

Ökologische Bewertung verschiedener Pflanzenkohle- Nutzungspfade

Environmental Assessment of different biochar utilization paths

Jan-Markus Rödger*, Jim Hammond**, Achim Loewen*, Simon Shackley**

* HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim Holzminen Göttingen,
Fakultät Ressourcenmanagement, Fachgebiet NEUTec, Deutschland

** University of Edinburgh, Biochar Research Center, Großbritannien

Zusammenfassung:

Im Rahmen des Interreg-Projektes: „Biochar: Climate saving soils“ soll der komplette Lebenszyklus (LCA) der Pflanzenkohle auf dessen Umwelteinfluss bewertet werden. Hierzu ist ein Modell zu entwickeln, unter Berücksichtigung der regionalen und technischen Unterschiede. Zukünftig wird die Modellierung auf ökonomische und soziale Effekte, ausgeweitet.

Das hier entwickelte Modell orientiert sich an den ISO-Normen 14040 und 14044.

Zu diesem frühen Zeitpunkt werden vor allem holzartige Biomassen (KUP, Restholz), die langsame Pyrolyse und die Verbrennung, sowie die Einarbeitung in Böden, untersucht. Zusätzlich werden mögliche Effekte von kontaminierter Biomasse diskutiert.

Abstract:

The environmental assessment of the whole lifecycle of the pyrolysis biochar system is part of the Interreg-Project “Biochar: Climate saving soils”. A versatile computer model has been created, capable of accounting for regional and technological differences, and able to assess environmental and later economic and social impacts.

The LCA model and approach are based on the ISO 14040 and 14044 standards.

At this early stage, we focus on woody biomass (SRC willow, waste wood), slow pyrolysis, and the options of combusting or adding the biochar to land. There will be some discussion on the potential contamination issues when using biochar made from contaminated wastes.

1 Motivation des Forschungsvorhaben

In den letzten Jahren wurden die Pläne der Europäischen Union zur Erreichung der Klimaschutzziele konkretisiert und die Mitgliedstaaten aufgefordert ihre Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um 20 % gegenüber 1990 zu senken (Europäische Kommission, 2007). Dies kann einerseits durch den Ausbau von erneuerbaren Energien und andererseits durch Effizienzsteigerungen in Bereich der Erzeugung und verschiedenen Verbrauchssektoren erreicht werden. Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung des Klimagasausstoßes in die Atmosphäre kann durch das sogenannte Carbon Dioxid Capture and Storage (CCS) erreicht werden. Zur Umsetzung hat die EU im April 2009 eine entsprechende Richtlinie (2009/21/EG) erlassen, die durch den Bundestag im April 2011 verabschiedet wurde. Vorrangiges Ziel dieses Gesetzes ist es die neue Technologie der Abscheidung des Kohlendioxids aus Verbrennungsgasen aus konventionellen Kraftwerken und der dauerhaften Speicherung in unterirdische Gesteinsschichten auf ihre technische und wirtschaftliche Machbarkeit zu überprüfen. Es bestehen jedoch in der Bevölkerung Bedenken gegenüber dieser Technologie (siehe Bundesdrucksache 17/5232), die sich vor allem mit möglichen Leckagen und deren Auswirkungen auf das Grundwasser begründen.

Eine weitere Möglichkeit zum Klimaschutz besteht durch den indirekten Entzug von Kohlendioxid aus der Atmosphäre. Jede Biomasse bindet indirekt Kohlendioxid und dieses kann mithilfe der Pyrolyse¹ in stabile Kohlenstoffverbindungen überführt werden (Brownsort, 2009).

Die sogenannte Pflanzenkohle² (engl. Biochar) kann in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt werden. Jedoch ist der Einsatz durch verschiedene Parameter, wie z.B. die Kontamination mit Schwermetallen und deren Stabilität, limitiert. Daher ist zu untersuchen, welche Umwelteinflüsse sich im Einsatz der Biomasse bei Betrachtung des gesamten Lebenszyklus (LC) und unter Berücksichtigung verschiedener Nutzungspfade nach der Pyrolyse ergeben.

2 Umweltbewertung der Nutzungspfade von Pflanzenkohle

Um ein Produkt oder Prozess ökologisch ganzheitlich zu bewerten, wird international auf die ISO-Normen 14040 und 14044 zurückgegriffen (Schebeck et al.,2007). Dabei

¹ Unter der Pyrolyse versteht man die Verkohlung von Biomasse unter Sauerstoffausschluss in einem bestimmten Temperaturbereich von ca. 400°C-700°C und einer Verweildauer von 1 sec. – 30 min

² Pflanzenkohle bezeichnet nur jene Kohle, die durch den Pyrolyseprozess hergestellt wird. Sie darf nicht mit Produkten der Hydrothermalen Carbonisierung verwechselt werden, da hier andere Prozessparameter vorherrschen und sich die Eigenschaften der Kohle unterscheiden (Schmidt, 1/2011 S. 75-82)

gilt es den gesamten Lebenszyklus zu untersuchen und die Ergebnisse können zur Planung, Prioritätensetzung, Produkt- und Prozessentwicklung sowie indirekt zu Marketingzwecken genutzt werden (Rebitzer, 2005). Die Methodik unterteilt sich in vier Phasen – Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmen, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und als letzte Phase die Interpretation und Auswertung. Gegenstand dieses Artikels ist die Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens am Beispiel des Interreg-Projektes „Biochar: Climate saving soils“.

2.1. Ziel und Untersuchungsrahmen

Die Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens ist der erste Schritt zur Erstellung einer normkonformen Ökobilanz. Die Festlegung ist ein iterativer Prozess und mögliche Änderungen des vorher definierten Ziels und des Untersuchungsrahmens müssen eindeutig festgehalten werden (Klöpffer et al., 2009).

Im Rahmen dieses Forschungsvorhaben wird der gesamte Lebenszyklus von der Gewinnung der Biomasse³ über die Herstellung der Pflanzenkohle, sowie der gasförmigen und flüssigen Nebenprodukte, bis zur letztendlichen Nutzung analysiert. Dabei werden alle eingesetzten Rohstoffe und Infrastrukturen mit in die Berechnung eingebunden um den Prozess ganzheitlich (cradle to gate) bewerten zu können.

Pflanzenkohle kann vielfältig eingesetzt werden (siehe Abbildung 1), jedoch ist das Ziel dieser Umweltbewertung eine vergleichende Analyse der Sequestrierung und der Verbrennung in verschiedenen Anwendungsfällen.

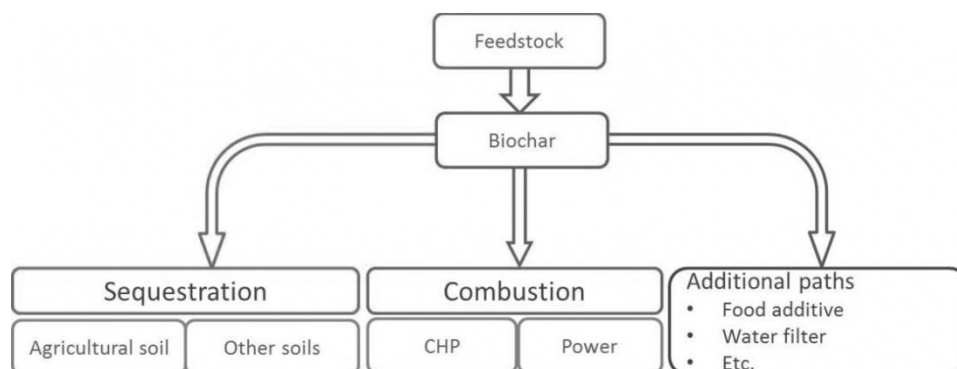


Abbildung 1: Allgemeine Nutzungsmöglichkeiten von Pflanzenkohle

Quelle: Eigene Darstellung

Als Bewertungskategorien der verschiedenen Nutzungspfade sollen einerseits der Primärenergieaufwand (PE) und andererseits die Wirkungspotenziale Klimaerwärmung (GWP) und Versauerung (AP) nach der Methodik des Instituts für Umweltwissenschaften (CML) der Universität Leiden dienen.

³ Vgl. BiomasseV § 2 Abs.2

2.2. Funktionale Einheit

Um die Vergleichbarkeit der verschiedenen Pfade zu garantieren wird sich die Analyse der Umweltwirkungspotenziale auf die Nutzung eines Mg Biochar beziehen. Dies bedeutet z.B. für die Anwendung auf landwirtschaftlichen Böden, dass 1 Mg Biochar in das Feld eingearbeitet wird. Die jeweiligen Verluste entlang der gesamten Bereitstellungskette werden aggregiert, um somit die tatsächlich benötigte Biomasse abschätzen zu können. Die Umsetzbarkeit soll durch einen Abgleich bzgl. der bestehenden und zukünftigen Potenziale in der Nordseeregion geprüft werden.

2.3. Untersuchungsrahmen

Der grundlegende Untersuchungsrahmen wird in der Abbildung 2 beschrieben. Es sind jedoch verschiedene Einschränkungen und Annahmen zu treffen, die im Folgenden genauer erläutert werden. Dabei wird sich an den drei maßgeblichen Stufen des Lebenszyklus orientiert – Ausgangsmaterial (Feedstock), Pyrolyse (Pyrolysis) und Nutzungspfad (Utilisation).

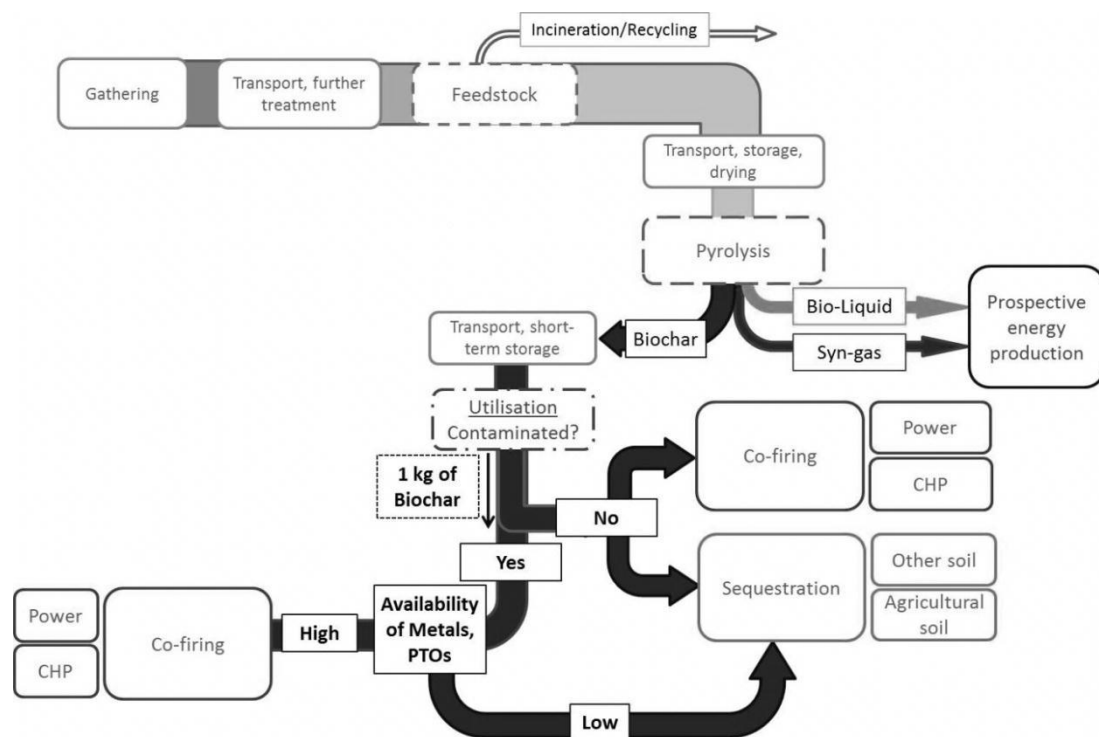


Abbildung 2: Untersuchungsrahmen der möglichen Nutzungspfade von Pflanzenkohle in Abhängigkeit einer möglichen Kontamination

Quelle: Eigene Darstellung

Ausgangsmaterial:

Die Bereitstellung verschiedener Biomassen ist abhängig von länderspezifischen Strukturen (z.B. Transporte und Ertragspotenzial) und soll zunächst auf Deutschland begrenzt werden. Nach Demirbas (2007) und Brownsort (2009) korreliert der spezifische Energieaufwand der Herstellung von Pflanzenkohle mit der Partikelgröße

und dem Wassergehalt des Ausgangsmaterials. Es wird versucht möglichst erfolgsversprechende Biomassen mit zukünftig bestehenden Ertragspotenzialen ((AEE, 2009), (UBA, 2010)) zu untersuchen. Dadurch ergibt sich im ersten Schritt die Wahl einer holzartigen Biomasse mit geringem ($\leq 15\%$) bis mittlerem bzw. hohem ($\leq 50\%$) Wassergehalt. Andererseits sollen auch Reststoffe eingesetzt werden um ein möglichst breites Spektrum abzudecken. Demnach werden

- Weide aus Kurzumtriebsplantagen (KUP)
- Straßenbegleitgrün

als Ausgangsmaterialien gewählt. Bei der Bereitstellung der Biomasse aus KUPs wird häufig die Bodenkohlenstoffspeicherung, die direkte (LUC) und die indirekte Landnutzungsänderung (iLUC) diskutiert, jedoch sind die zugrundeliegenden Berechnungen und Methoden divergent (vgl. (Deckmyn et al., 2004), (Lamersdorf, 2008), (Coleman et al., 2004) (Gawel et al., 2011)) und werden daher erst zukünftig eingebunden.

Pyrolyse:

Die Pyrolyse ist ein thermochemischer Prozess, in dem organisches Material unter Sauerstoffmangel in kohlenstoffreichen Feststoff und flüchtige Bestandteile umgewandelt wird (Brownsort, 2009). Dabei sind die maßgeblichen Prozessparameter nach Ortwein et al. (2010) die Temperatur im Reaktor, die Aufheizgeschwindigkeit und die Verweilzeit sowie die Zusammensetzung der Biomasse. Diese beeinflussen die Ausbeuten der drei möglichen Produkte – Pflanzenkohle, Synthesegas und Bio-Öl (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Anteile der Produkte bezogen auf die Holztrockenmasse in Abhängigkeit versch. Prozessparameter

Modus	Bedingungen	Flüssig [%]	Fest [%]	Gasförmig [%]
Slow	Niedrige Temperatur ~ 400 °C Mittlere Verweilzeit im Reaktor~ 5-30 min	30	35	35
Fast	Moderate Temperatur ~ 500 °C Kurze Verweilzeit im Reaktor~ 1 sec	75	12	13

Quelle: verändert nach (Bridgewater, 2007)

Die Herstellung der Pyrolyseanlage wird ebenfalls in die Umweltbewertung mit eingebunden und die draus entstehenden Umweltbelastung auf die produzierte Masse an Biochar spezifisch verteilt. Somit ist es möglich diverse Variationen der Anlagen und mögliche Skaleneffekte einzubinden. Das Modell basiert bisher auf einer kleinen Pyrolyseeinheit mit einer Produktion von ca. 500 Mg_{Pflanzenkohle} a⁻¹ und greift auf Daten von Elsayed et al. (2001) zurück. Es wird angenommen, dass 47 – 50 % des ursprünglichen Kohlenstoffs in der Pflanzenkohle gebunden werden. Der

Energieverbrauch für Trocknung, Start-up und Betrieb wird mit 10 % des Heizwertes vom Synthesegas und Bio-Öl veranschlagt, hinzukommen weitere 10 % Verlust. (Hammond et al., 2011) Für die generierte Energie wird auf Basis des EU-25 Durchschnittwertes^{4,5} dem Gesamtsystem eine Gutschrift (PE, GWP, AP) erteilt.

Nutzungspfade:

Die Anwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft ist eine risikoarme Möglichkeit zur stabilen *Speicherung* von Kohlenstoffen über einen langen Zeitraum, birgt enorme Chancen für die Vermeidung des Treibhauseffektes und kann zu einer Steigerung der Felderträge führen (Atkinson et al., 2010). Eine zusätzliche Option ist die Speicherung untertage. Diese beiden Optionen werden analysiert und bieten nach Levine et al. (2010) ein höheres Kohlenstoff – Sequestrierungspotenzial als die Beimischung in konventionellen Kraftwerken..

Tabelle 2: Primäre Eigenschaften der gewählten Steinkohle und Pflanzenkohle zur Nutzung in Kohlekraftwerken

Typ	Land	Kohlenstoff- gehalt [%]	Unterer Heizwert [MJ/kg]	Partikel- größe [mm]	Wasser- gehalt [%]
Steinkohle	Deutschland	ca.77	ca. 29,0	20-40	ca. 9
Pflanzenkohle	Rumänien	80,3	27,9	1-20	15

Quelle: (PE-International, 2011) (DBFZ, 2011)

Beim sogenannten Co-Firing werden zwei typische deutsche Kraftwerkstypen - das wärmegeführte und stromgeführte – analysiert und die tatsächlichen Einsparungen berechnet. Durch vergleichbare Eigenschaften der gewählten Pflanzenkohlen und der Steinkohle (vgl. Tabelle 2), sind nach Kaltschmitt et al. (2009) nur geringfügige Änderungen im Verbrennungsprozess⁶ zu erwarten.

2.4. Umsetzung ins Modell

Die Umsetzung der prozessspezifischen Daten in ein Umweltmodell wird mit Hilfe der Software Gabi 4.4 realisiert. Diese verfügt bereits über teiltrückverknüpfte⁷ Datensätze und es ist möglich für jede Lebensphase eigene Modelle zu entwickeln und diese je nach Anwendungsfall miteinander zu verknüpfen (siehe Abbildung 3).

⁴ EU-25-Mix Erdgas (2010): 22,83 CO_{2eq}/kWh_{th}

⁵ EU-25-Mix (2010): 577,3 g CO_{2eq}/kWh_{el}

⁶ Änderung des feuchten Abgasvolumenstrom um ca. 4-5 % bei 10 % Beimischungsquote (Kaltschmitt et al., 2009)

⁷ Bereits erhobene Daten, wie z.B. die Bereitstellung von 1 kg Stahl (16MnCr5) aus Deutschland, die ISO 14040/44 konform sind

Aufgrund dieses Modells können separate Bilanzen erstellt werden um verschiedene Schwachpunkte entlang des Lebenszyklus zu identifizieren.

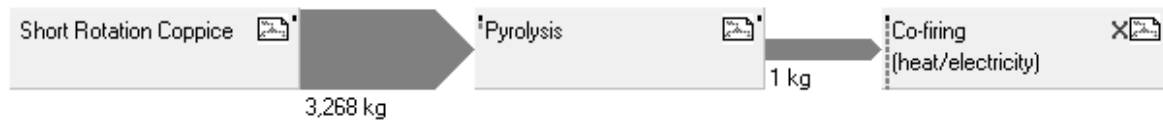


Abbildung 3: Beispiel eines Modellaufbaus in der Umweltbilanzsoftware Gabi 4.4

Quelle: (PE-International, 2011)

Dies ist vor allem für das EU-Projekt vorteilhaft in dessen Rahmen die Untersuchungen durchgeführt werden. Mit insgesamt sieben teilnehmenden Ländern und daraus resultierenden diversen Anwendungsfällen ist eine komplexe und vergleichbare Modellierung Voraussetzung für praxisbezogene Ergebnisse.

3 Weiteres Vorgehen

Das gemeinsam von der HAWK und des Biochar Research Center entwickelte Modell dient als Grundlage für weitere Untersuchungen um die ganzheitliche Bewertung von Pflanzenkohle im Nordseeraum voranzutreiben. Dadurch ist es möglich international vergleichbare Analysen zu erstellen und das tatsächliche Potenzial im Nordseeraum abzuschätzen. Jedoch besteht weiterhin Bedarf an realen Daten für alle Phasen der Bereitstellung und Nutzung von verschiedenen Pflanzenkohlen um mögliche Skaleneffekte zu identifizieren. Dabei wird es vor allem darauf ankommen weitere Fall-Studien durchzuführen um das tatsächliche Potenzial abzuschätzen.

Es ist geplant die Bewertung zukünftig auf weitere Umweltwirkungspotenziale auszuweiten. Neben dem ökologischen Aspekt, als eine der drei Säulen der Nachhaltigkeit, werden in das Modell die ökonomischen und sozialen Aspekte mit eingebunden, um eine vollständige Bewertung für verschiedene Interessengruppen gewährleisten zu können.

Literaturverzeichnis

- AEE. (2009): Erneuerbare Energien 2020 - Potenzialatlas Deutschland; Agentur für Erneuerbare Energien, Berlin
- Atkinson, C; J. Fitzgerald und N. Hipps (2010): Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review; *Plant Soil*. 337
- Bridgewater, T. (2007): Biomass Pyrolysis; International Energy Agency, Birmingham
- Brownsort, P.A. (2009): Biomass Pyrolysis Processes: Performance parameters and their influence on Biochar system boundaries; Dissertation, UK Biochar Research Center, Edinburgh
- Coleman, M., et. al. (2004): Comparing soil carbon of short rotation poplar plantations with agricultural crops and woodlots in North Central United States; *Environmental Management* 33
- DBFZ (2011): Analyse GermanCharcoal; Deutsches Biomasse Forschungszentrum gGmbH, Leipzig
- Deckmyn, G., et. al. (2004): Carbon sequestration following afforestation of agricultural soils: comparing oak/beechn forest to short rotation poplar coppice combining a process and a carbon accounting model; *Global Change Biology* 10
- Demirbas, A. (2007): Producing Bio-oil from Olive Cake by Fast Pyrolysis; *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. 30:1
- Elsayed, M.A.; N. D. Mortimer (2001): Carbon and energy modeling of biomass systems: Conversion plant and data update; Sheffield Hallam University, Sheffield
- Europäische Kommission (2007): Eine Energiepolitik für Europa; Mitteilung der Kommission an den Europäischen Rat, Brüssel
- Gawel, E.; G. Ludwig (2011): Instrumente zur Vermeidung negativer indirekter Landnutzungseffekte; *Nachhaltige Bioenergie*. 33:5
- Hammond, J., et. al. (2011): Predicted life cycle carbon abatement for pyrolysis biochar systems in the UK; *Energy Policy*. 39, S. 2646-2655
- Kaltschmitt, M.; H. Hermann und H. Hofbauer (2009): *Energie aus Biomasse*; Springer-Verlag, Berlin
- Klöpffer, W.; B.Grahl (2009): *Ökobilanz (LCA)*; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
- Lamersdorf, N.; (2008): Naturverträglichkeit von Agrarholzanpflanzungen - erste Ergebnisse aus dem Projekt NOVALIS; Vortrag: 3.Fachtagung Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen, Cottbus
- Levine, J.; et al. (2010): U.S.-Focused Biochar Report: Assessment of Biochar's Benefits for the United States of America; U.S. Biochar Initiative, Colorado (USA)
- Ortwein, A.; M. Klemm und M. Kaltschmidt (2010): Innovative Verfahrensoptionen zur Biomasseverwertung; Vortrag: Pyrolyse, HTC, Biochar & Co. - Klimaschutz mit Biokohle – eine Chance für die Umwelt und Landwirtschaft?, Hessische Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 17. März.
- PE-International (2011): Gabi 4.4. [Software]; PE-International, Leinfeld-Echterdingen
- Rebitzer, G. (2005): Enhancing the application efficiency of life cycle assessment for industrial uses; Ecole Polytechnique Federal de Lausanne, Lausanne
- Regg, T.; et al. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen; WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
- Roberts, K. G.; et al. (2010): Life Cycle Assessment of Biochar - Systems: Estimating the Energetic, Economic, and Climate Change Potential; *Environmental Science Technology*, 44, S. 827-833
- Rödl, A.; (2008): Ökobilanzierung der Holzproduktion im Kurzumtrieb; Johann Heinrich von Thünen-Institut für ländliche Räume, Wald und Fischerei, Hamburg
- Schebeck, L.; K.-R. Bräutigam (2007): Von der Wiege bis zur Bahre - Eine Einführung in den Schwerpunkt "Lebenszyklusanalysen in der Nachhaltigkeitsbewertung"; *Technikfolgenabschätzung*, 16, Bd. 3.
- Schmidt, H.-P. (2011): Pflanzenkohle; *Arbaz: Delinat-Institut für Ökologie und Klimafarming*, 1, 1663-0521.
- UBA (2010): Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz; Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 1862-4804