

Chancen und Risiken von Pflanzenkohle

von Claudia Kammann

Pflanzenkohle ist kein Wundermittel, sondern muss wie jedes neuartige Werkzeug erst geformt werden. Wenn Pflanzenkohle wirksam sein soll, benötigt sie nicht weniger Entwicklungsarbeit, als dies alle Werkzeuge und Techniken in der Menschheitsgeschichte verlangten. Es besteht die Gefahr, dass überzogene Erwartungen an ein unausgereiftes «Wundermittel» dazu führen, dass es bei ersten Misserfolgen abgelehnt und damit eine echte Chance vertan wird. «Wunder» dauern, und verlangen harte Arbeit. Diese hat gerade erst begonnen.

Als 2008 am Interdisziplinären Forschungszentrum (IFZ) der Justus-Liebig-Universität Gießen (JLU) mit der Pflanzenkohle-Forschung begonnen wurde war das Thema in Deutschland noch wenig bekannt. Seither hat es eine damals kaum vorhersehbare Expansion erfahren. Im nachfolgenden Text wird ein Querschnitt durch den aktuellen Wissensstand gegeben und eine Reihe eigener Forschungsergebnisse vorgestellt.

Einführung: Globaler Klimawandel, Bodenkohlenstoff und C-Sequestrierung

Die natürlichen CO₂-Senken unseres Planeten – v.a. boreale Wälder und Ozeane – haben stets ca. 40% des anthropogen emittierten CO₂ aufgenommen (IPCC, 2007); diese Senken werden sich jedoch mit steigender Erderwärmung eher verringern

als erhöhen. Daher wird sich der CO₂-Anstieg in der Atmosphäre nicht nur durch unseren steigenden Konsum von fossilem Kohlenstoff (C) beschleunigen, sondern auch dadurch, dass weniger in den natürlichen Senken gespeichert wird. Mit anderen Worten: Der CO₂-Anstieg in der Atmosphäre wird sich weiter beschleunigen (IPCC, 2007). Daher ist es höchste Zeit, weltweit mit allen Mitteln und vereinten Kräften unsere Abhängigkeiten von fossilem Kohlenstoff zu verringern und neue Strategien zur C-Sequestrierung zu entwickeln.

In Böden ist global mehr als das Doppelte des C-Gehalts der Atmosphäre gespeichert (IPCC, 2001; 2007). Die globalen C-Flüsse zwischen Boden/Biosphäre und Atmosphäre betragen jährlich etwa 240 Pg (Gigatonnen) Kohlenstoff in beide Richtungen (Brutto-Primärproduktion plus Mineralisierung). Kleine Änderungen im Bodenkohlenstoff-Pool können daher in wenigen Jahrzehnten große Auswirkungen auf den CO₂-Gehalt der Atmosphäre haben (Lal, 2009). Durch die sich beschleunigende Erderwärmung mit der einhergehenden Zunahme von Extremereignissen – Starkniederschläge, Dürren, Hitzewellen, Feuer – wächst die Gefahr rascher Bodenkohlenstoff-Verluste und damit eine Selbstverstärkung des Treibhauseffekts (positive feedback mechanisms). Diese erleben wir bereits heute: Beispiele sind der Hitzesommer 2003 in Europa mit anormal hohen Netto-Kohlenstoff-Verlusten (Ciais et al. 2005), die Torfbrände während der Mega-Hitzewelle 2010 in Russland (Bar-

Auch wenn die akademische Forschung noch mit viel Vorsicht agiert, so ist der Einsatz der Pflanzenkohle längst in der agronomischen Praxis angekommen. In ganz Europa wurden 2011 bereits über 1000 Hektar mit Karbon Düngern, Pflanzenkohle-Komposten und Pflanzenkohle-Gülle gedüngt. Viele tausende Kühe erhalten mit ihrem Futter Zusätze von Pflanzenkohle, Gülle und Mist in zahlreichen Ställen durch Pflanzenkohle stabilisiert. Die Erfolge der Praxis sprechen für sich. Hätte die Forschung beim Einsatz von synthetischen Düngern, Pestiziden und artuntypischen Futtermitteln ähnliche Vorsicht walten lassen, wäre die Zukunft des landwirtschaftlichen Raumes bei weitem nicht so gefährdet.

Dank der Pflanzenkohle-Forschung kann die Praxis bereits auf fundierte Daten und Risikoevaluierungen zurückgreifen, aber wenn die Praxis warten würde, bis die Universitäten jedes mikrobielle Detail der organischen Pflanzenkohle erforscht haben, würde die Verschmutzung und Vergiftung unserer Böden, Gewässer, Tiere und pflanzlichen Biodiversität durch chemische Dünger, Pestizide und artuntypische Futtermittel zu unverantwortlichen Folgen führen. Wenn wir nicht in der Praxis zu handeln beginnen, wird die Umkehr immer aussichtsloser.



riopedro et al. 2011), die Überflutungen in Pakistan oder Australien oder die derzeitige Dürre in Afrika (Boden-C-Verluste noch unklar).

Bodenkohlenstoffverluste bedeuten stets Fruchtbarkeitsverluste; immer mehr Menschen mit steigenden Ansprüchen müssen von einer global gesehen schrumpfenden Ackerfläche versorgt werden (lesenswert: Vale und Vale (2009)). Die Beschäftigung mit dem Thema Bodenkohlenstoffaufbau ist daher ein Gebot der Stunde. Eine vielversprechende Minderungs- und Anpassungsstrategie mit großem, aber für Europa kaum erforschtem Potenzial ist die Einbringung von Pflanzenkohle in Böden (Hansen et al. 2008; Lal, 2009; Lehmann 2007). Dieser Weg könnte zumindest theoretisch einen echten Beitrag zum CO₂-Entzug aus der Atmosphäre leisten (Wooff et al. 2010) – er wäre genau die Umkehrung dessen, was die Menschheit seit Beginn der industriellen Revolution betrieben

hat. Dieses «CCSS-Verfahren» (carbon capture and soil storage) funktioniert prinzipiell schon heute über altbewährte und neu entdeckte Prozesse wie Photosynthese, Pyrolyse und Humusaufbau.

Jedes neuartige, nützliche Werkzeug benötigt jedoch Schmiearbeit. Pflanzenkohle ist bei aller Hoffnung auf ein Wunder(mittel) kein Feenstaub oder Zauberpulver, das überall im Handumdrehen einen Garten Eden sprießen lässt. Wenn es gegen den Klimawandel gerichtet sein soll, wenn es degradierten, humusverarmten Böden Fruchtbarkeit zurück bringen soll, dann benötigt es nicht weniger Entwicklungsarbeit, als dies alle Werkzeuge und Techniken in der Menschheitsgeschichte verlangten.

Terra Preta und Biochar: Die Neugeburt einer uralten Idee

Die noch junge Idee, aus Biomasse hergestellte Kohle zur Bodenverbesserung einzusetzen, hat ihren Ursprung in der Erforschung der Amazonas-Schwarzerde-Böden oder auch Terra Preta (Sombroek, 1966: In Glaser et al. 2001). Diese Böden finden sich in begrenzten Arealen von meist 1–20 ha entlang der großen Flusssysteme Brasiliens. Im Gegensatz zu den armen, stark verwitterten Oxisol-Böden sind sie sehr fruchtbar, nährstoff- und humusreich, weisen höhere pH-Werte sowie eine verbesserte Wasserspeicherfähigkeit auf und ermöglichen mehrere Ernten im Jahr (Glaser et al. 2001; Glaser und Birk 2011; Steiner et al. 2008). Lange Zeit war unklar, ob diese Böden natürlich entstanden oder anthropogenen Ursprungs sind; mittlerweile gilt letzteres aber als gesichert. Die Tonscherben, Biochar-Partikel, Siedlungsabfälle und Fäkalreste in der Terra Preta sind bis 2000 Jahre alt oder älter (Glaser und Birk 2011).

Auch wenn die akademische Forschung noch mit viel Vorsicht agiert, so ist der Einsatz der Pflanzenkohle längst in der agronomischen Praxis angekommen. In ganz Europa wurden 2011 bereits über 1000 Hektar mit Karbon-Düngern, Pflanzenkohle-Komposten und Pflanzenkohle-Gülle gedüngt. Viele tausende Kühe erhalten mit ihrem Futter Zusätze von Pflanzenkohle; Gülle und Mist werden in zahlreichen Ställen durch Pflanzenkohle stabilisiert. Die Erfolge der Praxis sprechen für sich. Hätte die Forschung beim Einsatz von synthetischen Düngern, Pestiziden und artuntypischen Futtermitteln ähnliche Vorsicht walten lassen, wäre die Zukunft des landwirtschaftlichen Raumes bei weitem nicht so gefährdet. Dank der Pflanzenkohle-Forschung kann die Praxis bereits auf fundierte Daten und Risikoevaluierungen zurückgreifen, aber wenn die Praxis warten würde, bis die Universitäten jedes mikrobielle Detail der organischen Pflanzenkohle erforscht haben, würde die Verschmutzung und Vergiftung unserer Böden, Gewässer, Tiere und pflanzlichen Biodiversität durch chemische Dünger, Pestizide und artuntypische Futtermittel zu unverantwortlichen Folgen führen. Wenn wir nicht in der Praxis zu handeln beginnen, wird die Umkehr immer aussichtsloser. (hps)

In diesen Schwarzerden trägt pyrogener, stabiler C und ein erhöhter Humusgehalt zur gesteigerten Fruchtbarkeit bei (Glaser et al., 2001; Glaser und Birk 2011). Die verwitterten C-Partikel besitzen durch ihre Porosität eine große Oberfläche, gehen mit Humusstoffen eine Verbindung ein und wirken so an ihren Außenflächen als Ionenaustauscher (Cheng et al. 2006; Glaser und Birk 2011; Liang et al. 2006). Für die durch Verschmelzung entstandene Kohle setzte sich rasch der engl. Begriff Biochar (wörtlich Biokoks) durch, wobei «bio» lediglich für biogenes Ausgangsmaterial steht.

Im Deutschen wurde der englische Begriff Biochar seit 2009 meist durch Biokohle übersetzt. Um Verwechslungen mit biozertifizierten Landwirtschaftsprodukten zu verhindern, hat sich die produzierende Branche jedoch mittlerweile auf den neutralen Begriff Pflanzenkohle geeinigt (Schmidt, 2011). Teilweise wird allerdings auch die frühere Übersetzung noch verwendet.

Die ersten Experimente mit Biochar wurden in Brasilien und Australien auf degradierten oder wenig fruchtbaren Böden durchgeführt. In den letzten zwei Jahren wurden auch in den USA, Kanada, Indonesien, China oder Europa erste Experimente angelegt. Aus temperaten Zonen liegen daher zurzeit kaum verallgemeinerbare Ergebnisse vor. Bisher zeigten Biochar-Applikationen vor allem dann eine Reihe positiver Wirkungen, wenn vorhandene negative bzw. ungünstige Bodeneigenschaften verbessert werden konnten. Die beobachteten Wirkungen umfassten:

- > Ertragsteigerungen, verbesserte Nährstoffnutzungseffizienz (Blackwell et al. 2009, 2010; Chan et al. 2008; Oguntunde et al. 2004; Steiner et al. 2007),
- > Verbesserung der Wasserversorgung (Glaser et al. 2002; Oguntunde et al. 2004),
- > Steigerung/Induktion der Nitrifikation in Nadelwald-Böden (Ball et al. 2010),
- > Retention bzw. Bindung von Schwermetallen (Buss et al. 2011; Namgay et al. 2010) und Pestiziden/Herbiziden (Kookana 2010),
- > Reduktion Treibhausgasemissionen (van Zwieten et al. 2009),
- > C-Sequestrierung (Lehmann et al. 2008; Rodionov et al. 2010; Kuzyakov et al. 2009; Lehmann et al. 2009).

Daher birgt die gezielte Anwendung von Pflanzenkohle wahr-

scheinlich das Potenzial einer mehrfachen win-win Situation (Lehmann 2007; Marris 2006). Pflanzenkohlen können jedoch je nach ihrem Ausgangsmaterial und ihren Herstellungsbedingungen unglaublich verschieden sein. Verstärkt wird dies noch durch die Kombinationen von Pflanzenkohlen, Klimazonen, Böden und Nutzpflanzen. Ob, wann und welcher Nutzen sich einstellt, hängt also sehr von der jeweiligen Gesamtsituation ab.

Es wurde auch schon von Ertragsreduktionen berichtet, z.B. beim Einsatz von Biochar in bereits fruchtbaren Böden, was offenbar durch kurzfristige Immobilisierung von Nährstoffen erklärt werden kann. Zu Ertragsreduktionen kann es auch kommen, wenn die Bodeneigenschaften durch Biochar ungünstig beeinflusst werden, z.B. durch Einbringung alkalischer Pflanzenkohle in Kalkböden (van Zwieten et al. 2010a). Vor diesem Hintergrund hat es sich als sinnvoll gezeigt, Pflanzenkohle in Mischung mit nährstoffreichen Materialien wie Kompost, Gülle, Festmist, Gärreste oder Dünger zu applizieren, so wie dies bei der Terra Preta Genese wahrscheinlich auch der Fall gewesen ist. Hoffnungsvoll scheint auch die Möglichkeit, Pflanzenkohle direkt in Managementstrategien von Stoffströmen mit einzubeziehen (z.B. Mitkompostierung, Stalleinstreu, Güllebehandlung).

Pflanzenkohle in Böden – Segen oder Gefahr?

Bevor an die Einbringung von Pflanzenkohlen oder Pflanzenkohle-Substraten in oder auf landwirtschaftlich genutzte Böden in größerem Maßstab gedacht werden kann – egal, ob mit dem Ziel der C-Sequestrierung, der Verbesserung der Fruchtbarkeit oder als Anpassungsstrategie an den Klimawandel – sind zahlreiche offene Fragen zu klären. Besonderes Augenmerk muss potenziellen Gefahren der Pflanzenkohle-

Anwendung gelten: Eine starke Stimulation der Lachgasemissionen durch Zugabe von Pflanzenkohle könnte einen Teil der C-Sequestrierung hinsichtlich der Klimawirksamkeit wieder zunichtemachen, eine Senkung der Lachgasemissionen die Klimawirksamkeit jedoch noch verbessern. Es ist offensichtlich, dass sich Pflanzenkohlen nicht schnell zersetzen dürfen, falls sie der C-Sequestrierung dienen sollen; auch darf die alte organische Substanz des Bodens nicht verstärkt abgebaut werden (Wardle et al. 2008). Ebenso wichtig ist es, belastbare C-Sequestrierungsfaktoren sowohl unter exakt kontrollier- und vergleichbaren Laborbedingungen (Reproduzierbarkeit) als auch in Feldstudien (Extrapolierbarkeit) zu ermitteln, vor allem, falls Biochar oder HTC-Kohlen zukünftig als Minderungsmaßnahme anerkannt werden sollten (Libra et al. 2011).

HTC-Kohle und Biochar – Das Gleiche «in Schwarz»? Pflanzenkohle-Stabilität

Die vor allem im letzten Jahr erzielten Forschungsergebnisse zeigen deutlich, dass HTC-Kohlen (auch Hydrokohlen oder Hydrochar genannt) und pyrogene Pflanzenkohlen (Biochar) bezüglich ihrer Stabilität und chemischen Struktur zwei unterschiedliche Substanzgruppen sind (Cao et al. 2011; Libra et al. 2011): Der «black carbon»-Gehalt und die Aromatizität von HTC-Kohlen ist sehr viel geringer, ihre Stabilität ist es ebenfalls (Steinbeiss et al. 2009; Kuzyakov et al. 2009).

An der Universität Gießen laufen in drei verschiedenen Arbeitsgruppen verschiedene Studien, die sich mit der C-Stabilität in unterschiedlichen Ansätzen und Methodiken beschäftigen (ku mulative CO₂ Emissionen; stabile Isotope; C-Gehalt und Isotopensignatur der Bodenaggregate):

- > Institut für Pflanzenökologie: Labor- und Feldstudien (Kammann et al., 2011a,b) u.a. mit HTC- und Biochar gleichen

Durch Einsatz von Pflanzenkohle in der Güllebehandlung können die Stickstoffverluste um über 50% reduziert werden, was eine direkte Reduktion der Treibhausgasemissionen bedeutet und die Düngeeffizienz der Gülle entsprechend steigert.



- Ausgangsmaterials, verglichen mit Edukt.
- > Institut für Pflanzenernährung: Kinetik der C-Mineralisierung verschiedener Biochar gegenüber Stroh (Qayyum et al. 2011)
 - > Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement: Entwicklung eines Routineverfahrens zur Bestimmung der Abbaurate von Biochar im Boden (DBU-Projekt Nr. 29031)
- Es zeichnet sich ab, dass die bisher von uns getesteten HTC-Kohlen rasch oder zumindest nachweisbar mineralisiert werden, zumindest im ersten Jahr (Kammann et al. 2011b; Qayyum et al. 2011). Wir beobachteten aufgrund des hohen Anteils an labilem C (bei gleich eingestellter Wasserkapazität) anfangs einen starken Schimmelpilzbewuchs bei beiden getesteten HTC-Mischungen jedoch nicht bei den vier Biochar-Mischungen (Kammann et al. 2011b). Auch bei Nutzung von HTC-Biokohle

und Biochar aus dem gleichen Ausgangsmaterial (*Miscanthus × giganteus*) war es die HTC-Biokohle die zersetzt wurde, während die Zersetzung bei Biochar nur kurz zu Beginn nachweisbar war. In einem Wachstumsversuch mit Pflanzenbewuchs war die CO₂-Abgabe der mit HTC-Kohle versetzten Böden sogar signifikant höher als die einer gleichen Menge unkarbonisierten Ausgangsmaterials, während die der Biochar-Mischungen sich (bei gleich starkem Bewuchs) nicht von der der Kontrolle unterschied.

Wirkung auf Pflanzen

Oft wurden mit frischer HTC-Kohle zunächst negative Wirkungen auf das Pflanzenwachstum beobachtet (Busch et al. 2011; Rillig et al. 2010; Ha, 2011), die sich nicht nur durch N-Immobilisierung des größeren Anteils an labilem C und des vermutlich leichter degradierbaren HTC-Kohlenstoffs erklären

lassen. HTC-Kohle scheint das Mycorrhiza-Wachstum zu fördern (Rillig et al. 2010); auch scheinen Pilze an der Zersetzung stark beteiligt zu sein (zahlreiche eigene Beobachtungen).

Wir konnten zudem mittels Biotox-Tests zeigen, dass frische HTC-Kohlen phytotoxische Gase emittieren können (Busch et al., 2001). Selbst nach 1,5 Jahren Lagerung einer getrockneten HTC-Kohle trat noch eine signifikante Keimungshemmung auf (Pflanzenkohle-adaptierter Salatkeimungstest ISO-17126, Busch et al. 2011). Kompostwürmer (*Eisenia fetida*) mieden häufig die mit HTC-Kohle versetzte Gefäßseite signifikant gegenüber der Seite ohne Kohlezugabe (Biokohle-adaptierter Regenwurmvermeidungstest, ISO-17512, Busch et al. 2011). Die Ursache ist noch unklar. Bei Biochar wurden «saubere» Kohlen oft sogar signifikant bevorzugt während PAK-belastete Biochar signifikant gemieden wurden (Busch et al., 2011). Die negative Wirkung trat nicht bei allen HTC-Kohlen gleichermaßen stark auf. Auch berichten andere Gruppen mit anderen HTC-Kohlen nicht von negativen Wirkungen bei Verwendung gleicher Testverfahren (Palmu & Ercolano, mündl. Mitt.). Zudem scheint sich die negative Wirkung nach einiger Zeit ins Gegenteil zu verkehren (Busch et al. 2011). Eine eingehende Prüfung der Pflanzenkohle vor Feldapplikation ist daher erforderlich. Zudem sollten negativ wirkende Stoffe durch Kombination von Biotox-Tests mit chemischen Analysen identifiziert und durch Prozessparameteranpassung sowie Wahl geeigneter Edukte eliminiert werden.

Eine besondere Wirkungsweise der oft hochporösen Biochars (300–700 m² Oberfläche pro g Biochar) ist die Veränderung des Wasserhaltevermögens, dass mit steigender Biochar-Zugabe ansteigen kann (Kammann et al. 2011a,b), aber nicht muss (Buss et al. 2011). In letztgenannter Studie stieg jedoch die Wasserleitfähigkeit, da signifikant höhere Wassergehalte in

20 cm hohen Töpfen mit Dochtbewässerung gemessen wurden. In einer anderen Gewächshaus-Studie mit kohlehaltigen organischen Substraten (Palaterra®) konnte in einer Loess-Parabraunerde eine leichte Verbesserung des Mais-Ertrags unter Wassermangel-Bedingungen festgestellt werden, sonst jedoch erbrachte die Zugabe des Substrates keine Wuchsverbesserungen. In einem Versuch mit stark sandiger Braunerde zeigte sich durch Zugabe von Biochar (Eprida, USA) eine signifikante, stark gesteigerte Wassernutzungs- sowie N-Nutzungseffizienz bei Quinoa-Pflanzen, vor allem bei latentem Wassermangel (Kammann et al. 2011a). Es ist sehr wahrscheinlich, dass Verbesserungen eher auf sandigen als auf tonigen Böden erzielt werden können.

Über die Wirkung von HTC-Kohle auf den Boden- und Pflanzenwasserhaushalt existieren im Vergleich zu Biochar bisher kaum Ergebnisse (Libra et al. 2011). Weber (2010) beobachtete in seinen Untersuchungen, dass die Verfügbarkeit von Phosphor für Deutsches Weidelgras durch Zugabe von Soda zur Carbonisierung von organischen Abfällen mit dem NTK-Verfahren deutlich verbessert wurde. Dieser Befund verdeutlicht, dass mit Biochars Nährstoffe (K, Ca, Mg, Mikronährstoffe) insbesondere aber Phosphor recycelt werden können.

Pflanzenkohle und Treibhausgas-Emissionen

Erst in den letzten zwei Jahren wurden Studien zur Wirkung (frischer) Biochars auf die Flüsse der stabilen Treibhausgase (THG) CO₂, N₂O und CH₄ zwischen Bodengemischen und der Atmosphäre publiziert. Viele berichten von einer Reduktion der N₂O-Emissionen in Laborversuchen (Kammann et al. 2011a,b, Singh et al. 2010, Spokas et al. 2009, Spokas und Reicosky 2009, van Zwieten et al. 2010b, Yanai et al. 2007) oder auch in Feldstudien (Clough et al. 2010, Taghizadeh-Toosi et

al. 2011, Zhang et al. 2010). Jedoch konnte in Feldstudien nicht immer eine signifikante Reduktion festgestellt werden (Karhu et al. 2011, Scheer et al. 2011). Bei Methan sind die Ergebnisse ebenfalls gemischt, bisweilen wurde eine Steigerung der CH₄-Oxidation gefunden (=Aufnahme in den Boden; Karhu et al. 2011). Zhang et al. (2010) dagegen berichten von gesteigerten Methanemissionen aus Biochar-Reisfeldern, wobei die signifikante Verringerung der N₂O-Emissionen die THG-Gesamtbilanz trotz gestiegener CH₄-Emissionen deutlich verbesserte. Viele verschiedene Wirkungsmechanismen sind denkbar:

- > Wasserhaushalt: veränderter kapillarer Aufstieg und gesteigerte Wasserhaltekapazität;
- > CO₂-Produktion, O₂-Diffusion in Böden: verbesserte Belüftung durch poröse Kohlepartikel; verstärkte Respiration (lokale Anaerobiose) falls Kohle leicht abbaubar, gesteigerte CO₂-Produktion bei Wachstumsverbesserung durch vermehrte Wurzelatmung (wie von Major et al. (2010) gezeigt);
- > Nährstoffe: Stickstoff-Immobilisierung, verändertes Auswaschungsverhalten (leaching), langfristige Nährstoff-Retention;
- > Veränderungen des pH-Wertes und Verschieben des N₂O/N₂-Verhältnisses der Denitrifikation;
- > Bodenkohlenstoff: Erhöhung und Stabilisierung von organischer Substanz neben Pflanzenkohle-C.

Am wichtigsten ist unseres Erachtens die langfristige Wirkung der Pflanzenkohle-Applikation: Wenn der Bodenhumus-Gehalt zunimmt steigt in der Regel das Potenzial für hohe N₂O-Emissionen (Li et al. 2005). Somit bestünde die Gefahr, dass ein langfristiger Humusaufbau durch Biokohle auch auf lange Sicht zu höheren N₂O-Emissionen aus solchen Böden führen könnte.

Erste Ergebnisse lassen jedoch hoffen, dass die N₂O-Reduktion

durch Biochar von Dauer sein könnte: So waren beispielsweise die N₂O-Emissionen aus Komposten mit mitkompostiertem Biochar gegenüber reinem Kompost immer noch signifikant reduziert, wenn auch nicht ganz so stark wie durch die Zugabe von frischem Biochar. Auch bestand die Reduktion der N₂O-Emissionen auch dann fort, wenn der biocharhaltige Boden von Regenwürmern verzehrt und ausgeschieden wurde, wie wir in Zusammenarbeit mit Irischen Forschern nachweisen konnten (Augustenborg et al. 2011). Am IFZ der Justus-Liebig-Universität laufen derzeit verschiedene Untersuchungen, um sich dieser Frage von einer anderen Seite zu nähern: THG-Messungen an zwei Terra Preta Böden gegenüber ihren Vergleichsböden, sowie an jahrhundertealten Kohlemeiler-Waldböden im Vergleich zum umliegenden Ausgangsboden. Die Ergebnisse werden von uns mit Spannung erwartet!

Abschlussbemerkung

Biokohle bietet sehr viele Chancen und Möglichkeiten, jedoch bestehen noch viele ungeklärte Fragen. Es fehlt vor allem an systematischen, vergleichbaren Untersuchungen bis hin zum Aufbau einer «Kohlebibliothek», oder an mechanistischem Grundverständnis der Wirkungsweise von Biokohlen in Böden. Unseres Erachtens besteht derzeit für das noch junge Forschungsfeld eine ernstzunehmende Gefahr: Dass nämlich überzogene Erwartungen an ein unausgereiftes Wundermittel dazu führen, dass es bei ersten Misserfolgen genauso vehement abgelehnt wird wie es jetzt hofiert wird. Wunder dauern in der Regel etwas länger und verlangen harte (Entwicklungs-)Arbeit – und diese hat gerade erst begonnen.

Der Artikel von Claudia Kammann ist eine leicht gekürzte Fassung des Vortrages, den Sie am 6. 10. 2011 auf dem 72. ANS-Symposium in Berlin gehalten hat. Er ist im dortigen Tagungsband erschienen.

Literatur

- Augustenborg, C.A.; S. Hepp; C. Kammann; D. Hagan und C. Müller (2011): *Impact of biochar on soil N₂O and CO₂ emissions in the presence of earthworms*, Journal of Environmental Quality, in press
- Ball, P.N.; M.D. Mackenzie; T.H. Deluca und W.E.H. Montana (2010): *Wildfire and Charcoal Enhance Nitrification and Ammonium-Oxidizing Bacterial Abundance in Dry Montane Forest Soils*, J. Environ. Qual., 39, 1243 – 1253
- Barriopedro, D.; E.M. Fischer; J. Luterbacher; R.M. Trigo und R. García-Herrera (2011): *The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe*, Science, 332, 220-224
- Blackwell, P.; G. Riethmüller und M. Collins, (2009): *Biochar Application to Soil*, in: Lehmann, J. und S. Joseph (Eds.) *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, Earthscan, London, U.K., pp. 207 – 226
- Blackwell, P.; E. Krull; G. Butler; A. Herbert und Z. Solaiman (2010): *Effect of banded biochar on dryland wheat production and fertiliser use in south-western Australia: an agronomic and economic perspective*, Australian Journal of Soil Research, 48, 531 – 545
- Busch, D.; C. Kammann; L. Grünhage und C. Müller (2011): *Simple biotoxicity tests for evaluation of carbonaceous soil additives: Establishment and reproducibility of four test procedures*, Journal of Environmental Quality, in press
- Buss, W.; C. Kammann und H.-W. Koyro (2011): *Biochar reduced copper toxicity in *Chenopodium quinoa* Willd. in a sandy soil*, Journal of Environmental Quality, in press
- Cao, X.; L. Ma; Y. Liang; B. Gao und W. Harris (2011): *Simultaneous Immobilization of Lead and Atrazine in Contaminated Soils Using Dairy-Manure Biochar*, Environmental Science & Technology
- Chan, K.Y.; L. Van Zwieten; I. Meszaros; A. Downie und S. Joseph (2008): *Using poultry litter biochars as soil amendments*, Australian Journal of Soil Research, 46, 437 – 444
- Cheng, C.-H.; J. Lehmann; J.E. Thies; A.J. Burton und M. Engelhard

- (2006): *Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes*, Organic Geochemistry, 37, 1477–1488
- Ciais, P.; M. Reichstein; N. Viovy; et al. (2005): *Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003*, Nature, 437, 529–533
- Clough, T.J.; J.E. Bertram; J.L. Ray; L.M. Condron; M. O’callaghan; R.R. Sherlock und N.S. Wells (2010): *Unweathered wood biochar impact on nitrous oxide emissions from a bovine-urine-amended pasture soil*, Soil Science Society of America Journal, 74, 852–860
- Glaser, B.; L. Haumaier; G. Guggenberger und W. Zech (2001): *The ‘Terra Preta’ phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics*, Naturwissenschaften, 88, 37–41
- Glaser, B.; J. Lehmann und W. Zech (2002): *Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review*, Biology and Fertility of Soils, 35, 219–230
- Glaser, B. (2007): *Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century*, Philosophical Transactions of the Royal Society B, 362, 187–196
- Glaser, B. and J.J. Birk (2011): *State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (Terra Preta de Índio)*, Geochimica Et Cosmochimica Acta, in press
- Hansen, J.; M. Sato; P. Kharecha; D. Beerling; R. Berner; V. Masson-Delmotte; M. Pagani; M. Raymo; D.L. Royer und J.C. Zachos (2008): *Target atmospheric CO₂: Where should humanity aim? The Open Atmospheric Science Journal*, 2, 217–231
- IPCC (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Kammann, C.; S. Linsel; J. Gößling und H.-W. Koyro (2011a): *Influence of biochar on drought tolerance of Chenopodium quinoa Willd and on soil–plant relations*, Plant and Soil, 345, 195–210
- Kammann, C.; S. Ratering; C. Eckhard und C. Müller (2011b): *Biochar and hydrochar effects on greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) fluxes from soils*, Journal of Environmental Quality (accepted)
- Karhu, K.; T. Mattila; I. Bergstrom und K. Regina (2011): *Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study*, Agriculture Ecosystems & Environment, 140, 309–313
- Kookana, R.S. (2010): *The role of biochar in modifying the environmental fate, bioavailability, and efficacy of pesticides in soils: a review*, Australian Journal of Soil Research, 48, 627–637
- Kuzyakov, Y.; I. Subbotina; H. Chen; I. Bogomolova und X. Xu (2009): *Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by ¹⁴C labeling*, Soil Biology & Biochemistry, 41, 210–219
- Lal, R. (2009): *Challenges and opportunities in soil organic matter research*, 8 European Journal of Soil Science, 60, 158–169
- Lehmann, J. (2007): *Bio-energy in the black*, Frontiers in Ecology and the Environment, 5, 381-387
- Lehmann, J.; J. Skjemstad; S. Sohi; J. Carter; M. Barson; P. Falloon; K. Coleman; P. Woodbury und E. Krull (2008): *Australian climate-carbon cycle feedback reduced by soil black carbon*, Nature Geoscience, 1, 832–835
- Lehmann, J.; C. Czimczik; D. Laird und S. Sohi, (2009): *Stability of biochar in soil*, in: Lehmann, J. und S. Joseph (Eds.) *Biochar for Environmental Management – Science and Technology*, earthscan, London, pp. 183–205
- Li, C.; S. Frolking und K. Butterbach-Bahl (2005): *Carbon sequestration in arable soils is likely to increase nitrous oxide emissions, offsetting reductions in climate radiative forcing*, Climatic Change, 72, 321–338
- Liang, B.; J. Lehmann; D. Solomon; J. Kinyangi; J. Grossman; B. O’neill; J.O. Skjemstad; J. Thies; F.J. Luizao; J. Petersen und E.G. Neves (2006): *Black carbon increases cation exchange capacity in soils*, Soil Science Society of America Journal, 70, 1719–1730
- Libra, J.A.; K.S. Ro; C. Kammann; A. Funke; N.D. Berge; Y. Neubauer; M.-M. Titirici; C. Fühner; O. Bens; J. Kern und K.-H. Emmerich (2011): *Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis.*, Biofuels, 2, 71–106
- Major, J.; J. Lehmann; M. Rondon und C. Goodale (2010): *Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration*, Global Change Biology, 16, 1366–1379
- Marris, E. (2006): *Putting the carbon back: Black is the new green*, Nature, 442, 624–626
- Namgay, T.; B. Singh und B.P. Singh (2010): *Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (Zea mays L.)*, Australian Journal of Soil Research, 48, 638–647
- Oguntunde, P.G.; M. Fosu; A.E. Ajayi und N. Giesen (2004): *Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil*, Biology and Fertility of Soils, 39, 295–299
- Qayyum, M. F., D. Steffens., H. P. Reisenauer, and S. Schubert (2011): *Kinetics of carbon mineralization of biochars compared with wheat straw in three soils*. Journal of Environmental Quality (accepted)
- Rillig, M.C.; M. Wagner; M. Salem; P.M. Antunes; C. George; H.G. Ramke; M.M. Titirici und M. Antonietti (2010): *Material derived from hydrothermal carbonization: Effects on plant growth and arbuscular mycorrhiza*, Applied Soil Ecology, 45, 238–242
- Rodionov, A.; W. Amelung; N. Peinemann; L. Haumaier; X. Zhang; M. Kleber; B. Glaser; I. Urusevskaya und W. Zech (2010): *Black carbon in grassland ecosystems of the world*, Global Biogeochemical Cycles, 24, GB3013
- Scheer, C.; P. Grace; D. Rowlings; S. Kimber und L. Van Zwieten (2011): *Effect of biochar amendment on the soil-atmosphere exchange of*

- greenhouse gases from an intensive subtropical pasture in northern New South Wales, Australia*, Plant and Soil, 1 – 12
- Schmidt, H.-P. (2011): Pflanzkohle, Ithaka Journal, 1/2011, 75-82.
- Singh, B.P.; B.J. Hatton; B. Singh; A.L. Cowie und A. Kathuria (2010): *Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils*, Journal of Environmental Quality, 39, 1224 – 1235
- Spokas, K.A.; W.C. Koskinen; J.M. Baker und D.C. Reicosky (2009): *Impacts of woodchip biochar additions on greenhouse gas production and sorption/degradation of two herbicides in a Minnesota soil*, Chemosphere, 77, 574 – 581
- Spokas, K.A. und D.C. Reicosky (2009): *Impact of sixteen different biochars on soil greenhouse gas production*, Annals of Environmental Science, 3, 179-193. Steinbeiss, S.; G. Gleixner und M. Antonietti (2009): *Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity*, Soil Biology and Biochemistry, 41, 1301 – 1310
- Steiner, C.; W. Teixeira; J. Lehmann; T. Nehls; J. De Macêdo; W. Blum und W. Zech (2007): *Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil*, Plant and Soil, 291, 275 – 290
- Steiner, C.; B. Glaser; W.G. Teixeira; J. Lehmann; W.E.H. Blum und W. Zech (2008): *Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal*, Journal of Plant Nutrition And Soil Science, 171, 893 – 899
- Taghizadeh-Toosi, A.; T.J. Clough; L.M. Condron; R.R. Sherlock; C.R. Anderson und R.A. Craigie (2011): *Biochar incorporation into pasture soil suppresses in situ nitrous oxide emissions from ruminant urine patches*, Journal of Environmental Quality, 40, 468 – 476
- Vale, R. und B. Vale (2009): *Time to eat the dog? – The real guide to sustainable living*, Thames & Hudson Ltd., London, 384 S
- Van Zwieten, L.; B. Singh; S. Joseph; S. Kimber; A. Cowie und K.Y. Chan, (2009): *Biochar and emissions of non-CO₂ greenhouse gases from soil*, in: Lehmann, J. und S. Joseph (Eds.) Biochar for Environmental Management – Science and Technology, earthscan, London, pp. 227 – 249
- Van Zwieten, L.; S. Kimber; S. Morris; K. Chan; A. Downie; J. Rust; S. Joseph und A. Cowie (2010a): *Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility*, Plant and Soil, 327, 235 – 246
- Van Zwieten, L.; S. Kimber; S. Morris; A. Downie; E. Berger; J. Rust und C. Scheer (2010b): *Influence of biochars on flux of N₂O and CO₂ from Ferrosol*, Australian Journal of Soil Research, 48, 555 – 568
- Wardle, D.A.; M.-C. Nilsson und O. Zackrisson (2008): *Fire-derived charcoal causes loss of forest humus*, Science, 320, 629
- Weber, B. (2010): *Niedertemperaturkonvertierung biogener Teststoffe zum rohstofflichen Recycling von Kohlenstoff und Phosphor*. Dissertation, FB 09 der Justus-Liebig-Universität Gießen
- Woolf, D.; J.E. Amonette; F.A. Street-Perrott; J. Lehmann und S. Joseph (2010): *Sustainable biochar to mitigate global climate change*, Nat Commun, 1, 56
- Yanai, Y.; K. Toyota und M. Okazaki (2007): *Effects of charcoal addition on N₂O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments*, Soil Science and Plant Nutrition, 53, 181 – 188
- Zhang, A.; L. Cui; G. Pan; L. Li; Q. Hussain; X. Zhang; J. Zheng und D. Crowley (2010): *Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China*, Agriculture, Ecosystems & Environment, 139, 469 – 475