Struktur und Zusammensetzung der Biokohle werden dabei in hohem Maße von Prozessparametern wie Temperatur, Erhitzungsgeschwindigkeit und Verweilzeit, sowie von den verwendeten Rohstoffen beeinflusst.

Die Pyrolyse wird je nach Verweilzeit des Rohstoffs in eine schnelle und langsame Pyrolyse eingeteilt. Bei der langsamen Pyrolyse beträgt die Verweilzeit zwischen einer Stunde und mehreren Tagen. Die Biokohle als Hauptprodukt hat damit genügend Zeit um sich zu bilden. Bei der schnellen Pyrolyse mit Verweilzeiten von wenigen Sekunden, ist das Pyrolyseöl das Hauptprodukt, wobei auch Biokohle mit einem Gewichtsanteil von bis zu 12 % entsteht. In beiden Fällen laufen die Reaktionen unter dem Ausschluss von Sauerstoff ($\lambda=0$) ab. Obwohl bei der Vergasung von Biomasse größtenteils Gas entsteht (~85 %), kann je nach Verweildauer auch bis zu 10 % Biokohle entstehen³. Bei der Vergasung herrschen Temperaturen von 700-1.400 Grad und die Luftzahl λ nimmt einen Wert zwischen 0 und 1 an. Das bedeutet, dass Sauerstoff vorhanden ist, jedoch weniger, als stöchiometrisch nötig wäre, um den Rohstoff vollständig zu oxidieren.

Der passende Einsatzstoff für die Biokohleproduktion hängt einerseits von der beabsichtigten Verwendung der Produkte und andererseits von der verwendeten Anlagentechnologie ab. Wird die Kohle z.B. in der Landwirtschaft eingesetzt, muss das Ausgangsmaterial gründlich auf toxische Substanzen und Schwermetallen untersucht werden. Allgemein gilt, dass das Ausgangsmaterial einen geringen Wassergehalt aufweisen sollte, um einen wirtschaftlichen Betrieb der Pyrolyseanlage zu gewährleisten. In der Önorm S2211 von 2016 sind die Ausgangsmaterialien für die Herstellung von Pflanzenkohlen und

³ Libra, J. A.; Ro, K. S.; Kammann et al. (2011): Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels* 2011, 2 (1), 71-106; DOI 10.4155/bfs.10.81

deren Qualitätsanforderungen und Untersuchungsmethoden geregelt. Dazu gehören ligninhaltige Materialien aus der land- und forstwirtschaftlichen Urproduktion und Abfälle laut Anhang A der Norm. Diese Liste beinhaltet verschiedene Abfälle aus der Lebensmittelindustrie, wie z.B. überlagerte Lebensmittel (pflanzlichen Ursprungs) oder Fabrikationsrückstände von Kaffee, Tee oder Kakao, aus der Landwirtschaft, wie Spelzen- und Getreidestaub, aus der Industrie wie Hefe oder hefeähnliche Rückstände und aus der Forstwirtschaft wie Rinden, Schwarten oder Holzemballagen. Für jegliche Anwendung der Pflanzenkohle, müssen folgende Untersuchungsparameter analysiert werden, wobei bestimmte Grenzwerte nicht überschritten werden dürfen: Aschegehalt, organischer Kohlenstoff, molares H/C_{org} -Verhältnis, Hauptnährstoffe, Schwermetalle, PAK, pH-Wert, spezifische Oberfläche, Wassergehalt, Salzgehalt/Leitfähigkeit, PCB und Dioxine/Furane.

Es gibt verschiedene Anlagenkonzepte, um Biokohle als Haupt- oder Nebenprodukt herzustellen. Dazu zählen verschiedene Meiler- und Retortenarten sowie unterschiedliche Vergasertypen. Zu den diskontinuierlichen Meilerkonzepten gehören Erdmeiler. Sie sind einfach und günstig, weshalb sie in Entwicklungsländern noch eine weit verbreitete Methode sind, um Holzkohle herzustellen. Das Konzept eines Erdmeilers ist in Abbildung 1 dargestellt. Sie werden betrieben, indem ein Stapel Holzscheite angezündet wird, welcher, sobald genügend Wärme erzeugt wurde, mit einer Erdschicht bedeckt wird, um den Zugang von Sauerstoff zu begrenzen und die Pyrolysereaktionen zu ermöglichen. Ebenso werden einige Löcher in der Erdschicht präpariert, damit die entstehenden Schwelgase entweichen können.

Diskontinuierliche Meiler kommen auch gemauert oder in Stahlbehältern vor. Für diese traditionelle Art der Holzkohleherstellung, gibt es viele Vor- aber auch Nachteile: Sie benötigen nur eine minimale Infrastruktur, können in der Nähe der Biomassesammelstellen aufgestellt werden und können große Chargen verarbeiten. Des Weiteren benötigen sie keine externe Energieversorgung und sind kostengünstig. Die Nachteile hingegen sind: geringe Holzkohleausbeute und Effizienz, keine Prozesskontrolle, heterogene Qualität und Zusammensetzung der Holzkohle aus derselben Charge und direkte Emission von Pyrolysedämpfen und -gasen ohne Behandlung wie CO_2 , CH_4 , N_2O , aber auch toxische organische Verbindungen und Feinstaub. Kontinuierliche Meiler sind für die industrielle Herstellung von Holzkohle in großen Mengen besser geeignet. Sie arbeiten nach dem Prinzip eines vertikal abwärts bewegten Bettes und haben im allgemeinen einen höheren thermischen Wirkungsgrad. Ein Beispiel dafür ist der Schotttdorf-Meiler von Carbon-terra, der in Abbildung 2 dargestellt ist.

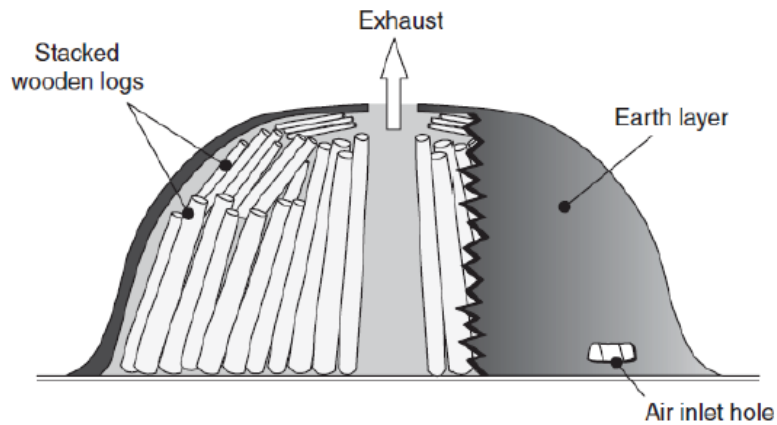


Abbildung 1: Traditioneller Erdmeiler zur Herstellung von Holzkohle durch langsame Pyrolyse ⁴

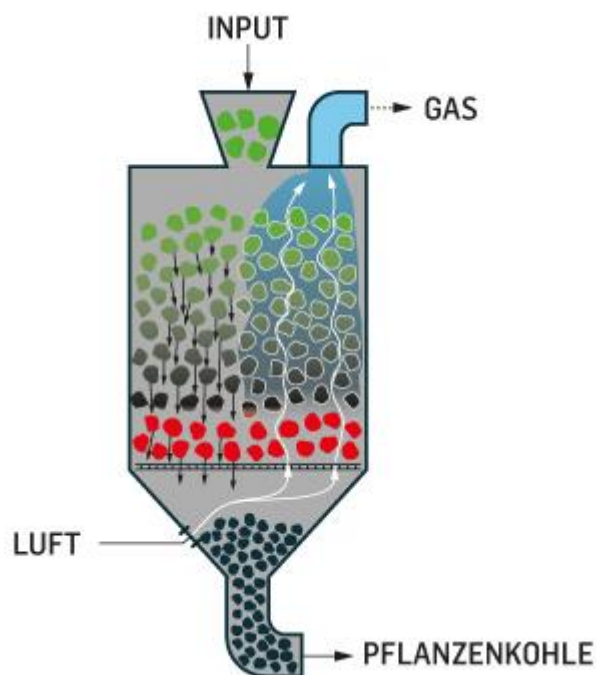


Abbildung 2: Funktionsweise eines kontinuierlichen Schottdorf-Meilers ⁵

Bei Retorten wird die Wärme extern, meist durch die Verbrennung des Pyrolysegases zugeführt, wodurch es zu höheren Biokohleerträgen kommt. Die Wärmezufuhr kann entweder indirekt erfolgen, indem die Reaktorwand über einen Wärmetauscher beheizt wird, oder direkt, indem die Biomasse in direkten Kontakt mit den Verbrennungsgasen kommt. Retorten kann man auch in batch- und kontinuierlichen Systemen einteilen. Ein

Beispiel für eine industrielle Retorte mit Batchsystem ist die Reichert-Retorte, bei welcher mehrere batchweise betriebene Retorten miteinander verbunden sind, um einen gleichmäßigeren Pyrolysegasstrom zu erreichen. Das entstandene Gas wird verbrannt um die gewünschte Prozesstemperatur zu erreichen.

Bei den indirekt beheizten Retorten unterscheidet man zwischen kontinuierlichen Schrauben, Trommel oder Drehrohrreaktoren. Der wesentliche Unterschied besteht in der Beförderung des Einsatzstoffes durch die Schnecke, bzw. der geneigten Trommel. Die Wärmeübertragung erfolgt indirekt, wobei die verbrannten Gase den Reaktor durch die Reaktorwand erhitzen. Das Prinzip des Schraubenreaktors ist in Abbildung 3 dargestellt. Das Reaktorsystem von Pyreg ist ein Beispiel für diese Reaktorart.

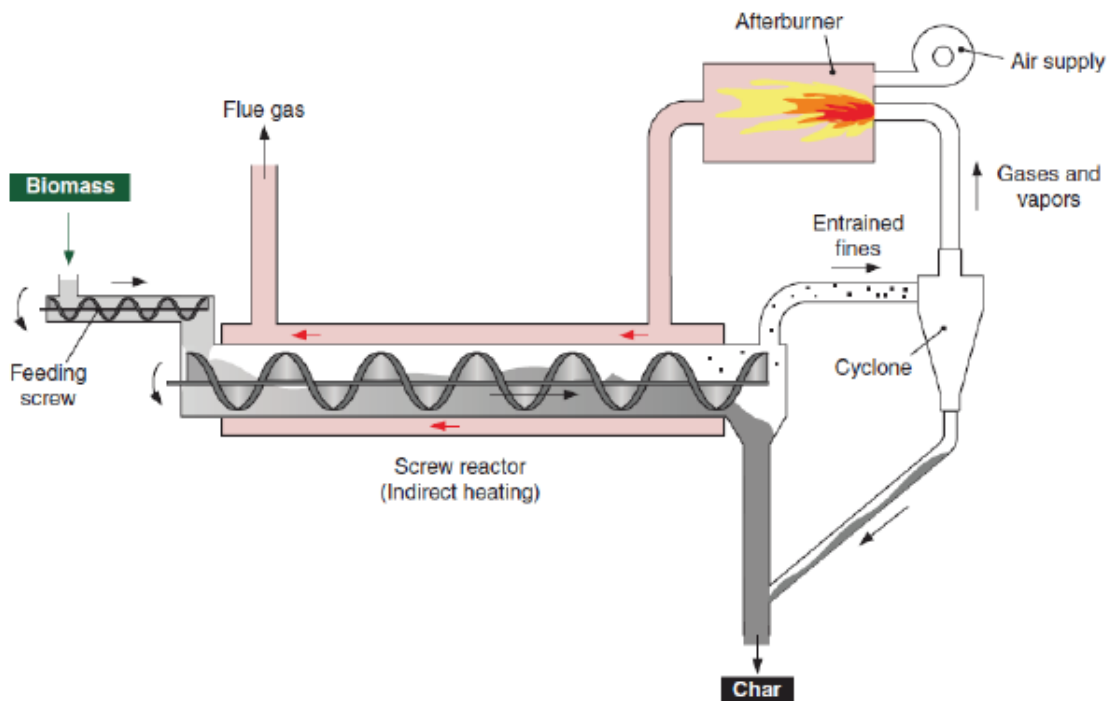


Abbildung 3: Funktionsweise eines kontinuierlichen Schraubenreaktors⁴

Bei der Vergasung ist das erwünschte Hauptprodukt das brennbare Gas, welches zu verschiedenen energetischen oder stofflichen Zwecken verwendet werden kann. Biokohle,

⁴ Bruckman, V. J., Ed. Biochar. A regional supply chain approach in view of climate change mitigation; Cambridge University Press: Cambridge, 2016.

⁵ Carbonterra: https://www.carbon-terra.eu/de/schottdorf-meiler/funktionsweise_1

fällt als Nebenprodukt an und kann leicht unterschiedliche Eigenschaften aufweisen, wie Biokohle, die mittels Pyrolyse hergestellt wird. Für gewöhnlich haben Vergaserkohlen geringere Kohlenstoffgehalte und höhere Aschegehalte. Jedoch hat auch die Art der Vergasertechnologie einen großen Einfluss auf die Zusammensetzung der Biokohle. Das eingesetzte Vergasungsmittel, die Art der Wärmezufuhr (autotherm oder allotherm) und die Druckverhältnisse sowie das Reaktorprinzip sind dabei die wichtigsten Faktoren. Im Wesentlichen werden 3 verschiedene Vergaserarten eingesetzt: Festbettvergaser, Wirbelschichtvergaser und Flugstromvergaser.

Die Struktur, Porosität, Produktausbeute, Stabilität, Farbe, elementare Zusammensetzung, sowie der pH-Gehalt, Kohlenstoffgehalt, Gehalt an potentiell toxischen Substanzen, Aschegehalt und viele weitere Eigenschaften von Biokohle, sind stark vom Einsatzstoff und von den Prozessparametern abhängig. In den letzten 20 Jahren wurden diese Zusammenhänge gründlich untersucht um besser zu verstehen, welche Parameter bzw. Ausgangsstoffe sich für welche Anwendung am besten eignen. Die Zusammenhänge sind teilweise sehr komplex, da viele Faktoren zusammenspielen. Allgemein konnte jedoch folgendes festgestellt werden: Höhere Temperaturen und Reaktionszeiten führen zu höheren pH- und Aschegehalten, niederen Produktausbeuten, sowie zu niederen O/C und H/C Verhältnissen⁶. Diese Verhältnisse sind gute Indikatoren für die Stabilität und die Halbwertszeit von Biokohlen. Kleinere O/C und H/C Verhältnisse weisen auf eine höhere Aromatizität der Kohle hin, was den Abbau durch Microorganismen erschwert. Laut Spokas (2010)⁷ kann die Halbwertszeit von Biokohle, bei einem O/C Verhältnis von unter 0,2, über 1.000 Jahre erreichen. Der Kohlenstoffgehalt der Biokohle hängt neben den Prozessparametern auch von den Einsatzstoffen ab, da Biokohle aus ligninhaltigen Einsatzstoffen höhere Kohlenstoffgehalte aufweist⁶.

⁶ Blöhse, D.; Echterhof, T.; Eichenauer, S.; Heger, S.; Kammann, C.; Kruse, A.; Quik-ker, P.; Schulten, M.-A.; Weber, K. Biokohle. Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Biomassekarbonisaten; Springer Fachmedien Wiesbaden: Wiesbaden, 2017.

⁷ Spokas, K. A. Review of the stability of biochar in soils: predictability of O:C molar ratios. Carbon Management 2010, 1 (2), 289–303; DOI 10.4155/cmt.10.32.

3 Einsatzmöglichkeiten

Aufgrund der Vielseitigkeit, was die Struktur und die Eigenschaften von Biokohle betrifft, und aufgrund der Möglichkeit diese durch eine große Auswahl von Ausgangsstoffen, Prozessparametern und Zusatzstoffen zu beeinflussen, hat diese „designer Kohle“ das Potential in vielen verschiedenen Bereichen eingesetzt zu werden. Diese Bereiche reichen von diversen landwirtschaftlichen, zahlreichen industriellen bis hin zu einzelnen urbanen Anwendungen.

Die Forschung der Biokohle begann im Bereich der Landwirtschaft, da die positiven Effekte der Terra Preta genutzt werden sollten, um die landwirtschaftliche Produktivität, durch die Schaffung fruchtbarer Böden, zu erhöhen. Inzwischen gibt es viele verschiedene etablierte Anwendungen von Biokohe in der Landwirtschaft, bei denen Biokohle nicht in den Boden eingearbeitet wird. Es wurde beobachtet, dass Biokohle als Futtermittelzusatz in der Silage positive Auswirkungen auf die Verdauung der Tiere hat. Das liegt z.T. daran, dass somit die Fermentation durch die Vermeidung der Bildung von Mykotoxinen und Buttersäure verbessert wird. Durch die Auswertung von 150 wissenschaftlichen Publikationen zur Fütterung von Biokohle wurden weitere positive Auswirkungen auf Parameter wie Toxinadsorption, Blutwerte, Futtereffizienz und Fleischqualität gefunden⁸. Diese positiven Auswirkungen sind zum größten Teil auf die Adsorptionsfähigkeit von Umweltgiften, Pestiziden und pflanzlichen Toxinen im Verdauungstrakt der Biokohle zurückzuführen. Diese positiven Effekte konnten jedoch nicht in allen Studien nachgewiesen werden, da es auch viele Veröffentlichungen ohne statistisch signifikanten Resultate gibt. Signifikante negative Auswirkungen wurden jedoch noch keine nachgewiesen. Dennoch gibt es in diesem Bereich Forschungsbedarf, da die praktische Anwendung den Erkenntnissen der Forschung vorseilt. Die Zugabe von Biokohle zum Einstreu, wurde auch erforscht und bringt eine Reihe von Vorteile mit sich. Die wichtigsten davon sind ein verbessertes Stallklima, eine reduzierte Geruchsbildung und Ausstoß von Treibhausgasen (insbesondere Ammoniak, Schwefelwasserstoff und Methan) und verringertes Risiko der Ausbreitung von

⁸Hans-Peter Schmidt, Claudia Kammann, Achim Gerlach, Henning Gerlach (2016): Der Einsatz von Pflanzenkohle in der Tierfütterung https://www.ithaka-institut.org/ithaka/media/doc/schmidt_pk_fuetterung.pdf

Krankheitserregern⁹. Außerdem wird Biokohle dem Biogasprozess hinzugefügt um den Prozess zu stabilisieren, die Methanausbeute zu erhöhen und die CO₂ und Ammoniakemissionen zu verringern. Ebenso kann der Prozess der Kompostierung durch eine Biokohlezugabe verbessert werden, indem sie das nasse Material auflockert und für eine bessere Belüftung sorgt⁹. Besondere Bedeutung kommt der Verwendung von Biokohle als Bodenverbesserungsmittel und Träger für Düngemittel zu. Ziel ist es hier, die Bodeneigenschaften zu verbessern, um die Fruchtbarkeit zu erhöhen und eine dauerhafte Kohlenstoffsene zu schaffen. Unterschiedliche biologische, chemische und physikalische Wechselwirkungen sind dafür verantwortlich. Eine erhöhte Bodenporosität, Aggregatstabilität, verfügbare Wasserhaltekapazität und eine verringerte Bodenschüttdichte sind potentielle physikalische Einflüsse einer Biokohlezugabe in den Boden. In chemischer Hinsicht, erhöht Biokohle als Bodenverbesserungsmittel, den organischen Kohlenstoffgehalt und die Kationenaustauschkapazität, was Speicherung von Kationen wie Ca, Mg und Na und die Effizienz der Nährstoffnutzung verbessert. Überdies, kann durch die meist basische Biokohle, der pH-Wert des Bodens so angepasst werden, dass die Mobilität und Verfügbarkeit von Nährstoffen optimiert wird. Der Eintrag von Biokohle in den Boden fördert zudem das Wachstum und die metabolische Effizienz der mikrobiellen Biomasse, wie N₂-fixierenden Rhizobien und Mykorrhiza. Damit kann die Nährstoffversorgung und die Stickstoffverwertung der Pflanzen verbessert werden. All diese Faktoren tragen zur Fruchtbarkeit der Böden bei und haben das Potential den landwirtschaftlichen Ertrag zu erhöhen. Ertragssteigerungen nach dem Einsatz von Biokohle wurden vor allem in tropischen oder wenig fruchtbaren Böden beobachtet, wobei sich der pH-Wert, der Aschegehalt, die Schüttdichte und das C/N-Verhältnis als die wichtigsten Faktoren für die Ertragssteigerung herausstellten. Obwohl in bereits optimalen Systemen mit hohen Erträgen und fruchtbaren Böden mit ausreichend Niederschlag eine weitere Ertragssteigerung nur schwer zu erreichen ist, könnten diese mit weniger Düngereinsatz erzielt werden³¹⁰.

Der Einsatz von Biokohle in urbanen Anwendungen hat seinen Ursprung in Stockholm. Hier wurde Biokohle zum ersten Mal in Verbindung mit Strukturerde für Stadtbäume

⁹ Michael Haubold-Rosar , Thomas Heinkele, Anne Rademacher, Jürgen Kern, Chris-tiane Dicke, Axel Funke, Sonja Germer, Yusuf Karagöz, Jürgen Reinhold, York Neubauer, Jakob Medick, Isabel Teichmann. Chancen und Risiken des Einsatzes von Biokohle und anderer "veränderter" Biomasse als Bodenhilfsstoffe für die C-Sequestrierung in Böden.

¹⁰ Schmidt, H.-P.; Kammann, C.; Hagemann, N.; Leifeld, J.; BUCHELI, T. D.; Sánchez Monedero, M. A.; Cayuela, M. L. Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. GCB Bioenergy 2021; DOI 10.1111/gcbb.12889

verwendet. Aufgrund der guten Ergebnisse bezüglich des Wachstums und der Gesundheit der Bäume, findet diese Anwendung nun in vielen weiteren Städte Verwendung. Weitere Ideen für urbane Anwendungen sind die Verwendung als Substrat für die Dachbegrünung und als Regenwassermanagement. Die geringe Dichte von Biokohle erweitert die Anwendungsmöglichkeiten der Dachbegrünung und die hohe Porosität hilft dabei, Schadstoffe aus dem Regenwasser zu entfernen.

In der Industrie kann Biokohle für energetische oder stoffliche Zwecke verwendet werden. Die energetische Nutzung umfasst den teilweisen Ersatz fossiler Kohle für die Stromerzeugung oder die Wärmeerzeugung in metallurgischen Prozessen bzw. in der Zement- und Kalkindustrie. Beispiele für die stoffliche Nutzung von Biokohle in der Industrie sind Zusatzstoffe für Baumaterialien, Textilien oder Kunststoffe, Katalysatoren, Adsorption und Reinigung von Wasser, Gasen und vieles mehr. Biokohlen können ebenso für spezielle Anwendungen physisch oder chemisch aktiviert werden. Diese Aktivierung wird insbesondere für Reinigungsprozesse verwendet, da sie die Sorptionskapazität von Biokohle erhöht und damit die Fähigkeit, anorganische oder organische Verunreinigungen wie Schwermetalle, Arsenate und andere toxische Stoffe zu entfernen³. Besondere Aufmerksamkeit hat Biohohle als Zusatzstoff in Asphalt oder in Beton erhalten, da auf diese Weise nicht nur deren Eigenschaften, sondern auch deren Nachhaltigkeit verbessert werden können. Ein Beispiel dafür ist die CarStorCon Technologie, bei der 15% des Zements mit 15% Biokohle (Clim@add) substituiert wird. Damit ist es erstmals gelungen, einen klimapositiven Beton herzustellen, der gleichwertige Eigenschaften aufweist wie der entsprechende Referenzbeton (C25/30) und diese in einigen Kategorien sogar übertrifft. Dazu zählen der Schallschutz, das Wärmedämmverhalten und die Feuchtigkeitsregulierung.

4 Rechtliche Rahmenbedingungen und Qualitätssicherung

Schon seit 2016 existiert in Österreich die ÖNORM S2211¹¹ in der die Ausgangsmaterialien, Qualitätsanforderungen und Untersuchungsmethoden für Biokohle geregelt werden. Die Untersuchungsparameter und Grenzwerte für Pflanzenkohle in der Landwirtschaft lehnen sich stark an denen des europäischen Biokohle-Zertifikats (EBC) an.

EBC ist ein freiwilliger Industriestandard für die nachhaltige Biokohleproduktion. Seit dem Runderlass von 2018¹² wird auch der Einsatz von Pflanzenkohle in der biologischen Landwirtschaft geregelt. Damit gehört Österreich zusammen mit Ländern wie Schweden und Ungarn zu den Vorreiterstaaten in der EU, was die Regulierung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft betrifft. Am 16. Juli 2022 wurden Pyrolyse- und Vergasungsmaterialien als neue Stoffkategorie in die EU-Düngemittelverordnung 2019/1009¹³ aufgenommen. Dies ermöglicht eine EU-weite einheitliche Regelung der landwirtschaftlichen Verwendung von Biokohle. So gelten Materialien wie Biokohle oder Ascheprodukte nicht mehr als Abfallprodukte, sobald alle Anforderungen der Verordnung erfüllt wurden um keine nachteiligen Folgen für die Umwelt oder die Gesundheit des Menschen zu verursachen. Sie werden als Düngemittel eingestuft und erhalten somit Zugang zum Binnenmarkt.

Die Verwendung von Biokohle als Futtermittelzusatzstoff wird durch die (EG) Nr. 68/2013 der Europäischen Kommission vom 16. Januar 2013 geregelt¹⁴. Biokohle ist im dortigem Verzeichnis unter 7.13.1 als Pflanzliche Kohle geführt. Die Qualitätsrichtlinien für Futtermittel hingegen sind in der Verordnung (EG) Nr. 369/2005¹⁵ über Höchstgehalte an

¹¹ ÖNORM S2211 (2016) Pflanzenkohle Ausgangsmaterialien, Qualitätsanforderungen und Untersuchungsmethoden

¹² BMASGK 2018: Biologische Produktion; Pflanzenkohle; Runderlass

¹³ VERORDNUNG (EU) 2019/1009 Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019

¹⁴ Verordnung (EU) Nr. 68/2013 der Kommission vom 16. Januar 2013 zum Katalog der Einzelfuttermittel

¹⁵ Verordnung (EG) Nr. 396/2005 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Februar 2005 über Höchstgehalte an Pestizidrückständen in oder auf Lebens- und Futtermitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs und zur Änderung der Richtlinie 91/414/EWG des Rates

Rückständen von Pestiziden in oder auf Lebens- und Futtermitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs, und in der Richtlinie 2002/32/EG vom 7.Mai 2002 ¹⁶ zu unerwünschten Stoffe in der Tierernährung geregelt.

Das europäische Biokohle Zertifikat (EBC) ist ein Kontroll- und Bewertungssystem, welches Leitlinien und Grenzwerte für die kontrollierte und nachhaltige Biokohleproduktion auf der Grundlage der neuesten Forschung und Praxis enthält. Außerdem garantiert die Nutzung des Zertifikats, die Einhaltung aller von der EU vorgeschriebenen Grenzwerte für landwirtschaftliche Anwendungen und insbesondere für den Futtermittelzusatz. Je nach Anwendungszweck werden die Biokohlen in EBC-Zertifizierungsklassen eingeteilt. Zu den aktuellen Anwendungsklassen gehören EBC-Futter, EBC-AgroBio, EBC-Agro, EBC-Urban, EBC-Gebrauchsmaterial und EBC-Rohstoff. Sie geben keine Auskunft über die Qualität der Biokohle, sondern geben an, ob die Kohle für eine bestimmte Anwendung zulässig oder unzulässig ist. Wenn eine Biokohle für eine bestimmte Anwendung gekennzeichnet ist, kann sie nicht für andere Anwendungen verkauft werden. Aufgrund der steigenden Nachfrage nach Biokohle in verschiedenen Bereichen werden zukünftig spezifische Industrieklassen wie EBC-Bau oder EBC-Kunststoffe entwickelt werden. Die EBC-Positivliste enthält alle möglichen Einsatzstoffe, die für die verschiedenen EBC-Klassen verwendet werden können. Die aktuelle Liste ist auf der EBC-Website unter folgendem Link zu finden (https://www.european-biochar.org/media/doc/2/positivliste_de_2022_v10_1.pdf). Zu den wichtigsten analytischen Parametern gehören beispielsweise die Elementaranalyse, die Analyse der Nährstoffe, Schwermetalle und organischen Schadstoffe. Mit diesen und weiteren Parametern, will das EBC die Sicherheit und Nachhaltigkeit der Produkte gewährleisten und gleichzeitig die Kosten im Rahmen halten. Die zulässigen Analysemethoden und Testverfahren sind ebenfalls in den EBC-Richtlinien festgelegt¹⁷.

Laut dem Europäischen Biokohle Markt Report 2021/2022 ¹⁸, sind von der gesamten Produktionskapazität die bis Ende 2022 zur Verfügung steht, fast 70% entweder bereits EBC-zertifiziert, im Zertifizierungsverfahren oder in der Planung für die Zertifizierung. Eine der wichtigsten Ursachen für die zunehmende Bedeutung von EBC ist die Zertifizierung des C-Senken-Potentials. Damit hat das European Biochar Industry Consortium (EBI) eine Methodik entwickelt, um eine vollkommene Klimabilanz für Biokohle zu berechnen und den

¹⁶ Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7.Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung

¹⁷ EBC (2022). Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle <https://www.european-biochar.org/de/ct/2-EBC-Richtlinien-Dokumente>

¹⁸ European Biochar industry Consortium März 2022: European Biochar Market Report 2021/2022

absolut anrechenbaren Wert als C-Senke zu bestimmen. Dieser sogenannte EBC.Sink-Standard ist der zurzeit strengste verfügbare Standard für C-Senken auf Basis von Pflanzkohle und wird von C-Senken Maklern und Handelsplattformen verwendet um die Glaubwürdigkeit der Kohlenstoffsенke nachzuweisen und zu bescheinigen.

5 CO₂-Senkungspotential und Handel

Laut dem IPCC-Sonderbericht von 2019, hat Biokohle (PyCCS) ein negatives Emissionspotential von 0,03-6,6 GtCO₂-eq/Jahr bis 2050 wenn man die Energiesubstitution mitberücksichtigt. Um die durchschnittliche globale Erwärmung auf 1,5°C zu begrenzen müssen die negativen Emissionstechnologien massiv skaliert werden.

Dem Bericht vom UN environment programme¹⁹ vom September 2021 zufolge, müssen negative Emissionstechnologien (NET) bis 2025 0,5-1,2 Gt CO₂ pro Jahr und bis 2050 sogar 6 bis 10 Gt pro Jahr beseitigen. Im Vergleich dazu betragen die globalen CO₂-Emissionen im Jahr 2020 42 Gt CO₂. Der Vorteil von Biokohle als NET ist, dass die Technologie im Vergleich zu anderen NET bereits kommerziell verfügbar ist und damit kurz- und mittelfristig CO₂, kostengünstiger als mit anderen Technologien aus der Atmosphäre entnommen werden kann. Dies zeigt auch die Grafik aus dem Briefing des europäischen Parlaments „Carbon dioxide removal“²⁰, welche in Abbildung 4 dargestellt ist. Hier wird das maximale Potential von Biokohle bis 2050 auf 2 Gt CO₂/Jahr geschätzt, und die maximalen Kosten pro sequestrierte Tonne CO₂ auf 120 \$. Damit weist Biokohle im Vergleich zu den Alternativen ein relativ geringes CO₂-Senkungspotential auf, ist jedoch die billigste technologische Lösung zur CO₂-Sequestrierung. Laut der Studie von Dominic Woolf et al.²¹ beträgt das maximale nachhaltige technische CO_{2eq}-Senkungspotential von Biokohle 1,8 Gt/Jahr. Dabei wurde nur Biokohle berücksichtigt, die aus nachhaltig geernteten Biomasseressourcen (ohne die Ernährungssicherheit, den Lebensraum oder den Bodenschutz zu gefährden) stammt und durch moderne ertragreiche und emissionsarme Pyrolyseverfahren hergestellt wird. Im Vergleich zur alleinigen energetischen Nutzung dieser nachhaltigen Biomasseressourcen durch deren Verbrennung, wies die Umwandlung zu Biokohle bei allen untersuchten Szenarien bis auf einem, ein größeres Klimaschutzpotential auf. Nur wenn

¹⁹ UN environment programme 2021. The Net in Net Zero: The role of negative emissions in achieving climate alignment for asset owners. <https://www.unepfi.org/publications/the-role-of-negative-emissions-in-achieving-climate-alignment-for-asset-owners/>

²⁰ Europäische Parlament Februar 2021. Carbon dioxide removal nature-based and technological solutions

²¹ Dominic Woolf, James E. Amonette, F. Alayne Street-Perrott, Johannes Lehmann & Stephen Joseph. 2010 in nature communications: Sustainable biochar to mitigate global climate change DOI:10.1038/ncomms1053

sehr fruchtbare Böden für die Biokohleapplikation verwendet werden und der ersetzte Brennstoff Kohle ist, hat die alleinige Energieproduktion ein höheres Klimaschutzpotential.

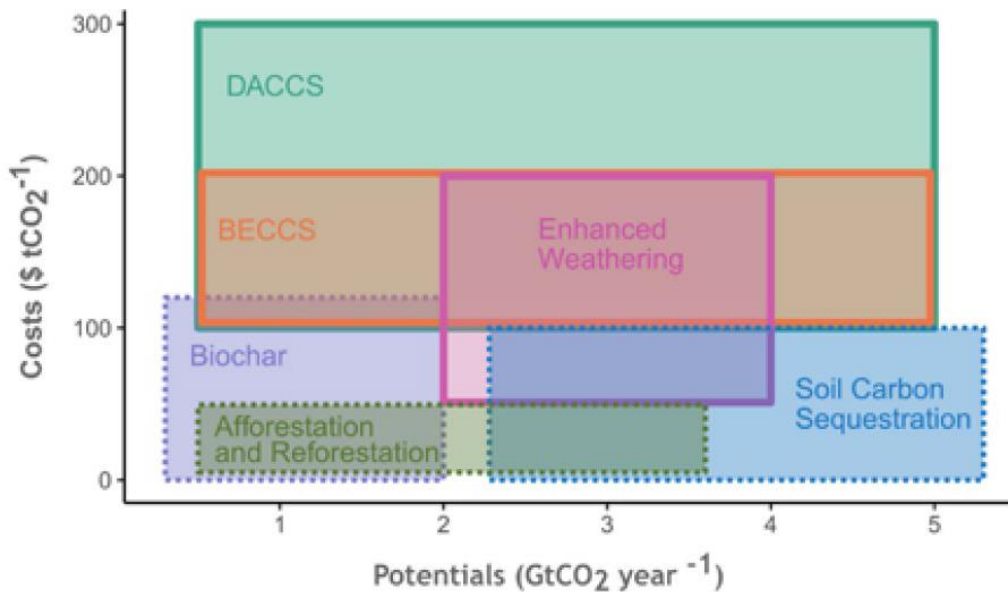


Abbildung 4: Geschätzte Kosten und Potentiale von NET-alternativen bis 2050²⁰

Trotz des wissenschaftlichen Konsenses über das CO₂-Sequestrierungspotential von Biokohle, wurde es bis 2019 nicht auf dem freiwilligen Emissionshandelsmarkt akzeptiert. Puro.earth hat als erster Marktplatz für Kohlenstoffsenken Biokohle als NET aufgenommen und dessen Kohlenstoffabbauzertifikate gehandelt. Carbonfuture begann seine Aktivitäten im Bereich des Handels von Biokohle C-Senkungszertifikaten im Jahr 2020. Nun wird Carbonfuture als führende Plattform und Marktplatz für pflanzenkohlebasierte Kohlenstoffsenken gesehen. Der Unterschied dieser Zertifizierten C-Senken zu den bisherigen CO₂-Zertifikaten liegt darin, dass bisherige Zertifikate meist die Reduktion von Emissionen gegenüber einem Referenzszenario bescheinigen und die C-Senken Zertifikate einen aktiven Entzug von CO₂ aus der Atmosphäre garantieren. Dafür kostet das C-Senkungszertifikat zurzeit um einen Faktor 10 mehr als die herkömmlichen CO₂ Zertifikate. Pro sequestrierte Tonne zahlt man nämlich zwischen 100 und 500€²², wobei der Preis der meisten C-Senken Zertifikate zwischen 100 und 200€ liegt. Mit einem Carbonfuture Kohlenstoffsenken Credit wird eine stabile Entnahme von 1 Tonne CO₂ aus der Atmosphäre

²²Marktplatz: Puro.earth: <https://puro.earth/CORC-co2-removal-certificate/>

über 100 Jahre versichert²³. Dies kann je nach Marktplatz, aufgrund der verschiedenen Methoden (Standards) zur Zertifizierung der Kohlenstoffsinken variieren. Carbonfuture verwendet den EBC-Sink standard. Er ist der derzeit strengste verfügbare Standard für Kohlenstoffsinken auf Basis von Pflanzenkohle. Für Zertifikate die bei Puro.earth gehandelt werden wird der Puro Standard angewendet. Dies ist die erste Methodik, die für Kohlenstoffsinken-Zertifikate entwickelt wurde.

Biokohlebasierte Kohlenstoffsinken-Zertifikate, findet man nun auch auf weiteren Plattformen und Märkten für den freiwilligen Emissionshandel. First Climate z.B. handelt mit Biokohlesenken-Zertifikaten, die nach der Norm ISO 14064-2 zertifiziert sind. Diese Standards sind für den Emissionshandel essentiell, da sie durch genau vorgeschriebenen Richtlinien die korrekte und vollkommene Bilanzierung der Treibhausgasemissionen garantieren. Strenge und allgemein anerkannte Standards sind daher für die Integrität und den Handel von C-Senken-Zertifikaten wesentlich. Aufgrund des Mangels an ICROA (International Carbon Reduction and Offset Alliance) -geprüften Verifizierungsstandards, war die Ausweitung von Biokohleprojekten bislang eingeschränkt. Seit August 2022 wurde jedoch die Methodik für die Nutzung von Biokohle in Boden und Nicht-Boden-Anwendungen von Verified Carbon Standard (VCS) veröffentlicht, was das weltweit führende Programm zur Anrechnung von Treibhausgasen ist²⁴. Dies dürfte die Dynamik am C-Senkenmarkt zukünftig ändern. Weniger als zwei Wochen nach Veröffentlichung der VCS Methodik, hat South Pole angekündigt, eine Partnerschaft mit der Plattform Carbonfuture einzugehen, um die weltweite Verbreitung von Biokohleprojekten zu unterstützen. South Pole ist heute der weltweit führende Anbieter von Klimälösungen und Entwickler von Kohlenstoffprojekten. Das Unternehmen will durch die digitale Tracking-Lösung von Carbonfuture und den VCS Standard, die ökologische Integrität und die automatisierte Verfolgung der Auswirkungen von Biokohleprojekten verstärken²⁵. Dies wird die nötige Skalierung von Biokohleprojekten unterstützen, sodass diese NET in naher Zukunft, durch die steigende Schaffung von dauerhaften Kohlenstoffsinken, klimarelevant wird.

²³Carbonfuture: <https://www.carbonfuture.earth/de/faq>

²⁴ Verra: <https://verra.org/verra-releases-biochar-methodology/>

²⁵ Carbonfuture 2022: Press release: South Pole and Carbonfuture partner to scale up biochar projects with digitized monitoring and reporting. <https://www.carbonfuture.earth/de/presse>

6 Europäischer Biokohlemarkt

Der Marktbericht 2021/22 vom European Biochar Industry Consortium ²⁶ liefert einen wertvollen Überblick über die Entwicklungen und die aktuelle Situation am europäischen Biokohlemarkt.

Er beinhaltet Biokohleproduktionsanlagen in Europa, die bis 2021 in Europa installiert sind und Anlagen, die 2022 in Betrieb genommen werden. Überdies, werden ausschließlich Biokohlen in EBC-Qualität betrachtet. In Abbildung 5 ist die Anzahl an Biokohleproduktionsanlagen der letzten 10 Jahre dargestellt. Seit den ersten Biokohleanlagen in 2012 ist eine starke Zunahme der installationen zu erkennen. Derzeit sind 44 Projekte bekannt, die sich im Bau befinden oder für das Jahr 2022 in Auftrag gegeben wurden. Im Jahr 2021 hingegen wurden 25 Anlagen errichtet.

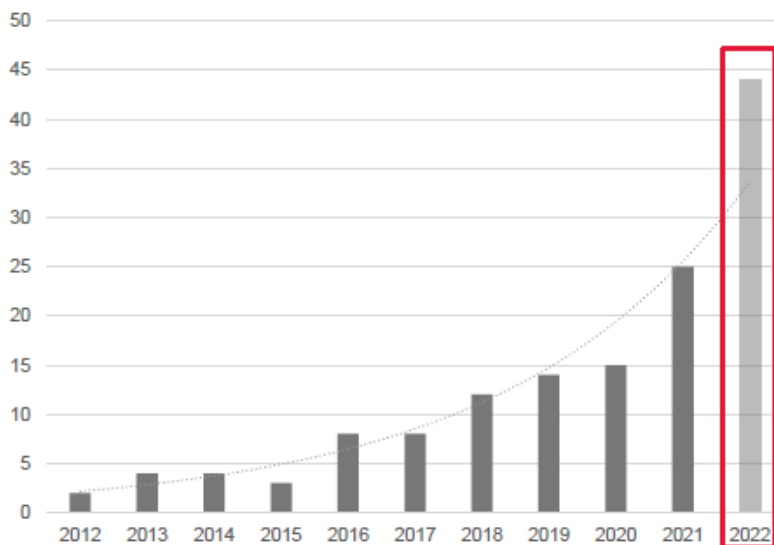


Abbildung 5: Anzahl der Biokohleproduktionsanlagen in Europa von 2012-2020

Das steigende Interesse an Biokohle kann auch an der rasanten Zunahme der Produktionskapazitäten abgeleitet werden. In Abbildung 6 ist sowohl die kumulierte

²⁶ European Biochar industry Consortium März 2022: European Biochar Market Report 2021/2022

Biokohle Produktionskapazität als auch die Wachstumsrate der Biokohleproduktion in Europa dargestellt. Die tatsächliche Produktion im Jahr 2022 ist mit einem grauen Stern gekennzeichnet. 2021 betrug die Wachstumsrate 71%, wobei sie im Jahr 2022 auf 85% steigen soll. Die tatsächliche Biokohleproduktion im Jahr 2022 wird auf 40.000 t geschätzt.

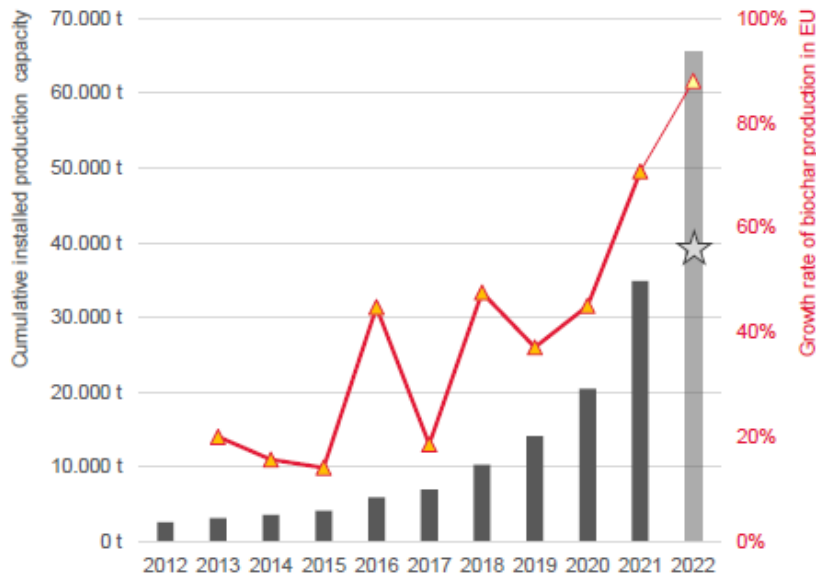


Abbildung 6: Kumulierte Biokohleproduktionskapazität in Europa mit gekennzeichnete Wachstumsrate bis von 2012-2022

Von der gesamten Produktionskapazität in 2022 werden 35% auf Deutschland, 18% auf Österreich und die Schweiz und 23% auf Skandinavien (v.a. Schweden) fallen. Die DACH-Region und Skandinavien sind mit 76% der Produktionskapazität in Europa die wichtigsten Player im europäischen Biokohlemarkt. In Tabelle 1 ist eine Auswahl an wichtigen Biokohleproduzenten aus diesen Ländern angeführt. Sie enthält Informationen über die Ausgangsmaterialien, den Reaktortyp, die Bereitstellungsmenge und -Form von Energie, sowie über die Ausbeute des Prozesses, die Anwendung und den Preis der Produkte. Es ist zu erkennen, dass sowohl die Ausgangsmaterialien als auch die Produkte selbst sehr vielseitig sind. Die Ausgangsstoffe reichen von verschiedenen Reststoffen der Land- und Forstwirtschaft bis hin zu kommunalen Grünabfällen. Die Produkte bedienen zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, mit vorwiegend landwirtschaftlichem Schwerpunkt. Futterkohle scheint die Produktliste häufig anzuführen, dicht gefolgt von Anwendungen für die Bodenverbesserung oder für die Verbesserung der Kompostierung und des Biogasprozesses. Das BioCarbon von Envigas hingegen findet ihre Anwendung in der Industrie. Sie wird als Reduktionsmittel, bei der Injektion und Abschöpfung für die

metallurgische Industrie verwendet oder kann zu biobasiertem Ruß oder Biographit weiterverarbeitet werden. Die Preise der Biokohlen variieren, je nach Verwendungszweck und Qualität stark und reichen von 130€/m³ bis hin 390€/m³. Sie werden meist in BigBags von 1-3m³ verkauft, wobei die handelsübliche Biokohle eine Dichte von 200-300kg/m³ aufweist. Die Anlagengrößen können je nach Produktionskapazität in klein (100-199 t/a), mittel (200-499 t/a), groß (500-1.999 t/a) und sehr groß (2.000-5000 t/a) eingeteilt werden. Je nach Technologie (Pyrolyse oder Vergasung) haben sich verschiedene Anlagenhersteller im Europäischen Markt etabliert. Bei Holzgaskraftwerken sticht der österreichische Hersteller Syncraft durch die einzigartige Kombination von Pyrolyse und Vergasung hervor. Bei Schneckenreaktoren im Pyrolysebereich ist der deutsche Anlagenhersteller Pyreg stark vertreten. Weitere wichtige Anlagenhersteller in Europa sind, Carbofex (Fi), Biomaccon (Deu) und ETIA Ecotechnologies (Fr). Je nach Anlagenart, Größe und Standort, wird die Wärme, die beim Prozess der Biokohleumwandlung entsteht, sowohl für den eigenen Prozess (autotherm) als auch für die nachhaltige Erzeugung von Strom, Fernwärme oder Prozesswärme für die Industrie verwendet.

Auch außerhalb Europas wird eine wachsende Unterstützung für Biokohle und PyCCs beobachtet. Dies zeigen auch die ersten Ergebnisse des von Elon Musk und der Musk Foundation finanzierten Wettbewerbs XPRIZE Carbon Removal²⁷. Dies ist ein auf vier Jahre angelegter globaler Wettbewerb, der darauf abzielt, den Klimawandel zu bekämpfen, indem globale Innovatoren aufgefordert werden, Lösungen zu entwickeln, mit denen CO₂ direkt aus der Atmosphäre oder den Ozeanen entnommen und auf umweltfreundliche Weise dauerhaft eingeschlossen werden kann. Mit 100 Mio. USD ist es der größte Förderpreis der Geschichte. Die teilnehmenden Teams sollen eine funktionierende Lösung in einer Größenordnung von mindestens 1 000 Tonnen pro Jahr nachweisen, ihre Kosten in einer Größenordnung von 1 Million Tonnen pro Jahr modellieren und einen Weg aufzeigen, wie sie in Zukunft eine Größenordnung von Gigatonnen pro Jahr erreichen können. Am 22. April 2022 wurden 15 Teams zu Meilensteinsiegern des Wettbewerbs ernannt, welche jeweils 1 Mio. USD als Anerkennung für ihre bisherigen Bemühungen und zur Unterstützung ihrer weiteren Arbeit zur Skalierung von Lösungen erhalten haben. Davon verwenden 3 Teams Biokohle als Lösung zur CO₂-Sequestrierung. Die vorläufigen Gewinnerkonzepte stammen aus Kenia (Mwea; Takachar), USA (Iowa; Bioeconomy Institute Carbon Removal Team) und Frankreich (Paris; Netzero). Aus den 60 Semifinalisten für die Meilensteingewinner, beschäftigen sich 11 Teams mit Biokohleprojekten und PyCCS. Dazu

²⁷ XPRIZE; <https://www.xprize.org/>

gehören auch die genannten Unternehmen Sonnenerde GmbH (AT), Carbofex (Fr) und Team Climate Add (De/AT; CarStorCon Technologies, Syncraft, Energiewerk IIG, Carbonfuture)²⁸. Der Wettbewerb läuft bis 2025 und jedes Team, das sich bis zum 1. Dezember 2023 einträgt, kann noch als Sieger hervorgehen, unabhängig davon ob es an dieser Meilensteinrunde teilgenommen hat oder nicht. Das Siegerteam erhält 50 Mio. USD, wobei 30 Mio. USD auf die bis zu 3 Nächstplazierten aufgeteilt werden.

Die Anerkennung von XPRIZE und besonders vom IPCC für die sinnvolle Kohlenstoffentfernung und –speicherung durch Biokohle (und ihr wirtschaftliches Potential zur Skalierung) ist ein großer Gewinn für die schnell expandierende Biokohle-/PyCCS-Industrie. Heute kann sie als wichtigste technische Kohlenstoffsenke angesehen werden, so werden allein im Jahr 2022 EU-weit 100.000 Tonnen CO_{2eq} gebunden werden. Jedoch wird die Unterstützung der Politik benötigt um die Technologie im nötigen Maßstab zu skalieren, sodass gemeinsam mit anderen negativen Emissionstechnologien bis 2050 6 bis 10 Gt CO_{2e} pro Jahr sequestriert werden können.

²⁸International Biochar Initiative, <https://biochar-international.org/press-releases/biochar-technologies-powering-11-of-the-60-finalists-in-the-xprize-100m-carbon-removal-competition/>

Tabelle 1: Überblick über verschiedene Biokohleproduzenten aus der DACH-Region und Schweden mit den wichtigsten Daten zur Produktion und den Produkten

Produzenten	Firmensitz	Input	Reaktortyp	Energie-bereitstellung	Ausbeute	Produkte	Preis	Quelle
Österreich								
Sonnenerde	7422 Riedlingsdorf	Zellulosefasern, Getreidespelzen, Sonnenblumenschalen	Doppelschneckenreaktor (Pyreg)	150 kW Wärme (Klärschlamm-trocknung Büroheizung)	Ca. 500 t/a PK	„charline“zertifizierte Futterkohle, Bio Güllekohle „Bio Schwarzerde“ (20% Biokohle) usw...	Bio Pflanzenkohle: Big Bag (1,2m ³) 399€	29
Energiewerk Ilg GmbH	6850 Dornbirn	Hackgut (G30, G50)	Holzgaskraftwerk (Syncraft)	1,4 GWh/a Strom, 2,6 kWh/a Wärme	250 t/a	EBC - zertifizierte Futter- und Güllekohle, Biogashilfsstoff.	130-150€/m ³	30
Schweiz								
IWD Basel	4002 Basel	Kommunaler Grünabfall	Pyreg PX1500	750 kW _{th} in das örtliche Fernwärmenetz 1,5 GWh _{th} /a	700 t/a	EBC-AgroBio zertifizierte Pflanzenkohle für jegliche Anwendungen in der Landwirtschaft	Big Bag (2m ³ ca. 400kg) für 755 CHF (781€)	31
Bioenergy Frauenfeld	8500 Frauenfeld	Restholz; Wald-Landschaftspflege, Sturmholz	4x SynCraft CW1800x2-1000	45GWh _{th} /a für das Fernwärmenetz und	4000 t/a	EBC-zertifizierte Futterkohle	Big Bag (2,2m ³) 499 CHF (516€)	32

				für die Zuckerfabrik; 30 GWh/a Strom			0,9m ³ 299CHF (309€)	
Deutschland								
Fetzer Rohstoffe und Recycling GmbH	73054 Eislingen	Verschiedene Rohstoffe der Forst- und Landwirtschaft	Pyreg P500	1 GWh _{th}	1500 m ³ /a (bei 250kg/m ³) 375t/a	Futterkohle; Einstreukohle; Pflanzenkohle Für jegliche Anwendungen	Vers. Preise Große Mengen auf Nachfrage 40 L 35,9€ (Bodenanw endung	33
Circular Carbon	94315 Straubing	Kakaoschalen	ETIA/VOW	2.500 kW _{th} Dampf für die Industrie	3.600 t/a	Biokohle pur für verschiedene Anwendungen	-	34
Schweden								
Envigas	120 08 Stockholm	Restholz aus nordischem Stammholz, Kiefer oder Fichte	-	Synthesegas wird entweder zu pyrolyseöl kondensiert oder für Wärmebereitstellung verbrannt (Evt. Aufbereitung H ₂ , CH ₄)	5.000 t/a	BioCarbon für die metallurgische Industrie	-	35

Literaturverzeichnis

- [1] William M. Denevan, William I. Woods 2007. Discovery and awareness of anthropogenic amazonian dark earths (terra preta)
- [2] Emna Abdeljaoued, Mathieu Brulé, Saida Tayibi, Dimitris Manolakos, Abdallah Oukarroum, Florian Monlau & Abdellatif Barakat. Bibliometric analysis of the evolution of biochar research trends and scientific production Clean Technologies and Environmental Policy 2020
- [3] Libra, J. A.; Ro, K. S.; Kammann, C.; Funke, A.; Berge, N. D.; Neubauer, Y.; Titirici, M.-M.; Fühner, C.; Bens, O.; Kern, J.; Emmerich, K.-H. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels* 2011, 2 (1), 71–106; DOI 10.4155/bfs.10.81.
- [4] Bruckman, V. J., Ed. Biochar. A regional supply chain approach in view of climate change mitigation; Cambridge University Press: Cambridge, 2016.
- [5] Carbonterra: https://www.carbon-terra.eu/de/schottdorf-meiler/funktionsweise_1
- [6] Blöhse, D.; Echterhof, T.; Eichenauer, S.; Heger, S.; Kammann, C.; Kruse, A.; Quikker, P.; Schulten, M.-A.; Weber, K. Biokohle. Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Biomassekarbonisaten; Springer Fachmedien Wiesbaden: Wiesbaden, 2017
- [7] Spokas, K. A. Review of the stability of biochar in soils: predictability of O:C molar ratios. *Carbon Management* 2010, 1 (2), 289–303; DOI 10.4155/cmt.10.32
- [8] Hans-Peter Schmidt, Claudia Kammann, Achim Gerlach, Henning Gerlach (2016): Der Einsatz von Pflanzenkohle in der Tierfütterung https://www.ithaka-institut.org/ithaka/media/doc/schmidt_pk_fuetterung.pdf
- [9] Michael Haubold-Rosar, Thomas Heinkele, Anne Rademacher, Jürgen Kern, Christiane Dicke, Axel Funke, Sonja Germer, Yusuf Karagöz, Jürgen Reinhold, York Neubauer, Jakob Medick, Isabel Teichmann. Chancen und Risiken des Einsatzes von Biokohle und anderer "veränderter" Biomasse als Bodenhilfsstoffe für die C-Sequestrierung in Böden.

- [10] Schmidt, H.-P.; Kammann, C.; Hagemann, N.; Leifeld, J.; BUCHELI, T. D.; Sánchez Monedero, M. A.; Cayuela, M. L. Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. GCB Bioenergy 2021; DOI 10.1111/gcbb.12889
- [11] ÖNORM S2211 (2016) Pflanzenkohle Ausgangsmaterialien, Qualitätsanforderungen und Untersuchungsmethoden
- [12] BMASGK 2018: Biologische Produktion; Pflanzenkohle; Runderlass
- [13] VERORDNUNG (EU) 2019/1009 Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019
- [14] Verordnung (EU) Nr. 68/2013 der Kommission vom 16. Januar 2013 zum Katalog der Einzelfuttermittel
- [15] Verordnung (EG) Nr. 396/2005 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Februar 2005 über Höchstgehalte an Pestizidrückständen in oder auf Lebens- und Futtermitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs und zur Änderung der Richtlinie 91/414/EWG des Rates
- [16] Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung
- [17] EBC (2022). Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle <https://www.european-biochar.org/de/ct/2-EBC-Richtlinien-Dokumente>
- [18] European Biochar industry Consortium März 2022: European Biochar Market Report 2021/2022
- [19] UN environment programme 2021. The Net in Net Zero: The role of negative emissions in achieving climate alignment for asset owners. <https://www.unepfi.org/publications/the-role-of-negative-emissions-in-achieving-climate-alignment-for-asset-owners/>
- [20] Europäische Parlament Februar 2021. Carbon dioxide removal nature-based and technological solutions
- [21] Dominic Woolf, James E. Amonette, F. Alayne Street-Perrott, Johannes Lehmann & Stephen Joseph. 2010 in nature communications: Sustainable biochar to mitigate global climate change DOI:10.1038/ncomms1053

- [22] Marktplatz: Puro.earth: <https://puro.earth/CORC-co2-removal-certificate/>
- [23] Carbonfuture: <https://www.carbonfuture.earth/de/faq>
- [24] Verra: <https://verra.org/verra-releases-biochar-methodology/>
- [25] Carbonfuture 2022: Press release: South Pole and Carbonfuture partner to scale up biocharprojects with digitized monitoring and reporting.
<https://www.carbonfuture.earth/de/presse>
- [26] European Biochar industry Consortium März 2022: European Biochar Market Report 2021/2022
- [27] XPRIZE; <https://www.xprize.org/>
- [28] International Biochar Initiative, <https://biochar-international.org/press-releases/biochar-technologies-powering-11-of-the-60-finalists-in-the-xprize-100m-carbon-removal-competition/>
- [29] Sonnenerde: <https://www.sonnenerde.at/de/produkt/bio-pflanzenkohle>
- [30] Energiewerk Ilg GmbH:
<http://biomassehofat.srv272.adino.at/biowaerme/pflanzenkohle/>
- [31] IWB Basel: <https://pyreg.com/wp-content/uploads/PYREG-liefert-NetZero-Technologie-fuer-klimaneutrale-Fern-warme-in-Basel.pdf>;
<https://www.iwb.ch/Service/IWB-CityCenter/Pflanzenkohle/Bestellung.html>
- [32] Bioenergie Frauenfeld: <https://www.bioenergie-frauenfeld.ch/>
- [33] Fetzer Rohstoffe und Recycling GmbH <https://www.moola-pflanzenkohle.de/>
- [34] Circular Carbon <https://circular-carbon.com/>
- [35] Envigas <https://www.envigas.com/>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Traditioneller Erdmeiler zur Herstellung von Holzkohle durch langsame Pyrolyse	8
Abbildung 2: Funktionsweise eines kontinuierlichen Schottdorf-Meilers	8
Abbildung 3: Funktionsweise eines kontinuierlichen Schraubenreaktors ⁴	9
Abbildung 4: Geschätzte Kosten und Potentiale von NET-alternativen bis 2050 ²⁰	18
Abbildung 5: Anzahl der Biokohleproduktionsanlagen in Europa von 2012-2020	20
Abbildung 6: Kumulierte Biokohleproduktionskapazität in Europa mit gekennzeichnete Wachstumsrate bis von 2012-2022.....	21

Über klimaaktiv

klimaaktiv ist die Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Seit 2004 bietet sie in den Themenschwerpunkten „Bauen und Sanieren“, „Energiesparen“, „Erneuerbare Energie“ und „Mobilität“ ein umfassendes, ständig wachsendes Spektrum an Information, Beratung sowie Weiterbildung und setzt Standards, die international Vorbildcharakter haben.

klimaaktiv zeigt, dass jede Tat zählt: jede und jeder in Kommunen, Unternehmen, Vereinen und Haushalten kann einen aktiven Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Damit trägt die Initiative zur Umsetzung des nationalen Energie- und Klimaplanes (NEKP) für Österreich bei. Näheres unter klimaaktiv.at

Das Programm klimaaktiv Energieholz zielt auf die nachhaltige Mobilisierung ungenutzter Holzressourcen sowie die Vermarktung klar definierter Energieholzsortimente ab. Dazu zählt die zielgruppengerechte Aufbereitung von Fachwissen sowie Verbreitung von Information zu aktuellen Bedingungen und Entwicklungen am Energieholzmarkt.

Kontakt

Strategische Gesamtsteuerung klimaaktiv

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Sektion Klima und Energie

Stabstelle Dialog zu Energiewende und Klimaschutz

Stubenbastei 5, 1010 Wien

Programmmanagement klimaaktiv Energieholz

Österreichische Energieagentur - Austrian Energy Agency

DI Lorenz Strimitzer

klimaaktiv@energyagency.at

klimaaktiv.at/energieholz



**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und
Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)