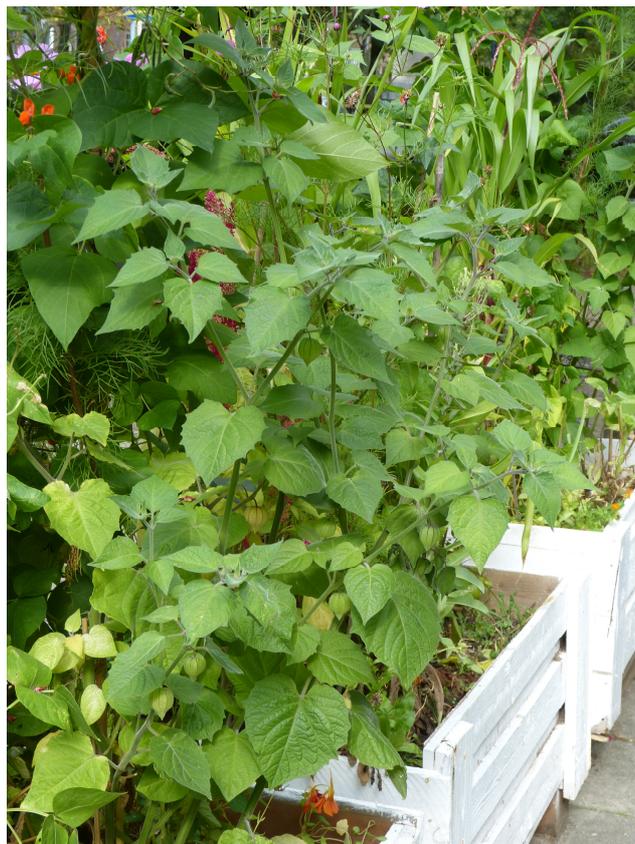


Tagung

„Qualitätssicherung und Umwelteffekte von Pflanzenkohle“

Freitag, 17. Oktober 2014 von 9:30 bis 17:00
Ort: Freizeitheim Ricklingen – 30459 Hannover



*Die Tagung wird ermöglicht mit freundlicher Unterstützung der
Landeshauptstadt Hannover / Fachbereich Umwelt und Stadtgrün*

Inhaltsverzeichnis:

- S. 3 Vorwort
- S. 5 Tagungsprogramm
- S. 7 Katja Wiedner: Bildung anthropogener Schwarzerden im gemäßigten Klima? Nordic Dark Earth im Wendland.
- S. 8 Hans-Peter Schmidt: Qualitätssicherung von Pflanzenkohle nach dem Vorsorgeprinzip durch das European Biochar Certificate (EBC) – ein Modell für Deutschland? (über Video zugeschaltet)
- S. 9 Dr. Andreas Möller: Biokohle aus Sicht des Bodenschutzes in Niedersachsen
- S. 14 Dr. Andreas Faensen-Thiebes: Kriterien des BUND für die Bewertung von Pyrolysekohle zur Einbringung in den Boden.
- S. 16 Christoph Fischer: Praxisbericht: 6 Jahre Anwendung von Pflanzenkohle im Chiemgau. Anwendung, Ergebnisse, neue Produkte.
- S. 18 Dr. Ines Vogel: Biochar meets compost - Qualitätskriterien und Vorteilswirkungen
- S. 21 Prof. Dr Elke Meinken: Eignung von Pflanzenkohle als Torfersatzstoff in gärtnerischen Kultursubstraten
- S. 24 Prof. Dr. Claudia Kammann: Verminderung von Nitratauswaschungen und Lachgasemissionen durch Biochar

Vorwort:

In Zusammenarbeit mit der Landeshauptstadt Hannover, Fachbereich Umwelt und Stadtgrün und Prof. Heike Bohne von der Leibniz Universität Hannover wurde diese Tagung zu Qualitätssicherung und Umwelteffekten von Pflanzenkohlen (biochar) vom BUND geplant.

Anlass war die unter Kleingärtnerinnen und Gärtnern seit einiger Zeit gerne praktizierte Methode Pflanzenkohle-Kompost nach Terra Preta – Art herzustellen. Aus Gründen des Vorsorgeprinzips und Bodenschutzes ist es sowohl der Landeshauptstadt Hannover als auch dem BUND wichtig, Gartenböden – die teilweise schon vorbelastet sind - nicht mit Schadstoffen zu belasten. Die Verwendung von Pflanzenkohle wird inzwischen weit über den Einsatz in Kleingärten hinaus begeistert befürwortet, aber auch abgelehnt. Daher ist die Qualitätssicherung von Pflanzenkohle eine wichtige Frage, die wir im Rahmen der Tagung erörtern und soweit es auf dem Stand des Wissens möglich ist, beantworten wollen. Qualitätssicherung von Pflanzenkohle hilft, damit KleingärtnerInnen, landwirtschaftliche Betriebe, der Erwerbsgartenbau ebenso wie städtische Grünflächen Sicherheit bekommen, was die Unbedenklichkeit von Pflanzenkohle betrifft. Dazu dient vor allem der Beitrag zum „European Biochar Certificate“ (EBC). BUND Kreisgruppen, die sich bundesweit mit dem Thema beschäftigen, haben zu diesem ersten wichtigen Themenkomplex ein Arbeitspapier verfasst, das u.a. auch beim BUND Hannover unter www.bund-hannover.de unter Themen „Terra Preta“ in der aktuellen Version steht.

Darüber hinaus wird oft kontrovers diskutiert, dass in unseren Klimazonen der Einsatz von Pflanzenkohle zur Optimierung von Böden überflüssig sei und nicht funktionieren könne. Sind diese unter dem Namen „Terra Preta do Indio“ bekannten anthropogenen Schwarzerden also Alleinstellungsmerkmal des tropischen Amazonasgebietes, wodurch das Thema überhaupt erst international in den öffentlichen Fokus gekommen ist? Gibt es solche, von Menschen gemachte Böden auch in den gemäßigten Zonen? Dieser Frage widmet sich die Forschung seit kurzer Zeit auch in Deutschland. BodenkundlerInnen arbeiten hier eng mit ArchäologInnen zusammen, um solche Standorte zu identifizieren und zu untersuchen. Dies wird zu Beginn der Tagung in einem Beitrag vorgestellt.

Eine Zielsetzung ist es, im Rahmen der Tagung verschiedene Umwelteffekte von Pflanzenkohle näher zu beleuchten. Wir werden nicht alle Umwelteffekte und Einsatzmöglichkeiten für Pflanzenkohle im Rahmen dieser Tagung abhandeln können, sondern uns auf einige Aspekte konzentrieren müssen: Die Speicherung von Nährstoffen in Pflanzenkohle; die Mitkompostierung von Pflanzenkohle, die sich während dieses Prozesses mit Nährstoffen auflädt und diese dann möglicherweise über einen längeren Zeitraum nachliefert als es mit mineralischem NPK-Dünger möglich ist. Ebenso sind die Vermeidung von Grundwasserbelastung und Klimagasen durch den gezielten Einsatz von Pflanzenkohle mit Vorbehandlung Gegenstand der heutigen Diskussion. Auch die Behandlung von Gülle – hier in bäuerlichen Betrieben und keineswegs zur Legitimierung einer industriellen Massentierhaltung – stellt eine bislang in Niedersachsen kaum praktizierte Chance dar, die von einem Praktiker vorgestellt wird.

Welche Chancen bieten diese Umwelteffekte für regionale Stoffstromkreisläufe, wie es im TerraBoGa Projekt in Berlin demonstriert wird? Die begrenzte Ressource Phosphat und das bislang kaum genutzte Phosphatrecycling mit Hilfe von Pflanzenkohle zeigen, welche großen Mengen Wertstoffe immer noch ungenutzt bleiben.

Ein weiterer Aspekt, der sich vor allem mit dem Ziel beschäftigt, torffreie Substrate mit Pflanzenkohle als Alternative zu Torfsubstraten zu entwickeln, ist für die Region Hannover mit seinem Naturschutzgroßprojekt und für Niedersachsen von besonderer Bedeutung. Dem Moorschutz zuliebe setzt sich auch der BUND schon lange dafür ein, auf Torf zu verzichten. Aha bietet die Hannoversche Erde als torffreies Substrat an; die Politik hat dies unterstützt. An Universitäten wird daran geforscht, wie sich torffreie Substrate auf Pflanzenkohlebasis optimieren lassen.

Jedoch lässt sich nicht mit jeder beliebigen EBC-zertifizierten Kohle ein Substrat für jede beliebige Verwendung herstellen. Weitere Schritte weisen in die Zukunft: um Pflanzenkohlen zu produzieren, die vorhersehbare, garantierte positive Effekte in verschiedenen Anwendungen haben, sind Normierungen notwendig. Auch die Frage der Gütesicherung von Pflanzenkohle-Komposten oder Substraten für den Erwerbs- und Hobbygartenbau ist aus Sicht des Verbraucherschutzes wesentlich. Hier sind sowohl Hersteller von Pflanzenkohlen und Substraten als auch die Forschung – unterstützt durch ein öffentliches Interesse – gefordert.

Was kann wer im interdisziplinären Verbund dazu beisteuern? Welche Netzwerke sind erforderlich, um die Diskussion um Qualitätssicherung, Umwelteffekte und gesicherte Anwendungen von Pflanzenkohle voran zu bringen? Welche Gesetze und Verordnungen sollten entsprechend angepasst werden? Was können Kommunen, kommunale Kompostierer und KleingärtnerInnen dazu beisteuern? Welche Weichen könnten auf Landesebene gestellt werden? Diese und viele weitere Fragen könnten kontinuierlich auf unterschiedlichen Ebenen, aber kooperativ von allen an diesem Prozess beteiligten Akteuren mit gemeinsamer Kompetenz, angepackt und beantwortet werden.

Die vielfältigen weiteren Möglichkeiten Pflanzenkohle zu nutzen sprengen leider den Rahmen der Tagung: so zum Beispiel, um Straßenabwässer zu reinigen, Schadstoffe in belasteten Böden zu neutralisieren, oder um mit Pflanzenkohle Baustoffe und Raumklima in Gebäuden zu optimieren ebenso wie der Einsatz von Pflanzenkohle in der Tierfütterung zur Verbesserung der Tiergesundheit sowie die Kaskadennutzung bis hin zum Verbringen des so produzierten tierischen Düngers in Böden. Besonders spannend ist auch die bislang nur wenig beachtete Frage der Verbesserung des Bodenlebens – der Bodenfauna, der Bakterien sowie Mykorrhizen durch Pflanzenkohle. Oder auch Fragen des Klimaschutzes – ob mit Pflanzenkohle ein wichtiger Beitrag zur Kohlenstoffsequestrierung in Böden und Vermeidung von Klimagasen zu erzielen ist - werden nur gestreift ebenso wie die Langzeitstabilität von unterschiedlichen Pflanzenkohlen. Wir werden diese Aspekte aber weiter verfolgen.

Für das Organisationsteam:

Prof. Dr. Heike Bohne
Sibylle Maurer-Wohlatz

Tagung „**Qualitätssicherung und Umwelteffekte von Pflanzenkohle**“

Freitag, 17. Oktober 2014 von 9:30 bis 17 Uhr
Ort: Freizeitheim Ricklingen – 30459 Hannover

Moderation: Prof. Dr. Heike Bohne – Leibniz Universität Hannover

Begrüßung

1. 09:30 Begrüßung Dr. Heino Kamieth
FB Umwelt und Stadtgrün der Landeshauptstadt Hannover
Gerd Wach – BUND Region Hannover
Vorstellung der Tagungsschwerpunkte durch Moderatorin

Block 1 Schwarzerden in gemäßigten Klimazonen

2. 10:00 Katja Wiedner – Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg „Bildung anthropogener Schwarzerden im gemäßigten Klima? Nordic Dark Earth im Wendland.“
10 Minuten Diskussion

***Block 2 Qualitätssicherung von Pflanzenkohle
Vorsorgeprinzip und Bodenschutz***

3. 10:40 Hans Peter Schmidt / Ithaka-Institut (über Video zugeschaltet) „Qualitätssicherung von Pflanzenkohle nach dem Vorsorgeprinzip durch das European Biochar Certificate (EBC) – ein Modell für Deutschland?“ 10 Minuten Diskussion

Kaffeepause

4. 11:30 Dr. Andreas Möller – LBEG
„Biokohle aus Sicht des Bodenschutzes in Niedersachsen“
10 Minuten Diskussion.
5. 12:10 Dr. Andreas Faensen-Thiebes – Bundesvorstand / AK Bodenschutz/Altlasten - Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) „Kriterien des BUND für die Bewertung von Pyrolysekohle zur Einbringung in den Boden“
10 Minuten Diskussion

Mittagspause

Block 3 ***Pflanzkohle aus Sicht verschiedener Anwendungen:
Anforderungen und Umwelteffekte***

1. 13:30 Christoph Fischer – EM Chiemgau
„Praxisbericht: 6 Jahre Anwendung von Pflanzkohle im Chiemgau. Anwendung, Ergebnisse, neue Produkte.“
10 Minuten Diskussion

 2. 14:10 Dr. Ines Vogel – Freie Universität Berlin
„Biochar meets compost – Qualitätskriterien und Vorteilswirkungen.“ 10 Minuten Diskussion
- Kaffeepause
3. 14:50 Prof. Dr. Elke Meinken – Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
„Eignung von Pflanzkohle als Torfersatzstoff in gärtnerischen Kultursubstraten,“
10 Minuten Diskussion

 4. 15:30 Prof. Dr. Claudia Kammann – Hochschule Geisenheim
„Verminderung von Nitratauswaschung und Lachgasemissionen durch Biochar“
10 Minuten Diskussion

16:10 Abschluss-Diskussionsrunde

Eine **Anmeldung** ist erforderlich: Sibylle.Maurer-Wohlatz@bund.net oder 0511/660093 (mit AB).

Die Tagung ist kostenlos. Es gibt Kaffee/Tee und kalte Getränke. Ein Mittagessen ist nicht inbegriffen. Im angeschlossenen Restaurant Rick`s sowie nahe gelegenen Imbissen besteht die Möglichkeit, Mittag zu essen. Wir informieren darüber nach Anmeldung für die Tagung.

Tagungsort: Freizeitheim Ricklingen: Ricklinger Stadtweg 1 - 30459 Hannover
Anfahrt mit Öffentlichen Verkehrsmitteln: Stadtbahn-Linie 3, 7, 17 bis "Beekestraße"

***Die Tagung wird ermöglicht mit freundlicher Unterstützung der
Landeshauptstadt Hannover / Fachbereich Umwelt und Stadtgrün***

Bildung anthropogener Schwarzerden im gemäßigten Klima?

Nordic Dark Earth im Wendland.

Katja Wiedner – Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Die fruchtbaren, bis über 2000 Jahre alten anthropogenen Schwarzerden (*Terra Preta de Índio*) im tropischen Amazonas Gebiet (Brasilien), dienen als Vorbild u.a. für die nachhaltige landwirtschaftliche Nutzung von Böden und der Schließung regionaler Stoffkreisläufe. Weltweit sind zahlreiche derartige Böden mit hohem Anteil an pyrogenem Kohlenstoff dokumentiert, jedoch hinsichtlich ihrer Genese kaum untersucht. Die wissenschaftliche Einordnung und Untersuchung, dieser in verschiedenen Klimazonen vorkommenden Böden ist jedoch essentiell, um langfristige Veränderungen in Boden und Umwelt durch den Einsatz von moderner Pflanzenkohle besser abschätzen zu können.

Der Fund eines tiefschwarzen Bodens (Nordic Dark Earth) während einer archäologischen Ausgrabung in den Überresten einer etwa 1000 Jahre alten slawischen Siedlung in Brünkendorf (Wendland Region), stellt ein beeindruckendes Beispiel anthropogener Bodenbildung im gemäßigten Klima dar. Die Wendlandregion ist aufgrund ihrer geologischen Vergangenheit, dominiert von humus- und nährstoffarmen Böden. Der Fund eines regional begrenzten, stark humosen und fruchtbaren Bodens stellt daher eine große Besonderheit dar. Mittels modernster Analysen (u.a. Isotope und Molekularmarker), konnte gezeigt werden, dass die Nordic Dark Earth im Wendland zum einen anthropogenen Ursprungs ist und zum anderen starke Parallelen hinsichtlich ihrer Genese (z.B. Eintragsstoffe wie Pflanzenkohle, Knochen und Fäkalien) und günstigen ökologischen Eigenschaften (z.B. Nährstoffhaushalt, Kationenaustauschkapazität, mikrobielle Zusammensetzung) zu *Terra Preta de Índio* aufweist.

Das Beispiel der Nordic Dark Earth demonstriert, dass vergleichbare Böden zu Terra Preta de Índio außerhalb des Amazonas Gebiets existieren, die über Jahrhunderte hinweg hohe Mengen an Humus- und Nährstoffvorräten aufrechterhalten können. Die weitere systematische Untersuchung anthropogener Schwarzerden ist sinnvoll, um angepasste Modelle hinsichtlich einer nachhaltigen Landnutzung sowie eines regionalen Stoffstrommanagements für den jeweiligen geographischen Raum erstellen zu können.

„Qualitätssicherung von Pflanzenkohle nach dem Vorsorgeprinzip durch das European Biochar Certificate (EBC) – ein Modell für Deutschland?“

Hans Peter Schmidt / Ithaka-Institut (über Video zugeschaltet)

Da wir den Videobeitrag an dieser Stelle nicht als Printversion zur Verfügung stellen können v
verweisen wir auf die vielfältigen Veröffentlichungen des Ithaka-Instituts unter

<http://ithaka-institut.org/de>

Des Weiteren verweisen wir hier auf das European Biochar Certificate (EBC), dessen Ziel vorran-
gig ist, die Unbedenklichkeit von Pflanzenkohle mit einem freiwilligen Zertifikat zu ermöglichen

<http://www.european-biochar.org/de/>

Das Europäische Pflanzenkohle Zertifikat wurde seit 2010 unter Führung des Ithaka Instituts
entwickelt und zum freiwilligen Industriestandard ausgebaut. Das Ziel der Richtlinien besteht in
der Gewährleistung einer wissenschaftlich stichhaltigen, gesetzlich abgesicherten, wirtschaftlich
verantwortbaren und praktisch umsetzbaren Kontrolle der Produktion und Qualität von Pflan-
zenkohle. Für Anwender von Pflanzenkohle und Produkten auf Basis von Pflanzenkohlen wird
eine transparente und nachvollziehbare Kontrolle und Qualitätsgarantie ermöglicht. Die Pre-
mium-Qualität des Europäischen Pflanzenkohle Zertifikats ist Grundlage der Schweizerischen
Zulassung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft.

Biokohle aus Sicht des Bodenschutzes in Niedersachsen

Andreas Möller

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Stilleweg 2, 30655 Hannover

Die Nutzung von Biokohle bzw. Pflanzenkohle in der Landwirtschaft wird kontrovers diskutiert. Durch die Möglichkeit der langfristigen Speicherung von Kohlenstoff im Boden kann stabile Biokohle einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Dies setzt allerdings voraus, dass weitere pflanzenbauliche Vorteile vorliegen und negative Wirkungen auf Bodenfunktionen ausgeschlossen werden können. In den armen Böden der Tropen konnten positive Effekte von Biokohle auf Bodenfunktionen gezeigt werden. Inwieweit dies auch für unsere gut bewirtschafteten Böden zutrifft, ist umstritten.

Tropische Böden sind zumeist alt und durch das tropische Klima stark verwittert, wodurch die Nährstoffe ausgewaschen und die Böden erheblich versauert sind. Diese Defizite können durch die Einbringung von nährstoffreichen, basisch wirkenden und speicherfähigen Substraten ausgeglichen werden, ähnlich dem Vorbild der fruchtbaren Terra-Preta-Böden im Amazonasgebiet. Die meisten unserer landwirtschaftlich genutzten Böden hingegen sind jünger und besitzen durch deren intensive Bewirtschaftung bereits optimierte Bodeneigenschaften. Hierdurch ähnelt oder übertrifft deren Produktivität die der Terra-Preta-Böden des Amazonasgebiets. Aus diesem Grund kann bei unseren Böden nicht mit einer signifikanten Steigerung der Bodenfruchtbarkeit gerechnet werden.

Dies zeigen auch jüngste Feldversuche mit Biokohle und Terra-Preta-Substraten in Europa. Bei unseren Böden hat Biokohle bzw. der Biokohleanteil in Terra-Preta-Substraten keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit (u.a. BORCHARD et al. 2014; KLOSS et al. 2014; GROCHOLL 2013; RUYSSCHAERT et al. 2013; MOKRY, AICHELE & BEYER 2013). Schwerwiegender jedoch ist, dass auch einige Studien negative Effekte auf Bodenfunktionen nach Biokohleapplikation aufzeigen (BORCHARD et al. 2014; KLOSS et al. 2014; SCHULZ, DUNST & GLASER 2014; RAJKOVICH et al. 2012; GAJIC & KOCH 2011; JEFFREY et al. 2011; GASKIN et al. 2010). Im Hinblick auf das Bodenschutzgesetz müssen jedoch negative Folgen auf Bodenfunktionen ausgeschlossen werden können, um einen Einsatz von Biokohle im Allgemeinen in der Landwirt-

schaft zuzulassen. Zudem lässt das derzeitige Düngemittelrecht den Einsatz von Biokohle in der Landwirtschaft mit Ausnahme von Holzkohle nicht zu (DÜNGEMITTELVERORDNUNG 2012).

Die Vielfalt an Eigenschaften von Biokohle ist dabei die Ursache für die hohe Unsicherheit der Vorhersagbarkeit der Wirkungen auf Bodenfunktionen und Pflanzen. Internationale Ansätze zur Zertifizierung von Biokohlen (SCHMIDT et al. 2012) schränken die Bandbreite der Eigenschaften zwar ein, reichen aber nicht aus, um negative Effekte ausschließen zu können.

Zusätzliche positive Effekte von Biokohle, wie zum Beispiel die Verbesserung der Pflanzengesundheit und bodenphysikalischer Parameter, sowie die Reduktion von Treibhausgasemissionen können gegebenenfalls einen Beitrag zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft leisten (KUZYAKOV et al. 2009, VAN ZWIETEN et al. 2009, KAMMANN et al. 2012), sind jedoch bis jetzt für die gemäßigten Breiten nicht ausreichend belegt und variieren stark in Abhängigkeit vom Ausgangssubstrat, den Standortbedingungen und der Feldfrucht.

Noch weitgehend unbeantwortet ist auch die Langzeitwirkung von Biokohle im Boden, da die bisherigen Versuche fast ausschließlich auf kurzzeitigen Labor- und Feldversuchen mit einer max. Laufzeit von 3 Jahren beruhen. Ein Großteil der positiven Effekte dieser Versuche ist meist auf die nährstoffhaltigen oder pH-wirksamen Komponenten (z. B. Kompost, Asche) zurückzuführen und nicht auf die Biokohle selbst (BORCHARD et al. 2014; RUYSSCHAERT et al. 2013; MOKRY, AICHELE & BEYER 2013; JEFFREY et al. 2011). Einige Studien zeigen zudem, dass der Einfluss auf Bodenfunktionen und Erträge sich innerhalb der Versuchsjahre verschlechtern kann (BORCHARD et al. 2014; MOKRY, AICHELE & BEYER 2013; DEENIK et al. 2011, GASKIN et al. 2010).

Unberührt von der Schwierigkeit der Vorhersagbarkeit der Wirkung der Biokohle ist Biokohle eine potentielle Quelle an Schadstoffen (BORCHARD 2012, HALE et al. 2012, HILBER et al. 2012, MUMME 2012; QUILLIAM et al. 2013). Vor einer Anwendung von Biokohle muss eine an deren stark sorptiven Eigenschaften angepasste Analytik entwickelt und in die gesetzlichen Rahmenbedingungen integriert werden. Zudem muss sichergestellt werden, dass es langfristig nicht zu einer Anreicherung persistenter organischer Schadstoffe auf landwirtschaftlichen Flächen kommt. Dies gilt auch bei einer Kaskadennutzung, z. B. über die Nutzung von Biokohle als Zuschlagstoff für Biogasanlagen oder als Stalleinstreu und einer anschließenden potentiellen direkten Aufnahme durch Nutztiere nach Ausbringung auf Grünland. In Abhängigkeit von der Anwendung von Biokohle müssen pfadbezogene Grenzwerte festgelegt werden.

Die geringen Vorteile von Biokohle-Produkten im Vergleich zu herkömmlichen Produkten bei vergleichsweise hohem Preis und bestehendem Risiko von schädlichen Bodenveränderungen legen nahe, dass nach derzeitigem Kenntnisstand der Einsatz von Biokohle im Allgemeinen in der Landwirtschaft nicht empfohlen werden kann.

Ein Potential besitzen bedarfsgerecht entwickelte und umweltschonende Biokohleverfahren und -produkte für Anwendungen in der Landwirtschaft und im Gartenbau, welche zu einer Verbesserung der Wertschöpfungskette beitragen. Hierfür besteht jedoch noch ein erheblicher Entwicklungsbedarf.

Notwendig hierfür ist die Erfassung der Komplexität der Wirkungen von Biokohle-Produkten auf Boden, Pflanze, Klima und Grundwasser in einem weitreichenden, interdisziplinären Ansatz. Aufgrund der Vielfältigkeit der Eigenschaften von Biokohle-Produkten sollte zunächst an ausgesuchten, vollständig charakterisierten und für die Umwelt nachweislich unbedenklichen Biokohle-Produkten konstanter Qualität beispielhaft in mehrjährigen standardisierten Feldversuchen alle Vor- und Nachteile transparent und ganzheitlich bilanzieren werden. Die Feldversuche müssen sich an der aktuellen landwirtschaftlichen Praxis orientieren, bzw. realistische Alternativen aufzeigen. Die Ergebnisse müssen zeigen, welchen ökologischen und ökonomischen Mehrwert die Produkte gegenüber bestehenden Verwertungsverfahren organischer Reststoffe erbringen. Für die Produkte müssen anwendungsspezifische Handlungsempfehlungen mit pfadbezogenen Schadstoffgrenzwerten unter Berücksichtigung bestehender Verordnungen erarbeitet werden. Für mehr Transparenz und der Möglichkeit projektübergreifender Auswertungen wäre zudem der Aufbau einer Biokohle-Datenbank zu Feldversuchen hilfreich.

Eine ausführliche Bewertung des Einsatzes von Biokohle in der Landwirtschaft aus Sicht des Bodenschutzes ist im Geobericht 28 des LBEG veröffentlicht.

Literatur

- BORCHARD, N., SIEMENS, J., LADD, B., MÖLLER, A. & AMELUNG, W. (2014): 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. (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.
- DÜNGEMITTELVERORDNUNG (DÜMV): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln vom 5. Dezember 2012. – BGBl. I: 2482.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 metaanalysis. – *Agriculture, Ecosystems and Environment* 144: 175–187.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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://ansev.de/global/download/%7BAGJZDSXYXP-1052012211638-WNYNLCOSZJ%7D.pdf>>.
- 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.
- 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.).

Kriterien des BUND für die Bewertung von Pyrolysekohle zur Einbringung in den Boden

Dr. Andreas Faensen-Thiebes, Arbeitskreis Bodenschutz / Altlasten
des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V. (BUND)

Im Kontext der „neuen Gartenbewegung“ erfährt die Idee, nach dem Vorbild der Terra Preta do Indio die Humusgehalte durch die Zugabe von Pyrolysekohle zu erhöhen großen Zuspruch. Vor allem im internationalen Rahmen wird der Einsatz von Pyrolysekohle auch in der konventionellen Landwirtschaft diskutiert und der Aspekt der C-Sequestrierung und seine mögliche Berücksichtigung im Emissionshandel betont.

Es ist gut, dass durch die Diskussion um Terra Preta dem Boden wieder mehr Aufmerksamkeit geschenkt wird, wir sehen jedoch einen hohen Bedarf an der Klärung wichtiger hiermit zusammenhängender Umweltaspekte:

1. Gibt es überhaupt einen Bedarf für die Zufuhr von Pyrolysekohle in den Boden?

Der BUND setzt sich für Ökolandbau auf der gesamten Landwirtschaftsfläche ein – worin liegen die Vorteile des Einsatzes von Pyrolysekohle gegenüber der bisherigen Anbauweise im Ökolandbau und wie groß sind sie?

2. Wie lassen sich die Umweltrisiken bei der Herstellung der Pflanzenkohle vermeiden?

Pyrolyse ist kein unkritisches Verfahren. Welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, um dieses Verfahren verantwortungsvoll einsetzen zu können?

3. Droht mit der Zufuhr von Pflanzenkohle eine Zufuhr von Schadstoffen in die Böden?

Vor dem Hintergrund immer wieder auftretender Müllskandale ist es nötig sicher zu stellen, dass den Böden keine Schadstoffe zugefügt werden.

4. Gibt es genügend Biomasse für die Herstellung der Pflanzenkohle?

Angesichts der Fehlentwicklung mit der Nutzung von Agrarsprit und Agrargas ist es besonders wichtig sich zu überlegen, wie die quantitative Perspektive aussieht, wenn eine breite Anwendung angestrebt ist.

5. Wie sieht die CO₂-Bilanz des ganzen Verfahrens im Vergleich mit alternativen Nutzungen der Rohstoffe aus?

Da mit der Pyrolysekohle dem globalen Kreislauf Kohlenstoff entzogen wird, liegt hier eine mögliche Klimaentlastung vor, die auch als Argument für den Einsatz von Pyrolysekohle genommen wird. Wie sieht die Klimabilanz im Vergleich mit anderen Nutzungen der Ausgangsstoffe aus?

Diese Fragen müssen positiv geklärt sein, wenn wir als Umweltverband diese Technik breit propagieren und befürworten wollen.

„Praxisbericht: 6 Jahre Anwendung von Pflanzenkohle im Chiemgau. Anwendung, Ergebnisse, neue Produkte.“

Christoph Fischer – EM Chiemgau

Die intensive landwirtschaftliche Nutzung unserer Böden in den letzten 20 Jahren, hat auch bei uns im Chiemgau zu enormen Humusverlusten geführt. Im Erwerbsgartenbau lässt sich Ähnliches beobachten. Der Aufwand an Düngemitteln und Pflanzenschutz steigt ständig, die Bodenfruchtbarkeit und die Erträge nehmen teilweise ab.

Ich stellte mir die Frage: gibt es außer den Versprechungen der Agro- und Gentechnik noch andere Methoden, die Erträge zu steigern und gleichzeitig die Bodenfruchtbarkeit wieder aufzubauen?

Was man vor sechs Jahren über Terra Preta –Technik wusste, klang zumindest so interessant, dass ich mit ersten Kleinversuchen begann. Vor fünf Jahren wurde dann der Startschuss für eine breitere Anwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft gegeben. Die Mischung der ersten zwei Tonnen Terra Preta – Substrats fand im Rahmen eines Workshops statt, zu dem ich 30 Landwirte eingeladen hatte.

Die Ergebnisse mit diesem Material in verschiedenen Praxisanwendungen waren so überzeugend, dass sich der Betriebsleiter eines großen Hühnerbetriebes entschied, 500 Tonnen Terra Preta – Kompost herzustellen. Die Erfolge auf seinem 80 ha großen Ackerland waren fast unglaublich. Nur mit organischem Dünger war sein Mais bis in den Herbst grün und ca. 30 cm höher als sonst, gleichzeitig verbesserte sich die Bodenstruktur sichtbar. Besonders deutlich war auch der Anstieg der Regenwurmpopulation zu beobachten.

Nach etlichen Feldbegehungen mit anderen Landwirten auf diesen Flächen, trauten sich immer mehr Landwirte Pflanzenkohle in ihren Betrieben einzusetzen. Wir waren den Spuren der Terra Preta gefolgt und fanden eine tolle Lösung, um unseren Festmist aufzuwerten.

Doch das Chiemgau hat weniger ein Mist- als ein Gülleproblem. So begannen wir, mit Versuchen die Speicher- und Pufferfähigkeit der Pflanzenkohle in der Gülle zu nutzen. Wir fingen wieder bei Null an, doch nach einer Vielzahl von Versuchen kamen wir auch hier zu erstaunlichen Ergebnissen. Bei normaler Ausbringung unbehandelter Gülle werden nur 20 Prozent der Nährstoffe der Gülle gemäß einer Studie von Weihenstephan von den Pflanzen aufgenommen. Der Einsatz der Pflanzenkohle, kann das radikal verändern.

Schüler der ökologischen Landbaus Schule in Schönbrunn, überzeugten ihren Direktor, mich für einen Vortrag einzuladen. Dieser Vortrag war der Impuls für einen Schüler, die Verwendung von Pflanzenkohle in der Gülle zum Thema seiner Meisterarbeit zu machen. Viele weitere folgten.

Die erzielten Mehrerträge durch die Nährstoffpufferung waren immer höher als die aufgewendeten Kosten. Zusätzlich wurde klar, dass die Menge an Stickstoff, die der Landwirt über Mehrertrag nach Hause fährt, nicht in die Umwelt gelangt.

Es war ein System geschaffen, dass sich nicht über Förderung oder Zuschüsse, sondern allein über den praktischen Nutzen, den der Landwirt hat, antreibt.

Der gezielte Einsatz von Pflanzenkohle, hat sich im Chiemgau zum wichtigsten Faktor der letzten 20 Jahre in der Landwirtschaft entwickelt.

Die erste Meisterarbeit von Benjamin Burg zur Güllebehandlung mit Pflanzenkohle ist zu finden unter www.em-chiemgau.de

Biochar meets compost - Qualitätskriterien und Vorteilswirkungen

Dr. Ines Vogel – Freie Universität Berlin, AG Geoökologie

Die Anwendung von Biokohle in Gartenbau und Landwirtschaft mit den Zielrichtungen Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und langfristige Speicherung von Kohlenstoff in Böden wird derzeit vielfach kontrovers diskutiert.

Der Vortrag definiert klar die notwendigen Begrifflichkeiten und stellt sie an Hand von Beispielen vor – dieses umfasst sowohl den grundlegenden Begriff der Biokohle oder auch Pflanzenkohle und deren Unterscheidung nach Herstellungsprozess in Pyrochar (Produktion über Pyrolyse bei hohen Temperaturen) und Hydrochar (Herstellung im Verfahren der hydrothermalen Karbonisierung bei hohem Druck). Darüber hinaus wird eine Abgrenzung zwischen Biokohle und Biokohlesubstraten vorgenommen. Die Entfaltung der Wirkung von Biokohle in Böden wird durch die Vorab-Aktivierung ihrer Oberflächen beschleunigt, z. B. durch Mitkompostierung oder Beimengung zu Gülle oder Stallmist.

Für die Einbringung von Biokohle oder Biokohlesubstraten in Böden oder die Nutzung von biokohlehaltigen Substraten als Kultursubstrate sind die derzeit gültigen Regelungen von Bioabfall- sowie Düngemittelverordnung einzuhalten. Darüber hinaus sind für eine eindeutige rechtliche Verankerung für die Anwendung von Biokohle auf Böden die zulässigen Ausgangsstoffe zu definieren sowie Anforderungen an die Schadstofffreiheit analog zu den Vorsorgewerten der BBodSchV zu definieren. Eine weitere Leitlinie für Qualitätsanforderungen an Biokohle ist durch das Europäische Biokohlezertifikat gegeben. Ein Abgleich mit den Vorsorgeanforderungen entsprechend deutschem Bodenschutzrecht ist jedoch vorzunehmen, um die bestehenden Standards zu gewährleisten.

Nur Biokohlen, die diesen Anforderungen genügen, dürfen für die Ausbringung auf Böden, sowohl für landwirtschaftlich genutzte Böden als auch für die Herstellung von gärtnerischen Kultursubstraten zugelassen werden.

Diverse Untersuchungen im Rahmen von Forschungsprojekten, auch der Freien Universität Berlin AG Geoökologie, haben Vorteilswirkungen von Biokohle ergeben, insbesondere bei gemeinsamer Anwendung mit Komposten und Wirtschaftsdüngern. Es wurden u.a. positive Effekte auf die Bodenparameter Wasserkapazität, Kationenaustauschkapazität, den Gehalt an stabilem Kohlenstoff, aber auch die Emission von Treibhausgasen, die Auswaschung von Nährstoffen und die Effektivität der Düngung beschrieben.

Nach derzeitigem Erkenntnisstand bringt Biokohle nicht in jedem Einsatzfall positive Auswirkungen auf das Ertragsgeschehen. Um eine effektive und ökonomisch darstellbare Wirkung zu erzielen, sollte der Einsatz von Biokohle statt flächenmäßiger Applikation entsprechend den vorliegenden Bedingungen und Problemfeldern angepasst werden. Biokohle eignet sich so beispielsweise für den Einsatz auf sandigen armen Standorten insbesondere im Zusammenhang mit niedrigen pH-Werten. Darüber hinaus kann durch den Einsatz der Abbau verschiedener organischer Schadstoffe beschleunigt werden, da insgesamt die biologische Aktivität der Böden gefördert wird.

Ökonomisch darstellbar ist am ehesten ein Einsatz von Biokohle in der sogenannten Kaskadennutzung – beispielsweise Nutzung von Biokohle bereits im Stall zur Verbesserung des Stallklimas, Zufütterung zur Verbesserung der Tiergesundheit – Mitkompostierung – nachfolgende Ausbringung zur Düngung.

Links:

Schließung von Kreisläufen durch Energie- und Stoffstrommanagement bei Nutzung der Terra-Preta-Technologie im Botanischen Garten im Hinblick auf Ressourceneffizienz und Klimaschutz – Modellprojekt Urban Farming (*TerraBoGa*) <http://terraboga.de/>

Verbundprojekt LaTerra - Forschungsprojekt für Nachhaltige Landnutzung durch regionales Energie- und Stoffstrommanagement bei Nutzung der Terra-Preta-Technologie auf militärischen Konversionsflächen und ertragsschwachen Standorten: <http://laterra-forschung.de/>

Literatur:

R. Wagner, N. König, R. Schatten, K. Rößler, K. Terytze (2014): Utilization of organic waste in the Botanic Garden Berlin by producing and applying biochar substrates - Introduction and first results of the terraboga project, in: Bettendorf, T.; Wendland, C.; Otterpohl, R. 2014. Terra Preta Sanitation.

Vogel, I.; Terytze, K.; Wagner, R.; Worzyk, F.; Friede, K.; Schatten, R.; Rößler, K. und N. König (20013): Biochar meets compost – Ergebnisse unterschiedlicher Einsatzbereiche. Kongreßband ANS-Abfallwirtschaft meets biochar. Potsdam 02/03/10/2013. S. 149-158

Wagner, R.; Schatten, R.; Terytze, K.; König, N.; Stevens, A.-D.; Thomas, P. (2012): Schließung von Kreisläufen im Botanischen Garten von Berlin durch die Nutzung von organischen Rest- und Abfallstoffen zur Herstellung von Pflanzenkohlesubstraten. Müll und Abfall 3-12, S. 140-147

Worzyk, F.; Schatten, R.; Krüger, C.; Terytze, K.; Vogel, I. (2014): Auswirkung von Biokohle-Substraten und Biokohle auf Bodenparameter und Pflanzenwachstum MKW- und PAK- kontaminierter Böden. Altlasten spektrum 3/2014, 101-113

Terytze, K.; Vogel, I.; Worzyk, F.; Friede, K.; Schatten, R. und R. Wagner (2011): LaTerra – Ein Verbundvorhaben stellt sich vor. Altlasten spektrum 4 (2011), 184-185

„Eignung von Pflanzenkohle als Torfersatzstoff in gärtnerischen Kultursubstraten „

Elke Meinken, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Am Staudengarten 14, 85354 Freising, elke.meinken@hswt.de

Torf ist nach wie vor auf Grund seiner hervorragenden physikalischen und chemischen Eigenschaften der Hauptbestandteil gärtnerischer Kultursubstrate sowohl im Erwerbsgartenbau als auch im Hobbybereich. Angesichts der anhaltenden Diskussion über die Nachhaltigkeit des Einsatzes von Torf gewinnt die Verwendung alternativer Substratausgangsstoffe wie Holzfasern, Grüngutkompost, Rindenumus und Kokos aber zunehmend an Bedeutung. Diese Materialien tragen dazu bei, die endliche Ressource Torf zu schonen und durch Verringerung der CO₂-Emissionen der prognostizierten Klimaveränderung entgegen zu wirken.

Die Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger Torfersatzstoffe zu akzeptablen Preisen hat sich in den letzten Jahren allerdings deutlich verschlechtert, da bedingt durch die politische Zielsetzung ein erheblicher Teil der vorhandenen holzigen Reststoffe energetisch verwertet wird. Mit den Mengen, die der Substratwirtschaft derzeit zur Verfügung stehen, lässt sich allenfalls eine Torfeinsparung von etwa 10 % erreichen. Die Prüfung neuer Torfersatzstoffe wie z.B. Pflanzenkohle ist daher von hoher Aktualität.

Vor diesem Hintergrund wurden an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf Pflanzenkohlen, die sich bezüglich Ausgangsmaterial und Herstellungsverfahren unterschieden, auf ihre Eignung als Substratausgangsstoff getestet.

Das Untersuchungsprogramm umfasste:

- Laboranalysen hinsichtlich pH-Wert, Gehalte an löslichen Salzen und Nährstoffen, Schwermetallgehalte sowie C_{org}-Gehalt und C/N-Verhältnis
- Modellierung der Nährstoffsorption mittels Gleichgewichtsisothermen
- Inkubationsversuche zur Ermittlung der N-Dynamik bei 25 °C und definierter Feuchte über 3 Wochen

- Pflanzenversuche mit Basilikum und Impatiens Neu Guinea, wobei das N-Düngungsniveau dem der Kontrolle ohne Kohle entsprach
- Keimpflanzenteste zum Nachweis wachstumshemmender Stoffe unter Verwendung von Chinakohl, Salat und Gerste mit N-Ausgleichsdüngung
- Balkonkastenversuch mit gemischter Bepflanzung

Die erhaltenen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die meisten chemischen Eigenschaften von Pflanzenkohlen unterliegen einer großen Streubreite in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial und/oder den Prozessbedingungen.
- Pyrolyse-Kohle weist mit über 8 grundsätzlich einen deutlich höheren pH-Wert auf als HTC-Kohle, was bei empfindlichen Pflanzen zu Fe-Mangelsymptomen führen kann. Zudem ist in der Regel der Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff höher.
- Bei HTC-Kohle sind die durchgängig niedrigen Gehalte an löslichen Salzen und Nährstoffen als positiv herauszustellen. Dabei tritt das bei anderen Substratausgangsstoffen nicht bekannte Phänomen auf, dass das Extraktionsmittel CAL weniger Phosphat löst als CAT.
- Die Schwermetallgehalte von Pflanzenkohlen scheinen grundsätzlich erheblich unterhalb der Kennzeichnungsschwelle gemäß Düngemittelverordnung zu liegen.
- Vor allem HTC-Kohle immobilisiert ein Vielfaches der bei Holzfasern im Rahmen der RAL-Gütesicherung zulässigen N-Menge. Ohne N-Ausgleichsdüngung hat dies gravierende Wachstumsdepressionen zur Folge.
- Im Falle von HTC-Kohle kommt als Ursache für Minderwuchs auch das Vorhandensein phytotoxischer Stoffe in Betracht.
- Die bei Pflanzenkohlen beschriebene Aufnahme von Nitrat ist nicht auf Sorptionsvorgänge zurückzuführen. Ammonium wird demgegenüber sorbiert, allerdings sind die Mengen nur von geringer pflanzenbaulicher Relevanz. Kalium unterliegt grundsätzlich einer Desorption.

- P-Sorption tritt nur bei Pyrolyse-Kohlen auf. Da die Methodik (Art und Konzentration des Hintergrunds sowie pH-Wert) den Verlauf der Sorptionsisotherme maßgeblich beeinflusst, handelt es sich wohl eher um Fällungsvorgänge.

Als **Fazit** ist festzustellen, dass Pyrolyse-Kohle besser als Torfersatzstoff geeignet ist als HTC-Kohle. Insbesondere bei HTC-Kohle ist der Frage nachzugehen, wie ein stabiler N-Haushalt erreichbar ist und wie sich wachstumshemmende Stoffe vermeiden lassen. Ob dies gelingt und Pflanzenkohle dann in ausreichender Menge zu einem konkurrenzfähigen Preis der Substratindustrie zur Verfügung steht, bleibt abzuwarten.

Verminderung von Nitratauswaschungen und Lachgasemissionen durch Biochar

Claudia Kammann^{1,2,*})

Pflanzenkohle-Forschung: Warum gerade jetzt?

Im Zuge des sich beschleunigenden Klimawandels und der weltweit steigenden CO₂-Emissionen führte die Suche nach möglichen Mitigations- und Adaptationsstrategien zu einer stärkeren Wahrnehmung des Themas „Bodenkohlenstoff“. Grundsätzlich sind die Bodenkohlenstoffgehalte eines Ökosystems eine Funktion des Zusammenspiels von Bodenart, Nährstoffverfügbarkeit, langfristigem Klima und dem Kohlenstoff-Input (Bestandesabfall, Ernterückstände, Wurzelexsudate) und dem Kohlenstoff-Verlust durch Abbau und Mineralisation. (Eine hohe Bodenatmungsrate kann daher entweder das Resultat von hohen C-Inputs sein, oder das Resultat eines verstärkten Abbaus, oder von beidem – dies hängt jeweils vom Ökosystem-Zustand ab. Die Höhe der Bodenatmung sagt also nur etwas aus wenn man das Gesamtsystem kennt, ein bestimmter Wert ist nicht *per se* „gut“ oder „schlecht“.)

Die globale Erwärmung und anthropogene Eingriffe in natürliche Ökosysteme befeuern viele schnelle Rückverstärkungsmechanismen, über die weitere Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen. Bei (zusätzlichen) Hitzewellen beispielsweise gelangen durch Wald- oder Torf-/Moorbrände (Bsp. Russland 2010[1]) innerhalb weniger Tage und Monate große Mengen CO₂ in die Atmosphäre die zuvor über Jahrhunderte fixiert und großen Reservoirs aufgebaut worden sind (Bsp. Stammholz – Wald; Torfschichten; Bodenkohlenstoff). Wenn dann z.B. in Folge eines Brandes die photosynthetische Fixierung von CO₂ über die Folgejahre und Jahrzehnte stark reduziert ist, die Abbauprozesse aber weiter laufen, verliert das betreffende Ökosystem auch nach den eigentlichen Brandverlusten weiter Bodenkohlenstoff. Der Ökophysiologie C. Körner fasste dies „Verhalten“ des biosphärischen Kohlenstoffs in der Kurzformel zusammen „*Slow in, rapid out*“ [2]. Mit voranschreitendem Klimawandel und bei wachsender Weltbevölkerung intensivieren sich diese Rückverstärkungsmechanismen.

Für mich ist das Aufkommen der Biochar-Forschung in den letzten 8 Jahren daher kein Zufall, sondern Ausdruck eines Paradigmenwechsels: Wir nehmen stärker wahr, dass wir die Erdatmosphäre nicht weiter ungestraft als kostenlose Mülldeponie unseres sozioökonomischen Energiestoffwechsels benutzen können; und dass unser Tun Folgen hat.

Biochar – ein junges Forschungsfeld mit „Januskopf“

Wie jedes junge Forschungsfeld ist auch die Pflanzenkohle-Forschung voll von „Test- und Tast-Versuchen“, trial and error, und auch Ansätzen, die sich im Nachhinein als unpraktikabel oder gar unsinnig erweisen. Und wie viele „emerging fields“ wurde und wird es mit Erwartungen und

Befürchtungen komplett überfrachtet. Pflanzenkohle ist weder schwarzer Feenstaub, noch eine eierlegende Wollmilchsau – aber nach meiner Einschätzung eine unglaubliche facettenreiche Chance im Kampf gegen den Klimawandel, ein potentielles C-speicherndes Werkzeug, dass wir durch Forschung und Entwicklung zu formen haben. (Keine Neuentwicklung hat je anders begonnen.)

Ein Problem des Materials ist, dass es so viel Verschiedenes tun kann: Biochars können je nach Eigenschaften beispielsweise das Herbizid Glyphosat (Monsanto: Roundup) binden, wenn Biochar in größerer Menge eingebracht wurde, wie die Arbeiten einer Israelischen Gruppe zeigten[3, 4]. Ob dies nun „gut“ oder „schlecht“ ist liegt im Auge des Betrachters: Wer die Wirkung des Herbizides haben will, wird den Bindungseffekt nicht gut heißen; wer Bodensanierung mit Biochar betreiben will (z.B. bei organischen Kontaminationen) wird genau diesen Effekt suchen; und wer als Tierarzt chronischen Botulismus bei Rindern behandeln will, wird aufgrund genau dieser Eigenschaften von Biochar dieses als „carbo ligni“ medikamentiv in der Fütterung einsetzen. Daher sehe ich in den derzeitigen oft kontroversen Diskussionen das Spiegelbild der „Janusgesichtigkeit“ des Materials Pflanzenkohle.

Neben den angesprochenen Beispielen wie Sorption von Kontaminanten (wie Organika und Schwermetallen), der Amelioration von ungünstigen Bodenbedingungen (pH, Wasserhaltevermögen usw.) und gänzlich anderen Anwendungsfeldern (Bauindustrie, Papierherstellung, Tierhaltung) kreiste die Bodenbezogene Biochar-Forschung der letzten Jahre vor allem um die folgenden beiden Themenblöcke:

1. „C-Sequestrierung“, Kohlestabilität und Bodenkohlenstoff-Reservoirs: Wie stabil sind verschiedene Formen von Kohle, produziert aus verschiedenen Materialien mittels verschiedener Verfahren und Prozesse über längere Zeiträume? Führt die Einbringung von Biochar zu einem beschleunigten oder verzögerten Abbau des bereits vorhandenen Bodenkohlenstoffs (positives oder negatives „priming“)?
2. Senkung der Umweltkosten“ der Produktion landwirtschaftlicher Nutzpflanzen. Dies hat zwei Seiten (a) Ertragssteigerungen (stets gewünscht, oft erwartet, selten durch pures Biochar erfüllt) und (b) Verringerung negativer landwirtschaftlicher Begleiterscheinungen, wie die Reduktion Nitratauswaschungen ins Grundwasser und die Verringerung der Emissionen des klimaschädlichen Treibhausgases Lachgas (N_2O).

Der folgende Beitrag widmet sich vor allem Punkt 2, der Reduktion der unerwünschten Umwelteffekte.

Ausgangspunkt unserer Untersuchungen war die wenig überraschende Erkenntnis, dass die Nutzung großer Mengen purer Pflanzenkohle im Schnitt nur zu moderat-positiven Ertragseffekten führt[5, 6]. Diese weisen zudem eine große Schwankungsbreite auf, so dass die Effekte schlecht vorhersagbar sind, was den Einsatz unattraktiv macht. Positive Effekte waren meist an

die Verbesserung sehr ungünstiger Bodeneigenschaften durch Kohlegabe gekoppelt [7-9]. In der traditionellen Landnutzung hingegen wird seit Jahrhunderten Kohle in der Kompostierung eingesetzt (Bsp. Japan). Daher stellte sich uns die Frage, ob sich die Eigenschaften der Kohle durch Kompostierung verbessern lassen; und ob mögliche Verbesserungen an den Faktor „Nährstoffe“ gekoppelt sein würden. Diesen Fragen folgten wir mit zahlreichen Experimenten.

Material und Methoden

Die im Vortrag vorgestellten Ergebnisse stützen sich auf eine Reihe verschiedenster Studien in Gewächshäusern, Klimakammern, im Labor und im Freiland. Diese werden jeweils hier kurz vorgestellt, jedoch nicht im wissenschaftlich üblichen erschöpfenden Stil (Nachfragen bitte bei Bedarf an C. Kammann richten); fast alle Studien nutzten Sandböden, und in allen ging es um das Thema „Veränderung von Kohle durch Kompostierung, bzw. Alterung im Boden“.

Der Auftakt war eine komplett randomisierte dreifaktorielle Wachstumsstudie mit Quinoa im Gewächshaus über 81 Tage mit den Faktoren Kompostzugabe (+/- 2% w/w), geringe bzw. hohe Mineraldüngung (28 und 140 kg N/ha), und Pflanzenkohle-Zugabe-Art (keine, oder je 2% pure (BC_{pure}) oder mitkompostierte Kohlepartikel (BC_{comp}), ebenfalls Gewichstszugaben), um die Effekte dieser drei Faktoren „Biochar-Art“, „Kompost“ und „Düngung“ klar voneinander trennen zu können.

In einer weiteren **Klimakammer-Gefäß-Studie mit LUFA-Standard-Boden 2.2 und Gerste**, ebenfalls mit 2% BC_{pure}, BC_{comp} oder 0% Kohle (control), wurde ¹⁵N-markiertes Ammonium bzw. Nitrat appliziert; neben dem Pflanzenwachstum einschließlich ¹⁵N-Aufnahme und N- bzw. ¹⁵N-Dynamiken im Boden wurden über 30 Tage auch die Kohle-Partikel zurück gewonnen, und auf Gesamt-N und ¹⁵N-Anreicherung analysiert. (Erklärung „stabile Isotope“: ¹⁵N ist das stabile (=ungefährliche, nicht-radioaktive) Isotop des „normalen“ Stickstoffs (¹⁴N); wenn man es in Ökosystemstudien nutzt, so ist es, als hätte man den zugegebenen Stickstoff rot eingefärbt, während der normale N weiß ist. Am „Rosa-Grad“ lässt sich dann messend ablesen, welchen Weg der „rote“ Stickstoff genommen hat, und wie viel von ihm geflossen ist.)

In einer Studie an der Hochschule Geisenheim mit **Riesling-Rebstöcken in Groß-Containern** wurden jeweils 30 und 60 t ha⁻¹ Kompost, Biochar-Kompost (89% + 11% BC_{comp}) oder Kompost plus Biochar nachträglich (89% + 11% BC_{pure}) in einen sandig-armen Oberboden gemischt, der über einem Sand-Unterboden lag. Über eine Vegetationsperiode lang wurden die Rebstöcke nach der üblichen Praxis gezogen und gedüngt. Über Tröpfchen-Bewässerung wurde eine kontinuierliche Auswaschung erzeugt, und am Fuß der Container aufgefangen. Die Nitratauswaschung wurde über monatliche Probenahmen verfolgt, und zudem das Rebenwachstum und der Trauben-Ertrag gemessen.

In einem **Feldversuch** beobachteten wir mit steigender Kohlemenge im Oberboden in einer Frühjahrs-Tiefenbeprobung zum mineralischen Stickstoff-Vorrat **eine signifikante Nitratretention im Oberboden** (dort, wo die Kohle eingebracht war), bei signifikanter Reduktion des Nitrats im Unterboden (30 – 60 und 60 – 90 cm Tiefe). Dies Ergebnis und weitere in diese Richtung führten zu verstärkten **methodische Untersuchungen**: Um die Nährstoffbindung von BC_{pure} , BC_{comp} und Feld-gealterter Kohle zu charakterisieren, wurden Kohlepartikel aus den Böden oder Substraten gepickt, und mittels **Elektro-Ultra-Filtration** oder **wiederholten Extraktionen mit 2M KCl** und Wasser untersucht, teils bei Raumtemperatur, und teils im Wasserbad bei 80°C. Die Ergebnisse waren höchst überraschend.

Ergebnisse – eine zusammenfassende Betrachtung

Die **Kompostierung** veränderte durch **Nährstoffbindung** („Beladung“) die Eigenschaften des verwendeten Holzhackschnitzel-Biochars völlig, sodass die Zugabe von BC_{comp} das Pflanzenwachstum bei Nährstoffmangel auf 305% der Kontrolle steigerte. War die Nährstoffversorgung bereits gut (Bsp. +Kompost, +Düngung), fiel der fördernde Effekt geringer, aber immer noch signifikant aus (138% der Kontrolle). Wurde BC_{pure} eingesetzt, waren hingegen eher wachstumsreduzierende oder neutrale Effekte zu beobachten – wie sie aus Feldversuchen hier in Mitteleuropa bekannt sind.

Die mitkompostierte Kohle BC_{comp} zeigte bereits in der **EUF-Analyse** eine **überraschend starke Nitratbeladung bzw. -freisetzung**. Ein beachtlicher Teil des Nitrats und auch des Phosphats war so stark in den mit-kompostierten Biochar-Partikeln gebunden (EUF-Fraktion 2), dass er mit klassischen Methoden nicht annähernd vollständig extrahiert werden konnte. Erst wiederholte Extraktionen mit Wasser und KCl führten zur allmählichen Freisetzung; die Freisetzung wurde durch hohe Temperatur (80°C) gesteigert, was auf unkonventionelle Wasserbrückenbindungen hindeuten könnte[10]. Interessanterweise spielte die Partikelgröße für die extrahierbare Nitrat-Gesamtmenge keine Rolle. Durch wiederholtes Extrahieren mit Wasser und 2M KCl wurden bis zu 5300 mg Nitrat-N pro kg BC_{comp} abgelöst. Daher kann als sicher gelten, dass bei nitratbeladenen Kohlen nicht die gesamte gebundene Nitratmenge durch eine nur einstündige Extraktion mit Wasser oder KCl sichtbar werden wird ($CaCl_2$ wurde von uns noch nicht erprobt). Vermutlich werden durch Pflanzenkohle gebundene Nitratmengen generell unterschätzt.

Bei einer **2 Jahre im Feldversuch** (Sandboden, Groß-Gerau) gealterten Pyreg-Kohle (pyrolysierte Holzhackschnitzel-Siebreste) konnten immerhin 1100 mg Nitrat-N kg^{-1} Kohle-Partikel extrahiert werden, d.h. ohne dass die Kohle je Kontakt zu Kompost gehabt hätte. An diesem Feldstandort wurde bei einer Frühjahrs-Tiefenbeprobung des Bodenprofils im Februar 2014 eine signifikant höhere Nitratkonzentration im Oberboden-Kohlehorizont festgestellt, während die Nitratkonzentration in der Tiefe in den Biochar-Varianten signifikant reduziert war. Dennoch konnte 2014 (bei 0% Minereraldüngung) kein gesteigerter Gerste-Ertrag erzielt werden, was unsere Eingangshypothese zunächst komplett widerlegte. Die sequentielle Extraktion der Biochar-Partikel mit

Wasser und KCl ergab dann aber doch einen ersten Hinweis für das Gesamtverständnis des Phänomens: Während beim wachstumsfördernden BC_{comp} ein größerer Anteil des gebundenen Nitrats durch Wasser-Ausschüttelung (1:10) über 1 h ablösbar war, war dieser Anteil in der Feldgealterten Kohle viel geringer, sowohl absolut als auch relativ. Hier wurde erst durch die vierte sequentielle Ausschüttelung, 24 h mit 2M KCl, der größte Anteil des sequentiell extrahierbaren Nitrats abgelöst.

Eine **Studie mit ¹⁵N** brachte weiteres Licht ins Dunkel: Interessanterweise nahm die bereits mit Nitrat „vorbeladene“ BC_{comp} im Sandboden *mehr* ¹⁵N-Nitrat auf, als das anfangs nitratfreie BC_{pure}; nach 3 Tagen waren bis 60% des applizierten Nitrat-¹⁵N an BC_{comp} Partikel gebunden, obwohl diese nur 2 Massen-Prozent der Bodenmischung ausmachten. Dies deutet auf einen quasi aktiven Aufnahme- und Bindungsmechanismus hin. Ein klassisches Bindungsverhalten (Stichwort „Anionenaustausch-kapazität“) kann die gefundenen Mengen vermutlich nicht erklären. Die Nitrat-gefüllten BC_{comp} Partikel wirkten als „Austauscher“, sie nahmen ¹⁵N auf, gaben aber auch beide N-spezies wieder ab. Dies führt zur Frage nach der Pflanzenverfügbarkeit: Auch in dieser Studie steigerte BC_{comp} das Wachstum der Gerste-Jungpflanzen; interessanterweise wurde diese Steigerung aber erst signifikant, als das mineralische N des Bodens bzw. der Boden-Kohlemischungen (2M KCl) aufgebraucht war – BC_{comp} wirkte somit als Not-Reservoir für „schlechte Zeiten“. Trotz der hohen Nitratfracht am mitkompostierten Biochar waren die Lachgasemissionen in dieser Variante – wie auch die mit unbehandelter Kohle – in Summe über die Studie um über 60% reduziert. Eine signifikante Verminderung der Lachgasemissionen ist ein häufiger Effekt des Einsatzes von Biochar im Boden, wie eine jüngste Meta-Studie zeigte [14]

In der **Groß-Containerstudie mit Riesling** steigerte die Gabe von Kompost oder Biochar-Kompost (trotz einer Mineraldüngung) gleichermaßen das Pflanzenwachstum und den Traubenertrag, und reduzierte stets die Auswaschung von Nitrat. In der Kontrolle wurde durch die Tröpfchen-Bewässerung nahezu der gesamte N-Mineraldünger in Form von Nitrat wieder ausgewaschen. Die Zugabe von 30 und 60 t ha⁻¹ pures Biochar reduzierten die Nitratauswaschung um etwa 60%, die Kombination aus Kohle und Kompost war jedoch bedeutend effektiver als pures Biochar allein (bei viel geringerem Biochar-Anteil im Mischprodukt). Während es bei 60 t ha⁻¹ Kompostgabe kurz nach Einmischung zu einer stärkeren Nitratfreisetzung kam (die jedoch in Summe immer noch unter der der Kontrolle lag), trat dieser Effekt *nicht* auf, sobald Pflanzenkohle Teil der Mischung war (egal ob +11% BC_{comp} oder +11% BC_{pure}). Noch ist unklar, warum dieser Synergieeffekt auftritt, und die Mischung beider Materialien besser ist als die „Einzelteile“. Bei der EUF-Extraktion der BC_{comp} Partikel bestand eine signifikante Korrelation zwischen der Freisetzung von Nitrat und DOC (*dissolved organic carbon*). Ob dies aber auch einen ursächlichen Zusammenhang hat, und bei der Genese von Schwarzerden eine Schlüsselrolle spielt ist derzeit unklar.

Eine **mögliche Erklärung für die starke Nitrataufnahme** der kompostierten und auch Feldgealterten Kohle könnte in dem von Conte et al.[10, 11] kürzlich beschriebenen Wechselwirkun-

gen (unconventional H-bonding) der Wassermoleküle um das Nitrat-Ion mit den Kohleoberflächen des Porenraums sein. Diese Wechselwirkungskräfte schwächen sich ab 50°C stark ab – was sich mit der beobachteten stoßartigen Freisetzung von Nitrat nach Temperaturerhöhung auf 80°C (EUF) gut decken würde. Weitere Untersuchungen laufen, gemeinsame Publikationen sind in Vorbereitung.

Fazit

Wie vermutet **verbesserte das Mitkompostieren die Eigenschaften der Pflanzenkohle** stark im Hinblick auf das Pflanzenwachstum, und wie vermutet ist ein Nährstoffeffekt beteiligt oder sogar dominant. Die aktive Nitrataufnahme der Pflanzenkohle („*nitrate capture*“), und deren Ausmaß hingegen war überraschend; im Allgemeinen wird eher eine Ammoniumbindung erwartet. Möglicherweise wird die in Kohle-Böden gebundene Nitratmenge (d.h. die in den Biochar-Partikeln) generell mit Standardextraktionsmethoden unterschätzt, hierzu bedarf es weiterer Tests.

Wir nehmen an (Arbeitshypothese), dass erst eine gewisse Menge Nitrat (und ggf. andere Nährstoffe) in der Kohle gebunden sein muss, bevor diese als „Austauscher-Puffer“ wirken, und für Pflanzen als „Nachlieferungsreservoir“ wirksam werden kann.

Die beobachteten Effekte unterstreichen, dass die **Kombination von C-reicher Pflanzenkohle mit N-reichen organischen Reststoffen** (Festmist, Gülle, Gärreste) sinnvoll und zielführend ist. Wenn, wie angenommen, diffusive Prozesse eine große Rolle spielen, und der Austausch in der wässrigen Phase von Temperaturen über 50°C erleichtert wird, dann könnte dies erklären, warum die aerobe Mieten-Kompostierung (mit einer thermophilen Phase bis 70°C) besonders positiv wirkte. Umgekehrt könnten höhere Temperaturen zur „Beladung“ von Kohle mit Nährstoffen genutzt werden. Die Kurz-Formel für die Kompostierung organischer Reststoffe könnte daher später einmal lauten: „*Pyrolyze the (nutrient-poor woody) rest, and compost it with the (nutrient-rich) best*“, wobei „best“ ausdrücken soll, dass Siedlungs- und Landwirtschafts-Abfälle eigentlich Sekundärrohstoffe sind (im Sinne des Kreislaufwirtschafts- statt Entsorgungsgedankens).

Interessant ist auch die Beobachtung, dass die **Nitrat-Auswaschung durch Kompost-Kohle-Kombinationen am deutlichsten reduziert** wurde. Dies hat zwei Implikationen (wenn dieser Effekt durch weitere Forschungen bestätigt wird, was wir derzeit annehmen).

(1) Kompost-Verbesserung durch Kohle: Von Kohle-Komposten könnten größere Mengen eingesetzt werden als von purem Kompost, ohne dass Nitratauswaschungen ins Grundwasser zu befürchten sind. Gerade in Regionen mit sandigen, leichten Böden und bekannter Grundwasserbelastung könnte dies zum Grundwasser- und Gewässerschutz gezielt eingesetzt werden –

und die Erträge, sowie die Resilienz gegenüber Extremereignissen (Starkregen, Dürre) im Zuge des Klimawandels, könnten sehr wahrscheinlich gesteigert werden.

(2) Kohle-Verbesserung durch Kompostierung: Die Nitrataufnahme der Kohle verbesserte sich durch vorherige Kompostierung (¹⁵N Studie) – unbehandelte Kohle zeigte gleiche Effekte, jedoch weniger ausgeprägt. Die Kompostierung könnte daher eine Beschleunigung derjenigen Vorgänge bedeuten, die vermutlich sonst auch sehr viel langsamer über Jahre und Jahrzehnte im Boden ablaufen.

Die beobachtete **Nitratbindung** könnte eine der **Ursachen für die häufig beobachtete Reduktion von Lachgasemissionen** in Kohle-angereicherten Böden[12] oder in der Kompostierung[13] sein; sowohl Nitrat als auch DOC wurden sorbiert, und beide sind obligatorische Substrate für denitrifizierende Mikroorganismen, die hauptsächlich für die Lachgasemissionen von landwirtschaftlich genutzten Böden verantwortlich sind. Da Mikroorganismen ca. 1 µm groß sind (Durchmesser), Pflanzenkohlen aber zahlreiche Poren mit Durchmessern von <100 nm aufweisen, wäre sorbiertes Nitrat für sie nicht mehr verfügbar.

Es bleibt die Frage nach der unmittelbaren Nutzwirkung für das Pflanzenwachstum: Wir nehmen an, dass es einen „Trade-off“ Punkt zwischen den beiden gewünschten Wirkungen „verringerte Nitratauswaschung“ und „verbessertes Pflanzenwachstum“ geben wird. Daher ist ein verbessertes mechanistisches Grundverständnis der Nitrat- (und sonstigen Nährstoff-) Bindung in verschiedenen Pflanzenkohlen eine Grundvoraussetzung, um die gewünschten positiven Effekte nicht nur praktisch, sondern vielmehr gezielt nutzbar zu machen (Stichwort „*designer chars*“). Gerade für die **biologische Landwirtschaft** mit ihrer engeren Verzahnung von Viehhaltung und Landnutzung, so wie der Notwendigkeit, organische Düngemittel effektiv zu nutzen, ist die Option „Pflanzenkohle als Nährstoffträger“ m.E. sehr interessant.

Eine solche sich bietende Chance zur Verbesserung der „Umweltkosten“ pro Einheit erzeugten Ertrags bei gleichzeitiger Kohlenstoff-Sequestrierung nicht zu ergreifen, und dieses Werkzeug „Pflanzenkohle-Nutzung“ nicht über weitere Forschung zu optimieren käme meiner Auffassung nach einer gesellschaftlichen Bankrotterklärung gleich – derjenigen Gesellschaft, die kräftig an dem globalen Problem mitgewirkt hat vor dem wir jetzt stehen.

Zitierte Literatur

1. Barriopedro, D., E.M. Fischer, J. Luterbacher, R.M. Trigo, R. García-Herrera, 2011: The hot summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe. *Science*, 332: 220-224.
2. Körner, C., 2003: Slow in, rapid out - carbon flux studies and Kyoto targets. *Science*, 300: 1242-1243.
3. Graber, E.R., L. Tsechansky, Z. Gerstl, B. Lew, 2012: High surface area biochar negatively impacts herbicide efficacy. *Plant and Soil*, 353: 95-106.

4. Graber, E.R., L. Tsechansky, J. Khanukov, Y. Oka, 2011: Sorption, volatilization, and efficacy of the fumigant 1,3-dichloropropene in a biochar-amended soil. *Soil Science Society of America Journal*, 75: 1365-1373.
5. Jeffery, S., F.G.A. Verheijen, M. van der Velde, A.C. Bastos, 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.
6. Liu, X., A. Zhang, C. Ji, S. Joseph, R. Bian, L. Li, G. Pan, J. Paz-Ferreiro, 2013: Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions—a meta-analysis of literature data. *Plant and Soil*, 373: 583-594.
7. Cornelissen, G., V. Martinsen, V. Shitumbanuma, V. Alling, G. Breedveld, D. Rutherford, M. Sparrevik, S. Hale, A. Obia, J. Mulder, 2013: Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation farming sites in Zambia. *Agronomy*, 3: 256-274.
8. Baronti, S., F.P. Vaccari, F. Miglietta, C. Calzolari, E. Lugato, S. Orlandini, R. Pini, C. Zulian, L. Genesio, 2014: Impact of biochar application on plant water relations in *vitis vinifera* (L.). *European Journal of Agronomy*, 53: 38-44.
9. Vaccari, F.P., S. Baronti, E. Lugato, L. Genesio, S. Castaldi, F. Fornasier, F. Miglietta, 2011: Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Journal of Agronomy*, 34: 231-238.
10. Conte, P., U.M. Hanke, V. Marsala, G. Cimò, G. Alonzo, B. Glaser, 2014: Mechanisms of water interaction with pore systems of hydrochar and pyrochar from poplar forestry waste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62: 4917-4923.
11. Conte, P., V. Marsala, C. De Pasquale, S. Bubici, M. Valagussa, A. Pozzi, G. Alonzo, 2013: Nature of water-biochar interface interactions. *Global Change Biology - Bioenergy*, 5: 116-121.
12. Kammann, C., S. Ratering, C. Eckhard, C. Müller, 2012: Biochar and hydrochar effects on greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) fluxes from soils. *Journal of Environmental Quality*, 41: 1052-1066.
13. Wang, C., H. Lu, D. Dong, H. Deng, P.J. Strong, H. Wang, W. Wu, 2013: Insight into the effects of biochar on manure composting: Evidence supporting the relationship between n₂o emission and denitrifying community. *Environmental Science & Technology*, 47: 7341-7349.1.
14. Cayuela, M.L., L. van Zwieten, B.P. Singh, S. Jeffery, A. Roig, M.A. Sánchez-Monedero, 2014: Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: A review and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191: 5-16.

*) Die vorgestellten Ergebnisse wurden mit Hilfe bzw. in Kooperation mit folgenden Personen erarbeitet:

Messerschmidt, Nicole¹; Schmidt, Hans-Peter³, Haider, Ghulam¹, Mengel, Jonathan², Linsel, Sebastian¹, Löhnertz, Otmar²; Steffens, Diedrich¹, Koyro, Hans-Werner¹, Müller, Christoph¹ und Conte, Pellegrino⁴

¹)Universität Gießen; ³)Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland; ⁴)University Palermo, Italien; ²)Hochschule Geisenheim University, Von-Lade-Str. 1, 65366 Geisenheim; *claudia.kammann@hs-gm.de



Regenwurmloch durch Pflanzkohle im Kompost

Impressum:

BUND Region Hannover
Goebenstr. 3a
30161 Hannover

bund.hannover@bund.net
www.bund-hannover.de

Redaktion: Sibylle Maurer-Wohlatz

Foto Titelseite: Andrea Preißler-Abou El Fadil „Milpa Experiment in 4 Beetkisten mit jeweils gleicher Bepflanzung auf unterschiedlichen Substraten: Hier Pflanzkohle-Kompost-Kiste

Foto Rückseite: Ithaka Journal / Andreas Thomsen

Druck: PRISMA Print Xpress GmbH

100 % Recyclingpapier