



Bewertung des Einsatzes von Biokohle in der Landwirtschaft aus Sicht des Bodenschutzes





GeoBerichte 29

Landesamt für
Bergbau, Energie und Geologie

Bewertung des Einsatzes von Biokohle in der Landwirtschaft aus Sicht des Bodenschutzes

ANDREAS MÖLLER & HEINRICH HÖPER

Hannover 2014

Impressum

Herausgeber: © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
Stilleweg 2
30655 Hannover
Tel. (0511) 643-0
Fax (0511) 643-2304

Download unter www.lbeg.niedersachsen.de

Version: 26.01.2015

Redaktion: Ricarda Nettelmann
e-mail: bodenkundlicheberatung@lbeg.niedersachsen.de

Titelbild: Biokohle (Foto: A. Möller).

ISSN 1864–7529

GeoBer.	29	S. 3 – 21	6 Abb.	2 Tab.	Hannover 2014
---------	----	-----------	--------	--------	---------------

Bewertung des Einsatzes von Biokohle in der Landwirtschaft aus Sicht des Bodenschutzes

ANDREAS MÖLLER & HEINRICH HÖPER

Kurzfassung

Die Nutzung von Biokohle bzw. Pflanzenkohle in der Landwirtschaft wird kontrovers diskutiert. Biokohle kann durch die Möglichkeit der langfristigen Speicherung von Kohlenstoff im Boden einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Dies setzt allerdings voraus, dass weitere pflanzenbauliche Vorteile erreicht werden und negative Wirkungen auf Bodenfunktionen ausgeschlossen werden können.

Jüngste Feldversuche zeigen allerdings, dass Biokohle bzw. der Biokohleanteil in Terra-Preta-Substraten bei europäischen Böden keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit hat und negative Veränderungen von Bodeneigenschaften nicht ausgeschlossen werden können, sodass ein Einsatz von Biokohle in der Landwirtschaft nicht allgemein empfohlen werden kann. Die große Vielfalt an Eigenschaften und Wirkungen der Biokohlen macht generelle Aussagen von Biokohleprodukten zu Auswirkungen auf Bodenfunktionen und Pflanzen unmöglich.

Für definierte Anwendungen in der Landwirtschaft und im Gartenbau könnten bedarfsgerecht entwickelte Biokohleverfahren und -produkte geeignet sein. Hierfür besteht jedoch noch ein erheblicher Entwicklungsbedarf. Außerdem ist eine Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen notwendig.

Inhalt

	Vorwort	5
1	Einleitung	6
2	Begriffsbestimmung	6
2.1	Biokohle	6
2.2	Terra-Preta-Substrate	8
3	Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen	9
4	Biokohle und Bodenschutz	9
4.1	Übertragbarkeit des Terra-Preta-(Biokohle)-Konzepts auf europäische Böden	9
4.2	Nachhaltigkeit.....	13
4.3	Rolle der Biokohle in Terra-Preta-Substraten.....	13
4.4	Humusgehalt und Kohlenstoffsequestrierung in Böden	13
4.5	Konkurrenz mit anderen Nutzungsformen	14
4.6	Düngungsmanagement in der Landwirtschaft	14
4.7	Schadstoffe	15
5	Fazit	17
6	Quellen	18

Vorwort

Klimaschutz ist ein wichtiges gesellschaftliches Ziel. Es werden große Anstrengungen unternommen, innovative Ideen zu entwickeln, die dem Klimawandel entgegenwirken können. Einer dieser noch jungen Ansätze ist Biokohle, die aus pflanzlichen Reststoffen hergestellt wird. Über die Einbringung von Biokohlesubstraten in landwirtschaftliche Böden besteht die Möglichkeit, Kohlenstoff in den Böden zu speichern und die Hoffnung, darüber hinaus landwirtschaftliche Vorteile zu erzielen. Niedersachsen als wichtiges Agrarland ist dabei eine Keimzelle für innovative Lösungen in der Landwirtschaft.

Die Einbringung von neuen Substraten in den Boden ist jedoch auch immer mit Risiken verbunden. Im Rahmen des vorsorgenden Bodenschutzes müssen diese Risiken benannt und bewertet werden, um den im Bundesbodenschutzgesetz geforderten Erhalt der Funktionen der Böden langfristig zu sichern.

Der vorliegende Geobericht gibt eine Einführung in das vielschichtige Thema und zeigt einen Überblick über die Potenziale, aber auch die möglichen Risiken des Ansatzes. Er bewertet die Risiken im Hinblick auf den vorsorgenden Bodenschutz und zeigt den Handlungsbedarf. So besteht noch ein erheblicher Bedarf an Forschung und Entwicklung sowie an Vorgaben klarer rechtlicher Rahmenbedingungen, um den Einsatz von Biokohle in der Landwirtschaft aus Sicht des Bodenschutzes rechtfertigen zu können. Der Geobericht trägt somit dazu bei, Wissenschaft und Politik für Umweltaspekte von Biokohle stärker zu sensibilisieren, damit Klimaschutz am Ende nicht auf Kosten des Bodenschutzes geschieht.

Andreas Sikorski

Präsident des Landesamtes für Bergbau,
Energie und Geologie



1 Einleitung

Weltweit werden große Anstrengungen unternommen, dem Klimawandel entgegenzuwirken, indem die Zunahme an Kohlendioxid in der Atmosphäre aufgrund der Verbrennung fossiler Energieressourcen reduziert werden soll. Böden könnten dabei durch das Einbringen von Biokohle bzw. Terra-Preta-Substraten als Kohlenstoffsenke dienen. Dies ist jedoch nur dann ökologisch nachhaltig, wenn durch die Einbringung gleichzeitig ein agronomischer Vorteil erzielt werden kann und negative Auswirkungen auf Bodenfunktionen ausgeschlossen werden können. In den nährstoffverarmten Böden der Tropen konnten positive Effekte von Biokohle auf Bodenfunktionen gezeigt werden. Inwieweit dies auch für gut bewirtschaftete europäische Böden zutrifft, ist umstritten. Unbeantwortet ist zudem die Frage, ob es sich bei den in Biokohleversuchen beobachteten positiven Auswirkungen um kurzfristige Effekte handelt oder ob diese langfristig erhalten bleiben bzw. ob langfristig zusätzliche positive Effekte auftreten. Die Betrachtung langfristiger Effekte ist jedoch grundlegend, um die Nachhaltigkeit einer Anwendung von Biokohle bzw. Terra-Preta-Substraten nachweisen zu können.

2 Begriffsbestimmung

2.1 Biokohle

Die Definition von Biokohle ist derzeit noch nicht einheitlich. In der Regel wird der Begriff „Biokohle“ auf ein durch pyrolytische Verkohlungs hergestelltes Produkt aus unbelasteten organischen Ausgangsstoffen beschränkt. Die pyrolytische Verkohlung findet bei Temperaturen zwischen 400 und 1100 °C und mit einer Reaktionszeit von wenigen Sekunden (Flash-Pyrolyse) bis zum langsamen Verschwelen statt. Je länger die Reaktionszeit und je höher die Temperatur, desto vollständiger ist die Inkohlung und damit die Stabilität der Biokohle im Boden (mittlere Verweilzeit bis 2000 Jahre). Abbildung 1 zeigt die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen dreier Biokohlen, hergestellt durch unterschiedliche Verfahren und Ausgangsmaterialien. Die Biokohlen besitzen dadurch erhebliche Unterschiede in ihren Eigenschaften. Während Holzkohle und Vergasungskoks aus Buchenholz sehr porös sind und eine große Oberfläche besitzen, ist der Flash-Pyrolyse-Koks aus Fichtenholz mit einer Harzschicht überzogen und besitzt damit eine geringe Oberfläche.

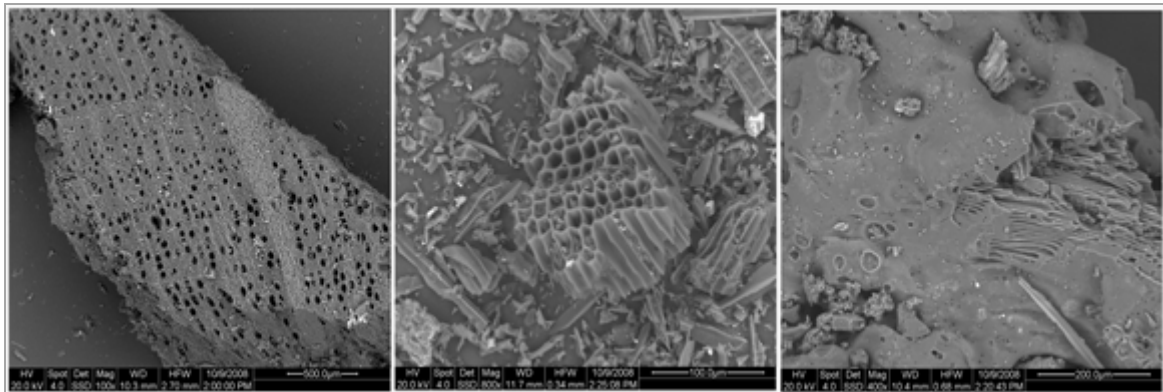


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen dreier Biokohlen, hergestellt durch unterschiedliche Verfahren und Ausgangsmaterialien. Von links nach rechts: Holzkohle aus Buchenholz, Vergasungskoks aus Buchenholz, Flash-Pyrolyse-Koks aus Fichtenholz (Quelle: BGR, Fachbereich B 2.4).

Kohleähnliche Produkte, die mittels hydrothormaler Carbonisierung (HTC) hergestellt sind, werden als HTC-Kohle bezeichnet. Diese werden zum Teil, wie auch in diesem Bericht, zu den Biokohlen gezählt. Sie werden bei hohen Drücken und niedrigeren Temperaturen (180–300°C) hergestellt. Auch hier gilt: Je höher die Temperatur und der Druck, desto stabiler ist die HTC-Kohle im Boden (mittlere Verweilzeit ~4–30 Jahre). Im Vergleich zur Pyrolysekohle ist HTC-Kohle jedoch deutlich weniger stabil, vergleichbar mit Komposten oder Torfen in Böden.

Ein weiteres Verfahren ist die Torrefizierung von Biomasse ohne Luftzufuhr. Das Verfahren ist eine Pyrolyse bei relativ niedrigen Temperaturen zwischen 250 und 300 °C. Die Stabilität der Ausgangsprodukte ist damit im Boden auch deutlich geringer als bei den andern Pyrolyseverfahren.

Als Ausgangsmaterial können alle Arten von land- und forstwirtschaftlichen Reststoffen (z. B. Stroh, Gülle oder Gärreste), organischen Abfallstoffen (z. B. Reste der Zellstoffproduktion und Lebensmittelindustrie oder Abfälle aus der Biotonne) und nachwachsenden Rohstoffen (z. B. Mais, Holz oder Gräser) herangezogen werden, soweit sie nicht mit Schadstoffen belastet sind (Abb. 2).



Abb. 2: Ausgangsmaterialien für Biokohle: Bioabfall (links oben), Wirtschaftsdünger (rechts oben), Grünschnitt (links unten), nachwachsende Rohstoffe (rechts unten) (Fotos: A. Möller).

Aufgrund des breiten Spektrums an Ausgangsmaterialien und Produktionsverfahren variieren die Eigenschaften und damit auch die Wirkungen von Biokohlen in Böden stark. Um diese einzugrenzen, wurden international Standards für Eigenschaften von Biokohlen vorgeschlagen. Tabelle 1 zeigt stichpunktartig zwei Ansätze zur Standardisierung von Biokohlen, in denen auch Grenzwerte für Schadstoffgehalte vorgeschlagen werden. Das Europäische Biokohle-Zertifikat (SCHMIDT et al. 2012) beinhaltet eine Positivliste an möglichen Ausgangsstoffen, die die Herstellung von Biokohle

auf unbelastete Abfälle organischen Ursprungs beschränkt. Allerdings bilden diese immer noch ein breites Spektrum an Ausgangsmaterialien mit unterschiedlichen Eigenschaften von Holz bis hin zu Küchenrückständen. Aufgrund der Komplexität der Eigenschaften der aus unterschiedlichen Ausgangsmaterialien und Verfahren resultierenden Biokohlen reichen die hier festgelegten Kriterien jedoch nicht aus, um deren Wirkungen auf Bodenfunktionen ausreichend beurteilen zu können, sodass negative Wirkungen in Böden nicht ausgeschlossen werden können.

Tab. 1: Stichpunktartige Zusammenfassung von vorgeschlagenen Biokohlestandards (GLASER 2013).

Stichpunkte	Europäisches Biokohle-Zertifikat	International Biochar Initiative
1. Ausgangsmaterial	Positivliste	unbelastet
2. Materialeigenschaften	TOC >50 % O/C <0,4 H/C <0,6 Black carbon 10–40 % der TOC	TOC >60/30/10 % (3 Klassen) O/C – H/C <0,7 pH, EC, Textur usw. deklariert
3. Schadstoffbelastung	nationale Grenzwerte Schwermetalle PAK <12 mg kg ⁻¹ PCB <0,2 mg kg ⁻¹ PCDD und PCDF <20 ng kg ⁻¹	nationale Grenzwerte Schwermetalle PAK <9–20 mg kg ⁻¹ PCB <0,2–0,5 mg kg ⁻¹ PCDD und PCDF <9 ng kg ⁻¹ Regenwurmtest bestanden Keimtest bestanden
4. Qualität	Standard- und Premium-Biokohle	Analytik Bodenverbesserer N _{tot} , N _{min} , P _{tot} , P _{aväil} , BET

2.2 Terra-Preta-Substrate

Durch die Anwendung von Terra-Preta-Substraten wird versucht, die Eigenschaften der Terra-Preta-Böden aus dem Amazonasgebiet nachzubilden. Hierzu werden Mischungen aus unterschiedlichen Materialien wie Grünschnitt, Kompost, Gärresten, Mist und Mineralstoffen mit Biokohle in unterschiedlichen Verhältnissen hergestellt, welche meist zusätzlich fermentiert oder/und kompostiert werden. Dies bedingt eine sehr große Spanne von unterschiedlichen Eigenschaften und damit auch Wirkungen, die eine generelle Betrachtung von Terra-Preta-Substraten unmöglich macht.

3 Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen

In der DÜNGEMITTELVERORDNUNG (DÜMV) vom 05.12.2012 im Anhang in Tabelle 7 ist die Nutzung von Kohlen (Braunkohle, auch Leonardit und Xylit, soweit sie nicht Rückstände aus vorherigen Produktions- oder Verarbeitungsprozessen sind, sowie Holzkohle aus chemisch unbehandeltem Holz) in der Landwirtschaft geregelt. Die Kohlen sind als Ausgangsstoff für Kultursubstrate, als Trägersubstanz für Nährstoffe aus zugelassenen Düngemitteln oder als Bodenhilfsstoff (Xylit und Leonardit) zugelassen (GROCHOLL 2013).

Für andere Biokohlen besteht keine Zulassung. Nach derzeitiger Rechtslage ist die Ausbringung von Biokohle, mit Ausnahme von Biokohle aus unbehandeltem Holz, auch auf Versuchsflächen genehmigungspflichtig. In Österreich (und damit auch in Europa) ist ein Biokohleprodukt aus Papierfaserschlamm und Getreidespelzen als Bodenhilfsstoff gemäß österreichischem Düngemittelgesetz in Rahmen einer zeitlich befristeten Einzelgenehmigung zugelassen worden.

4 Biokohle und Bodenschutz

4.1 Übertragbarkeit des Terra-Preta-(Biokohle)-Konzepts auf europäische Böden

Terra-Preta-Böden im Amazonasgebiet sind im Vergleich zu den ursprünglichen unfruchtbaren tropischen Böden, wie z. B. dem Acrisol oder Ferralsol, deutlich fruchtbarer. Tropische Böden sind zumeist sehr alt und durch das tropische Klima stark verwittert, wodurch die Nährstoffe ausgewaschen wurden und die Böden erheblich versauerten. Dies führte auch zu einem sehr geringen Puffer- bzw. Nährstoffspeichervermögen der Böden. Nährstoffreiche und durch den Ascheanteil basische Terra-Preta-Substrate konnten diese Defizite ausgleichen, sodass durch deren Anwendung die Fruchtbarkeit tropischer Böden verbessert werden kann.

Abbildung 3 zeigt beispielhaft anhand wichtiger Bodenparameter eine Sequenz tropischer Böden vom unfruchtbaren Ferralsol bis hin zur nährstoffreichen Terra Preta, die eine ehemalige Siedlungsfläche ist. Die Terra Mulata befindet sich im Umfeld von ehemaligen Siedlungsflächen. Diese wurden ackerbaulich genutzt und stark vom Menschen überprägt. Sie sind fruchtbarer als die umliegenden Böden, aber weniger fruchtbar als die Terra-Preta-Böden. Umbrisole mit gleichen Umweltbedingungen wie Ferralsole sind zwar kohlenstoffreich im Oberboden, aber dennoch stark versauert und damit kaum fruchtbarer als die Ferralsole.

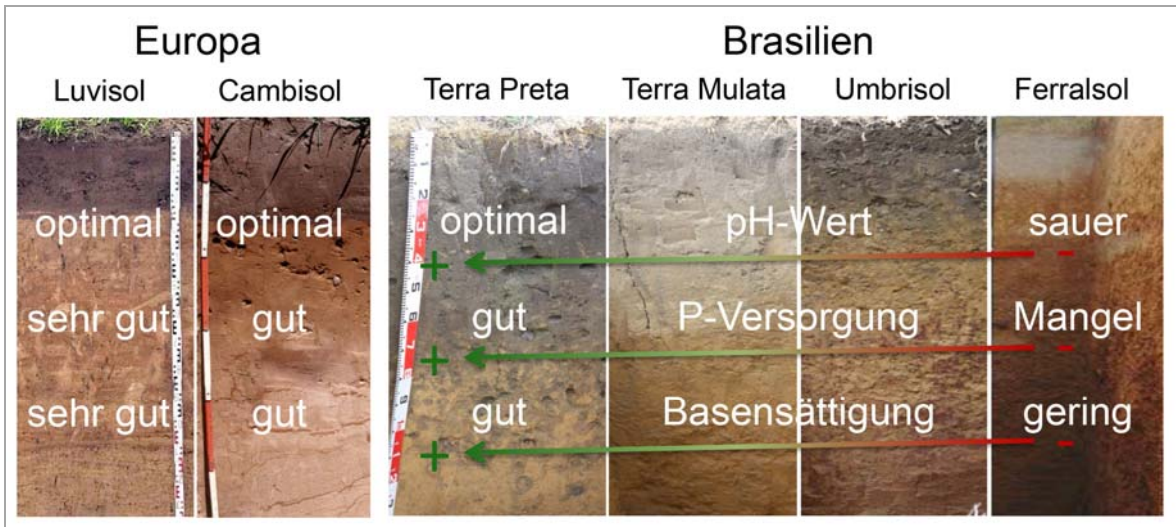


Abb. 3: Vergleich wichtiger Bodenparameter einer Sequenz tropischer Böden mit steigender Fruchtbarkeit und zwei europäischen Böden (Fotos: LBEG-Bilddatenbank und A. Möller).

Ein Review von JEFFREY et al. (2011) vergleicht Untersuchungen aus den Tropen zur Wirkung von Biokohle auf den Ertrag. Im Mittel zeigen diese eine Ertragssteigerung von 10 %. Die Spanne reicht jedoch von einer mittleren Ertragsdepression um 25 % bis zu einer mittleren Ertragssteigerung um 35 % im Vergleich zur Kontrolle (Abb. 4). Dabei zeigt sich auch eine Abhängigkeit von der ausgebrachten Menge an Biokohle: Je mehr Biokohle ausgebracht wird, umso eher tritt eine ertragssteigernde oder ertragsmindernde Wirkung auf (z. B. RAJKOVICH et al. 2012). Effekte werden zwar schon bei einer Biokohleausbringungsmenge von 15 t ha^{-1} berichtet, allerdings müssen zumeist wesentlich größere Mengen ausgebracht werden, um signifikante Effekte zu erzielen (JEFFREY et al. 2011).

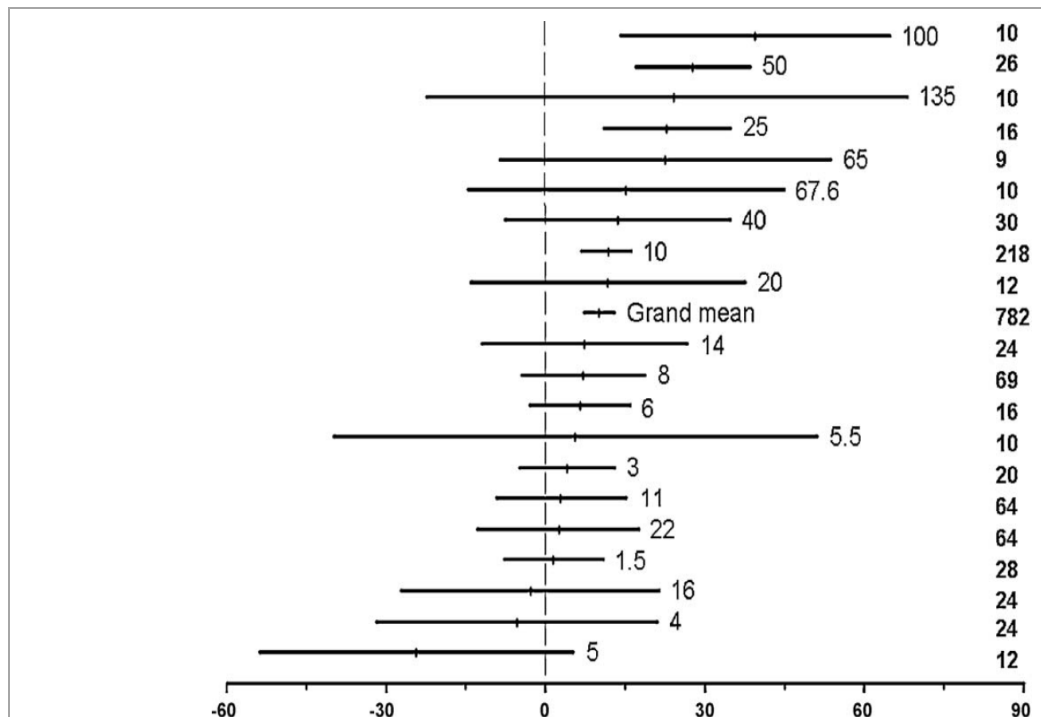


Abb. 4: Mittlere Änderung der Erträge (Mittelpunkt der Linien) und 95 % Konfidenzintervall (Linien) relativ zur Kontrolle in Abhängigkeit von der Biokohle-Applikationsrate (Zahlen neben den Linien in t ha⁻¹). Die zweite Zahl gibt die Wiederholungen an (JEFFREY et al. 2011).

Die meisten landwirtschaftlich genutzten europäischen Böden sind bereits optimal bewirtschaftet und besitzen deshalb eine ähnlich hohe oder sogar höhere Produktivität wie die Terra-Preta-Böden des Amazonasgebietes (Abb. 3). Aus diesem Grund kann bei europäischen Böden nicht mit einer signifikanten Steigerung der Bodenfruchtbarkeit gerechnet werden. Viele Projekte zum Einsatz von Biokohle und biokohlehaltigen Substraten in Europa zeigen keine ertragssteigernde Wirkung von Biokohle (BORCHARD et al. 2014a; KLOSS et al. 2014; GROCHOLL 2013; RUYSSCHAERT et al. 2013; MOKRY, AICHELE & BEYER 2013; JEFFREY et al. 2011). MOKRY, AICHELE & BEYER (2013) gehen davon aus, dass bei einer ausgeglichenen N-Versorgung der Einsatz von Biokohle nicht zu einer Ertragssteigerung führt. Für den Ertrag auf europäischen Böden ist vor allem der Einsatz von Düngemitteln und Bewässerung ausschlaggebend.

Dies zeigt, dass die durch die Biokohle zugeführten Nährstoffe einen Beitrag leisten können, aber nicht entscheidend sind. Lediglich bei leichten, sandigen und humusarmen Bo-

dentypen können die organische Substanz und damit auch die Terra-Preta-Substrate eine signifikante Rolle beim Wasser- und Nährstoffhaltevermögen des Bodens spielen. LIU et al. (2012) konnten auf einem solchen Standort mit einer Ackerzahl von 16 Ertragssteigerungen in geringem Umfang feststellen. Großflächig lässt sich durch die Ausbringung von Terra-Preta-Substraten auf europäischen Böden keine Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit erreichen.

Zudem zeigen einige Studien in Teilen auch negative Effekte einer Biokohleapplikation auf den Biomasseertrag (BORCHARD et al. 2014a; KLOSS et al. 2014; SCHULZ, DUNST & GLASER 2014; RAJKOVICH et al. 2012; GAJIC & KOCH 2011; JEFFREY et al. 2011; GASKIN et al. 2010). RAJKOVICH et al. (2012) und BORCHARD et al. (2014a) zeigen, dass bei einigen Biokohlen und hohen Biokohlegaben von 2–10 % deutliche Ertragsdepressionen auftreten können (Abb. 5). Eine verträgliche Obergrenze ist nach jetzigem Wissensstand nicht definierbar, da je nach Biokohle, Feldfrucht und Bodenparameter unterschiedliche (auch kleinere) Mengen nega-

tive Effekte verursachen können (z. B. RUYS-SCHAERT et al. 2013), wobei sich die negativen Effekte unabhängig vom Bodentyp einstellen. Es gibt Hinweise, dass auf Böden mit feiner Textur eher negative Effekte auftreten (BORCHARD et al. 2014a und SCHULZ et al. 2014).



Abb. 5: Effekte der Zugabe unterschiedlicher Mengen an Holzkohle zu einem Lößboden: Bei hoher Applikationsmenge wird das Wachstum der Maispflanzen *Zea mays* L. (Hersteller: Limagrain GmbH, Pocking) erheblich verringert. Das obere Bild zeigt 80 cm hohen Mais bei 1,5 % Holzkohle-Zugabe. Das untere Bild zeigt 30 cm hohen Mais bei 10 % Holzkohle-Zugabe (nach BORCHARD et al. 2014) (Fotos: N. Borchard).

4.2 Nachhaltigkeit

Die Ausbringung von Biokohle hat das Ziel, Bodeneigenschaften nachhaltig zu verändern und Kohlenstoff im Boden festzulegen. Es fehlt allerdings an Studien zu den Langzeitwirkungen der Biokohleapplikation. Studien, die von positiven Wirkungen, z. B. auf Treibhausgasemissionen, Pflanzengesundheit und Erträge berichten (z. B. RUYSSCHAERT et al. 2013), beruhen fast ausschließlich auf kurzzeitigen Laborversuchen und Feldversuchen mit einer Laufzeit von maximal drei Jahren. Aus diesen Versuchen können keine direkten Rückschlüsse auf die Langzeitwirkung von Biokohle gezogen werden. Die Ergebnisse spiegeln zumeist den Einfluss der pH-Veränderung im Boden sowie der zugeführten Nährstoffe und löslichen bzw. leichtflüchtigen organischen Verbindungen wider (BORCHARD et al. 2012, JEFFREY et al. 2011), die einen direkten Einfluss auf Pflanzen und Bodenmikroorganismen haben, jedoch meist nur kurzfristig wirken. Einige Studien, die anfänglich einen Einfluss (positiv wie negativ) auf Bodenfunktionen und Erträge nachweisen, zeigen, dass dieser sich über die Zeit im Vergleich zur Kontrolle wieder angleicht (z. B. KLOSS et al. 2014, DEENIK et al. 2011, GASKIN et al. 2010).

Zusätzliche positive Effekte von Biokohlen, wie z. B. die Verbesserung der Pflanzengesundheit und bodenphysikalischer Parameter sowie die Reduktion von Treibhausgasemissionen, können gegebenenfalls einen Beitrag zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft leisten, sind jedoch bis jetzt für die gemäßigten Breiten nicht ausreichend belegt und variieren stark in Abhängigkeit vom Ausgangssubstrat, den Standortbedingungen und der Feldfrucht.

Untersuchungen von Böden historischer Holzkohleproduktionsstätten in Deutschland zeigen keinen signifikanten Einfluss auf die Vegetation (BORCHARD et al. 2014b), weisen hingegen im Vergleich zu Böden ohne Holzkohle signifikant höhere Gehalte an Nährstoffen und organischer Bodensubstanz auf. Allerdings sind diese Untersuchungen nur bedingt auf Biokohle und Terra-Preta-Substrate übertragbar, da sich u. a. die Eigenschaften der verschiedenen Biokohlen stark von denen der Holzkohle unterscheiden.

4.3 Rolle der Biokohle in Terra-Preta-Substraten

Im Vergleich zu reiner Biokohle konnten höhere Ertragssteigerungen durch Terra-Preta-Substrate erzielt werden. Es ist dabei allerdings schwierig, die Wirkung der Biokohle von der Wirkung der anderen Mischungsbestandteile zu unterscheiden. Ein Großteil der positiven Effekte ist meist auf die nährstoffhaltigen oder pH-wirksamen Komponenten (z. B. Kompost, Asche) der Substrate zurückzuführen und nicht auf die Biokohle selbst (BORCHARD et al. 2014a; RUYSSCHAERT et al. 2013; MOKRY, AICHELE & BEYER 2013; JEFFREY et al. 2011).

RUYSSCHAERT et al. (2013) untersuchten in einem Feldversuch die Wirkung von Biokohle, Klärschlamm und einem Biokohle-Klärschlamm-Gemisch auf den Kornertrag. Hierbei zeigten sich keine Unterschiede zwischen der biokohlehaltigen Variante und der Kontrollvariante. Auch MOKRY, AICHELE & BEYER (2013) fanden bei Biokohle-Substratmischungen mit Kompost und Gärresten keine signifikanten Unterschiede bei den Kornerträgen zwischen den einzelnen Varianten. In einigen Forschungsvorhaben wird jedoch von anderen positiven Wirkungen berichtet, wie z. B. von einer verbesserten Pflanzengesundheit und Nährstoffspeicherung oder reduzierten Treibhausgasemissionen. Allerdings wird auch bei der Anwendung von Komposten von einer verbesserten Pflanzengesundheit und Nährstoffspeicherung berichtet.

4.4 Humusgehalt und Kohlenstoffsequestrierung in Böden

Der Kohlenstoffgehalt in Ackerböden ist standortspezifisch und kann durch die Bewirtschaftung, z. B. durch organische Düngung, nur begrenzt gesteigert werden (HÖPER & SCHÄFER 2012). Die Zugabe von Biokohle durch pyrolytische Verkohlung bildet eine Ausnahme. Hier kann der Kohlenstoffgehalt langfristig erhöht werden. Bilanzierungen gehen davon aus, dass in Abhängigkeit von Produktionsverfahren und Ausgangssubstrat bis zu 50 % (zur Stabilität s. Definition Biokohle) des in der ursprünglichen Biomasse gespeicherten Kohlenstoffs langfristig im Boden gespeichert und damit der Atmosphäre entzogen werden kann.

Auf der anderen Seite kommt es nach Zugabe von Holzkohle zu einer Erhöhung der mikrobiellen Biomasse und Aktivität (KOLB 2009), wodurch die bodenbürtige organische Substanz abgebaut werden kann und ein Teil des gespeicherten Kohlenstoffs wieder verloren geht (WARDLE, NILSSON & ZACKRISSON 2008).

Hinzu kommt, dass Biokohle nicht biologisch aktiv ist und dadurch nur einen Teil der Funktionen der originären organischen Bodensubstanz erfüllen kann. Bei schwach humosen Böden (<2 % Humus) kann eine Erhöhung des Kohlenstoffgehalts erstrebenswert sein. Die regelmäßige Zufuhr von biologisch aktivem Material ist dabei jedoch der von Biokohle vorzuziehen.

Auch ist zu beachten, dass für die Biokohleproduktion forst- und landwirtschaftliche Reststoffe (z. B. Rinde, Stroh) dem Kohlenstoffkreislauf anderer Böden entzogen werden und es dort zu einer Humusverarmung kommen kann. Dies muss im Rahmen einer CO₂-Bilanz bei der Einschätzung der Klimafreundlichkeit von Biokohle mit berücksichtigt werden.

4.5 Konkurrenz mit anderen Nutzungsformen

Ein Großteil des Aufkommens an Biomasse wird bereits verwertet (u. a. Kompost, energetische Nutzung), sodass Biokohle gegenüber diesen anderen Nutzungsformen Vorteile erzielen muss (z. B. durch eine Verbesserung der Wertschöpfungskette) um konkurrenzfähig zu sein.

Aber auch die Einsatzmöglichkeiten von Biokohle selbst sind vielseitig. Sie kann außer in der Landwirtschaft u. a. auch als Reduktionsmittel in der Metallurgie, als Filterstoff, z. B. in der Abwasserreinigung, als Torfersatzsubstrat im Gartenbau, als sorptives Material zur Sicherung und Renaturierung von Altlasten und für die Co-Verbrennung in Kraftwerken als CO₂-neutrale Biokohle verwendet werden.

Die energetische Nutzung von Biokohle als CO₂-neutraler Brennstoff stellt eine Möglichkeit dar, bisher schlecht verwertbare Reststoffe zu nutzen. Nach RÖDGER et al. (2013) können in der Nordseeregion durch Einsatz der verfügbaren Biomasse als Biokohle-Co-Brennstoff in Steinkohlekraftwerken 2,6 % (einschließlich CO₂-Gutschriften) der gesamten Treibhaus-

gasemissionen pro Jahr eingespart werden. Dabei bieten die einzelnen Herstellungsverfahren Lösungen für die unterschiedlichen Ausgangssubstrate, z. B. werden durch die hydrothermale Carbonisierung von feuchter Biomasse die Entwässerbarkeit und Energiedichte und damit die Verwertbarkeit als Energieträger deutlich erhöht.

Von einigen Firmen werden bereits Biokohle und Terra-Preta-Substrate angeboten. Diese sind jedoch deutlich teurer als vergleichbare herkömmliche Produkte. Zudem zeigen vergleichende Versuche, z. B. von Terra-Preta-Substraten mit herkömmlichen Blumenerden auf der Basis von Torf, dass hochwertige Blumenerden den Terra-Preta-Substraten beim Ertrag überlegen sind (NOLL 2013).

Die geringen Vorteile im Vergleich zum wesentlich höheren Preis derzeitiger Terra-Preta-Produkte im Vergleich zu herkömmlichen Produkten legen jedoch nahe, dass die Wirtschaftlichkeit der Produkte noch nicht gegeben ist. Bei der Entwicklung von neuen Einsatzmöglichkeiten von Biokohle, z. B. durch eine Kaskadennutzung, die zu einer gesteigerten Wertschöpfung führt, könnten zukünftig gegebenenfalls auch wirtschaftliche Produkte entwickelt werden. Ein Beispiel für eine derartige Verwendung von Biokohle ist deren Nutzung als Zuschlagstoff in Biogasanlagen zur Erhöhung der Gasausbeute durch Reduktion der Ammonium-Hemmung (RÖDGER et al. 2013, MUMME et al. 2014) oder zur Bindung des Ammoniums in Stallmist oder Gülle zur Geruchsreduktion und zur Verminderung von Nährstoffverlusten (DUNST 2014).

4.6 Düngungsmanagement in der Landwirtschaft

Ein Bereich, in dem Biokohleverfahren positive Ansätze aufzeigen, ist im Düngungsmanagement in der Landwirtschaft. So konnten erste Versuche eine Reduktion der Emissionen des Treibhausgases Lachgas sowie eine Reduzierung der Nährstoffverluste und damit einen effizienteren Düngemittelsatz durch die Ausbringung von Biokohle aufzeigen (KUZJAKOV et al. 2009, VAN ZWIETEN et al. 2009, KAMMANN et al. 2012). Allerdings gilt auch hier, dass die Wirkung der Biokohlen sehr unterschiedlich sein kann, was eine generelle Aussage sehr schwierig macht.

Die Erzeugung von Biokohle könnte allerdings ein Ansatz sein, um das Problem des hohen Wirtschaftsdüngeranfalls in Niedersachsen anzugehen. In einigen Regionen Niedersachsens fallen hohe Mengen an Wirtschaftdüngern an (z. B. Gülle, Mist, Gärreste), die den regionalen Bedarf überschreiten. Dies erfordert einen Export in andere Gebiete, der aufgrund des hohen Wasseranteils, vor allem von Gülle und Gärresten, nur über kurze Entfernungen wirtschaftlich ist. Hier sind Verfahren von Interesse, die den Nährstoffanteil aus den Wirtschaftsdüngern konzentrieren und damit die Transportwürdigkeit erhöhen. Zudem haben Wirtschaftdünger den Nachteil, dass sie den enthaltenen organischen Stickstoff langsamer freigegeben als Mineraldünger. Durch die regelmäßige Zufuhr an organischem Stickstoff zum Boden erhöht sich das Mineralisationspotenzial der organischen Substanz, und es wird Stickstoff auch in Zeiten freigesetzt, in denen die Pflanze ihn nicht aufnehmen kann. In der Auswaschungsphase im Herbst wird dieser dann ausgewaschen. Hier werden Verfahren benötigt, die entweder den organischen Stickstoff zu mineralischem Stickstoff aufschließen oder den Stickstoff in sehr stabilen organischen Verbindungen festlegen.

Durch die Pyrolyse von Wirtschaftdünger wird der Biomasse ein Großteil des Stickstoffs als N_2 und Stickoxide entzogen und in die Atmosphäre abgegeben. Hingegen bleiben andere Nährstoffe wie Phosphor und Kalium in der Biokohle zurück und können zur Düngung verwendet werden.

Im HTC-Verfahren werden die organischen Ausgangsmaterialien, wie bei der Separation von Gärresten oder Gülle, in eine feste (HTC-Kohle) und eine flüssige Phase getrennt. Allerdings verbleibt ein Großteil des Stickstoffs und Kaliums in leicht pflanzenverfügbarer Form in der flüssigen Phase, die man hofft, als Flüssigdünger gezielt einsetzen zu können. Die Festphase wird derzeit meist als Energieträger genutzt, sie könnte eventuell auch als Feststoff-

dünger eingesetzt werden. Allerdings zeigen einige Versuche mit HTC-Biokohlen und HTC-Prozesswässern (Flüssigphase) negative Wirkungen auf Keimungsraten und Biomasseerträge (BUSCH et al. 2012, KAMMANN 2012), sodass hier noch erheblicher Forschungsbedarf besteht, bevor diese Verfahren einsetzbar sind.

4.7 Schadstoffe

Durch Pyrolyse finden eine Hygienisierung und eine teilweise Zerstörung der in den Wirtschaftsdüngern und organischen Abfällen möglicherweise vorhandenen organischen Schadstoffe (Arzneimittel, Pestizide etc.) statt. Allerdings können durch die Pyrolyse auch Schadstoffe wie polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB) und Dioxine/Furane entstehen (BORCHARD 2012, MUMME 2012) und über die Biokohle in die Böden eingetragen werden (Abb. 6 und Tab. 2). QUILLIAM et al. (2013) berichten über signifikant erhöhte PAK-Gehalte in den untersuchten Böden, drei Jahre nach Applikation mit belasteter Biokohle.

Ein Großteil der derzeit produzierten Biokohle wird als Futtermittelzuschlag eingesetzt. Bei Futtermittelzuschlägen gelten jedoch deutlich schärfere Grenzwerte als bei den Biokohle-Zertifikaten vorgeschlagen. Der Aktionsgrenzwert für Futtermittelzuschläge liegt nach EU-VERORDNUNG 277/2012, Anhang II z. B. für Dioxine/Furane (FAO-TEQ) bei 0,5 ng/kg. Die in der Untersuchung von BORCHARD (2012) analysierten Biokohlen (Tab. 2) überschreiten den Aktionsgrenzwert um ein Vielfaches.

Andererseits können bei bereits belasteten Böden die stark sorptiven Eigenschaften von Biokohlen zu einer Immobilisierung von Schadstoffen beitragen (z. B. BORCHARD et al. 2012), sodass Biokohlen zur Sicherung von Altlasten beitragen könnten.

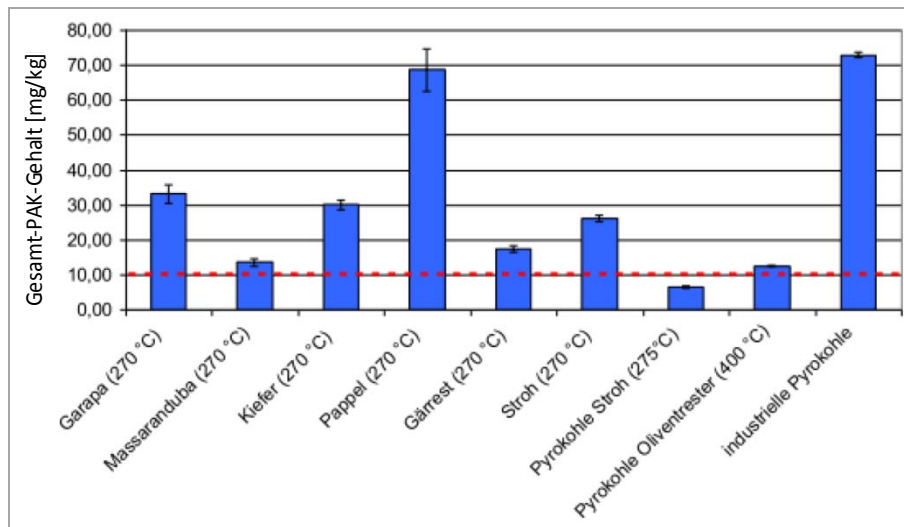


Abb 6: PAK-Gehalte in ausgewählten Biokohlen (aus MUMME 2012). Die gestrichelte rote Linie entspricht dem Grenzwert nach dem Biokohlestandard des Europäischen Biokohle-Zertifikats (s. Tab. 1).

Tab. 2: Konzentration von organischen Schadstoffen in drei Biokohlen (BORCHARD 2012).

Verfahren	BTEX	PCDD/PCDF (FAO-TEQ)
	[ng kg ⁻¹]	
Holzkohle	20	3,97
Vergasungskohle	<1	14,4
Flash-Pyrolyse-Kohle	1	2,89

Die starke Sorptionswirkung von Biokohlen für organische Moleküle hat wiederum den Nachteil, dass die Wirkung von Pestiziden, die über die Wurzeln aufgenommen werden, reduziert ist und somit ihre Ausbringungsmenge erhöht werden muss bzw. sie nicht mehr verwendet werden können (MESA & SPOKAS 2011).

Ein generelles Problem ist der Nachweis von organischen Schadstoffen in Biokohlen, da die derzeitigen üblichen Analyseverfahren nach KLÄRSCHLAMMVERORDNUNG (ABFKLÄRV) aufgrund der stark sorptiven Eigenschaften von Biokohlen für diese nicht geeignet sind. Aus diesem Grund wurden von HALE et al. (2012) bzw. HILBER et al. (2012) für die Bestimmung von PAK in Biokohle neue Analysemethoden entwickelt.

5 Fazit

Biokohlen bzw. Terra-Preta-Substrate verfügen über eine große Vielfalt von Eigenschaften und damit auch Wirkungen, die verallgemeinerbaren Aussagen, z. B. zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und Bodenphysik, entgegenstehen. Durch die langfristige Speicherung von Kohlenstoff im Boden könnte die Nutzung von Biokohle in der Landwirtschaft einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Dies setzt allerdings voraus, dass weitere pflanzenbauliche Vorteile vorliegen und dass negative Wirkungen auf Bodenfunktionen ausgeschlossen werden können. Jüngste Feldversuche zeigen allerdings, dass Biokohle in Reinform oder als Beimengung zu Terra-Preta-Substraten bei europäischen Böden keinen bzw. nur einen sehr geringen positiven Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit hat und negative Veränderungen von Bodeneigenschaften nicht ausgeschlossen werden können. Ein Einsatz von Biokohle in der Landwirtschaft kann daher nicht allgemeingültig empfohlen werden. Auch müsste geprüft werden, ob die landwirtschaftliche Nutzung von Biokohle, verbunden mit einer potenziellen Festlegung von Kohlenstoff im Boden, auch allein aus Sicht des Klimaschutzes gegenüber der direkten Verwendung der organischen Reststoffe oder gegenüber der Verwendung der Biokohle zu anderen Zwecken Vorteile bietet. Außerdem sind die Produktionskosten für Biokohle noch sehr hoch, was die Wirtschaftlichkeit dieser Produkte bei nur geringen Vorteilen in Frage stellt. Für bestimmte Anwendungsgebiete in der Landwirtschaft und im Gartenbau, z. B. zur Aufbereitung flüssiger organischer Reststoffe (Gülle, Gärreste) oder als Torfersatzsubstrat, könnten bedarfsgerecht entwickelte Biokohleverfahren oder -produkte zum Einsatz kommen. Hierfür besteht jedoch noch ein erheblicher Forschungsbedarf. Zudem wäre eine Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen notwendig.

6 Quellen

- BORCHARD, N., SIEMENS, J., LADD, B., MÖLLER, A. & AMELUNG, W. (2014a): Application of biochars to sandy and silty soil failed to increase maize yield under common agricultural practice. – *Soil & Tillage Research* **144**: 184–194.
- BORCHARD, N., LADD, B., ESCHEMANN, S., HEGENBERG, D., MÖSELER, B. M. & AMELUNG, W. (2014b): Black carbon and soil properties at historical charcoal production sites in Germany. – *Geoderma* **232–234**: 236–242.
- BORCHARD, N. (2012): Interaction of biochar (black carbon) with the soil matrix and its influence on soil functions. – *Bonner Bodenkundliche Abhandlungen* **54**, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES); Bonn.
- BORCHARD, N., PROST, K., KAUTZ, T., MÖLLER, A. & SIEMENS, J. (2012): Sorption of copper and sulphate to different biochars before and after composting with farmyard manure. – *European Journal of Soil Science* **63**: 399–409.
- BUSCH, D., KAMMANN, C., GRÜNHAGE, L. & MÜLLER, C. (2012): Simple Biototoxicity Tests for Evaluation of Carbonaceous Soil Additives: Establishment and Reproducibility of Four Test Procedures. – *Journal of Environmental Quality* **41** (4): 1023–1032.
- DEENIK, J. L., DIARRA, A., UEHARA, G., CAMPBELL, S., SUMIYOSHI, Y. & ANTAL, M. J. (2011): Charcoal Ash and Volatile Matter Effects on Soil Properties and Plant Growth in an Acid Ultisol. – *Soil Science* **176** (7): 336–345.
- DÜNGEMITTELVERORDNUNG (DÜMV): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln vom 5. Dezember 2012. – BGBl. I: 2482.
- DUNST, G. (2014): Pflanzenkohle. – <<http://www.sonnenerde.at/index.php?route=comm/on/page&id=1257>>.
- GAJIC, A. & KOCH, H.-J. (2011): Sind negative Effekte von HTC-Biokohle auf das Zuckerrübenwachstum durch eine verminderte Stickstoffverfügbarkeit bedingt? – *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* **23**: 24–25.
- GASKIN, J. W., SPEIR, R. A., HARRIS, K., DAS, K. C., LEE, R. D., MORRIS, L. A. & FISHER D. S. (2010): Effect of Peanut Hull and Pine Chip Biochar on Soil Nutrients, Corn Nutrient Status, and Yield. – *Agronomy Journal* **102** (2): 623–633.
- GLASER, B. (2013): Aktuelle Ergebnisse aus der Biokohle-Forschung. Workshop zum Thema „Terra Preta - Eine Alternative für den Landkreis Hameln-Pyrmont?“ – <http://www.hameln-pyrmont.de/media/custom/315_568_1.PDF?1366626399>.
- GROCHOLL, J. (2013): Untersuchungen zum Einsatz von Biokohle im Landkreis Uelzen. Workshop zum Thema „Terra Preta - eine Alternative für den Landkreis Hameln-Pyrmont?“ – <http://www.hameln-pyrmont.de/media/custom/315_564_1.PDF?1366625889>.
- HALE, S. E., LEHMANN, J., RUTHERFORD, D., ZIMMERMANN, A. R., BACHMANN, R. T., SHITUMBANUMA, V., O'TOOLE, A., SUNDQVIST, K. L., ARP, H. P. & CORNELISSEN, G. (2012): Quantifying the Total and Bioavailable Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Dioxins in Biochars. – *Environmental Science & Technology* **46**: 2830–2838.
- HILBER, I., BLUM, F., LEIFELD, J., SCHMIDT, H. P. & BUCHELI, T. D. (2012): Quantitative determination of PAHs in biochar: a prerequisite to ensure its quality and safe application. – *J. Agric Food Chem.* **60** (12): 3042–3050.
- HÖPER, H. & SCHÄFER, W. (2012): Die Bedeutung der organischen Substanz von Mineralböden für den Klimaschutz. – *Bodenschutz* **3/2012**.
- JEFFREY, S., VERHEIJEN, F. G. A., VAN DER VELDE, M. & BASTOS, A. C. (2011): A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. – *Agriculture, Ecosystems and Environment* **144**: 175–187.
- KAMMANN, C. (2012): Biochar: Chancen und Risiken für den Naturschutz? – <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/terrapreta_kammann.pdf>.
- KAMMANN, C., RATERING, S., ECKHARD, C. & MÜLLER, C. (2012). Biochar and Hydrochar Effects on Greenhouse Gas (Carbon Dioxide, Nitrous Oxide, and Methane) Fluxes

- from Soils. – *Journal of Environmental Quality* **41** (4): 1052–1066.
- KLÄRSCHLAMMVERORDNUNG (ABFKLÄRV) vom 15. April 1992, die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 12 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 geändert worden ist. – *BGBl. I* (1992): 912, *BGBl. I* (2012): 212.
- KLOSS, S., ZEHETNER, F., WIMMER, B., BUECKER, J., REMPT, F. & SOJA, G. (2014): Biochar application to temperate soils: Effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. – *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **177** (1): 3–15.
- KOLB, S. E. (2009): Effect of Charcoal Quantity on Microbial Biomass and Activity in Temperate Soils. – *Soil Science Society of America Journal* **73** (4): 1173–1181.
- KUZYAKOV, Y., SUBBOTINA, I., CHEN, H. Q., BOGOMOLOVA, I. & XU, X. L. (2009): Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by ¹⁴C labeling. – *Soil Biology & Biochemistry* **41**: 210–219.
- LIU, J., SCHULZ, H., BRANDL, S., MIEHTKE, H., HUWE, B. & GLASER, B. (2012): Short-term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. – *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **175** (2012): 698–707.
- LÖWEN, A., & RÖDGER, J.-M. (2013): Life Cycle Analysis of Biochar: Ecobalances of Biochar Production and Utilization. – <[http://www.biochar-interreg4b.eu/images/file/03_%20Achim%20Loewen%20-%20Life%20Cycle%20Analysis%20of%20biochar\(1\).pdf](http://www.biochar-interreg4b.eu/images/file/03_%20Achim%20Loewen%20-%20Life%20Cycle%20Analysis%20of%20biochar(1).pdf)>.
- MESA, A. C. & SPOKAS, K. A. (2011): Impacts of Biochar (Black Carbon) Additions on the Sorption and Efficacy of Herbicides, – In: KORTEKAMP, A. (Hrsg.): *Herbicides and Environment*. (Kap. 15) [ISBN: 978-953-307-476-4], <<http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/12591.pdf>>.
- MOKRY, M., AICHELE, TH. & BEYER, J. (2013): Einsatz von "Biokohle" in der Landwirtschaft. – *Landinfo* **4**: 49–56.
- MUMME, J. (2012): HTC, Biogas und Landwirtschaft – das APECS Konzept. 73. Symposium des ANS e. V., Berlin. – <<http://ans-ev.de/global/download/%7BAGJZDSXYXP-1052012211638-WNYNLCOSZJ%7D.pdf>>.
- MUMME, J., SROCKE, B., HEEG, K. & WERNER, M. (2014): Use of biochars in anaerobic digestion. – *Bioresource Technology* **164**: 189–197.
- NOLL H.-J. (2013): Terrapreta: Bisherige Versuchsergebnisse mit Palaterra-Mustern. Workshop zum Thema „Terra Preta - Eine Alternative für den Landkreis Hameln-Pyrmont?“ – <http://www.hameln-pyrmont.de/media/custom/315_566_1.PDF?1366626248>.
- QUILLIAM, R. S., RANGE-CROFT, S., EMMETT, B. A., DELUCA, T. H. & JONES, D. L. (2013): Is biochar a source or sink for polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) compounds in agricultural soils? – *GCB Bioenergy* **5** (2): 96–103.
- RAJKOVICH, S., ENDERS, A., HANLEY, K., HYLAND, C., ZIMMERMAN, A. R. & LEHMANN, J. (2012): Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. – *Biology and Fertility of Soils* **48** (3): 271–284.
- RÖDGER, J.-M., GANAGIN, W., KRIEG, A., ROTH, C. & LOEWEN, A. (2013): Steigerung des Biogasertrages durch die Zugabe von Pflanzenkohle. / Stimulation of Biogas production by adding Biochar. – *Müll und Abfall* **9**: 476–481.
- RUYSSCHAERT, G., HAMMOND, J., O'TOOLE, A., KIHLEBERG, T., BRUUN, E., ROEDGER, M. & POSTMA, R. (2013): BIOCHAR climate saving soils. Newsletter 3: Interreg IVB North Sea Region Programme. – <<http://www.biochar-interreg4b.eu/images/file/Biochar%20climate%20saving%20soils%20-%20Newsletter%203%20v2%5B1%5D.pdf>>.
- SCHMIDT, H. P., ABIVEN, S., GLASER, B., KAMMANN, C., BUCHELI, T. & LEIFELD, J. (2012): Europäisches Biokohle-Zertifikat: Richtlinien für die Produktion von Pflanzenkohle. – <www.ithaka-journal.net/certificate/europaeisches-pflanzenkohle-zertifikat-v4.2-final2012.pdf>.
- SCHULZ, H., DUNST, G. & GLASER, B. (2014): No Effect Level of Co-Composted Biochar on Plant Growth and Soil Properties in a Greenhouse Experiment. – *Agronomy* **4** (1): 34–51.
- VAN ZWIETEN, L., BHUPINDERPAL-SINGH, J. S., KIMBER, S., COWIE, A. & CHAN, Y. (2009): Biochar reduces emissions of non-CO₂ GHG

from soil. – In: LEHMANN, J. & JOSEPH, S. (Eds.): Biochar for environmental management: 227–249; London (Earthscan Publications Ltd.).

VERORDNUNG (EU) Nr. 277/2012 der Kommission vom 28. März 2012 zur Änderung der Anhänge I und II der Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Höchstgehalte und Aktionsgrenzwerte für Dioxine und polychlorierte Biphenyle. – ABI. EU L91 (29.3.2012): 1–7.

WARDLE, D. A., NILSSON, M.-C. & ZACKRISSON, O. (2008): Fire-Derived Charcoal Causes Loss of Forest Humus. – *Science* **320** (5876): 629.

Autoren

- Dr. Andreas Möller
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.3 „Landwirtschaft und
Bodenschutz, Landesplanung“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.
- Dr. Heinrich Höper
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.4 „Boden- und
Grundwassermonitoring“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.

Irgendwann guckt sich
jeder die Radieschen
von unten an.

Wir schon zu Lebzeiten.

Mehr zu innovativen Geowissenschaften unter: www.lbeg.niedersachsen.de



Sie kennen unsere Pferde. Erleben Sie unsere Stärken.

ISSN 1864 – 7529