

Donnerstag, 2. März 2017
in Kronberg / Stadthalle



BODENTAG

Interessengemeinschaft gesunder Boden e.V. i.G.



Claudia Kammann, Prof. Dr.

Studium an den Universitäten Bayreuth und Kiel (Biologie). Professur für Klimafolgenforschung für Spezialkulturen an der Hochschule Geisenheim University seit Oktober 2014. Während der Promotion an der Universität Gießen Spezialisierung auf biogeochemische Fragestellungen, z.B. zur Bildung klimarelevanter Treibhausgase in landwirtschaftlichen Böden. Über die Erforschung der Effekte steigender atmosphärischer CO₂-Konzentrationen auf Pflanzen und Ökosysteme erste Berührung mit dem Thema „Biochar“ (Pflanzenkohle) im Jahr 2006. Seit 2009 aktive Forschung zum Thema (Verringerung von Treibhausgasemissionen, Retention von Nitrat). Besondere Interessen: Entwicklung von nutzbringenden Anwendungsmöglichkeiten zum Entzug von CO₂ aus der Atmosphäre, über die Kopplung von verbessertem Pflanzenwachstum, Karbonisierung (Pyrolyse) und stofflicher Verwendung von Pflanzenkohlen im „alltäglichen Gebrauch“.

Pflanzenkohle als Werkzeug für eine nachhaltige Landwirtschaft? Neue Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung

Claudia Kammann und Hans-Peter Schmidt

1 Was ist Biokohle, was ist Pflanzenkohle?

In den letzten Jahren wurde in den Medien oft über "Biokohle" berichtet, entweder als mögliches Mittel zur Bodenverbesserung, als CO₂-neutraler Brennstoff biologischen Ursprungs oder auch als Werkzeug im Kampf gegen den Klimawandel. Begriffe wie "Biokohle", "biochar", "Terra preta" oder "hydrothermale Karbonisierung" werden oft (unglücklicherweise) synonym benutzt, da es anfangs noch keine allgemein gültigen Definitionen im deutschen Sprachraum gab. Der Begriff "Biokohle" wird als Oberbegriff für zwei verschiedene, aus Biomasse hergestellte Produkte genutzt:

(1) **"Biochar"** (engl.) oder synonym **"Pflanzenkohle"**, für Produkte aus Pyrolyse (Verschmelzung) oberhalb von ca. 350 °C; der Begriff *Biochar* hat sich international eingebürgert, im Deutschen hingegen "Pflanzenkohle", um den pflanzlichen Ursprung des Materials zu verdeutlichen und die Assoziation zu zertifizierten Bio-Produkten zu vermeiden. (Im Englischen existiert dieses Problem nicht, dort heißt Biolandbau „organic farming“). Auch „Holzkohle“ wäre nur teilweise richtig, denn schließlich kann man ein Produkt aus Maisspindeln, Getreidespelzen oder Nussschalen schlecht als Holzkohle bezeichnen. Beide Begriffe, Pflanzenkohle und *Biochar*, sind so definiert, dass ihre Nutzung zu einer Speicherung der Kohlenstoffs (C-Senke) führt und auf die energetische Nutzung durch Verbrennung zu CO₂ verzichtet wird.

(2) **"HTC-Kohle"** oder Englisch **hydrochar** für Produkte der Hydrothermalen Karbonisierung (kurz HTC, vom engl. *hydrothermal carbonization*). Diese andersartige Kohleform wird unter hohen Drücken (20-25 bar) und Temperaturen von 200-250 °C im wässrigen Medium bei niedrigem pH-Wert hergestellt, ebenfalls aus verschiedensten C-haltigen, meist sehr nassen Reststoffen wie Straßenlaub oder Klärschlamm. Sie ähnelt in Struktur, Heizwert und Farbe Braunkohle oder Torf. Die Karbonisierung erhöht vor allem die Abpressbarkeit (Entwässerung), sodass ein gut transportabler Brennstoff hergestellt werden kann.

Beide Prozesse haben theoretisch das Potential zur nachhaltigen, CO₂-neutralen bis CO₂-negativen Nutzung von Biomasse; beide Techniken sind gut skalierbar und dezentral einsetzbar, d.h. sie bedürften nicht zwingend großindustrieller Ansätze (diese sind aber möglich). In Böden nutzbar ist nach derzeitigem Kenntnisstand jedoch nur Pflanzenkohle, nicht HTC-Kohle. Letztere ist deutlich weniger zersetzungsstabil, vor allem aber führte sie fast immer zu einer starken Keim- und Wachstumsblockierung, die nicht nur auf die Fixierung von Stickstoff zurückgeht, sondern auch auf einen umfangreichen Cocktail verschiedener chemischer Verbindungen, die in ihrer Problematik (inkl. der Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit) bisher nicht ausreichend charakterisiert sind.

2 Der Ursprung der Pflanzenkohle-Idee: Amazonas-Schwarzerden

Der Ursprung der Idee, Pflanzenkohle in Böden zu verwenden, liegt in der Erforschung der anthropogenen, fruchtbaren Amazonasschwarzerden. Diese werden landläufig meist als "Terra preta de Indio" oder Indianer Schwarzerden bezeichnet und finden sich in "Flecken" von 1 - 20 ha (bis zu 40 ha) vor allem entlang der großen Flusssysteme des Amazonasbeckens, z.B. des Rio Negro, Rio Xingu oder des Amazonas selbst (Glaser und Birk, 2012). Diese Böden ermöglichen im tropischen Klima wie für gute Böden üblich mehrere Ernten pro Jahr. Im Gegensatz zu den typischen stark verwitterten, sauren Oxisol-Böden des Urwalds sind sie fruchtbarer, nährstoff- und humusreicher, weisen höhere pH-Werte sowie eine verbesserte Wasserspeicherfähigkeit auf (Glaser et al. 2001). Zudem zeigen sie eine andere Artenzusammensetzung und ein erhöhtes Vorkommen von Nutzpflanzenarten oder domestizierten Arten – Belege dafür, dass der scheinbar „unberührte“ Regenwald entlang der Flussläufe in Wirklichkeit ein ca. 450 Jahre alter Sekundärwald ist. Aktuell verdichten sich die wissenschaftlichen Belege dafür, dass die Besiedlung des Amazonasbeckens und weiterer Teile Südamerikas wesentlich dichter war als gedacht (2-20 Mio. Menschen) und dass die präkolumbianischen Völker eine nachhaltige Form der Waldgarten-Landwirtschaft betrieben, die unter anderem zu Amazonasschwarzerden führte (Schmidt et al. 2014; McMichael et al. 2014). Letztes Jahr publizierten Forscher ihre Ergebnisse zum Vorkommen weiterer Schwarzerdeböden-Vorkommen (in geringer räumlicher Ausdehnung) in Ghana und Liberia; dörfliche Haushalte, die solche Böden bewirtschaften, decken im Mittel 24% ihres Einkommens durch die Erzeugnisse dieser Böden, obwohl diese nur 3% der bewirtschafteten Flächen bedecken (Solomon et al. 2016).

Begrifflichkeiten - Was Terra preta NICHT ist: An dieser Stelle muss klar gestellt werden, dass der Trivialname „Terra preta“ einen Bodentyp bezeichnet, nicht ein Pflanzsubstrat oder einen Pflanzenkohle-Kompost. Terra preta ist ein hochinteressanter anthropogener Bodentyp im Amazonasgebiet, dessen Entstehung uns einiges über Nachhaltigkeit lehren könnte - aber eine "Wundererde" ist es nicht. Allein der höhere pH-Wert vermindert beispielsweise das Problem der Aluminiumtoxizität, das auf den sauren Oxisol-Böden typischerweise zu vermindertem und schlechtem Wachstum und Gedeihen verschiedener Nutzpflanzen führt. Dies sollte stets bedacht werden, wenn z.B. im Internet von "mehreren hundert Prozent Ertragsteigerung" die Rede ist. Denn wenn der Vergleichs- oder Kontrollboden problembehaftet ist und Pflanzen darauf kümmern, bedeutet eine Normalisierung des Wachstums automatisch einen hohen prozentualen Unterschied.

3 Aktuelle Verwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft

Angeregt durch die Fallbeispiele „Terra preta“ und durch die Existenz anthropogener Plaggen-Erden und fruchtbarer natürlicher Schwarzerden, wurde in der aufkeimenden Biochar-Forschung ab etwa 2007 zunächst die Verwendung von purem Biochar in Böden praktiziert – nicht immer mit gutem Effekt auf die Erträge, da pure Pflanzenkohle auch Nährstoffe binden kann, wie sich immer deutlicher abzeichnet (siehe unten). Zunächst wurden in fast allen Studien relativ große Mengen von purer Pflanzenkohle pro Hektar eingearbeitet (10–60 t ha⁻¹), mit mittleren Ertragssteigerungen

von ca. 10 % mit großen Spannweiten von negativen bis zu positiven Effekten. Bei derartigen Mengen ist die Verwendung von Pflanzenkohle jedoch ohnehin ökonomisch nicht tragfähig.

In Deutschland werden derzeit ca. 90 % der Pflanzenkohle in der entsprechenden gesetzlich vorgeschriebenen Qualität in die Tierhaltung verwendet. Pflanzenkohle findet hier als Futtermittelzuschlagstoff v.a. bei Wiederkäuern und Geflügel Verwendung (Schmidt et al. 2016). Weitere Verwendungswege sind die Nutzung in der Stalleinstreu, als Behandlungsmittel zusammen mit Milchsäurebakterien für Gülle (Milieusteuerung), als medizinische Maßnahme z.B. bei Clostridien-Infektionen zusammen mit Milchsäurebakterien-Präparaten oder als Silierhilfsmittel. In diesem Bereich gibt es bisher fast keine Forschung, sondern eher praktische Anwendung von Landwirten, die die funktionierende, ökonomisch tragfähige Praxis voneinander übernehmen: Der Einsatz von Biochar rechnet sich nach Auskunft praktizierender Landwirte durch sinkende Tierarztkosten, ein verbessertes Stallklima, stark verminderte Geruchsbelästigung, eine fließfähigere (nicht stinkende) Gülle, die keine Verätzungen an Pflanzen verursacht, sowie allmählich steigende Grünlanderträge. Die derzeit von Landwirten z.B. über die Güllebehandlung in den Boden eingebrachten Biochar-Mengen sind sehr viel geringer als in den frühen wissenschaftlichen Versuchen und liegen maximal im Bereich von einigen Hundert kg pro ha und Jahr.

Kürzlich konnten wir zeigen, dass Pflanzenkohle als Zuschlagstoff bei der Behandlung nährstoffreicher organischer Wirtschaftsdünger wie Kompost (Mitkompostierung) größere Mengen von Nitrat aufnehmen kann; gleiches vollzog sich übrigens auch bei der langfristigen Alterung im Boden (Kammann et al. 2015; Haider et al. 2016). Dabei konnte mit herkömmlichen Extraktionsmethoden nicht alles Nitrat von den Kohlepartikeln abgelöst werden, sondern erst über mehrfache Extraktionen und bei höherer Temperatur. Daher ist anzunehmen, dass die tatsächliche Nitratmenge in pflanzenkohlehaltigen Böden oder Substraten in vielen Studien unterschätzt wird. Weitere Studien zeigten zudem, dass die Auswaschung von Nitrat bei Zusatz von Biochar (z.B. zu Komposten) verringert werden konnte, wenn diese Mischungen in Böden eingebracht wurden. Diese von uns erstmalig beschriebene Eigenschaft von Biochar war unerwartet, da Biochar kaum eine nennenswerte Anionen-Austauschkapazität besitzt und in reiner wässriger Nitratlösung kaum Nitrat aufnimmt. Sie wurde aber inzwischen von weiteren Forschergruppen bestätigt (Hagemann et al. 2017) und scheint mit der Porenstruktur von Biochar zusammen zu hängen, ebenso wie mit einer organischen „Überzugsschicht“ (organic coating), die sich während der Kompostierung oder allmählich bei der Alterung im Boden ausbildet.

Daher könnte ein mögliches zukünftiges Einsatzgebiet von Biochar die **Behandlung von organischen Wirtschaftsdüngern** und Reststoffen vor Ausbringung in den Boden sein, v.a. dort, wo die Nitratbelastung des Grundwassers hoch ist (Bsp. Intensivtierhaltung, Ackerbau). Somit könnte eine Forschungsaufgabe lauten, die Nitrat-Aufnahmefähigkeit von Biochar(s) durch Nachbehandlung zu erhöhen bzw. so zu steuern, dass Nitrat im Oberboden gehalten wird, dennoch aber bei Bedarf pflanzenverfügbar abgegeben wird. Noch ist unbekannt, ob es bei Anreicherung von Pflanzenkohle langfristig zu einer Humusanreicherung und über das beschriebene „nitrate capture“ auch zu einer N-Anreicherung im Boden kommt; erste länger laufende Studien deuten darauf hin.

Ein weiterer möglicher Nutzungsweg ist der Einsatz von Biochar als **Trägermatrix für organische oder mineralische Wirtschaftsdünger**. Eine Unterfußgabe von Biochar direkt unter die Saat bzw. Jungpflanzen anstelle des flächigen Einpflügens reduziert die Aufwandmenge erheblich (Bsp. Cornelissen et al. 2013) und ist somit ökonomisch für Landwirte relevanter. Schmidt et al. (2015) erzielten bei Nutzung von 750 kg ha⁻¹ Pflanzenkohle als Träger für organischen Flüssigdünger (Kuhurin) als Unterfußgabe beim Pflanzen einen um 400 % höheren Kürbisertrag als bei der Gabe der gleichen Nährstoffe ohne Biochar als Trägermatrix; der Versuch wurde mit je 3-5

Parzellenwiederholungen an 8 verschiedenen Standorten in Nepal in fruchtbaren, nicht degradierten Böden durchgeführt, könnte sich also als „Eintagsfliege“ herausstellen, wenn es sich nicht an vielen anderen Orten und Böden bestätigt. Der erzielte Ertrag entsprach aber immerhin dem der konventionellen Landwirtschaft Mitteleuropas mit Mineraldüngung (Schmidt et al. 2015). In 21 weiteren Feldversuchen wurden mit verschiedenen Nutzpflanzen Ertragsteigerungen von im Mittel 100 % mit organischer Biochar-Unterfußdüngung erzielt; eine Publikation ist in Vorbereitung. Bei Beladung der Pflanzenkohle mit Mineraldünger fiel die Ertragsteigerung geringer aus als bei organischer Beladung, war aber gleichwohl mehr als 20% höher als reine Mineraldüngung ohne Pflanzenkohle. Die Nutzung von Biochar als Träger für organische Wirtschaftsdünger könnte somit vor allem für die ökologische Landwirtschaft von wirtschaftlichem Interesse sein. Bislang ist unbekannt, ob es über diesen Nutzungsweg ebenfalls zu einer Verringerung der Emissionen klimarelevanter Treibhausgas-Emissionen wie N_2O und CH_4 und zur Verringerung der Auswaschung von Nitrat kommt, wie dies oft in Versuchen mit purer Pflanzenkohle gefunden wurde; dies ist nach derzeitigem Kenntnisstand anzunehmen, bleibt aber zu prüfen.

4 Risiko oder nicht? – Fragen zur Pflanzenkohleanwendung heute

Kann Pflanzenkohle heute sauber und Schadstofffrei produziert werden? – Ja, auf jeden Fall. Moderne Verfahren haben mit dem Bild vom traditionellen Kohlemeiler, das viele bei dem Wort "Pyrolyse" im Kopf haben, nichts mehr gemein. Derzeit existiert bereits eine Vielzahl verschiedener, sauberer Technologien, mit denen von der Hausgarten- und Hobbygröße bis hin zum industriellen Maßstab kleine und große Mengen sauberer, unbelasteter Pflanzenkohle produziert werden können. Eine entsprechende VDI-DIN-Richtlinie (NA 134-01-104 AA, Arbeitsausschuss Emissionsminderung – Erzeugung von Biomasse-Karbonisaten) befindet sich in Vorbereitung und wird wahrscheinlich 2017 erscheinen.

Wie kann man als Privatperson sicher sein, saubere Pflanzenkohle zu erhalten? Hier empfiehlt es sich, stets nur Pflanzenkohle zu kaufen, die nach den Richtlinien der Europäischen Biochar Stiftung (European Biochar Foundation) zertifiziert wurde (EBC 2012), d.h. deren Hersteller sich einer entsprechenden Qualitätsüberwachung und der Nachhaltigkeit verpflichten. Die im EBC verwendeten Grenzwerte orientieren sich an den Bodenschutz- und Düngemittelverordnungen der Schweiz, Österreichs und Deutschlands. In Deutschland befindet sich derzeit die Düngemittelverordnung in Novellierung, hier sind entsprechende Regelungen bei der kommerziellen Produktion und Verwendung von Pflanzenkohle zu beachten.

Kann man mit Pflanzenkohle kontaminierte Böden oder Abwässer reinigen? Ja, dies ist möglich, und wurde in Modellversuchen und ersten Feldversuchen (TU Berlin, AG Geoökologie) demonstriert, und ist Gegenstand intensiver aktueller Forschung (vor allem außerhalb Deutschlands). Gerade die Kraft, mit der Biochar z.B. PAK oder Kohlenwasserstoff-Verbindungen adsorbieren und so der Bioverfügbarkeit entziehen kann, macht sie zu einem möglichen Zukunftswerkzeug der Boden- und Gewässersanierung (z.B. Standorte ehemaliger Industrie- oder Militäranlagen; hormonelle Kontamination von Böden und von Trinkwasser usw.). Sind Schadstoffe nicht mehr bioverfügbar kann das Bodenleben (und so die Selbstreinigungskraft) wieder aktiv werden. Die Produktion von Pflanzenkohlen mit großer innerer Oberfläche ist sehr viel kostengünstiger als die von Aktivkohle. Das internationale Biochar-Symposium in Geisenheim im September 2015 zeigte, dass Forscher sich verstärkt dem Aspekt "Chancen". (statt „Risiken“) zuwenden, da das in der Öffentlichkeit immer wieder aufs Neue beschworene vermeintliche Risiko

der Schadstoffkontamination von Pflanzenkohle als technisch und regulatorisch (d.h. durch geeignete Vorschriften und Kontrollen) lösbar und daher für die Forschung als "gelöst" empfunden wurde.

5 Problem gesetzliche Rahmenbedingungen

Das größte **Problem** derzeit in Deutschland sind die **gesetzliche Rahmenbedingungen**: Derzeit ist nach der Reform des Düngemittelrechts nur Pflanzenkohle mit einem Kohlenstoffgehalt von über 80 % zum Einsatz in Böden zugelassen. Es ist anzunehmen, dass dieser Grenzwert eingeführt wurde, um eine Trennung von Pflanzenkohle und HTC-Kohle zu ermöglichen. (Nach den vorliegenden Ergebnissen zur schädlichen Auswirkung von HTC-Kohle ist dies auch unbedingt erforderlich). Eine wissenschaftliche Begründung für den Grenzwert von 80 % C bei Pflanzenkohle ergibt sich jedoch aus der publizierten Literatur zu Pflanzenkohle nicht. Nur wenn der Anteil von reinem Stammholz und die Pyrolysetemperatur sehr hoch sind, kann eine Pflanzenkohle prozentuale C-Anteile von 80 % erreichen. Da Rinde oder grasartige Komponenten (Bsp. Getreidespelzen) einen höheren *Aschegehalt* bewirken, der den C-Gehalt "verdünnt", können solche Pflanzenkohlen gar nicht auf diesen C-Gehalt kommen. Damit muss zwingend teures Stammholz verwendet werden. Landschaftspflegematerial oder Ernterückstände, d.h. Einsatzstoffe im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgedankens, werden so ausgeschlossen. Der Asche- und der C-Anteil allein sagen jedoch nichts über die Reinheit und Nutzwirkung des betreffenden Biochars aus, z.B. als Kalkungsäquivalent, als Lieferant für Nährstoffe wie K^+ und Ca^{2+} , über die Fähigkeit zur N_2O -Emissionsreduktion (Cayuela et al. 2015) oder über die Schadstofffreiheit (Vogel et al. 2015). Letzteres kann **nur durch geeignete Analysen** sowie über eine entsprechende gesetzliche **Regelung zur Qualitätsüberwachung** (wie über das EBC vorgeschrieben) gewährleistet werden. Der Karbonisierungsgrad (zur Unterscheidung von HTC-Kohle) lässt sich besser über den Nachweis eines geringen H/C_{org} Verhältnisses unter 0,6 darstellen. Bei diesem Kriterium kann ausgeschlossen werden, dass HTC-Kohlen in die Kategorie „Pflanzenkohle“ gelangen können. Die derzeitige Regelung bremst innovationsgerichtete Forschung und Entwicklungen aus, da sie sinnvolle (kurze) innerbetriebliche Stoffstromverwertungswege zur Pflanzenkohlerzeugung und -nutzung im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgedankens unterbindet.

Eine saubere Produktion und Prozesssteuerung kann ein schadstofffreies Biochar, welches die Richt- und Grenzwerte der Bodenschutzverordnung und der Düngemittelverordnung einhält, heute problemlos gewährleisten (Vogel et al. 2015). Kontaminationsmöglichkeiten, z.B. die Rück-Kondensation von volatilen Verbindungen wie PAKs auf den Kohleoberflächen durch mangelnde Nachverbrennung der Pyrolysegase, die Nutzung von Schwermetall-kontaminierter Biomasse oder die Verwendung falscher Metalllegierungen für den Reaktorstahl (Abrieb) sind bekannt, und können durch geeignete Materialwahl, Produktionsverfahren und eine Positivliste der erlaubten Ausgangsmaterialien (siehe EBC 2012) nach heutigem Kenntnisstand leicht vermieden werden. Es erscheint zielführend, die Schadstofffreiheit sowie die Nachhaltigkeit der Produktion von Biochar (Bsp. Begrenzung der Transportstrecke für Biomasse/Reststoffe, vgl. EBC 2012) durch entsprechende Regelungen festzuschreiben. Dabei wäre es von Vorteil, bei der Analyse von Düngemitteln ähnlich strenge Maßstäbe bezüglich PAK anzulegen, wie dies derzeit im freiwilligen Standard EBC für Pflanzenkohle bereits geschieht. Für Düngemittel sind bisher gar keine PAK-Analysen vorgeschrieben (Vogel et al. 2015).

6 Fazit

Nach den Anfangsjahren der zunächst tastenden Exploration, von Versuch und Irrtum, und der fortschreitenden Systematisierung innerhalb eines neuen Forschungsfelds besteht nun vor allem Forschungsbedarf zur gezielten Entwicklung betriebswirtschaftlich-ökonomisch nutzbringender Implementierungswege, um wünschenswerte gesellschaftliche Effekte wie "C-Sequestrierung", "Emissionsminderung" oder "Nitratretention" über betriebswirtschaftlich sinnvolle, ökonomisch relevante Nutzungsmöglichkeiten zu erzielen.

Die vorherrschende Zögerlichkeit gerade einiger Umweltverbände und des Gesetzgebers ist dabei nicht recht verständlich angesichts der Chancen, die die Pflanzenkohlenutzung für eine nachhaltige Landwirtschaft und das Management der N-Überschüsse bieten. Noch viel weniger verständlich ist dies angesichts der Tatsache, dass wir zum Erreichen des 1.5°C Ziels nicht nur bis Mitte dieses Jahrhunderts dekarbonisiert haben müssen (d.h. bei Energieerzeugung, Verkehr und Rohstoffnutzung weitgehend auf fossilen Kohlenstoff verzichtet und alternative Wege entwickelt haben müssen). Vielmehr müssen wir auch der Atmosphäre aktiv wieder CO₂ entziehen, da sonst nicht einmal das 2°C Ziel erreicht werden kann. Der Atmosphäre CO₂ entziehen - dies ist de facto nur durch Photosynthese und Überführung des pflanzlichen Kohlenstoffs in eine stabilere Form (Pflanzenkohle) möglich – und es wird erst effektiv funktionieren, wenn wir sinnvolle „Recycling“-Nutzungswege für den bereits in die Atmosphäre emittierten Kohlenstoff entwickeln. Und warum sollten wir nicht aus der Not eine Tugend machen und eine neue, nachhaltige, auf Pflanzenkohlenutzung basierende Ökonomie entwickeln?

Archäologen nutzen den Indikator "Holzkohle" seit je her, um im Zusammenhang mit Ausgrabungen von Siedlungsstätten nachzuweisen, dass Menschen vor Ort ansässig gewesen sind. Die Vorkommen anthropogener Schwarzerden, d.h. die Nutzung von Pflanzenkohle (respektive Holzkohle) in der Landwirtschaft ist also ganz offensichtlich keine *neue* Idee, sondern bereits hunderte bis tausende Jahre alt. Da wir derzeit das Zeitalter des Holozän verlassen und ins Zeitalter des Anthropozän eintreten – in den nächsten 100.000 Jahren wird es keine neue Eiszeit mehr geben, dafür haben wir gesorgt (Ganopolski et al. 2016) – wäre es nur konsequent, uns auf unsere „feurigen“ Anfänge zu besinnen und die dargebotenen Chancen zu nutzen. Möglicherweise wird dann das Anthropozän im Rückblick in einigen tausend Jahren nicht nur durch Plastiksichten auf dem Meeresboden gekennzeichnet sein sondern auch durch fruchtbare, schwarze Böden.

7 Zitierte Literatur

- Cornelissen, G., Martinsen, V., Shitumbanuma, V., Alling, V., Breedveld, G., Rutherford, D., Sparrevik, M., Hale, S., Obia, A. & Mulder, J. 2013. Biochar Effect on Maize Yield and Soil Characteristics in Five Conservation Farming Sites in Zambia. *Agronomy*, **3**, 256-274.
- Ganopolski, A., Winkelmann, R. & Schellnhuber, H.J. 2016. Critical insolation-CO₂ relation for diagnosing past and future glacial inception. *Nature*, **529**, 200-203.
- Glaser, B. & Birk, J.J. 2012. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio). *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, **82**, 39-51.
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G. & Zech, W. 2001. The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, **88**, 37-41.
- Hagemann, N., Kammann, C.I., Schmidt, H.-P., Kappler, A. & Behrens, S. 2017. Nitrate capture and slow release in biochar amended compost and soil. *Plos One*, **12**, e0171214.
- Haider, G., Steffens, D., Müller, C. & Kammann, C.I. 2016. Standard extraction methods may underestimate nitrate stocks captured by field aged biochar. *Journal of Environmental Quality*, **45**, 1196-1204.
- Kammann, C.I., Schmidt, H.-P., Messerschmidt, N., Linsel, S., Steffens, D., Müller, C., Koyro, H.-W., Conte, P. & Joseph, S. 2015. Plant growth improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar. *Scientific Reports*, **5**, doi: 10.1038/srep11080.
- McMichael, C.H., Palace, M.W., Bush, M.B., Braswell, B., Hagen, S., Neves, E.G., Silman, M.R., Tamanaha, E.K. & Czarnecki, C. 2014. Predicting pre-Columbian anthropogenic soils in Amazonia. *Proceedings of the Royal Society B*, **281**, 20132475.
- Schmidt, H.-P., Kammann, C., Gerlach, A. & Gerlach, H. 2016. Der Einsatz von Pflanzenkohle in der Tierfütterung. *Ithaka Journal*, **2016**, 364-395.
- Schmidt, M.J., Py-Daniel, A.R., Moraes, C.d.P., Valle, R.B.M., Caromano, C.F., Texeira, W.G., Barbosa, C.A., Fonseca, J.A., Magalhaes, M.P., do Carmo Santos, D.S., da Silva e Silva, R., Guapindaia, V.L., Moraes, B., Lima, H.P., Neves, E.G. & Heckenberger, M.J. 2014. Dark earths and the human built landscape in Amazonia: a widespread pattern of anthrosol formation. *Journal of Archaeological Science*, **42**, 152-165.
- Solomon, D., Lehmann, J., Fraser, J.A., Leach, M., Amanor, K., Frausin, V., Kristiansen, S.M., Millimouno, D. & Fairhead, J. 2016. Indigenous African soil enrichment as a climate-smart sustainable agriculture alternative. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **14**, 71-76.
- Vogel, I., Schatten, R., Wagner, R. & Terytze, K. 2015. Rechtliche Situation der Anwendung von Biokohle in der Bundesrepublik Deutschland. *Müll und Abfall*, **07/2015**.