

# Einfluss von HTC-Biokohle als Bodenverbesserer auf den Wachstums- und Entwicklungsverlauf bei Sojabohnen

Daniel Lehner<sup>1\*</sup>, Henrike Thalenhorst<sup>2</sup> und Roland Kariger<sup>2</sup>

## Zusammenfassung

Biokohle ist ein durch thermische Abbauprozesse von organischen Materialien in sauerstoffarmer oder vorzugsweise gänzlich in sauerstofffreier Umgebung hergestelltes Produkt, auf Basis einer pyrolytischen Reaktion (SOHI et al., 2009). Aktuell ist Biokohle noch nicht zum Einsatz in der biologischen Landwirtschaft zugelassen, ist jedoch aufgrund seiner Eigenschaften als möglicher Bodenhilfsstoff in Zukunft ein Thema.

Der Einfluss von 0 bis 20 t/ha Biokohle auf Wachstum, Ertrag und ausgewählte Inhaltsstoffe der Sojabohne wurde in verschiedenen Varianten vergleichend beurteilt. Während des Wachstumsverlaufes bis zur Blüte wurden bereits Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt. Anfang Juli gab es in der Wuchshöhe und in der bis zu diesem Zeitpunkt gebildeten Biomasse deutliche Unterschiede. Varianten die rein mit HTC-Kohle gedüngt wurden zeigten signifikant höhere Wuchshöhen. Diese Unterschiede verringerten sich jedoch bis zur Ernte.

Wegen sehr geringer Niederschläge im ersten Halbjahr 2012 bildeten sich keine Rhizobien und so gab es auch keine symbiotische Stickstoffbindung. Für das Wachstum der Pflanzen stand nur der bodenbürtige Stickstoff zur Verfügung. Daher erreichten zur Ernte die mit Mineraldünger gedüngten Varianten die höchste Wuchshöhe und Gesamttrockenmasse und den höchsten Kornertrag mit 3.511 kg/ha. Bei den Qualitätskriterien wiesen die HTC-Varianten im Ölgehalt mit 191 g/kg und im Zuckergehalt mit 5.52 g/100g den geringsten Wert auf. Beim Ölgehalt wurde in der Variante 20 t/ha Biokohle mit 219 g/kg der signifikant höchste Wert gemessen. Beim Zuckergehalt erreichte die mineralisch gedüngte Variante mit 5.99 g/100g den höchsten Wert, dieser unterschied sich jedoch nicht signifikant von den anderen Werten. Nur die Parzellen, welche mit HTC-Kompost Gemisch gedüngt wurden, erreichten Werte über dem Mittelwert, alle übrigen Varianten lagen unter dem Durchschnitt.

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass im Ausbringungsjahr aufgrund des geringeren Stickstoffangebotes der durchwurzelten Krume ein negativer Ertragseinfluss der Biokohle möglich ist. Für eine umfassende Beurteilung von Biokohle als Dünger sind jedoch langjährige Versuche nötig.

*Schlagwörter:* Biokohle, Sojabohne, Bodenfruchtbarkeit, Biologische Landwirtschaft

## Summary

Biochar is produced through a thermal degradation process of organic materials, that occurs in presence of low oxygen or completely without oxygen and is based on a pyrolytic reaction (SOHI et al., 2009).

Currently, biochar is not yet approved for use in organic agriculture, but could become more interesting in future due to its soil improving characteristics. The influence of biochar with an amount of 0 to 20 t/ha on growth, yield and selected ingredients on soybeans of different variants was compared. During the growth period of the soybeans until the beginning of blooming, differences between the variants could be found. At the beginning of July, differences in the length of plants and grown biomass were measured. The plants from the plots prepared with HTC biochar have shown significantly longer stems than the others. These differences diminished until the harvest.

Due to extrem low precipitation values in spring and early summer in 2012, no rhizobia could be developed and nitrogen fixation for soybean plants was not possible. The plants could only use nitrogen from the soil for growth. As a result, the plots prepared with mineral fertilizer have shown the significantly longest plants, the highest mass of dry matter and the highest yields with 3.511 kg/ha.

Concerning the ingredients, the HTC variants have shown the lowest values in oil content with 191 g/kg and sugar contents with 5.52 g/100g. The significantly highest oil content was measured in the variant 20 t/ha biochar with 219 g/kg. The highest value in sugar content with 5.99 g/100g was measured in the variant with mineral fertilizer, but did not differ significantly. Only the plots where HTC was mixed with compost had shown values above the average. All other values were lower than the middle.

From this results it can be seen, that due to the lower amount of available nitrogen in the year of application there can be a negative influence of biochar on the yield. To evaluate effects in crop rotations, long term field experiments have to be made, because only thus, „medium- and longterm effects of biochar“ on growth of plants, behave on yield and quality of harvested crops and impact on soil can be evaluated objectively.

*Keywords:* biochar, soybean, soil fertility, organic agriculture

<sup>1</sup> HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Biologische Landwirtschaft und Biodiversität der Nutztiere, A-4651 Stadl-Paura

<sup>2</sup> Universität für Bodenkultur, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, A-1180 Wien

\* Ansprechpartner: Daniel Lehner, [daniel.lehner@raumberg-gumpenstein.at](mailto:daniel.lehner@raumberg-gumpenstein.at)



## Einleitung und Zielsetzung

Der Erhalt der natürlichen Bodenfruchtbarkeit auf Ackerflächen ist aktuell ein zentrales Thema. Bei Verminderung der Erträge und der Qualität der Inhaltsstoffe von Nutzpflanzen wird dies häufig durch einen erhöhten Einsatz von Handelsdüngern ausgeglichen. Ebenso spielt der Klimawandel vermehrt eine Rolle in der Pflanzenproduktion. Der Einsatz von Biokohle könnte zur Verminderung der Probleme beitragen.

Die Sojabohne, weltweit die bedeutendste Körnerleguminose, ist die Pflanze mit qualitativ hochwertigem Protein und Fett. Sie trägt einen wesentlichen Anteil zur Deckung des steigenden Bedarfes für die wachsende Weltbevölkerung bei. Die Kombination mit Biokohledüngung wurde bisher kaum bearbeitet.

Die kommerzielle Erzeugung von Biokohle findet in Reaktoren statt, welche mit unterschiedlicher Biomasse als Ausgangsmaterial gespeist werden. Dies können Rohstoffe pflanzlichen Ursprungs wie Holzhackschnitzel, land- und forstwirtschaftliche Ernterückstände, Grünschnitt oder auch Lebensmittelabfälle sein. Aber auch andere organische Reststoffe wie zum Beispiel feste Gärreste aus Biogasanlagen, Knochen, Schlachtabfälle, Wirtschaftsdünger, organische Industrierohstoffe oder Klärschlamm, bis hin zu Restprodukten der Biodieselerzeugung sind pyrolysierbar (SOJA et al., 2012).

Der Vorgang der Pyrolyse beschreibt die Zersetzung von organischer Substanz in (theoretischer) Abwesenheit von Sauerstoff. Pyrolyse entsteht spontan bei Temperaturen von 300 bis 1000 °C. Während dieses Prozesses durchläuft das eingesetzte Material eine Vielzahl von physikalischen, chemischen und molekularen Veränderungen (VERHEIJEN et al., 2010; KLOSS et al., 2012; SOHI et al., 2009).

Eine spezielle Form der Biokohle ist die durch „Hydrothermale Carbonisierung“ (HTC) erzeugte Biokohle, welche neben der durch klassische Verkohlung gewonnenen und ebenfalls beschriebenen Biokohle verwendet wird.

Die „Hydrothermale Carbonisierung“ findet bei Temperaturen im Bereich von 180 °C bis 250 °C und Drücken von 10 bis 40 bar statt. Da dieser Prozess im wässrigen Medium stattfindet, eignet sich Biomasse mit hohem Wassergehalt besonders für dieses Verfahren. Ausgangsmaterialien dafür sind zum Beispiel Landschaftspflegematerial, Erntereste, Gärreste aus Biogasanlagen, Lebensmittelreste, Treber oder Klärschlamm und Fäkalien (BUTTMANN, 2011).

Während dieser Vorgang in der Natur einen Zeitraum von abertausenden bis Millionen von Jahren in Anspruch nimmt, kann durch das HTC-Verfahren dieser auf nur wenige Stunden reduziert werden.

Das Ziel dieser Untersuchung war, den Einfluss zweier Arten von Biokohle auf die Pflanze, aber auch auf den Boden zu beurteilen. Da Versuche dieser Art bisher größtenteils unter Glas durchgeführt wurden und kaum im Freiland, sollte der Exakt-Feldversuch praxisnahe Ergebnisse liefern.

Der Einsatz von Biokohle soll eine Erhöhung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit und eine höhere CO<sub>2</sub>-Speicherung bewirken sowie eine stabile Bodenstruktur aufgrund des höheren C<sub>org</sub>-Gehaltes aufbauen. Sowohl das Pflanzenwachstum als auch der Ertrag bezogen auf die Versorgung mit Nährstoffen bei Sojabohnen waren eine zentrale Frage. Die

Wechselwirkung mit unterschiedlichen Ausbringungsmengen von Biokohlen in Kombination mit anderen Düngemitteln für die Kornertragshöhe sowie die Qualität der Samen der Sojapflanze wurde beurteilt.

## Material und Methoden

### Standort

Der Versuch wurde an der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur in Groß Enzersdorf durchgeführt. Im langjährigen Mittel (1971-2000) wurde eine Jahresdurchschnittstemperatur von 9,8 °C und Niederschläge von 520 mm gemessen. Als Bodentyp ist hier ein tiefgründiger, mittelschwerer Tschernosem vorzufinden, welcher jedoch durch anstehende Schotterlagen in seiner Tiefgründigkeit nicht gleichmäßig ist.

### Versuchsaufbau

Der Versuch wurde als Split-Plot-Anlage mit 9 Varianten und 3 Wiederholungen angelegt. Neben der HTC-Biokohle wurde auch eine durch klassische Verkohlung hergestellte Biokohle in zwei verschiedenen Ausbringungsstufen sowie eine „Terra Preta“ (Schwarze Erde) Mischung verwendet. Ebenso wurde Kompost in Reinform und mit den einzelnen Biokohlen gemischt verwendet. Als konventionelle Düngung im Vergleich wurde eine Mineraldüngervariante eingesetzt.

## Wachstum und Ertrag

Neben der optischen Beurteilung des Entwicklungszustandes der Pflanzen, während des Auflaufens und zum Zeitpunkt der Blüte, wurde Anfang Juli eine Zwischenernte der Ganzpflanzen durchgeführt, um eine erste Aussage bezüglich der Auswirkung von Biokohle zu ermöglichen. Die Einzelpflanzen wurden mit der Wurzel ausgestochen, durch Waschen von Erde befreit und anschließend deren Länge bestimmt. In diesem Zuge wurde weiters das Vorhandensein von Rhizobien an den Wurzeln beurteilt. Anschließend wurden die oberirdischen Pflanzenteile von den Wurzeln getrennt und das Gesamtgewicht der Einzelpflanzen sowie auch jenes der Wurzeln im frischen Zustand ermittelt. Die somit aufgetrennten ober- und unterirdischen Pflanzenteile wurden schonend auf Gewichtskonstanz (bei 105 °C über 48 h) getrocknet und anschließend erneut verwogen.

Bei den reif geernteten Pflanzen wurde wiederum die Wuchshöhe ermittelt. Daneben wurde auch noch die Anzahl der Pflanzen pro m<sup>2</sup> bestimmt, genauso wie das Parzellen-, Hülsen-, Korn- und Reststrohgewicht. Für den Ertrag wurde

Tabelle 1: Varianten des Versuchs

Variante	Bodenbehandlungsmaßnahme
1	HTC-Kohle 20 t/ha
2	HTC-Kohle 20 t/ha mit Kompost
3	Biokohle 10 t/ha
4	Biokohle 20 t/ha
5	Biokohle 20 t/ha mit Kompost
6	Terra Preta
7	Kompost 20 t/ha
8	Mineralische Düngung
9	Nullparzelle

weitere noch unterschieden in Pflanzen mit weniger als zwei und mehr zwei Sojabohnen pro Hülse, wie auch die Anzahl der hülsentragenden Verzweigungen.

### Inhaltsstoffe

Mittels Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie (NIRS) wurden die Sojabohnen bezüglich des Öl-, Protein- und Zuckergehalts (Saccharose) analysiert. Vor der Messung wurden die Proben fein vermahlen, da unterschiedliche Oberflächen, Textureigenschaften, Korngrößen oder Kornhärten von großkörnigen Untersuchungsproben wie Sojabohnen das Messergebnis beeinflussen können.

### Statistik

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit dem Programm R Statistical package for Windows (i86 3.0.2). Es wurden paarweise T-Tests durchgeführt und Korrelationskoeffizienten nach Pearson berechnet. Sämtliche Daten repräsentieren dabei den Mittelwert aller drei Wiederholungen.

Die Mittelwerte werden in der einfaktoriellen ANOVA miteinander verglichen. Zusätzlich werden für die Mittelwerte jeweils ein 95 %-Konfidenzintervall angegeben. Dies sind die Bereiche, in denen der jeweilige Mittelwert der Grundgesamtheit mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegt.

## Ergebnisse

### Wachstums- und Entwicklungsverlauf des Sojabohnenbestandes

Anfang Juli – zum Zeitpunkt der Blüte – lagen bereits sehr unterschiedliche Wuchshöhen in den einzelnen Varianten vor. Die mit HTC-Kohle behandelten Varianten wiesen mit 37,69 cm die signifikant höchste Wuchshöhe auf, gefolgt von der mit Kompost vermengten HTC-Kohle. Die kürzesten Pflanzen waren bei der Terra Preta Variante (25,31 cm) zu finden, noch hinter der Nullvariante. Dies entspricht auch den Erfahrungen aus anderen Versuchen.

Ein ähnliches Bild zeigte die Anzahl der Blüten pro Pflanze. Dieses Bild wandelte sich jedoch bis zur Ernte, wo nun die

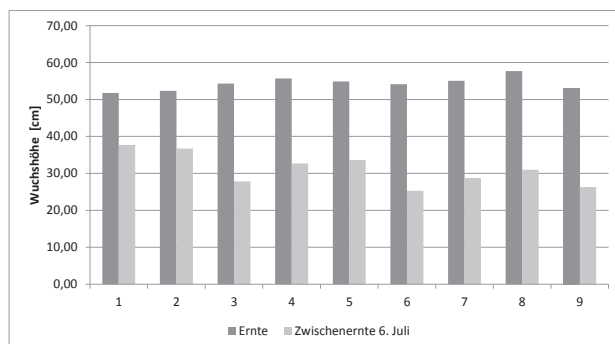


Abbildung 1: Vergleich der Wuchshöhen

Tabelle 2: Ergebnisse der Ertragsparameter bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen

Parameter	Einheit	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pflanzenanzahl		47.67	51.34	48.50	52.71	45.00	53.67	45.11	51.17	50.17
Kornzahl/Pflanze		35.31	37.59	38.36	38.60	40.08	35.31	39.69	38.61	38.68
TKG	g	177.10	177.07	171.60	169.03	168.75	177.10	178.83	179.60	170.9

mineralisch gedüngte Variante signifikant längere Pflanzen aufwies und unterschied sich somit auch zu den einschlägigen Ergebnissen in der Literatur. Die Unterschiede zwischen den Varianten waren jedoch nicht mehr so stark ausgeprägt wie zum Zeitpunkt der Zwischenernte. Die Tendenz der Ergebnisse spiegelte sich naturgemäß auch in der Trockenmasse der Pflanzen wieder.

### Ertragsparameter und Kornertrag

Ausgehend von der Anzahl der hülsentragenden Pflanzen durch die unterschiedlichen Bodenbehandlungsvarianten konnte kein Trend bezüglich des Kornertrags festgestellt werden. Zwar waren Unterschiede zwischen den Varianten vorhanden, jedoch statistisch nicht absicherbar. Dies trifft auch auf die Anzahl der Hülsen je Pflanze zu. Ebenso bei Kornzahl pro Sojapflanze als auch beim Tausendkorngewicht gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Beim Kornertrag jedoch lag nun, im Gegensatz zur Zwischenernte, die mineralisch gedüngte Variante signifikant vor den übrigen und erreichte einen Ertrag von 3.511 kg/ha. Den zweithöchsten Ertrag lieferte die Variante HTC+Kompost mit 3.257 kg/ha. Die übrigen Varianten lagen mit Ausnahme der Nullparzellen (3.054 kg/ha) knapp unter 3.000 kg/ha. Starke Schwankungen durch ungleichmäßiges Wachstum zwischen den einzelnen Pflanzen zeigten sich in der hohen Streuung der Werte.

Die Hülsenanzahl war durch den witterungsbedingten Trockenstress gering. Weiters enthielt auch nur rund ein Drittel der Hülsen mehr als zwei Bohnen. Dies führte in weiterer Folge auch zu einer geringeren Kornzahl insgesamt, da gerade zum Zeitpunkt des Hülsenansatzes, des Hülsenwachstums und der Blüte eine ausreichende Wasserversorgung zur Ertragsbildung erforderlich ist. Entgegen ABEL (2011) und HARTER (2013) konnte keine erhöhte Wasserspeicherkapazität durch die Biokohle festgestellt werden, was möglicherweise auf eine geringe Biokohle-Ausbringmenge zurückzuführen war. Trotz der in der Literatur beschriebenen, mehr oder weniger gut ausgebildeten Pfahlwurzel, welche bis zu einer Tiefe von 2 m reichen kann, liegt ein Großteil der Hauptwurzelmasse in der Krume vor. Daher sollte bei Trockenheit eine Bewässerung erfolgen. Dadurch wird auch beim Tausendkorngewicht ein höherer Wert erzielt.

Das TKG lag im Maximum mit 179,6 g bei der mineralisch gedüngten Variante wesentlich unter den Werten von MAIRUNTEREGG (2012).

### Inhaltsstoffe

Bei den Inhaltsstoffen konnte nur im Ölgehalt ein signifikanter Unterschied durch die unterschiedlichen Bodenbehandlungsvarianten festgestellt werden. Die Variante 2BC ergab den signifikant höchsten Ölgehalt mit 219 g/kg im Korn und war im Vergleich zu mehreren anderen Standorten - siehe MAIRUNTEREGG (2012) - sehr hoch.

Tabelle 3: Inhaltsstoffe in Bezug auf Korn-TM bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen

Parameter	Einheit	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ölgehalt	g/kg	191	200	211	219	203	201	212	211	196
Proteingehalt	g/kg	423	415	426	407	411	416	411	412	411
Zuckergehalt	g/100g	5.52	5.65	5.79	5.98	5.89	5.97	5.90	5.99	5.70

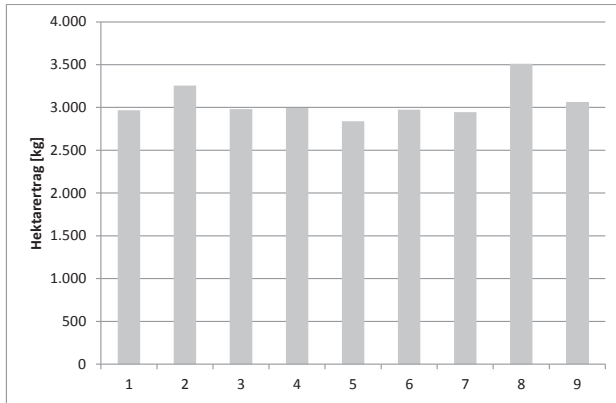


Abbildung 2: Soja-Kornertrag in kg/ha bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen

Der Proteingehalt liegt im Vergleich mit Versuchen aus der Literatur im unteren Mittel. Trotz nicht signifikanter Unterschiede wiesen die HTC und 1BC Varianten den höchsten absoluten Gehaltswert auf.

Auch die im Zuckergehalt erreichten Werte sind im Vergleich zu EUTENEUER (2011) mit 5.52 – 5.99 g/100 g vergleichsweise niedrig. Die niedrigen Protein- und Zuckerwerte sind möglicherweise auf die Auswirkungen der geringen Niederschläge während der Kornfüllungsphase zurückzuführen, da in dieser Zeit ein Drittel der benötigten 300 mm Niederschlag fehlten. Sowohl im Ölgehalt als auch im Zuckergehalt wies die HTC-Variante den mit Abstand geringsten Wert auf. GAJIC (2011) berichtet von einem signifikant verminderten Zuckergehalt bei der Ausbringung von HTC-Biokohle bei Zuckerrüben. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass durch den Einsatz von Biokohle ein negativer Einfluss auf den Zuckergehalt besteht.

## Schlussfolgerungen

Die Wirtschaftlichkeit bei der Erzeugung von HTC ist gegenwärtig noch nicht gegeben, kann aber in Einbeziehung der dadurch vermiedenen CO<sub>2</sub> Emissionen erreicht werden (EBERHARDT et al., 2011).

Die Versorgung der Sojapflanzen mit dem essentiellen Nährstoff Stickstoff und dessen Wechselwirkung mit Biokohle wurde im angeführten Versuch festgestellt. Die fehlende Symbiose mit Rhizobien führte zu einem Mangel bei der Stickstoffversorgung der Sojapflanzen. Die Aussagekraft eines einjährigen Versuches ist aber begrenzt. Die Fortführung des Versuchs im Rahmen der Dissertation von R. Kariger ergab im zweiten und dritten Jahr eine wesentlich

günstigere und deutlichere Wirkung der Biokohle, was langfristig eindeutig für eine Anwendung dieses Bodenverbesserers spricht.

## Literatur

- ABEL, S., S. TRINKS, M. FACKLAM und G. WESSOLEK (2011): Einfluss von Biokohle auf Kennwerte der Wasserbindung im Boden. Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG – Symposium II, IV und VI. Berlin: Technische Universität Berlin, Institut für Ökologie.
- BUTTMANN, M. (2011): Klimafreundliche Kohle durch Hydrothermale Karbonisierung von Biomasse. Weinheim: Chemie Ingenieur Technik, 2011, 83, Nr. 11, 1890.
- EBERHARDT, G., M. ODENING, H. LOTZE-KAMPEN, B. ERLACH, S. ROLINSKI, P. ROHTE und WIRTH B. (2011): Rentabilität der Hydrothermalen Karbonisierung unter besonderer Berücksichtigung von Transportkosten. Berichte über Landwirtschaft. Stuttgart: Kohlhammer, Band 89 (3), 400-424.
- EUTENEUER, P. (2011): Süße Soja? Untersuchungen zum Zuckergehalt von Sojabohne (*Glycine max.* [L.] Merr.). Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.
- GAJIC A., H.-J. KOCH und B. MÄRLÄNDER (2011): HTC-Biokohle als Bodenverbesserer – Erste Ergebnisse aus einem Feldversuch mit Zuckerrüben. Berlin: Sugar Industry 136, 55-63.
- HARTER, J., H. KRAUSE, S. SCHUETTLER, R. RUSER, M. FROMME, T. SCHOLTEN, A. KAPPLER und S. BEHRENS (2013): Linking N<sub>2</sub>O emissions from biochar-amended soil to the structure and function of the N-cycling microbial community. In ISME Journal, International Society for Microbial Ecology (2013), 1-11. ISSN: 1751-7362
- KLOSS, S., F. ZEHETNER, A. DELLANTONIA, R. HAMID, F. OTTNER, V. LIEDTKE, M. SCHWANNINGER, M.H. GERZABEK und G. SOJA (2012): Characterization of slow pyrolysis biochars: Effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biochar properties. Madison: Journal of Environmental Quality 41: 990–1000.
- MAIRUNTEREGG N. (2012): Optimierung pflanzenbaulicher Faktoren für den Sojaanbau in Oberösterreich. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.
- SOHI, S., E. LOPEZ-CAPEL, E. KRULL und R. BOL (2009): Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report 05/09. Clayton South: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), 2-9.
- SOJA, G., S. ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, B. KITZLER, M. LAUER, V. LIEDTKE, A. WATZINER, B. WIMMER und F. ZEHETNER (2012): Biokohle für landwirtschaftliche Böden. München: GAIA – Ökologischer Perspektiven für Wissenschaft und Gesellschaft, 2012, 21, Vol. 3, 236-238. ISSN 0940-5550.
- VERHEIJEN, F., S. JEFFERY, A.C. BASTOS, M. VAN DER VELDE und I. DIAFAS. (2010): Biochar application to soils: A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. Luxembourg: European Commission, 31-64.