

Tagungsbeitrag zu: Vortrag im Symposium VI + II + IV

Titel der Tagung: Böden verstehen, Böden nutzen, Böden fit machen

Symposium VI + II + IV, 3.-9. September 2011, Berlin

Berichte der DBG (nicht begutachtete online-Publikation)

<http://www.dbges.de>

Einfluss pyrogener Kohle auf den Stoffhaushalt tropischer Böden in Mosambik

Bischoff, W.-A.¹, Marxen, A.², Schwarz, A.¹, Schulze, P.³, Kaupenjohann, M.⁴

Zusammenfassung

Die Einarbeitung von pyrogener Kohle in Verbindung mit organischem Dünger in nährstoffarme tropische Böden birgt ein Potenzial zur Ertragsteigerung in der Landwirtschaft. In einem zweimonatigen Parzellenversuch auf einer Jatropha-Plantage in Zentral Mosambik wurde der Einfluss von Biokohle und Grasschnitt auf den Nährstoffhaushalt zweier Böden, die sich deutlich in Ton- und C-Gehalt unterscheiden, getestet: Ein sandiger, C-ärmerer Stagnosol und ein lehmiger C-reicherer Luvisol. Auf dem Stagnosol wurde eine deutliche Verbesserung der P- und K-Verfügbarkeit im Boden, eine Erhöhung des pH-Wertes und eine Steigerung der Jatropha-Blattgehalte an P, K, Mg, N und S erreicht, allerdings noch keine Ertragssteigerung. Auf dem bereits fruchtbaren lehmigen Luvisol war die Biokohle Zugabe dort nicht lohnenswert. Aufgrund des höheren Ton- und C-Gehalts gab es nur geringe Effekte. Für nährstoffarme, sandige Böden bleibt eine

längerfristige, nachhaltige Wirkung der Biokohle-Effekte zu prüfen.

Schlüsselworte: Biokohle, Jatropha, Selbst-Integrierende Akkumulatoren (SIA), Terra Preta

Einleitung

Intensiv verwitterte tropische Böden sind meist ertragsschwach. Das wechselfeuchte Klima sorgt für eine periodische Durchfeuchtung der Böden. Bei gleichzeitig hohen Temperaturen herrscht intensive Verwitterung. In den humiden Monaten wird die Streu rasch zersetzt, und so verarmen die Böden an Humus (Zech und Hintermaier-Erhard, 2002). Die Nährstoffrückhaltefähigkeit ist gering und insbesondere bei starken Regenereignissen kommt es zu hohen Auswaschungsverlusten.

Im Amazonasbecken jedoch kommen die anthropogenen Terra Preta Böden vor, die seit Jahrhunderten sehr fruchtbar sind. Dies ist auf ihren hohen Gehalt an stabiler organischer Substanz zurückzuführen. In jüngster Zeit wird immer wieder versucht, solche Böden nachzubilden, indem man humusarmen oder degradierten Böden organische Substanz in Form von pyrogener Kohle in Verbindung mit organischem Dünger zugibt (Glaser, 2002a). Dieser beschleunigt die biotische Oxidation der funktionellen Oberflächengruppen der Kohle durch eine Erhöhung der mikrobiellen Aktivität im Boden und vergrößert so die Sorptionskapazität. Diese Form der Bodenverbesserung birgt ein großes Potenzial zur Intensivierung der Landwirtschaft und damit zur Sicherung der Nahrungsversorgung der wachsenden Weltbevölkerung (Glaser, 2002b). Lehmann et al. (2002) schlagen als Alternative zur in den Tropen häufig genutzten traditionellen „slash and burn“ Technik ein „slash and char“ Management vor. Dabei wird die oberirdische Biomasse nicht verbrannt, sondern verkohlt und dann in Form von Biokohle in den Boden eingearbeitet. Dies soll nicht nur die globale C-Bilanz, sondern auch den Nährstoffhaushalt der Böden verbessern. Während Nährstoffe aus der Asche schnell

¹ Gutachterbüro TerrAquat, Schellingstraße 43, 72622 Nürtingen

² Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH, Department Bodenphysik, Theodor-Lieser-Straße 4, 06120 Halle

³ Humboldt Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Fachgebiet Bodenkunde und Standortlehre, Unter den Linden 6, 10099 Berlin

⁴ Technische Universität Berlin, Institut für Ökologie, Fachgebiet Bodenkunde, Ernst-Reuter-Platz 1, 10587 Berlin

freigesetzt werden und nur kurzfristig verfügbar sind, soll Biokohle die Nährstoffrückhaltekapazität der Böden langfristig verbessern. Um dieses Potenzial zu untersuchen, haben wir ein zweimonatiges Feldexperiment auf der NiQel-Farm in Zentral-Mosambik durchgeführt. Dort wird der Ölfuchtb Baum *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) angebaut, dessen Samen ca. 50% Öl enthalten, welches zur Biodiesel Produktion verwendet wird.

Unsere grundlegende Idee ist es, die nach der Ölextraktion übrig bleibenden Nussschalen zu verkohlen, die hergestellte Biokohle in den Boden einzuarbeiten und dadurch die Produktivität der Böden zu erhöhen.

Wir erwarten durch die Einarbeitung von Biokohle und Biomasse eine Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit im Boden, der Nährstoffversorgung der *Jatropha* und eine Ertragssteigerung. Wir nehmen an, dass die Effekte mit abnehmendem Ton- und C-Gehalt der Böden größer werden.

Material und Methoden

Das Untersuchungsgebiet liegt auf dem Gebiet der NiQel Farm im Distrikt Buzi in der Provinz Sofala in Zentral Mosambik. Dort herrscht semiarides Savannenklima mit einem Jahresniederschlag von 900 mm und einer Jahresdurchschnittstemperatur von 25°C. Die natürliche Vegetation sind Wald und Grasland. Die NiQel Lda. baut *Jatropha* in Monokultur an. Geologisch liegt die Farm in der Bruchschollenzone zwischen dem Hochland an der Grenze zu Simbabwe und den Küstensümpfen. Die Parzellenversuche wurden auf zwei unterschiedlich texturierten Böden angelegt, einem sandigen Stagnosol und einem lehmigen Luvisol. Der Haplic Stagnosol ist aus granitischem Ausgangsgestein entstanden. Sein OBH (0-17 cm) ist grob texturiert mit 82% Sand, 8% Schluff und 8% Ton. Der C_{org} Gehalt beträgt 12 g kg^{-1} , N_{ges} $0,9 \text{ g kg}^{-1}$, der pH-Wert ist 4,7 (CaCl_2) und die KAK_{pot} $8,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Der Cutanic Luvisol ist aus Auensedimenten entstanden. Sein OBH (0-30 cm) enthält 56% Sand, 28% Schluff und 16% Ton. Sein C_{org} Gehalt beträgt

$15,1 \text{ g kg}^{-1}$, N_{ges} $1,1 \text{ g kg}^{-1}$, der pH-Wert ist 5,3 (CaCl_2) und die KAK_{pot} $17,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

Auf beiden Standorten wurden randomisierte Parzellenversuche mit zwei Varianten in je dreifacher Wiederholung angelegt, eine Variante mit Zugabe von $17 \text{ Mg Biokohle-C ha}^{-1}$ und eine weitere ohne Kohle-Zugabe als Kontrolle. Beiden Varianten wurde $4,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ (TS) frischer Grasschnitt beigemischt. Jede Parzelle hat eine Fläche von 2 m^2 ($1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$) und eine Einmischtiefe von 30 cm. 32 *Jatropha* Pflanzen wurden auf einer Parzelle gesät. Die verwendete Biokohle wurde im Pyrolyse-Verfahren aus Maisschnitzeln hergestellt, da zum Zeitpunkt des Versuchs noch keine *Jatropha* Früchte gereift waren.

Die Parzellen wurden zum Anfang und Ende des Versuchs, im März und im Mai 2010 mit Stechzylindern beprobt. C_{org} und N_{ges} wurden mittels trockener Veraschung im Elementaranalysator (Vario EL 3, Elementar, Hanau) bestimmt. Die K-, Ca- und Mg-Sättigung wurde nach Extraktion mit $1 \text{ M NH}_4\text{Cl}$ mit Flammen-AAS (Perkin Elmer 1100, Perkin Elmer, Rodgau) gemessen. Der pflanzenverfügbare P wurde mit CAL extrahiert und photometrisch mittels CFA (San ++, Skalar, Niederlande) gemessen. Der pH-Wert wurde in 1 M KCl Lösung ($10 \text{ g}/25 \text{ ml}$) gemessen (Elektrode 761 Calimatic, Knick).

Die Sickerwasserionen wurden kumulativ und flächenbezogen mit der Methode der Selbst-Integrierenden Akkumulatoren (SIA) nach Bischoff (2007) bestimmt. Ein SIA besteht aus einem PVC Zylinder ($d=10 \text{ cm}$, $h=10 \text{ cm}$) mit einem Nylon Netz am Boden und ist mit einer Sand/Adsorber Mischung gefüllt. In jeder Parzelle wurden über den Versuchszeitraum in 30 cm Tiefe SIA in dreifacher Wiederholung installiert. Ein Aliquot des Sand/Adsorber Gemisches wurde mit 1 M NaCl extrahiert und K, Ca und Mg mittels Flammen-AAS, NO_3^{2-} , NH_4^+ und PO_4^{3-} mittels CFA gemessen.

Zum Versuchsende wurden Blattproben von zufällig ausgewählten Pflanzen genommen und die gesamte oberirdische *Jatropha* Biomasse wurde geerntet und gewogen. C, N und S der Blätter wurden

im Elementaranalysator bestimmt. K, Ca, Mg und P wurden nach einem HNO₃ Druckaufschluss mittels Flammen-AAS bzw. CFA gemessen.

Für alle Messdaten wurde eine Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt, ein Signifikanzniveau von 5% ($p < 0.05$) wurde gewählt.

Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen. Alle Nährstoffe sind im Luvisol höher konzentriert als im Stagnosol (Kontroll-Varianten). Die Kohle-Zugabe bewirkte auf dem Stagnosol eine signifikante Erhöhung des C/N Verhältnis (bis zum Ende), der K-Sättigung (bis zum Ende), des verfügbaren P und des pH-Wertes (bis zum Ende).

Tabelle 1: Bodenkenngößen zu Beginn und am Ende des Versuchs

Boden		Stagnosol			
Variable	Variante	Biokohle	Biokohle	Kontrolle	Kontrolle
	Zeitpunkt	Anfang	Ende	Anfang	Ende
C _{org}	%	0,987	0,915	0,796	0,793
N _{ges}	%	0,064	0,053	0,060	0,056
C/N		15,4	17,2	13,3	14,1
CAL-P	mg 100 g ⁻¹	1,2	1,0	0,3	0,3
K ⁺	mmol _c kg ⁻⁰	6,7	5,4	3,2	2,7
Ca ²⁺	mmol _c kg ⁻¹	36,1	38,2	38,6	44,7
Mg ²⁺	mmol _c kg ⁻²	13,0	13,5	12,2	13,5
pH (KCl)		6,1	6,0	5,5	5,7
Boden		Luvisol			
Variable	Variante	Biokohle	Biokohle	Kontrolle	Kontrolle
	Zeitpunkt	Anfang	Ende	Anfang	Ende
C _{org}	%	1,745	1,697	1,519	1,485
N _{ges}	%	0,096	0,104	0,103	0,092
C/N		18,1	16,3	14,7	16,1
CAL-P	mg 100 g ⁻¹	6,6	5,6	6,4	4,9
K ⁺	mmol _c kg ⁻⁰	14,1	11,6	8,4	7,7
Ca ²⁺	mmol _c kg ⁻¹	72,8	74,4	82,2	81,5
Mg ²⁺	mmol _c kg ⁻²	27,2	27,7	30,3	27,3
pH (KCl)		5,9	5,6	5,6	5,4

Auf den Kontrollparzellen stieg die Ca-Sättigung signifikant während des Versuchs und war zum Ende signifikant höher als auf den Kohleparzellen, Mg und P sind signifikant gesunken auf den Kontrollparzellen. Auf dem Luvisol wurde durch Kohle Zugabe die K-Sättigung signifikant erhöht (bis zum Ende), auch der N Gehalt war zum Ende des Versuchs signifikant höher auf den Kohleparzellen. Der Ca-Gehalt auf den Kontrollparzellen

war zu beiden Zeitpunkten signifikant höher als auf den Biokohleparzellen. Mg und P sind auf den Kontrollparzellen signifikant gesunken.

Tabelle 2 zeigt die Nährstoffauswaschungen über den Versuchszeitraum. P, K, Ca und Mg wurden auf dem Stagnosol signifikant stärker ausgewaschen als auf dem Luvisol. N stellt zu 100% NO₃⁻N dar, da die gemessene NH₄⁺ Konzentration in allen Parzellen unterhalb der Nachweisgrenze lag. Auch die N Auswaschung war auf dem Stagnosol stärker, aufgrund einer starken Streuung allerdings nicht signifikant. Die Kohlegabe hat auf dem Stagnosol eine signifikante Erhöhung der K- und eine signifikante Verringerung der Ca-Auswaschung bewirkt, auf dem Luvisol hatte sie keinen Einfluss.

Tabelle 2: Auswaschung in 30 cm Tiefe

Boden	Stagnosol		Luvisol	
kg ha ⁻¹	Biokohle	Kontrolle	Biokohle	Kontrolle
N	2,4	10,0	2,8	4,9
p*	2,3	2,1	0,0	0,7
K	88,8	32,4	6,1	9,4
Ca	21,9	27,2	9,7	8,6
Mg	0,8	1,0	0,2	0,3

Tabelle 3 zeigt die Erträge oberirdischer Jatropha-Biomasse. Sie sind auf dem Luvisol um ein Vielfaches höher als auf dem Stagnosol, wobei die Kohlegabe auf keinem der Standorte einen signifikanten Einfluss hatte. Die Ergebnisse streuen sehr stark aufgrund der unterschiedlichen Anzahl gekeimter Pflanzen.

Tabelle 3: Biomasse Jatropha nach 2 Monaten

Boden	Variante	oberirdische Biomasse
		kg ha ⁻¹
Stagnosol	Biokohle	3045 ± 495
	Kontrolle	3870 ± 2360
Luvisol	Biokohle	16215 ± 1320
	Kontrolle	18085 ± 2875

Tabelle 4 zeigt die Nährstoffkonzentrationen der Jatropha-Blätter. Auf dem Luvisol haben die Blätter eine signifikant höhere P-Konzentration als auf dem Stagnosol. Die Biokohle hat auf

dem Stagnosol eine signifikante Erhöhung der Konzentrationen an N, P, K, Mg und S bewirkt. Auf dem Luvisol gab es keine signifikante Änderung.

Tabelle 4: Blattgehalte *Jatropha curcas*

Boden	Stagnosol		Luvisol	
Variante	Biokohle	Kontrolle	Biokohle	Kontrolle
Element	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
C	408,8	413,2	416,1	417,7
K	42,2	32,5	33,9	36,6
N	39,7	32,2	33,8	29,4
Ca	17,8	18,6	20,9	18,8
Mg	12,6	11,2	10,4	10,5
P	6,7	3,5	6,4	6,6
S	2,6	1,9	2,1	2

Diskussion und Schlussfolgerungen

Auf dem sandigen, nährstoffarmen Stagnosol hat die Kohle eine Verbesserung des Nährstoffhaushaltes bewirkt. Die Erhöhung der P- und K-Verfügbarkeit im Stagnosol und analog dazu der Gehalte der *Jatropha*-Blätter und der K-Auswaschung sind auf den direkten Nährstoffeintrag durch die Kohle zurückzuführen (Düngewirkung). Analog zur Abnahme der Ca-Verfügbarkeit nimmt im Stagnosol auch die Ca-Auswaschung ab. Beides könnte auf eine Sorption durch die Kohle zurückzuführen sein, wobei durch das engere Ca/Mg Verhältnis Mg besser durch die Pflanze aufgenommen werden kann und der Blattgehalt steigt. Außerdem bewirkt die Kohle auf dem Stagnosol eine Zunahme der N- und S-Gehalte der Blätter und eine pH-Werte Steigerung. Für eine Ertragssteigerung war möglicherweise die zugegebene Kohlemenge oder die Beobachtungszeit zu gering.

Auf dem bereits gut mit Nährstoffen versorgten lehmigen Luvisol hat die Kohle Zugabe nur eine schwache Verbesserung der Nährstoffversorgung und keine Erhöhung der Blattgehalte bewirkt, der Luvisol ist bereits ohne Kohle-Zugabe ein guter Pflanzenstandort, die Zugabe von Biokohle ist dort nicht lohnenswert. Das Potenzial der Biokohle zur Verbesserung eines nährstoffarmen Bodens wurde für einen kurzen Zeitraum auf dem Stagnosol belegt, eine längerfristige Wirkung bleibt zu prüfen. Die Hypothese, dass der Effekt der Biokohle mit abnehmendem Ton- und

Humus-Gehalt des Bodens stärker wird, wurde bestätigt.

Referenzen

Bischoff, W. (2007). Development and Applications of the Self-Integrating Accumulators: A Method to quantify the Leaching Losses of Environmentally Relevant Substances. PhD thesis, Universitätsbibliothek.

Glaser, B., Lehmann, J., Steiner, C., Nehls, T., Yousaf, M., and Zech, W. (2002a). Potential of pyrolyzed organic matter in soil amelioration. In Sustainable utilization of global soil and water resources, Proc. 12. ISCO Konf., Seiten 26–31.

Glaser, B., Lehmann, J., and Zech, W. (2002b). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35(4):219–230.

Lehmann, J., da Silva Jr, J., Rondon, M., Cravo, M., Greenwood, J., Nehls, T., Steiner, C., and Glaser, B. (2002). Slash - and - char – a feasible alternative for soil fertility management in the central amazon. 17. WCSS, Seiten 14–21.

Zech, W. und Hintermaier-Erhard, G. (2002). *Böden der Welt*. Spektrum, Akad. Verl.

Dank

Wir danken Prof. Bruno Glaser und der PYREG GmbH für die Organisation und Produktion der Biokohle, Herrn Nicolas Gagiano und den Mitarbeitern der NiQel Lda. für die praktische Unterstützung und der Heidehof-Stiftung für die Finanzierung.