

Terra Preta / Pyrolysekohle

**BUND-Einschätzung
ihrer Umweltrelevanz**

April 2015

Vorbemerkungen

Seit einiger Zeit wird unter dem Stichwort Terra Preta eine Bodenkultur sowohl auf wissenschaftlicher (z.B. Schulz und Glaser 2012) als auch auf populär-verallgemeinernder Ebene (z.B. Scheub et al. 2013) untersucht und diskutiert. Die Idee dieser Bodenkultur geht zurück auf Böden des Amazonasgebietes, die wegen ihres großen Gehalts an Humus und an Pflanzenkohle tiefgründig schwarz gefärbt sind (deswegen „Terra preta“) und eine hohe Bodenfruchtbarkeit aufweisen; dem Gehalt an biogener Kohle wird eine Schlüsselrolle in diesem Bodentypus zugesprochen (Glaser und Birk 2012). Bei aller Verschiedenheit der Ansätze und Konzepte im Aufgreifen dieser Ideen ist aber die Zufuhr von Pyrolysekohle¹ für alle eine zentrale Komponente.

Im Kontext der „neuen Gartenbewegung“ erfährt die Idee, die Humusgehalte durch die Zugabe von Pyrolysekohle zu erhöhen, dadurch die Ertragsfähigkeit zu steigern und auch noch klimawirksam Kohlenstoff dem Kreislauf zu entziehen, auch in der Presse großen Zuspruch (z.B. Ernsting 2009, Grefe 2011, Emmerich 2014).

Vor allem im internationalen Rahmen wird der Einsatz von Pyrolysekohle auch in der konventionellen Landwirtschaft diskutiert und auch stark der Aspekt der C-Sequestrierung und seine mögliche Berücksichtigung im Emissionshandel betont (z.B. Lehmann 2007, Sparkes und Stoutjesdijk 2011, Ippolito et al. 2012, NSW Trade and Investment 2012, World Bank 2014).

¹ Wir verwenden den Begriff Pyrolysekohle, da für die hier diskutierten Effekte Kohlen aus Pyrolyse, d.h. bei Temperaturen über 400°C und unter Sauerstofflimitierung gewonnen werden; sie weisen (nach EBC 2012) einen C-Gehalt >50 % und ein Verhältnis H/O org. < 0,7 auf. „Hydrothermale Kohle“ (HTC), die bei niedriger Temperatur und unter Druck bei Wasserzufuhr erzeugt wird, ist wegen ihrer geringeren Stabilität in unserem Kontext nicht so relevant. Der in der Literatur auch übliche Begriff „Biochar“ oder „Biokohle“ wird hier nicht verwendet um keine Assoziation mit dem Bio-Siegel hervorzurufen.

Wir begrüßen es sehr, dass durch die Diskussion um Terra Preta dem Boden wieder mehr Aufmerksamkeit geschenkt wird, zumal diese Idee oft verbunden wird mit der Schließung regionaler Stoffkreisläufe und der Schonung begrenzter Ressourcen z.B. von Mineraldüngern oder Torf (im Gartenbau). Obwohl dieses Konzept dadurch schon selbst einen weitreichenden und fachübergreifenden Anspruch hat, sehen wir noch weiteren hohen Bedarf an der Klärung wichtiger hiermit zusammenhängender Umweltaspekte; diese werden im Folgenden dargestellt. Dabei geht es einerseits um eine umweltpolitische Einschätzung und Bewertung verschiedener Aspekte dieses Verfahrens, andererseits auch um die Darstellung seiner Hintergründe und Möglichkeiten, die auch in einigen BUND-Kreisgruppen diskutiert und ausprobiert werden.

Nicht eingegangen wird hier auf den Einsatz von Pyrolysekohle in der Tiermedizin und bei der Altlastensanierung (Schmidt et al. 2012), da dies eine grundsätzlich andere Bewertungsgrundlage voraussetzt. Auch weitere, in Entwicklung befindliche Einsatzgebiete (Schmidt 2012) werden hier nicht behandelt.

Folgende Aspekte sollen beleuchtet werden:

1. Gibt es überhaupt einen Bedarf für die Zufuhr von Pflanzenkohle in den Boden?
2. Lassen sich die Umweltrisiken bei der Herstellung der Pflanzenkohle vermeiden?
3. Droht mit Pflanzenkohle auch eine Zufuhr von Schadstoffen in die Böden?
4. Gibt es genügend Biomasse für die Herstellung der Pflanzenkohle?
5. Wie sieht die CO₂-Bilanz des ganzen Verfahrens im Vergleich mit alternativen Nutzungen der Rohstoffe?

Hintergrund dieser Bewertung sind die folgenden grundsätzlichen Sichtweisen des BUND hinsichtlich des Schutzes des Bodens und des Klimas und auch in seinem Schwerpunkt Biodiversität.

Dabei bauen wir auf grundsätzliche Untersuchungen und Bewertungen zur Ressourcennutzung und zur Zerstörung von Lebensraum – wie sie insbesondere benannt wurden

- in „Die Grenzen des Wachstums“, Club of Rome 1972;
- im Übereinkommen über die Biologische Vielfalt (CBD), Rio 1992;
- in darauf folgenden Vertragsstaatenkonferenzen;
- auf dem „Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung“, „Rio+10“ 2002;
- im UN-Beschluss (2010): 2011 bis 2020 = UN-Dekade der Biodiversität.

Im Rahmen des BUND-Schwerpunkts „Biodiversität“ umfasst der Themenkomplex „Schutz der biologischen Vielfalt durch naturverträgliche Nutzung“ auch die Betrachtung des Bodens als Lebensraum, als wichtigen Träger der Biodiversität und seine Verbindung zum Klimawandel. Die landwirtschaftliche Bodenfruchtbarkeit muss somit als Teil nachhaltiger Landnutzung gesehen werden, das nur auf Systemebene optimiert werden kann. Maximierung einzelner Teile wie der Ertrag, z.B. durch Monokulturen sowie End-of-Pipe-Technologien sind somit ausgeschlossen. Besondere Chancen liegen in der Multifunktionalität durch Integration von Landnutzungssystemen – Garten, Acker, Weide, Wald und als verbindendes Landschaftselement: Multifunktions-Hecken. Die Umsetzung erfordert häufig auch standortspezifische und grundsätzlich regionale und dezentrale Ansätze. Das schließt die Organisation von Stoffströmen vor Ort und die Limitierung von Transportwegen ein; so sieht das EBC-(2012) Transportwege von maximal 80 km für die Rohstoffe der Pyrolyse vor.

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

Begründet wird der Einsatz der Terra-Preta-Technik mit der Notwendigkeit der Verbesserung degradierter Böden, der Vermeidung von Nährstoffverlusten, der Verringerung der Entwicklung klimawirksamer Gase und der Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit (Ippolito et al. 2012, Glaser et al. 2014).

Ausgangspunkt unserer Bewertung ist der häufig durch Humusmangel und geringe biologische Aktivität geprägte Zustand der landwirtschaftlich intensiv genutzten Böden in Deutschland, wie er auch zur Begründung der Terra-Preta-Technik gesehen wird (Fischer und Glaser 2012²). Dieser Humusmangel führt zu Verdichtung, verminderter Wasseraufnahme-, Speicher- und Filterfähigkeit der Böden und so zu Überschwemmungen und Erosion sowie zu Erntedepressionen aufgrund von Wassermangel. Um diesen Prozess – gerade im Hinblick auf Extremwetterereignisse aufgrund des Klimawandels – erfolgreich zu begegnen, müssen aktiv Maßnahmen zur Förderung des Bodenlebens und der Bodenstruktur angewendet werden (Beste 2008). Dies stimmt auch im internationalen Rahmen (Weltagrarbericht 2013).

Eine Bewertung muss vor dem oben genannten Hintergrund erfolgen, denn die mit dem Terra-Preta-Einsatz beabsichtigte Erhöhung des Humusgehaltes kann auch mittels Mist- und Komposteinsatz, intensiviertem Zwischenfruchtanbau und über aus (Freyer 2003) gewogene Fruchtfolgen (Humusmehrer im Wechsel mit Humuszehrern) erreicht werden. Dies ist

² Dazu kommt als Ziel, den Einsatz von Torf im Gartenbau bis hin zum völligen Verzicht zu reduzieren und durch Alternativen wie z.B. Terra-preta Substrate zu ersetzen.

einer der Kernpunkte des Ökolandbaus, wird aber in der intensiven Land-wirtschaft stark vernachlässigt. Dabei ist die folgende Frage vergleichend zwischen den Systemen zu beantworten: Kann Terra-Preta-Technik die gleichen oder bessere Effekte für die Bodenqualität leisten wie Mist und/oder Kompostwirtschaft und ausgewogene Fruchtfolgen? Oder birgt sie die Gefahr, dass mittels Zugabe von Biokohle systemische Fehler weiter aufrechterhalten werden können? Diese Gefahr besteht z.B. darin, dass die Nachteile der Gülleausbringung aus den von uns abgelehnten Tierhaltungen auf Spaltpöden durch die Zugabe von Pyrolysekohle vermindert werden (Schimmelpfennig et al. 2014), wobei zusätzlicher Biomasseanbau benötigt wird und die Tierschutzprobleme überhaupt nicht geändert werden.

Die u.a. von Beste (2005) beschriebenen positiven Effekte von Mist- und/oder Komposteinsatz bzw. von ausgewogenen Fruchtfolgen³ müssten von der Terra-Preta-Technik in gleichem Maße bei geringerem Ressourceneinsatz oder in höherem Maße wegen des durch die Pyrolyse bedingten höheren Energieeinsatz erzielt werden, um eine relative Vorzüglichkeit im

³ Effekte, die mittels Mist- und/oder Komposteinsatz bzw. durch ausgewogene Fruchtfolgen zu erzielen sind:

- Anstieg der biologischen Aktivität der Bodenorganismen (ein Teil der folgenden Effekte ist unmittelbar an diese Aktivitätserhöhung gebunden),
- Zunahme der Aggregatstabilität, Verbesserung der Bodenstruktur,
- Zunahme des Porenvolumens bei gleichzeitiger Verbesserung der Wasserhalte- und Filterkapazitäten,
- Anstieg des Humusgehalts,
- Verringerung der Erosionsanfälligkeit, Hochwasserschutz,
- Temperatur ausgleichend, pH-ausgleichend,
- Erhöhung der Nährstoffaustauschkapazität,
- Steigerung der Mykorrhizierung und damit Verbesserung der Nährstoffversorgung,
- Stärkung der biologischen Kontrollmechanismen von Krankheitserregern (fungizide Wirkung etc.) und somit verminderte Notwendigkeit für den Einsatz von Pestiziden,
- Erhöhung der Erträge bis zu 30% (Komposteinsatz),
- Zunahme der Geschmacksqualität,
- Geringerer Nitratgehalt und höherer Gehalt an wertgebenden Inhaltsstoffen, verbesserte Lagerfähigkeit.

Vergleich mit dem alleinigen Einsatz von Kompost / Mist vorweisen zu können. Diese Herausforderung wurde auch von Fischer und Glaser (2012) als relevanter Faktor der Beurteilung des Effekts des Kohlezusatzes benannt.

Die Pyrolysekohle wird nach jetzigem Stand nicht direkt und allein in den Boden eingebracht sondern nur nach verschiedenen Vorbehandlungen bzw. in Verbindung mit Kompost oder anderen nährstoffreichen Materialien (Schmidt 2011a, Fischer und Glaser 2012), da nur dann positive Effekte erzielt werden können. Dies reduziert die Fragestellung eigentlich auf die Frage, ob bei Kompost / Mistzugabe zum Boden die zusätzliche Zufuhr von Pyrolysekohle tatsächlich einen positiven Effekt hat.

Folglich sollte der Zusatz von Pyrolysekohle immer vergleichend mit reinen Mist- bzw. Kompostgaben untersucht werden. Die meisten Studien (vgl. Sohi et al. 2009) beschreiben zwar ausführlich, aber eben nicht vergleichend mit konventioneller Mist- / Kompostwirtschaft die Eigenschaften der Terra-Preta-Technik. Qayyum et al. (2012) testeten so vergleichend die Stabilität des Humus und finden eine deutliche Abhängigkeit dieser Stabilität vom Bodentyp. Schulz et al. (2014) finden bei Gaben von entsprechend 3 t Pyrolysekohle pro ha keinen Unterschied im Pflanzenwuchs gegenüber den reinen Kompostvarianten.

Die Ursachen der bodenverbessernden Eigenschaft ist nicht richtig geklärt und wird oft darauf zurückgeführt, dass die Kohlepartikel eine sehr große und bindungsaktive Oberfläche aufweisen und so Humus und Nährstoffe besonders gut binden können (Sohi et al. 2009, Verheijen et al. 2009). Deswegen ist der ertragssteigernde Effekt der Pyrolysekohle in leichten Böden, die ansonsten über geringe Austauschkapazität verfügen besonders erkennbar. Ist die Ertragssteigerung tatsächlich auf die veränderte Bodenstruktur zurückzuführen und nicht auf Nährstoffeffekte der

Nährstoffe aus der begleitenden Asche, so muss dieser Effekt langfristig wirken.

Hierzu liegen eine Reihe von Topf- und auch von Feldversuchen vor, die teilweise Ertragssteigerungen, teilweise jedoch auch keine dokumentieren; deren Ergebnisse können in diesem Rahmen nicht umfassend ausgewertet und bewertet werden. Deutlich erkennbar sind jedoch drei wichtige Schlüsse:

1. Das Bild der Effekte von Terra Preta wird in Deutschland durch die Erfolge vor allem zweier Betriebe geprägt (Sonnenerde / Österreich und Delinat / Schweiz), die deutliche, im Bild darstellbare Produktionssteigerungen erzielten. Geht man von den wissenschaftlichen Publikationen aus, so ist das deutlich ernüchternder: neben vielen Erfolgen stehen nahezu so viele Misserfolge, so dass Metastudien nur einen relativ schwachen Effekt registrieren (Liu et al 2013). Allerdings wurden in diese Metastudien Untersuchungen einbezogen, bei denen die reine Pyrolysekohle ausgebracht wurde, die offensichtlich nicht ertragssteigernd ist. Die Kohle wird deswegen in neueren Untersuchungen vor der Anwendung z.B. durch Mit-Kompostierung aktiviert, was eher zur Ertragssteigerung führt.

2. Die Untersuchungen sind noch in den Anfängen, so dass eindeutige Aussagen hinsichtlich sinnvoller Form, Aufbringintervall und Menge der auszubringenden Kohle sowie der Menge der ebenfalls auszubringenden Wirtschafts- bzw. Handelsdünger noch nicht möglich sind.

3. Das langfristige Verhalten der Kohle und der durch sie hervorgerufenen Effekte sind noch nicht abzuschätzen. Die Untersuchungen sind häufig Topfversuche ohne Möglichkeit realistischer bodenökologischer Effekte und selbst die Feldversuche sind bislang weitgehend kurzfristig angelegt.

Neben den Effekten auf das Pflanzenwachstum ist vor allem die mögliche Verminderung der Lachgas-

bildung (N₂O) durch den Kohlezusatz interessant (Cayuela et al. 2013, Kamman et al. 2012) da hier sowohl die Emission eines potenten Klimagases reduziert wird als auch die N-Versorgung der Kulturpflanzen verbessert werden kann.

2. Lassen sich die Umwelttrisiken bei der Herstellung der Pflanzenkohle vermeiden?

Bei der Terra-Preta-Technik wird vor allem Pyrolysetechnik verwendet, bei der organisches Material bei Temperaturen >350°C und Sauerstoffgehalten von <2% verkohlt wird (Verheijen et al. 2010, Schmidt et al. 2012, Teichmann 2014). Je höher die Temperaturen sind, desto kleiner werden O/C- und H/C-Verhältnis und desto stabiler wird die Kohle. Ausgangsstoffe für die Pyrolysekohle sind organische „Abfälle“; Pyrolyse von Nicht-Abfällen ist aus Gründen effektiver Flächen- und Substratnutzung grundsätzlich abzulehnen und wird hier deswegen nicht weiter bedacht.

Die Pyrolysetechnik ist grundsätzlich mit erheblichen Emissionsrisiken verbunden, da sich giftige Gase und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) bilden können, bei Anwesenheit von Chlor aber auch Dioxine. Nur bei sauberster und kontrollierter Prozessführung kann dieser Technik überhaupt zugestimmt werden. Bei einigen Anlagen ist dieses offensichtlich gelungen: so ist die Pyreg-Anlage von Sonnenerde in Österreich abfallrechtlich genehmigt (Dunst 2013) und auch die Anlage im Berliner Botanischen Garten hat nach Auskunft der Betreiber so geringe Emissionen, dass sie nun immissionsschutzrechtlich zugelassen werden kann (Pieplow mdl. 2014).

Wenn man den technischen Aufwand betrachtet, der in diesen Anlagen für die saubere Prozessführung und Temperaturen im Abgas von 1250°C betrieben wird, so ist klar, dass dies in Kleinanlagen nicht möglich ist und eine saubere Produktion von Pflanzenkohle nicht gegeben ist⁴. Wenn hier auch wegen der geringen eingesetzten Mengen die Schadstofffrachten und damit die Belastung insgesamt nicht sehr groß sein sollte, so ist dieser Punkt bei der Beurteilung einer Technik, die ja in der Sicht ihrer Förderer perspektivisch in größerem Rahmen entfaltet werden sollte, absolut entscheidend. Als Umweltverband können wir nur Verfahren befürworten, die unseren auch sonst an industrielle Prozesse gestellten Kriterien genügen.

Die Regelungen des Europäischen Pflanzenkohle Zertifikats (EBC 2012) sind in ihrer grundsätzlichen Ausrichtung sehr richtig, müssen ja aber durch nationale Vorschriften präzisiert werden.

Nur bei ökologisch-technisch ausgereiften, wirtschaftlich rentablen Anlagen mit Bauartzulassung könnte sich der Einsatz von Pyrolyse-Anlagen inklusive Abwärmenutzung auch im (klein)bäuerlichen Betrieb, Gartenbau oder Kompostieranlage rechnen. Dies ist die Voraussetzung, dass der Landwirt nicht in einem wesentlichen Bereich, dem Erhalt seiner Bodenfruchtbarkeit, auf Fremdfirmen angewiesen ist. Wenn statt auf betrieblicher aus Gründen der sicheren Betriebsführung nun auf regionaler Ebene Pyrolysekohle hergestellt wird, ist zu klären, wie Qualitätskontrolle, Kostenverteilung und Transportprobleme zu organisieren sind.

⁴ Kleinanlagen, die in erster Linie als innovative Verbesserung gegenüber offenen Feuerstellen verbreitet werden (GIZ 2014, World Bank 2014), sind unter gegebenen Umständen sicher ein Fortschritt, sind aber in Deutschland mit seinen hohen technischen Standards und den auch vom BUND geforderten Umweltstandards keine relevante Lösung.

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

Der Umwandlungsprozess von Biomasse in Pyrolysekohle ist auch in Hinblick auf Schadstoffgehalte im Produkt (vor allem PAK), kritisch zu bewerten. Offensichtlich haben hier verschiedene Verfahren und Ausgangssubstrate sehr unterschiedliche PAK-Belastungen zur Folge. Diese können zwar durchaus sehr gering sein (Freddo et al. 2012, Schimmelpfening und Glaser 2012) und müssen auch nicht gefährdend für Pflanzen und Bodentiere sein (Busch et al. 2011, 2013), jedoch bleibt bei einer unkontrollierten Herstellung und Verwendung ein hohes Gefährdungspotenzial. Die unter 2. genannte Notwendigkeit einer sauberen Prozessführung ist unbedingt auch auf die Qualität des Produktes zu gewährleisten und durch entsprechende regelmäßige Kontrollanalysen⁵ zu belegen. Um Schadstoffakkumulationen im Boden zu vermeiden sind prinzipiell die Gehalte an PAK und Dioxinen zu minimieren

Da organische Abfallstoffe eine wichtige Quelle für Pyrolysekohle sind, besteht eine große Gefahr kriminellen Missbrauchs, wie er jetzt schon im Abfallbereich nicht selten ist. Gerade die Erfahrung mit kontaminierten Klärschlämmen, Giftmüll in Biogasanlagen und industriellen Reststoffen auf Ackerflächen sollte hier vorsichtig stimmen (Kröfges 2007, Kammann 2012). Dies wird verstärkt durch die Ge-

⁵ Bereits laufende BUND Projekte zu Terra Preta verwenden deshalb EBC-zertifizierte Pflanzenkohlen, bei denen zur Kontrollanalytik eine Soxhlet-Extraktion nach DIN 13877B vorgenommen wird; eine Analysemethode bei der durch Heißeextraktion mit Toluol aus Biokohlen besonders sorgfältig die PAK-Gehalte ermittelt werden können.

fahr hoher Schadstofffrachten durch schlechte Prozessführung (Keiluweit et al. 2012). Die Positivlisten möglicher Einsatzstoffe (EBC 2012, Teichmann 2014) wären in Bezug auf deutsches Recht sowie Erfahrungen im Umgang mit Einsatzstoffen zu überprüfen. So enthält diese Liste einige Stoffe oder besser Stoffgruppen, die sowohl unproblematische als auch möglicherweise problematische Bestandteile enthalten können. Dies bezieht sich auf folgende in der Liste aufgeführte Einsatzstoffe:

Reste (leftovers) in der Kategorie „Kommunale getrennt erfasste Abfälle“

Treibgut (flotsam) in der Kategorie „Instandhaltung von Wasserwegen“

Erde, Boden (soil) in der Kategorie „Mineralisch-organische Bestandteile“

Es wird zwar festgestellt, dass keine nicht-organischen Bestandteile enthalten sein dürfen. In der Praxis ist es aber relevanter, hier Grenzen anzusetzen (z.B. < 0,5% nicht organisches Material), da fast nie reine Abfälle vorliegen. Dies gilt auch für die zugelassenen Additive, wie z.B. „soil“.

Im Kontext mit dem deutschen Recht sind hier noch weitere Hürden zu beachten: die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) regelt in §12 die „Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden“, eine aus Sicht des vorsorgenden Bodenschutzes zentrale Regelung. So muss nach BBodSchV klar benannt werden, welche Bodenfunktion nach Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) gefördert wird und andere Bodenfunktionen dürfen nicht beeinträchtigt werden. Weiterhin erlaubt die Düngemittelverordnung (DüMV) zurzeit den Einsatz von Holzkohle nur im Kultursubstrat zur Pflanzenanzucht oder als Träger für Düngemittel. Nach DüMV muss für eine Zulassung klar definiert werden, ob es sich bei Pyroly-

sekohle z.B. um Düngemittel oder Bodenhilfsstoffe handelt und welchen Zweck sie erfüllen. Weiterhin beinhaltet die Bioabfallverordnung hierfür relevante Regelungen. Diese formal oft restriktiven Bestimmungen sind aber wichtig, um einen rechtlichen Hebel gegen den kriminellen Missbrauch vor allem in der Abfallbeseitigung zu behalten.

In diesem Kontext, wenn Aufbringungsmengen und -häufigkeiten definiert sind, können und müssen dann zulässige Grenzwerte definiert werden. Hierbei sind zwei Dinge relevant: 1. Die Stoffgehalte in der Pyrolysekohle selber und 2. gem. §12 BBodSchV dürfen 70% der Vorsorgewerte in der hergestellten Bodenschicht nicht überschritten werden.

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

Eine entscheidende Größe für die Berechnung des Biomassebedarfs für eine Ausweitung der Terra-Preta-Technik ist die notwendige Aufbringungsmenge. Wie unter 1. schon dargestellt, ist diese Menge noch längst nicht klar, jedoch wird mit Mengen zwischen 1 und 40 t Kohle/ha experimentiert (z.B. Liu et al. 2013, Glaser et al. 2014). Ginge man dementsprechend von einer mittleren Aufbringungsmenge von 20 t/ha aus, so läge der jährliche Gesamtbedarf an Pyrolysekohle für die 12 Mio. ha Ackerfläche in Deutschland bei ca. 240 Mio. t.

Eine andere Berechnung orientiert sich an den Angaben der Fa. Sonnenerde, die 10-20% Pflanzenkohle

dem Kompost vor der Rotte zugibt⁶. Bei einer Reduzierung der Biomasse im Kompostierungsprozess von ca. 50% wären dann 20-40% Kohle im fertigen Substrat. Bei einer Aufbringungsmenge von 30 t org. Dünger/ ha /a wären das 6 bis 12 t Pyrolysekohle /ha/a, was immer noch 70 bis 140 Mio. t Pyrolysekohle/a für die Ackerflächen in Deutschland bedeuten würde.

Nach Teichmann (2014, vor allem Tabelle 1 S. 8) stehen jedoch insgesamt nur 7,4 Mio. t Pyrolysekohle /a zur Verfügung, wobei allerdings hier Substrate enthalten sind, die der BUND nicht für die Pyrolyseumwandlung empfehlen kann:

- Getreidestroh und andere Ernterückstände (Kartoffelkraut und Rübenblätter) werden wie andere als Grundlage für den Humusaufbau gebraucht,
- Waldrest- und Schwachholz sollten aus dem gleichen Grund im Wald verbleiben
- Grünschnitt aus Kompensationsflächen sollte nur bei gewollter Verhagerung entfernt werden.
- Biomasse aus Biotopverbundflächen sollte ebenfalls im System verbleiben,
- Industrierestholz und Pappeln und Weiden von Erosionsflächen ließen sich zwar verwenden, dies konkurriert aber mit der direkten stofflichen und energetischen Nutzung
- Klärschlamm und Abfälle aus Gewerbe und Industrie wären wegen des Schadstoffpotenzials nicht akzeptabel, sie entsprechen auch nicht dem European Biochar Certificate (EBD 2012)
- Festmist (Rinder, Schweine, Geflügel) wird bei bäuerlicher Landwirtschaft für die Düngung benötigt,
- Organische Siedlungsabfälle sollten wegen der

weiten Transportwege und wegen des großen Wassergehaltes eher in einer Biogasanlage genutzt werden. Ausnahmen könnten kleinere Siedlungen im Rahmen regionaler Bewirtschaftung sein, aber auch hier ist das Schadstoffpotential zu beachten.

Somit verbleiben 2,12 Mio. t/a aus:

- Biomasse aus Offenland (Abfuhr zur Verhagerung),
- Biomasse aus extensivem Grünland (Abfuhr zur Verhagerung),
- Holzanteile im Hausmüll (unbehandelt und getrennt erfasst!),
- Gärreste aus Energiepflanzen (obwohl wegen des hohen Wassergehalts für Pyrolyse eher ungeeignet)
- Werden Industrierestholz und Pappeln / Weiden aus Kurzumtriebsplantagen (KUP) dazu genommen, erhöht sich dies auf 2,9 Mio. t/a.

Selbst bei Nutzung all dieser Ressourcen ließ sich tatsächlich nur 1 bis ca. 3% der benötigten Biochar herstellen.

Auch im Ansatz, des Schließens regionaler Stoffkreisläufe wird deutlich, dass Mengen, wie sie jetzt in Versuchen aufgetragen werden, nicht zur Verfügung stehen: Bei einem jährlichen Ertrag von z.B. ca. 10 t Stroh/ha ständen diesem Acker maximal 3 t Pyrolysekohle /ha zur Verfügung, wobei schon mal gar nichts mehr für die Einstreu zur Verfügung stände.

Schon diese Berechnung macht deutlich, dass ein breiter Einsatz von Pyrolysekohle in der Landwirtschaft so nicht oder nur mit Mengen < 1t/ha funktioniert. Die Verwendung der Terra-Preta-Technik ist von daher eher im Bereich landwirtschaftlicher Son-

⁶ www.sonnenerde.at/index.php?route=common/page&tid=1257

derkulturen oder im Gartenbau zu suchen, wo schon immer intensivere Bodenbewirtschaftung und die gezielte Akkumulation von Humus auf Kosten anderer Flächen zu höheren Humusgehalten geführt haben (Stichwort Hortisol, Plaggenesch).

Geht man aber von dieser Voraussetzung der Umverlagerung aus, so lässt sich natürlich diese Terra-Preta-Technik nur auf ausgewählten Flächen realisieren.

Dabei bleibt hier unberücksichtigt, dass z.B. Schmidt (2012) noch wesentlich mehr Einsatzgebiete für Pflanzenkohle erkennt, deren Rohstoffbedarf ebenfalls zu decken wäre.

Dieser Mangel an verfügbarer Biomasse verführt dazu, Biomassen aus anderen, nicht landwirtschaftlichen Quellen zu nutzen, z.B. aus industriellen Abfällen. Die Fa. Sonnenerde in Österreich nutzt z.B. Abfälle der Papierindustrie; das kann akzeptabel sein⁷, macht aber deutlich, welche Eintrittspforten hier für die Abfallindustrie bestehen, die in der Vergangenheit leider zu oft mit umweltschädigenden Entsorgungswegen Schlagzeilen gemacht hat.

⁷ Angesichts z. B. der PFT Problematik im Raum Baden-Baden und Karlsruhe durch Abfälle aus der Papierindustrie ist dies zu mindest zu hinterfragen! Siehe z. B. www.badische-zeitung.de/suedwest-1/polyfluorierte-chemikalien-gefaehrden-grundwasser--88132325.html

5. Wie sieht die CO₂-Bilanz des ganzen Verfahrens aus im Vergleich mit alternativen Nutzungen der Rohstoffe? Der „Klimaeffekt von Terra Preta“

Die Wirkung auf das globale Klima durch Entzug von Kohlenstoff ist ein oft genanntes zentrales Argument für den Einsatz von Biokohle (u.a. Sparkes und Stoutjesdijk 2011, Scheub et al. 2013, World Bank 2014). Wenn die Landwirtschaft ihre Wirtschaftsweise auch nicht an der CO₂-Kompensation anderer Wirtschaftszweige ausrichten muss, sollten ihre Emissionen an CO₂ und anderen Klimagasen minimiert werden; dies sind zum einen die CO₂-Emissionen aus der Herstellung von Mineraldünger, aus dem Maschineneinsatz aber auch die Freisetzung von Methan aus Gärungsprozessen und Lachgas aus gestörtem Stickstoffkreislauf im Boden (UBA 2014). Außerdem ist die Fixierung von Kohlenstoff im Humus eine wesentliche Größe im Kohlenstoffhaushalt, auf die die Landwirtschaftliche Praxis großen Einfluss hat.

Auf diese bodenbezogenen Punkte soll hier eingegangen werden. Weiterhin wird dann der Pyrolyseprozess selbst hinsichtlich seiner Klimawirksamkeit im Vergleich zu anderen Verwendungen des Ausgangsmaterials bewertet.

5.1 Böden als Kohlenstoffspeicher – Humus

Generell sind Böden als Kohlenstoffspeicher / CO₂-Senke äußerst klimarelevant, denn im Humus wird global doppelt so viel Kohlenstoff gebunden wie in der Atmosphäre (Schils et al. 2008). Unter tropischen

Klimabedingungen verläuft der Kreislauf des Kohlenstoffs vom Aufbau aus dem atmosphärischen CO₂ in der Pflanze und der Zersetzung der Pflanzenstreu im Boden durch die Bodenorganismen sehr schnell, so dass sich kaum Humus bildet. Die Blockade des Abbaus und damit die Speicherung ist immer dann besonders hoch, wenn der Abbau der organischen Substanz (Humus) durch die Bodenorganismen durch Kälte, Trockenheit oder Mangel an Mineralnährstoffen verringert ist. Die sehr humusreichen europäischen Schwarzerden in Südosteuropa zum Beispiel sind durch sehr kalte Winter und trockene Sommer bedingt. Unter unseren klimatischen Bedingungen ist jedoch die Humusanreicherung zeitlich limitiert und stark nutzungsabhängig: Waldböden und Grünland binden deutlich mehr als Ackerboden (Düwel et al. 2007). Ziel auch des Ökolandbaus ist es, den für die Produktivität positiven Humusgehalt durch Zufuhr organischer Dünger zu erhöhen (s. unter 1.). Daneben wird allerdings auch ausreichend schnell abbaufähiger sogenannter Nährhumus im System benötigt, da dieser die Bodenorganismen am Leben hält. Dies leistet stark humifizierter sogenannter Dauerhumus, zu dem man im weiteren Sinne auch die Pyrolysekohle rechnen kann, nicht. Die Zufuhr von Pyrolysekohle soll einerseits dazu führen, dass der Humus im Boden stabiler bleibt (Fischer und Glaser 2012), andererseits stellt ja die Pyrolysekohle selbst eine Menge des dem Kreislauf entzogenen Kohlenstoffs dar.

Der Humusgehalt in den oberen 30 cm des Bodens liegt bei 2 bis 3 % (Düwel et al. 2007) Unterstellt man eine erwartete Steigerung um 0,1 %-Punkte, so sind das bei einem Raumgewicht von ca. 1,5 t/m³ ca. 0,5 t/m² und 0,1 % davon 0,5 kg/m², also eine Humuszunahme um 5 t/ha. Diese resultiert aus ca. 10 t/ha organischer Substanz als Ausgangsmaterial, da im Verrottungsprozess, sei es separate Kompostierung oder auf dem Acker, die Masse um ca. 50% reduziert wird. Diese 10 t/ha entsprechen der o.g. Verfügbarkeit.

Da 1 t Humus ca. 0,5 t Kohlenstoff enthält, der zu 1,8 t CO₂ zersetzt werden kann, entspräche die Steigerung des Humusgehaltes um 1% oder 5 t/ha auf den 12 Mio. ha Ackerfläche (5*12*1,8) 108 Mio.t eingespartes CO₂. Dies entspräche zwar ca. 11% der Gesamtemissionen Deutschlands in Höhe von 950 Mio. t CO₂ (UBA 2014), ist aber insofern unrealistisch als dass diese Steigerung der Humusgehalte bei konventioneller Landwirtschaft nicht möglich sind; Ökolandbau findet jedoch bisher nur auf 6 % der Landwirtschaftsfläche statt⁸. Nur auf diesen, mit organischer Düngung versorgten Böden, macht – wie unter 1. beschreiben – der Einsatz von Pyrolysekohle Sinn⁹ und dementsprechend beträgt die mögliche CO₂-Reduktion nur etwa 6 Mio. t CO₂.

Die Senkung der Klimagas-Emissionen aus der Landwirtschaft durch angepasste Systeme (keine Massentierhaltung) hat viel größere Potentiale. So betragen im Jahr 2012 allein die Emissionen aus ackerbaulich genutzten Mooren 26 Mio. t CO₂ (UBA 2014, S. 572).

5.2 Lachgas aus gestörtem Stickstoffkreislauf im Boden

Lachgas (N₂O) ist extrem klimawirksam und entsteht vor allem in Ackerböden aus N-Düngern bei der Denitrifikation unter Sauerstoffmangel, also leicht bei Bodenverdichtung und Staunässe. Die Zufuhr von Pyrolysekohle soll diesen ungewollten Prozess deutlich verringern (Kamman et al. 2012, Cayuela et al. 2013, Harter et al. 2014). Diese Wirksamkeit ist sicher bedeutsam, da es jedoch noch nicht viele Untersuchungen gibt, und schon gar nicht aus Feldversuchen, lässt sich dieser Effekt noch nicht seriös quantifizieren. Für die Bewirtschaftungsprinzipien organische

⁸ www.proplanta.de/Agrar-Nachrichten/Bio-Landbau/Bio-Flaeche-Deutschland_article1334659807.html

Düngung und weite Fruchtfolge, wie sie im Ökolandbau praktiziert werden wurden u.a. aufgrund der Gefüge verbessernden Wirkung auch ohne Pyrolysekohle deutlich geringere Lachgasemissionen ermittelt (Hülsbergen und Schmidt 2010).

5.3 Bewertung des Pyrolyseprozesses selbst hinsichtlich seiner Klimawirksamkeit im Vergleich zu anderen Verwendungen des Ausgangsmaterials

Für den Bereich der Pyrolyse fehlen zurzeit wichtige Größen zur Bewertung (Stoff- und Energieströme in der Pyrolyse z.B. als Sankey-Diagramm), so dass diese Bewertung erst mal auf einzelnen, zum Teil mündlichen Aussagen und auf Datenblättern der Hersteller beruht.

Die für das TerraBoga-Projekt¹⁰ im Botanischen Garten Berlin erstellte Anlage erzeugt im kontinuierlichen Betrieb 60kW thermische Leistung und 6 kg Holzkohle bei einem Einsatz von 40 kg getrockneten Grünschnitt (Holz und teilw. Blätter) pro Stunde¹¹. Dies bedeutet etwa 85% Verlust an Masse und 75% Verlust an Kohlenstoff; der Heizwert von Holz liegt bei 4-5 kWh/kg und so läge der theoretische gesamte Energiegewinn bei 180kW. Die reale Energieausbeute aus dem in der Pyrolyse verbrannten Anteil beträgt, abgesehen von der Aufheizphase, 60kW thermisch, also 1/3 des Ausgangswertes bei ca. 3/4 Verlust des Kohlenstoffs.

Die Fa. Pyreg produziert eine Anlage mit einer Brennstoffleistung von 500 kW aus einem Brennstoffdurchsatz von bis zu 180 kg/h (TS, mindestens 10 MJ/kg). Es entsteht eine Heizwärmeleistung von bis zu 150 kW bei einer Leistungsaufnahme von ca. 10 kWel; die Kohlenstoffeffizienz beträgt bis zu 60%.

⁹ Es ist zu prüfen, welche Ökolandbau-Richtlinie die Verwendung von Pyrolysekohle denn überhaupt zulässt.

¹⁰ <http://terraboga.de/>

¹¹ www.pyreg.de

Diese Daten mit Angaben „bis zu“ lassen jedoch keine echte Effizienzbetrachtung zu.

Die Fa. Sonnenerde benutzt für eine solche Anlage nassen Papierschlamm mit einer Stützfeuerung aus Getreidespelzen. 500 kW Inputenergie gehen in 300 kW Energiegehalt der Kohle, 150 kW Wärme (die zum Trocknen des Rohstoffs und untergeordnet zum Heizen des Gebäudes verwendet wird), rund 50 kW gehen als Abstrahlungsverluste verloren. Für den Betrieb werden 7 kW elektrische Leistung benötigt (Dunst 2013, Dunst, pers. Mitteilung 2014).

Echte Energiebilanzen sind eher selten; eine Literaturübersicht geht von ca. 2/3 Masseverlust aus (Teichmann 2014), so dass energetische Verluste von 50% realistisch erscheinen.

Die Effizienz von reinen, mit Holz gefeuerten Heizungen liegt über 90%¹².

5.4 Böden als Kohlenstoffspeicher – Pyrolysekohle

Neben dem bodenfunktionalen Aspekt den die Pyrolysekohle im Boden bewirken soll steht in der Argumentation ihre Kohlenstoffspeicherungsfunktion, der Entzug aus dem Kohlenstoffkreislauf. Dieser Effekt kann nur dann positiv bewertet werden, wenn es tatsächlich zu anhaltenden Speichereffekten kommt. Eine positive Klimawirkung hängt von vier wesentlichen Faktoren ab (Woolf 2008):

- a. der Stabilität der Biokohle,
- b. der Rate, mit der die Biomasse sonst in CO₂ umgesetzt würde,
- c. der Menge an Biokohle, die dem Boden überhaupt zugesetzt werden kann und
- d. der überhaupt für diesen Prozess zur Verfügung stehenden Menge an Biomasse.
- e. wieviel CO₂ bei der Herstellung von Biokohle entsteht.

¹² www.viessmann.de

zu a)

Die nach EBC zertifizierte Pyrolysekohle muss einen C-Gehalt von mindestens 50% haben (Handelsübliche Pflanzenkohle hat einen C-Gehalt bis zu 70%), der fest gebunden und wohl auch im Boden recht stabil bleibt (Baldock und Smemik 2002, Verheijen et al. 2010). Auch wenn sich dies naturgemäß für die jetzt verwendeten Pyrolysekohlen nur aus früher entstandenem „Black Carbon“ in Böden ableiten lässt, kann hier rechnerisch erst mal damit gerechnet werden, dass diese Kohlen nicht abgebaut werden.

zu b)

Für die Ausgangssubstanzen der Pyrolysekohlen gibt es im Grunde hier zwei zu betrachtende Alternativen: energetische Verwendung, d.h. vollständige Verbrennung oder die Kompostierung. Qualitätsholz z.B. für Möbelherstellung sollte nicht verwendet werden. Im Fall der rein energetischen Nutzung ist die Effektivität höher und es ergäbe sich rechnerisch eine Vermeidung von CO₂-Emissionen in Höhe des geringeren Verbrauchs an Biomasse für die gleiche Wärmeproduktion bei der Verbrennung gegenüber der Pyrolyse. Im Falle der Kompostierung ergibt sich ein energetischer Vorteil für die Pyrolyse in Höhe der gewonnenen Prozesswärme und von den Methanemissionen (s. unter E).

zu c)

Zur „Aufnahmemöglichkeit“ der oberen Bodenschicht. Nach den o.a. Mengenberechnungen dürften letztlich nur Anwendungen von < 1t/ha/a aufgebracht werden können. Auch wenn die sinnvolle Aufbringungsmenge noch nicht wirklich geklärt ist, muss sie aber auf jeden Fall durch die Verbesserung der Bodeneigenschaften bestimmt sein und nicht durch die Maximierung der Einbringungsmenge zum Klimaschutz. Dies wäre eine Form von Geo-engineering, die vollständig abgelehnt werden muss.

Die Klimawirksamkeit wird nicht primär und direkt

durch die eingebrachte Pyrolysekohle erreicht, sondern durch die damit ausgelöste mögliche Steigerung des Humusgehaltes. Steigerung des Humusgehaltes bedeutet gehemmte C-Mineralisierung durch die Bodenorganismen. Deren Zusammensetzung ändert sich unter Einfluss zugeführter Pyrolysekohle, wobei außer der Zunahme mikrobieller Biomasse noch keine eindeutigen Effekte dokumentiert sind (Lehmann et al. 2011).

zu d)

Dies wurde schon unter c und 5. behandelt. Daraus ergibt sich, dass in der Landwirtschaft im Prinzip nur die Biomasse zur Verfügung steht, die auf der jeweiligen Ackerfläche als Nebenprodukt entsteht und die Aufbringungsmenge wohl unter 1 t/ha/a bleiben muss.

5.5 Freisetzung von Methan aus Gärungsprozessen

Methan als sehr klimawirksames Gas entsteht bei der Kompostierung organischer Abfälle, in Deponien, in der Tierhaltung und beim Einsatz von Wirtschaftsdüngern und trägt etwa 5% zur Emission klimawirksamer Gase bei (UBA 2014, S. 63).

Werden biologische Abfälle pyrolysiert statt kompostiert, so entfällt die Entwicklung von Methan (bei einer großen Streubreite) in Höhe von ca. 3 kg CH₄/t Grünabfall bei der normalen Kompostierung (UBA 2014, S. 653); dies entspricht (Klimafaktor 25) ca. 75 kg CO₂-eq./t Grünabfälle.

Zusammenfassend lässt sich die Klimawirksamkeit des Einbringens von Pyrolysekohle in den Boden so bewerten:

Die Erhöhung des Humusgehaltes auf der gesamten Ackerfläche in Deutschland um 0,1%-Punkte würde für diese Zeit der Akkumulation eine deutliche Verringerung der Netto-CO₂-Emission von ca. 10% bewirken. Grundlage hierfür ist aber ein flächende-

ckender Ökoanbau mit Stalleinstreu statt Güllewirtschaft und dem Einsatz organischer Düngung. (Darüber hinaus würde die Umstellung auf Ökolandbau auch sonst die Klimabilanz der Landwirtschaft z.B. durch den Verzicht energieintensiver N-Dünger verbessern). Wesentliche Bedingung ist aber zu klären, ob der Einsatz von Pyrolysekohle diese Steigerung der Humusgehalte ermöglicht und auch langfristig begünstigt.

Der Effekt der Kohle selbst ist wegen der geringen dafür zur Verfügung stehenden Biomassen als eher gering einzuschätzen. Ginge es nur um den Klimaefekt der Pyrolysekohle, so ließen sich holzige Abfälle stattdessen besser in effizienten KWK-Anlagen zum Ersatz von fossilen Brennstoffen verstromen. Wenn Untersuchungen abgesichert wären, dass durch Zusatz von Pyrolysekohle zum Kompostierungsprozess die Methanentwicklung reduziert wäre, dann wäre dies ein zu kalkulierender Vorteil. Belastbare Ökobilanzen für die vergleichende Nutzung von Reststoffen liegen bislang jedoch nicht vor.

Wenn die Pyrolysekohle tatsächlich zu einer Verringerung der Lachgasemission von Ackerflächen führen würde, wäre dies eine weitere Entlastung der Bilanz klimawirksamer Gase.

6. Zusammenfassende Bewertung

Wir freuen uns, dass Boden, Bodenschutz und Bodenfruchtbarkeit in dieser Debatte wieder Thema geworden ist, sehen uns als Umweltverband aber auch in der Aufgabe, eine sachliche und klare Diskussion darüber zu führen.

Als Umweltverband sehen wir es als absolut vorrangig an, bei der Bewertung von Stoffen, die dem Bo-

den zugefügt werden, die Umweltqualität der Böden sicher zu stellen. Die Problematik u.a. von Klärschlämmen, von Schwermetall- und Uranbelastungen durch Phosphatdünger und von Gülleaufbringungen begründet diese Vorsicht.

Zur Verbesserung der Fruchtbarkeit landwirtschaftlicher Böden fordern wir vor allem

- die Abkehr von der industriellen Landwirtschaft,
- die sachgerechte Definition der „guten fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung“ in der Bodenschutz- und Landwirtschaftsgesetzgebung (Beste und Valentin 2010) und
- die Förderung des Ökolandbaus mit seiner den Humus und das Bodenleben fördernden Wirtschaftsweise.

In diesem Kontext sind auch immer wieder Innovationen in der Bodenkultur möglich und die Zufuhr von Pyrolysekohle könnte eine davon sein. Bislang ist allerdings kein signifikanter Effekt in landwirtschaftlichem Maßstab erkennbar, wenn die Menge der tatsächlich zur Verfügung stehenden Rohmaterialien für die Pyrolyse zu Grunde gelegt wird. Die bisherigen positiven Erfahrungen kommen aus den intensiven Kulturen Gartenbau und Weinbau mit oft recht hohen Einsatzmengen an Pyrolysekohle.

Für weitere kleinräumige Versuche im Rahmen einer ökologischen Landwirtschaft zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit und zur Erhöhung der Artenvielfalt übernutzter Kulturlandschaften, sowohl in urbanen, als auch in ländlichen Räumen, halten wir folgende Rahmenbedingungen für nötig:

Aus den aufgeführten Gründen folgt zwingend, dass der Art der – systemischen – Anwendung und dabei insbesondere bereits den Ansprüchen an die Herkunft der Ausgangsstoffe für Terra Preta eine entscheidende Bedeutung zukommt. Die Terra Preta ist das Ergebnis einer nachhaltigen Humuswirtschaft mit regi-

onal verfügbarer Biomasse, sodass die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit in Kombination von Humuswirtschaft mit Zuführung von Pflanzenkohle gesehen werden muss.

Als Ausgangsstoff dienen Pflanzenreste – insbesondere aus Heckenschnitten / Holz aus der Landschaftspflege sowie schadstofffreien kompostierbaren Materialien. Auch hinsichtlich der Effizienz hat die Nutzung von Terra Preta wesentliche Potenziale, die für Synergien genutzt werden können, statt in Dilemmata im Sinne der Nutzungskonkurrenz zu führen: Statt holzartige Reststoffe vollständig zu verbrennen, wird daraus ein Teil der Energie und auch ein Teil des speicherbaren Kohlenstoffs (Pflanzenkohle) gewonnen. Mit leicht umsetzbaren organischen Reststoffen wird er dann möglichst verlustarm vorwiegend zu Humus umgewandelt. Bei jedem Ausgangsstoff muss sicher ausgeschlossen werden können, dass es zu einer Schadstoffanreicherung im Boden kommen kann. Schadstoffbelastete Klärschlämme und ähnliche nicht auf ökologische Kreisläufe hin optimierte Abfälle dürfen selbstverständlich nicht zum Humusaufbau eingesetzt werden.

Eine nachhaltige Humuswirtschaft ist Voraussetzung und Ausdruck der Anreicherung und Speicherung von Kohlenstoff im Boden. Die Humusgehalte der Acker- und Gartenböden können und müssen durch eine verlustärmere organische Düngung auf ein viel höheres Niveau angehoben werden. Pflanzenkohle dient in nachhaltigen Anbausystemen als ein wichtiges Element zur Senkung der Kohlenstoff- und Nährstoffverluste bei der organischen Düngung. Dabei gilt es, die – historische – Entstehungsart von Terra Preta zu berücksichtigen: Der anthropogene Bodentyp ist entstanden durch nachhaltige kleinräumige Landnutzung, Artenvielfalt der Nutzpflanzen, Förderung eines vielfältigen Bodenlebens im Rahmen einer humusanreichernden Bodenbewirtschaftung.

Die Erkenntnisse aus der Terra Preta Forschung soll-

ten für den Transformationsprozess zu nachhaltigen Landnutzungssystemen für eine nachhaltige Erzeugung gesunder Lebensmittel genutzt und weiterentwickelt werden. Dazu muss in den sich überschneidenden Bereichen – Energie, Ernährung, Wasser, Biodiversität, Klima, regionale Wertschöpfung, Gesundheit – für die Entwicklung nachhaltiger Landnutzungssysteme die Förderung praxisnaher Humusforschung und konkreter Projekte zur ganzheitlichen Optimierung von regionalen Stoffkreisläufen künftig viel stärker eingefordert werden.

Auch die bislang noch nicht wissenschaftlich belegten bodenökologischen Effekte zeigen auf, in welche Richtung geforscht werden sollte. Aber zum jetzigen Zeitpunkt ist eine breite Anwendung nicht empfehlenswert.

Auch bei Anwendungen in der Forschung müssen die Gefährdungen durch Schadstoffeinträge unbedingt ausgeschlossen werden, indem bei der Anwendung zumindest die gesetzlichen Anforderungen von Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, Düngemittelverordnung und Düngeverordnung und bei der Pyrolyse die des Bundesimmissionsschutzgesetzes und seiner Verordnungen eingehalten werden.

Anbaubiomasse als Ausgangsstoffe für die Pyrolyse schließen wir aus der Erfahrung mit Agrarsprit und Biogas explizit aus. Es eignen sich prinzipiell verschiedene Abfälle für die es sonst keine oder nur eine minderwertige Verwertung gibt. Die Erfahrungen mit Klärschlamm und anderen Formen der Abfallverbringung lehren uns, mit der Frage äußerst sensibel umzugehen und betriebseigene Eingangsmaterialien unbedingt zu bevorzugen. Eine Auslagerung relevanter Betriebsprozesse aus dem landwirtschaftlichen Betrieb ist zu vermeiden, um die Stoffkreisläufe besser kontrollieren zu können.

Die möglichen positiven Effekte als Kohlenstoffsenke können die genannten Risiken nicht kompensieren;

es ist zu befürchten, dass die Verminderung von Treibhausgasen als Argument genommen wird, um in großem Maßstab sowohl zu pyrolysierende Biomasse extra anzubauen und dann womöglich ohne boden-ökologisch positive Wirkung rein aus Klimaschutzgründen in den Boden einzubringen, wie dies ja in Grundzügen schon angedacht wird (Lehmann 2007, Ippolito et al. 2012). Dies wird natürlich forciert, wenn solche C-Sequestrierung in den Emissionshandel eingebunden würde, wie vom Climate Trust (2010) Schmidt (2011b) und Teichmann und Kemfert (2014) diskutiert.

7. Forderungen

Um die offenen Fragen der postulierten positiven Eigenschaften der Terra-Preta-Technik zu beantworten, sind für uns folgende Eckpunkte wichtig:

- Eine genehmigungsrechtlich zugelassene, dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechende saubere, kontrollierte Pyrolysetechnik – die auch für kleinere Anlagen gelten muss.

- Qualitätssicherung des Endproduktes „Pyrolysekohle“ entsprechend den gesetzlichen Standards des Bodenschutz- und Düngemittelrechts; dafür ggf. Überarbeitung der Dünge VO.
- Verwendung unbelasteter Ausgangssubstanzen wie z. B. im EBC beschrieben, – keine Verwendung „üblicher“, aus Starkholz gewonnener Holzkohle, keine Anbaubiomasse stattdessen im landwirtschaftlichen Betrieb anfallende Biomasse.
- Vergleich mit einer Bewirtschaftung nach ökologischer Praxis mit weiten Fruchtfolgen und kohlefreier Kompost- bzw. Mistwirtschaft.
- In wissenschaftlich umfassenden Versuchen muss nicht nur der pflanzliche Ertrag sondern auch die Bodenbiologie und die Gesamtenergiebilanz des Anbausystems einbezogen werden.
- Ökonomisch ist zu untersuchen, inwiefern eine kurzfristige und intensive Anwendung in Sonderkulturen sinnvoll sein kann.
- Zumindest zunächst ein Verbleiben im Maßstab des Gartenbaus – auch die Terra preta do Indio war ein Gartenbauboden!

Redaktion und Konzeption

Dr. Andreas Faensen-Thiebes und Dr. Andrea Beste, BUND AK Bodenschutz / Altlasten

Mitwirkende

Dr. Mona Gharib (BUND LV Niedersachsen, Projekt „Terra Preta in Niedersachsen“), Claudia Baitinger (Sprecherin BUND AK Immissionsschutz), Dr. Hartmut Hoffmann (Sprecher BUND AK Abfall und Rohstoffe), Dr. Werner Neumann (Sprecher BUND AK Energie), Dr. Anita Idel (Mitglied BUND AK Landwirtschaft)

Kontakt

bodenschutz@bund.net
www.bodenschutz.bund.net

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V. (BUND) · Friends of the Earth Germany
Am Köllnischen Park 1 · 10179 Berlin · Tel.: (0 30) 27 58 64-0

Berlin 2015

8. Zitierte Literatur

- Baldock, J.A. und Smemik, R. (2002):
Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. *Organic Geochemistry*, 33: 1093-1109.
- Beste, A. (2005):
Landwirtschaftlicher Bodenschutz in der Praxis. Grundlagen, Analyse, Management. Erhaltung der Bodenfunktionen für Produktion, Gewässerschutz und Hochwassermeidung. Verlag Dr. Köster
- Beste, A. (2008):
Ansprüche an die Bodenqualität bei zu erwartenden Klimaänderungen.
Vortrag Tagung Klimawandel - Auswirkungen auf Landwirtschaft und Bodennutzung, Osnabrück 2008 - Tagungsreader
- Beste, A. und Valentin, I. (2010):
Bodenschutz in der Landwirtschaft. Ein Streifzug durch Paragraphen, Felder und Forschungslandschaften. In: Der Kritische Agrarbericht 2010.
- Busch, D., Kammann, C., Grünhage, L. und Müller, Ch. (2011):
Simple Biototoxicity Tests for Evaluation of Carbonaceous Soil Additives: Establishment and Reproducibility of Four Test Procedures. *J. Environ. Qual.* 40, 1-10
- Busch, D., Stark, A., Kammann, C. und Glaser, B. (2013):
Genotoxic and phytotoxic risk assessment of fresh and treated hydrochar from hydrothermal carbonization compared to biochar from pyrolysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 97, 59-66
- Cayuela, M. L., Sa'nchez-Monedero, M.A. Roig, A., Hanley, K., Enders, A. und Lehmann, J. (2013):
Biochar and denitrification in soils: when, how much and why does biochar reduce N₂O emissions? *Sci. Rep.* 3, 1732
- Climate Trust (2010):
Carbon Market Investment Criteria. www.biochar-international.org/sites/default/files/WestCARB%20Biochar%20Report%20Final.pdf
- Düwel, O., Siebner, C.S, Utermann, J., Krone, F., (2007):
Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands - Bericht über länderübergreifende Auswertung von Punktinformationen im FISBo BGR-; BGR, Hannover
- Dunst, G. (2013):
Die erste abfallrechtlich bewilligte Pflanzenkohleproduktionsanlage Europas. *Müll und Abfall* 12/2013 661-664
- EBC (2012):
European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.' European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. <http://www.european-biochar.org/en/download>. Version 4.8 of 13th December 2013, Accessed: 25.09.2014
- Emmerich, M. (2014):
Biokohle macht Landwirtschaft klimafreundlicher. *Spektrum der Wissenschaft*, Juni 2014 S. 14-16
- Ernsting, A. (2009):
Biochar - Klimaretter oder Bumerang? In: *umwelt aktuell*, Oktober 2009
- Fischer D, und Glaser B (2012):
Synergisms between compost and biochar for sustainable soil amelioration. In: Sunil K, Bharti A (Eds.) *Management of Organic Waste*, pp. 167-198. InTech, Rijeka, Croatia, ISBN: 978-953-307-925-7
- Freddo, A., Cai, Ch. und Reid, B.J. (2012):
Environmental contextualisation of potential toxic elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in biochar. *Environmental Pollution Journal*; B.
- Freyer, B. (2003):
Fruchtfolgen. Konventionell - integriert - biologisch. Stuttgart.
- GIZ (ed.) (2014):
Micro-gasification: cooking with gas from dry biomass An introduction to concepts and applications of wood-gas burning technologies for cooking. 2. Aufl., Eschborn, 159 S.

- Glaser, B. und 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., Wiedner, K., Seelig, S., Schmidt, H.-P. und Gerber, H. (2014): Biochar organic fertilizers from natural resources as substitute for mineral fertilizers. *Agronomy for Sustainable Development im Druck*
- Grefe, Ch. (2011): "Wundererde" im Test. "Terra Preta", ein fruchtbarer Humus der Indios, wird als vielseitiger Retter zerstörter Böden gepriesen. *Zeit online*. 1. Dez. 2011
- Hülsbergen, K.-J. und Schmidt, H. (2010): Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden. *KTBL Schrift* 483: 229–483.
- Johannes Harter, J., Krause, H.M., Schuettler, St., Russer, R., Fromme, M., Scholten, Th., Kappler, A. und Behrens, S. (2014): Linking NO₂ emissions from biochar-amended soil to the structure and function of the N-cycling microbial community. *The ISME Journal* 8, 660–674
- Ippolito, J.A., Laird, D.A. und Busscher, W.J. (2012): Environmental Benefits of Biochar. *Journal of Environmental Quality*, 41(4) p. 967–972
- Kammann, C. (2012): Chancen und Risiken des Einsatzes von Pflanzenkohle. *Biokohle in Böden. Müll und Abfall* 5/2012, S. 256–263
- Kammann, C., Ratering, St., Eckhard Ch. und Müller, Ch. (2012): Biochar and Hydrochar Effects on Greenhouse Gas (Carbon Dioxide, Nitrous Oxide, and Methane) Fluxes from Soils. *J. Environm. Quality*, 41 S. 1052–1066
- Keiluweit, M., Kleber, M.M., Sparrow, M.A., Simoneit, B.R.T. und Prah, F.G. (2012): Solvent-Extractable Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Biochar: Influence of Pyrolysis Temperature and Feedstock. *Environ. Sci. Technol.*, 46 (17), pp 9333–9341.
- Kröfges, P., Skutlarek, D., Färber, H., Baitinger, C., Gödeke, I. und Weber, R. (2007): PFOS/PFOA contaminated megasites in Germany polluting the drinking water supply of millions of people. *Organohalogen Comp.* 69, 877–880.
- Lehmann, J. (2007): A handful of carbon. *Nature* 447, 143–144
- Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C. und Crowley, D. (2011): Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43, 1812–1836
- Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G. und Paz-Fereiro, J. (2013): Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions – a meta-analysis of literature data. *Plant Soil* 373, 583–594.
- NSW Trade and Investment (ed.) 2012: Prospects for the use of biochar in Australian horticulture. *Wollongbar*, 104 S.
- Qayyum, M.F., Steffens, D., Reisenauer, H.P. und Schubert, S. (2012): Kinetics of Carbon Mineralization of Biochars Compared with Wheat Straw in Three Soils. *J. Environ. Qual.* 41, 1210–1220
- Scheub, U., Pieplow, H. und Schmidt, H.-P. (2013): Terra Preta. Die schwarze Revolution aus dem Regenwald. *Oekom Verlag, München*, 206 S.
- Schils, R. et al. (2008): *ClimSoil Report - review of existing information on the interrelations between soil and climate change.*
- Schimmelpfennig, S. und Glaser, B. (2012): One Step Forward toward Characterization: Some Important Material Properties to Distinguish Biochars. *J. Environ. Qual.* 41, 1001–1013
- Schimmelpfennig, S., Müller, Ch., Grünhage, L., Koch Ch. und Kammann, C. (2014): Biochar, hydrochar and uncarbonized feedstock application to permanent grassland—Effects on greenhouse gas emissions and plant growth. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 191, 39–52
- Schmidt, H.P. (2011a): Wege zu Terra Preta – Aktivierung von Pflanzenkohle. *Ithaka Journal* 1/ 2011: 28–32

- Schmidt, H.P. (2011b):
Pflanzkohle. Ithaka Journal 1/ 2011: 75–82
- Schmidt, H.P. (2012):
55 Anwendungen von Pflanzkohle. Ithaka Journal 1/ 2012: 99–102
- Schmidt, H.P., Abiven, S., Glaser, B., Kammann, C., Bucheli, Th., und Leifeld, J. (2012):
Europäisches Pflanzkohle Zertifikat.
- Schulz, H. und Glaser, B. (2012):
Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. J. Plant Nutr. Soil Sci. 175, 410–422
- Schulz, H., Dunst, G. und Glaser, B. (2014):
No Effect Level of Co-Composted Biochar on Plant Growth and Soil Properties in a Greenhouse Experiment. Agronomy 4, 34–51
- Sohi S., Lopez-Capel, E., Krull, E. und Bol, R. (2009):
Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report 05/09. February 2009
<http://www.csiro.au/files/files/poei.pdf>
- Sparkes, J. und Stoutjesdijk, P. (2011):
Biochar: implications for agricultural productivity. Australian Bureau of Agricultural Resource Economics and Sciences. Technical Report 11.06. 63 S.
- Teichmann, I. (2014):
Klimaschutz durch Biokohle in der deutschen Landwirtschaft: Potentiale und Kosten. DIW Wochenbericht Nr. 1+2 2014, S. 3–13
- Teichmann, I. und Kempf, C. (2014):
Biokohle in der Landwirtschaft als Klimaretter. DIW Roundup Nr. 47. 9 S.
www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c4_89477.de/diw_roundup_47_de.pdf
- UBA (2014):
Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2014. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2012
- Verheijen, F.G.A., Jeffery, S., Bastos, A.C., van der Velde, M., und Dias, I. (2010):
Biochar Application to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 149pp.
- Weltagrarbericht (2013):
Wege aus der Hungerkrise - Die Erkenntnisse und Folgen des Weltagrarberichts: Vorschläge für eine Landwirtschaft von morgen, Zukunftsstiftung Landwirtschaft, Berlin, Dezember 2013, Download pdf: <http://www.weltagrarbericht.de/broschuere.html>; gesehen am 16.09.2014
- Woolf, D. (2008):
Biochar as a soil amendment: A review of the environmental implications.
http://orqprints.org/13268/1/Biochar_as_a_soil_amendment_-_a_review.pdf
- World Bank (ed.) (2014):
Biochar Systems for Smallholders in Developing Countries. Leveraging current knowledge and exploring future potential for climate-smart agriculture. Washington 208 S.