

## **Pflanzenkohle – Landwirtschaft als Klimaretter – ein Jahresbericht**

von Hans-Peter Schmidt

**Die energetische Effizienz der Biosphäre übersteigt nicht nur diejenige von Solarzellen, sondern auch jene von allen sonstigen CO<sub>2</sub>-Speicherverfahren. Die Landwirtschaft könnte künftig pflanzliche Prozesse gezielt nutzen, um der Atmosphäre dauerhaft CO<sub>2</sub> zu entziehen und zugleich Energie sowie einen höchst wirksamen Bodenverbesserer in Form von Pflanzenkohle zu gewinnen.**

### **Pflanzen als Solaranlage – wie entsteht Pflanzenkohle?**

Pflanzen wandeln mittels Photosynthese die Sonnenenergie in chemische Energie, die sie in den langkettigen Kohlenstoffmolekülen ihrer Pflanzenzellen speichern. Der in den Zellen eingelagerte Kohlenstoff stammt dabei zum größten Teil aus dem Kohlendioxid der Atmosphäre. Erhitzt man das pflanzliche Zellgewebe unter Sauerstoffausschluss auf über 400 °C, werden die langen Kohlenstoffmoleküle wieder aufgespalten, wobei die einst von den Pflanzen gespeicherte Sonnenenergie wieder freigesetzt wird. Diesen schon seit über 2500 Jahren genutzten Prozess nennt man Pyrolyse.

Es wird bei der Pyrolyse allerdings nur ein Drittel der in den Pflanzen gespeicherten Energie als hochbrennbares Gas freigesetzt. Der restliche Anteil der Energie bleibt in der bei diesem Prozess entstehenden Pflanzenkohle gespeichert. Die Pflanzenkohle, deren Struktur weitestgehend der traditionellen Holzkohle entspricht, besteht zu überwiegendem Anteil aus

reinem Kohlenstoff, der von Mikroorganismen nicht bzw. nur sehr langsam abgebaut werden kann. Wird diese Pflanzenkohle in landwirtschaftliche Böden eingearbeitet, bleibt ein Anteil von über 80% ihres Kohlenstoffes für mehr als 1000 Jahre stabil [Kuzjakov 2009, Schmidt 2000, Lehmann 2007] und stellt somit eine Möglichkeit dar, das ursprünglich von Pflanzen assimilierte CO<sub>2</sub> langfristig der Atmosphäre zu entziehen und somit den Klimawandel abzubremesen.

Tatsächlich sind die Land- und Forstwirtschaft die einzigen Industriezweige, die durch Nutzung natürlicher Prozesse gezielt Kohlendioxid aus der Atmosphäre entziehen können. Alle anderen Umwelttechnologien können höchstens den Kohlendioxidausstoß vermindern. Ob der Kampf gegen den Klimawandel jedoch tatsächlich durch die intelligente Nutzung der Land- und Forstwirtschaft zu Gunsten der Menschheit entschieden werden kann, entscheidet sich aber vor allem daran, ob es gelingt, die Arbeit der Pflanzen und die Arbeit der Ökosysteme nachhaltig in die Klimastrategie einzubinden (siehe auch: Landwirtschaft kann Klima retten (1) sowie Klimafarming – eine Chance für das Überleben des Planeten (2)).

### **Pflanzenkohle Produktion**

Die Pyrolyse ist eine schon seit der frühen Eisenzeit bekannte Technik. Doch bei der traditionellen Pyrolyse, wie sie in sogenannten Kohlemeilern praktiziert wurde, entweichen sämt-

liche Abgase in die Atmosphäre, wobei es sich zum Teil um stark umweltschädigende Emissionen handelt. Bei der industriellen Holzverkohlung konnten die Emissionswerte und auch die Teerbelastungen der Holzkohle zwar mittlerweile deutlich gesenkt werden, doch lässt sich für diese Anlagen nur getrocknetes Holz einsetzen, was natürlich an sich schon ein sehr wertvoller Rohstoff ist.

Das weltweit zur Zeit einzige industriell einsetzbare Verfahren, das aus sämtlichen organischen Stoffen wie Grünschnitt, Trester, Viehmist, Schlachtabfällen und sogar Klärschlamm zu Pflanzenkohle sowie einem hochbrennbaren Gas umwandelt und dabei die Emissionswerte selbst von Holzfeuerungsanlagen deutlich unterschreitet, ist das von dem deutschen Ingenieur, Helmut Gerber, entwickelte Pyreg-Verfahren (3) [Gerber 2009]. Nach 5-jähriger Entwicklungszeit und zwei Pilotanlagen konnte im Jahr 2010 die europaweit erste industriell einsetzbare Pyrolyseanlage in Belmont-sur-Lausanne in Betrieb genommen werden. Die Jahreskapazität dieser ersten von Swiss-Biochar und dem Delinat-Institut betriebenen Pflanzenkohleanlage beträgt 1000t Biomasse, die zu 330t Pflanzenkohle und rund 1000 MWh Wärme umgewandelt wird.

### Positive Klima- und Energiebilanz

Mittels der Pyrolyse-Anlage lassen sich aus je 2 Tonnen Grünschnitt rund 1 Tonne CO<sub>2</sub> dauerhaft der Atmosphäre entziehen [Gerber 2009]. Alle Energieaufwendungen wie der Transport des Grüngutes, dessen Zerkleinerung, der Betrieb der Anlage sowie das Einbringen der Pflanzenkohle in den Boden sind dabei bereits berücksichtigt. Die verwendete Pyrolyse-Anlage ist energieautonom und wird im kontinuierlichen Prozess betrieben. Die Energie, die zur Aufheizung der Biomasse auf über 400 Grad benötigt wird, stammt aus der Biomasse selbst und

wird durch die Verbrennung des bei der Pyrolyse entstehenden Gases erzeugt [Gerber 2009].

### Pflanzenkohle als Bodenverbesserer

Die bei der Biomasse-Pyrolyse entstehende Pflanzenkohle ist jedoch nicht nur aus klimapolitischen Erwägungen von höchstem Interesse. In Verbindung mit Kompost entsteht aus Pflanzenkohle einer der wertvollsten Bodenverbesserer, den die Geschichte der Landwirtschaft kennt. Denn auch wenn die Wissenschaft diesen Bodenverbesserer erst in den letzten 10 Jahren wieder entdeckt hat, wird Bio- und Holzkohle schon seit über 2500 Jahren mit großem Erfolg in der Landwirtschaft eingesetzt [siehe: Pflanzenkohle – Ein historischer Bodenverbesserer in Europa] (4).

Die Pflanzenkohle, deren spezifische Oberfläche rund 300m<sup>2</sup> pro Gramm beträgt, verhält sich wie ein Schwamm, der Wasser und Nährstoffe aufsaugt und diese bei Bedarf wieder an die Pflanzen abgibt. Durch den Eintrag von Pflanzenkohle in landwirtschaftlich genutzte Böden lassen sich somit äußerst positive Auswirkungen auf die Bodenaktivität, Bodengesundheit und Ertragskapazität erzielen. In wissenschaftlichen Untersuchungen konnten unter anderem folgende Vorteile für die Bodenkultur nachgewiesen werden:

- > Wasserspeichervermögens der Böden, wodurch die aufgrund des Klimawandels auch in der Schweiz immer häufiger drohenden Trockenperioden ohne nennenswerte Ernteauffälle überstanden werden könnten. [Lehmann 2009, Glaser 2001, Pichler 2010]
- > Zuwachs der Bodenbakterien, die in den Nischen der hochporösen Kohle geschützten Lebensraum finden, wodurch die Nährstoffumsetzung für die Pflanzen gefördert wird. [Thies 2009, Steinbeiss 2009]

- > Zunahme der Wurzelmykorrhizen, wodurch eine verbesserte Wasser- und Mineralstoffaufnahme sowie wirksamer Schutz gegen Pflanzenschädlinge gewährleistet wird. [Warnock 2007]
- > Adsorption toxischer Bodenstoffe wie OCP und Schwermetalle, wodurch die Lebensmittelqualität und der Grundwasserschutz verbessert werden. [Hibler 2009, Smernik 2009]
- > Höhere Bodendurchlüftung sowie bessere Aktivität von N-Bakterien und somit deutliche Reduktion der klimaschädlichen Methan- und Lachgas-Emissionen. [Kuzyakov et al. 2009, van Zwieten et al. 2009, Kammann 2010].
- > Verbesserte Nährstoffdynamik, was sowohl für erhöhtes Pflanzenwachstum, als auch für Klima- und Grundwasserschutz sorgt [Chan 2009].

### Konkreter Einsatz

In den Weinbergen des Delinat-Instituts werden seit 2008 verschiedene großflächige Feldversuche sowie zahlreiche Topfversuche zum Einsatz von Pflanzenkohle angelegt. So wurden auf einer Parzelle von 3000m<sup>2</sup> die Auswirkungen von Pflanzenkohle-Kompost Mischungen mit Varianten aus reinem Kompost, aus Gründüngung und unbehandelten Kontrollflächen verglichen. Auch wenn der Versuch über mehrere Jahre angelegt ist und es für eine abschließende Auswertung noch zu früh ist, konnte bereits gezeigt werden, dass die Wasserverfügbarkeit in Trockenperioden deutlich stieg, dass sich die Nährstoffversorgung und damit die Traubenqualität verbesserte und im Vergleich zur reinen Kompostvariante ein erhöhtes Wachstum zu verzeichnen war (siehe: Biokohle im Weinbau [Niggli 2010] (5)). Je nach angebauter Kultur werden zwischen 10 und 50 t Pflanzenkohle pro Hektar oberflächlich in den Boden eingetragen.

Über die ideale Körnungsgröße können noch keine endgültigen Empfehlungen abgegeben werden. Verschiedene Versuche [Lehmann 2003] lassen aber annehmen, dass im Bereich von 2 mm bis 20 mm keine tendenziellen Unterschiede nachweisbar sind.

Die Pflanzenkohle sollte stets mit pflanzenverfügbarem Kohlenstoff und Stickstoff vermischt werden, um Nährstoffblockierungen durch die Pflanzenkohle zu verhindern. Sehr gute Erfahrungen liegen hierbei mit gut ausgereiften Komposten [siehe: Biokohle im Weinbergboden (6), Pichler 2010], aber auch mit Vinasse und Bokashi vor. Die Vermischung mit biologisch hochaktivem Kompost sorgt für die Aufladung der Pflanzenkohle mit Nährstoffen und vor allem für die Inokulation mit wertvollen Mikroorganismen. Wird die Pflanzenkohle unvermischt in humusarme Böden eingearbeitet, kann es zu Wachstumsverzögerungen kommen, so dass sich erst über mehrere Jahre eine positive Wirkung einstellt.

Bei zahlreichen Topf- und auch Freilandversuchen konnten bei Kulturen wie Gerste, Mais, Tomaten, Kürbis, Maniok teils erhebliche Wachstums- und Qualitätszunahmen beobachtet werden. [Crane-Droesch 2010, siehe auch: Pflanzenkohleversuche in Kleingärten] (7).

### Forschung

Dank der engen Zusammenarbeit des Delinat-Instituts mit Swiss-Biochar steht der größte Teil der Pflanzenkohleproduktion der ersten industriellen Pyrolyseanlage für Forschungsprojekte in ganz Europa zur Verfügung. So konnten 2010 bereits größere Feldversuche in der Schweiz, in Norwegen, England, Belgien, Deutschland und Österreich mit umfassend charakterisierten Pflanzenkohlen versorgt werden. Im nächsten Jahr sind zahlreiche weitere Feldversuche geplant. Unter anderem

wird ein großer Ringversuch auf Weingütern in Spanien, Frankreich, Italien, Deutschland, Österreich und der Schweiz aufgebaut.

Ende 2010 wurde das Biochar Science Network Switzerland (8) gegründet, an dem sich mehr als 15 schweizerische und europäische Institute und Universitäten verschiedener Fachbereiche beteiligen. Dank dieser fachübergreifenden Zusammenarbeit sollen in den kommenden Jahren alle wesentlichen technischen, chemischen, biologischen, landwirtschaftlichen und klimapolitischen Aspekte der Pflanzenkohlenutzung erforscht und für die praktische Anwendung nutzbar gemacht werden.

Höchste wissenschaftliche Priorität hat derzeit die umfassende Charakterisierung von Pflanzenkohle sowie deren Herstellungsbedingungen, um klar und unmissverständlich zu definieren, was Bio-Pflanzenkohle ist und was nicht (siehe: Richtlinien für den Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft) (9). Pyrolytische Kohlen aus minderwertigen und belasteten Biomassen dürfen unter keinen Umständen in den Boden eingearbeitet werden, die Verunreinigung mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und Schwermetallen würde diese zur Gefahr für die mikrobiologische Stabilität des Bodensystems machen [Kammann 2010, Schmidt 2010]. Gleichwohl können solche Pyrokohlen auf vielfältige Weise ökologisch nachhaltig zum Einsatz kommen, so zum Beispiel als Reduktionsmittel in der Metallurgie, als Brennstoff, als Filterstoff oder Trägermittel. Auch in der Materialwirtschaft gibt es Anwendungsmöglichkeiten.

Wenn Pflanzenkohle nicht unter kontrollierten Bedingungen und aus kontrollierten Ausgangsmaterialien hergestellt wird, kann es zu erheblichen ökotoxikologischen Belastungen der Kohle und klimaschädlichen Auswirkungen kommen. Es müs-

sen jetzt rasch die Rahmenbedingungen geschaffen werden, damit nur zertifizierte, ökologisch wertvolle Pflanzenkohle in landwirtschaftlichen Böden eingesetzt wird. In diesem Sinne wurde der 2010 an das Schweizerische Bundesamt für Landwirtschaft gestellte Antrag auf Zulassung von Pflanzenkohle als Bodenhilfsstoff an strenge Rahmenbedingungen geknüpft.

### Nächste Schritte, weitere Produktionsstandorte

Laut Aussage des Anlagenherstellers Pyreg (10) sollen 2011 weitere 12 bis 15 Pyreg-Pflanzenkohle-Anlagen in Betrieb genommen werden. Standorte sind Kompostwerke, Stadtgärtnereien, Bauernhöfe, Gemeinden, Klärwerke und Abfallentsorger.

2011 streben zwei weitere Anlagenhersteller für Pflanzenkohleproduktion auf den Markt: Die German Charcoal GmbH in Augsburg und die Carboilino Energy AG in Liestal betreiben bereits Pilotanlagen mit Produktionskapazitäten von bis zu 100 Tonnen Pflanzenkohle pro Tag. Im Vergleich zu Pyreg basieren beide Anlagentypen auf einem grundsätzlich anderen Pyrolyseprozess (Batchverfahren). Ithaka wird in den nächsten beiden Monaten über diese Anlagen berichten.

Im vergangenen Jahr wurden zwei industrielle Anlagen zur Herstellung von Hydrokohle in Betrieb genommen (Terra Nova Energy (11) in Düsseldorf sowie AVA-CO<sub>2</sub> (12) in Karlsruhe). Bei Hydrokohle handelt es sich im Vergleich zur Pflanzenkohle zwar um ein verwandtes, chemisch und physikalisch aber unterschiedliches Produkt, dessen Einsatz in der Landwirtschaft noch nicht empfohlen werden kann (siehe auch: Erste HTC-Anlage in industriellem Maßstab (13) sowie [Libra 2010]).

Neben den oben erwähnten industriellen Anlagen werden derzeit zahlreiche Klein- und Kleinstpyrolyse-Anlagen entwickelt, die sowohl im Haus- und Gartengebrauch als auch in Entwicklungsländern zum Einsatz kommen (siehe: Biokohle

für Entwicklungsländer (14), sowie Kochen mit Bioabfällen) (15).

### Klimafarming

James Lovelock bezeichnete Pflanzenkohle einst als die vielleicht letzte Chance für die Menschheit (16), doch ist die ökologische und soziale Krise, in die die Zivilisation sich im letzten Jahrhundert manövriert hat, viel zu komplex, als dass sie sich durch ein einfaches Wundermittel noch auflösen ließe. Aber Pflanzenkohle könnte tatsächlich zu einem entscheidenden Anstoß des Umdenkens werden.

Das Klimafarming-Konzept beruht nicht auf Pflanzenkohle, sondern auf Humuswirtschaft (17) mit geschlossenen Stoffkreisläufen (18), Biodiversitätsförderung (19), Düngemittelreduktion, Ackerforstmethoden (20), Mischkulturen (21), Gründüngung (22), Kompost, Biogasgewinnung, Energieerzeugung, pfluglosem Anbau, nachhaltiger Tierhaltung und Artenschutz. Doch der intelligente Einsatz von Pflanzenkohle, durch den sich fast alle diese Bereiche optimieren lassen, könnte zum verbindenden Ansatzpunkt und Trojanischen Pferd zur Verwirklichung einer neuen Klima-Landwirtschaftkultur werden (siehe auch: Wir haben einen Traum (23)).

Sicher ist nur eines: Ohne die Methoden des Klimafarmings werden weder die Klimaschutzziele für 2050 noch die Nahrungssicherheit der wachsenden Menschheit noch die Rettung der Biodiversität und Ökosysteme erreichbar sein. Die Landwirtschaft steht vor ihrem größten Wandel seit der Industrialisierung.

Möchten Sie die Entwicklung des Klimafarmings aktiv unterstützen? Helfen Sie mit einer **Spende an die Stiftung Delinat-Institut (24)**, die wissenschaftlichen Grundlagen des Klimafarmings zu entwickeln.

### Quellenverzeichnis

- Chan KY: *Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement*. In: Lehmann J, Joseph S (Eds) *Biochar for environmental management – science and technology*. earthscan, London, pp 67–84 (2009)
- Cheng C-H, Lehmann J, Thies JE, Burton SD: *Stability of black carbon in soils across a climatic gradient*. Journal of Geophysical Research 113, doi:10.1029/2007JG000642 (2007)
- Crane-Droesch A, Abiven S, Torn MS, Schmidt MW: *A Meta-Analysis of Plant Biomass Response to Biochar, with Implications for Climate Change Mitigation via Biosequestration*. submitted
- Gerber H: *Biomassepyrolyse mit Pyregreaktor*. Ithaka-Journal (2009)
- Gerber H: *CO<sub>2</sub>-Bilanz des Pyregreaktors*. Ithaka-Journal (2009)
- Glaser B, Haumaier L, Guggenberger G, Zech W: *The 'terra preta' phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics*. Naturwissenschaften 88: 37–41 (2001)
- Hilber I: *Pestizidbindung durch Aktivkohle* Ithaka-Journal (2009)
- Kammann C: *Biotoxizität verschiedener Biokohlen* (eingereicht)
- Kammann C: *Biokohle in Böden: C-Sequestrierungsoption und Veränderung der N<sub>2</sub>O-Emissionen nach Biokohleapplikation*. In: S. Wulf (Ed): S. D. KTBL *Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden*. KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Kloster Banz, Bad Staffelstein, Germany (2010)
- Kaszozi GN, Zimmerman AR, Nkedi-Kizza P, Gao B: *Catechol and Humic Acid Sorption onto a Range of Laboratory-Produced Black Carbons (Biochars)*. Environmental Science & Technology 44 (16): 6189–6195 (2010)
- Kuzyakov Y, Subbotina I, Chen H, Bogomolova I, Xu X: *Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by 14c labeling*. Soil Biology & Biochemistry 41: 210–219 (2009)
- Lehmann J, Czimczik C, Laird D, Sohi S: *Stability of biochar in soil*. In: Lehmann J, Joseph S (Eds): *Biochar for environmental management – science and technology*, earthscan, London, pp 183–205 (2009)
- Lehmann J: *Bio-energy in the black*. Ecology and the Environment 5(7): 381–387 (2007)
- Lehmann J: *Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments*. Plant and Soil 249: 343–357 (2003)
- Libra JA, Ro KS, Kammann C, Funke A, Berge ND, Neubauer Y, Titirici M-M, Fühner C, Bens O, Kern J, Emmerich K-H: *Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis*. Biofuels (in press)
- Niggli C, Schmidt HP: *Biokohle im Weinbau*. Ithaka-Journal (2010)
- Niggli C, Schmidt HP: *Optimale Pflanzenkohle Körnung* (eingereicht)
- Pichler B: *Biokohle in Weinbergböden*. Ithaka-Journal (2010)
- Pyreg, www.pyreg.de (2010)
- Schmidt, HP: *Biokohle, ein historischer Bodenverbesserer in Europa*. Ithaka-Journal (2009)
- Schmidt, HP: *Bio-Biokohle und Nichtbio-Biokohle*. Ithaka-Journal (2010)
- Schmidt, HP: *Biokohle im Weinbau*. Ithaka-Journal (2009)
- Schmidt, HP: *Terra Preta, Biokohle, Klimafarming*. Ithaka-Journal (2009)
- Schmidt MWI, Noack AG: *Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges*. GlobalBiogeochemical Cycles 14: 777–794 (2000)
- Smernik RJ: *Biochar and Sorption of Organic Compounds*. In: Lehmann J, Joseph S (Eds): *Biochar for environmental management – science and technology*. earthscan, London, pp 289–300 (2009)
- Steinbeiss S, Gleixner G, Antonietti M: *Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity*. Soil Biology and Biochemistry 41(6): 1301–1310 (2009)
- Thies Je, Rillig Mc: *Characteristics of biochar: Biological properties*. In: Lehmann J, Joseph S (Eds): *Biochar for environmental management*. Science and technology, Earthscan, London, U.K. pp 85–105 (2009)
- Van Zwieten L, Singh B, Joseph S, Kimber S, Cowie A, Chan K: *Biochar and emissions of non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases from soil*. In: Lehmann J, Joseph S (Eds): *Biochar for environmental management – science and technology*. earthscan, London, pp 227–249 (2009)
- Warnock DD, Lehmann J, Kuyper TW, Rillig MC: *Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms*. Plant and Soil 300: 9–20 (2007)

### Technische Daten der Pyrolyseanlage Pyreg 500

Hersteller: Pyreg GmbH, [www.pyreg.de](http://www.pyreg.de)

Standort: Swiss-Biochar, Belmont-sur-Lausanne

Thermische Leistung: 120 kWh

Durchsatz: ca. 120 kg/h (TS) bzw. 1000 t/a (TS)

Pflanzenkohleproduktion: ca. 330 kg/h

Energieverbrauch: 5 kWh (für Zufuhr, Mess- und Regeltechnik)

Kontinuierlicher Betrieb: 24 h pro Tag

Klimabilanz: 1000 kg Biomasse (TS) = 500 kg CO<sub>2</sub> Sequestrierungspotential

### Links

- (1) [www.ithaka-journal.net/landwirtschaft-kann-klimaretten](http://www.ithaka-journal.net/landwirtschaft-kann-klimaretten)
- (2) [www.ithaka-journal.net/klimafarming-eine-chance](http://www.ithaka-journal.net/klimafarming-eine-chance)
- (3) [www.ithaka-journal.net/pyrolysereaktor](http://www.ithaka-journal.net/pyrolysereaktor)
- (4) [www.ithaka-journal.net/biokohle-ein-traditioneller-bodenverbesserer-in-europa](http://www.ithaka-journal.net/biokohle-ein-traditioneller-bodenverbesserer-in-europa)
- (5) [www.ithaka-journal.net/biokohle-im-weinbau](http://www.ithaka-journal.net/biokohle-im-weinbau)
- (6) [www.ithaka-journal.net/biokohle-im-weinbergboden-einfluss-auf-nahstoffdynamik-und-wasserspeicherfaehigkeit-teil-1](http://www.ithaka-journal.net/biokohle-im-weinbergboden-einfluss-auf-nahstoffdynamik-und-wasserspeicherfaehigkeit-teil-1)
- (7) [www.ithaka-journal.net/biokohleversuche-in-kleingarten-erste-ergebnisse](http://www.ithaka-journal.net/biokohleversuche-in-kleingarten-erste-ergebnisse)
- (8) [www.biochar-science.net](http://www.biochar-science.net)
- (9) [www.ithaka-journal.net/richtlinien-fur-den-einsatz-von-biokohle](http://www.ithaka-journal.net/richtlinien-fur-den-einsatz-von-biokohle)
- (10) [www.pyreg.de](http://www.pyreg.de)
- (11) [www.terranova-energy.com](http://www.terranova-energy.com)
- (12) [www.ava-co2.com/web/pages/de/home.php](http://www.ava-co2.com/web/pages/de/home.php)
- (13) <http://www.ithaka-journal.net/erste-htc-anlage-in-industriellem-masstab>
- (14) [www.ithaka-journal.net/biokohle-in-entwicklungsländern](http://www.ithaka-journal.net/biokohle-in-entwicklungsländern)
- (15) [www.ithaka-journal.net/kochen-mit-bioabfallen-und-dabei-kohle-produzieren](http://www.ithaka-journal.net/kochen-mit-bioabfallen-und-dabei-kohle-produzieren)
- (16) [www.ithaka-journal.net/letzte-chance-fuer-die-menschlichkeit](http://www.ithaka-journal.net/letzte-chance-fuer-die-menschlichkeit)
- (17) [www.ithaka-journal.net/burgerbewegung-gegen-klimawandel](http://www.ithaka-journal.net/burgerbewegung-gegen-klimawandel)
- (18) [www.ithaka-journal.net/terra-preta-ein-modell-fur-regionales-stoffstrommanagement](http://www.ithaka-journal.net/terra-preta-ein-modell-fur-regionales-stoffstrommanagement)
- (19) [www.ithaka-journal.net/biologische-heisszonen\\_teil1](http://www.ithaka-journal.net/biologische-heisszonen_teil1)
- (20) [www.ithaka-journal.net/agroforestry-%E2%80%93-die-rueckkehr-der-biodiversitaet-in-die-traditionelle-landwirtschaft](http://www.ithaka-journal.net/agroforestry-%E2%80%93-die-rueckkehr-der-biodiversitaet-in-die-traditionelle-landwirtschaft)
- (21) [www.delinat-institut.org/mischkulturen.html](http://www.delinat-institut.org/mischkulturen.html)
- (22) [www.ithaka-journal.net/begrueung-in-den-weinbergen-sudeuropas](http://www.ithaka-journal.net/begrueung-in-den-weinbergen-sudeuropas)
- (23) [www.ithaka-journal.net/wir-haben-einen-traum](http://www.ithaka-journal.net/wir-haben-einen-traum)
- (24) [www.delinat-institut.org/spenden.html](http://www.delinat-institut.org/spenden.html)