

## Für eine Handvoll Kohlenstoff

05.02.10 – Hanno Charisius

**Schlagwörter:** Kohlenstoff, Biokohle, fossile Brennstoffe, fossile Energieträger, Malediven, Energie


Dieser Text ist der **Print-Ausgabe 01/2010** [<http://www.heise.de/abo/tr/pdfs/10/inhalt-tr0110.pdf>] von *Technologie Review* entnommen. Das Heft kann, genauso wie die **aktuelle** [<http://www.heise.de/tr/magazin/>] Ausgabe, **hier** [<http://www.heise.de/kiosk/einzelhefte/tr.shtml>] online portokostenfrei bestellt werden.

### Mit der Herstellung von Biokohle wollen Forscher das Klima retten, den Energiemangel verringern und Hungersnöte bekämpfen. Ingenieure tüfteln bereits an einem wirtschaftlichen Produktionsverfahren.

Die Republik Malediven, so will es ihr Präsident, soll bis zum Jahr 2020 vollkommen CO<sub>2</sub>-neutral sein. Und der Inselstaat im Indischen Ozean hat gute Gründe, beim Klimaschutz den Vorreiter zu geben. Der größte Teil seiner Landfläche liegt nicht mehr als einen Meter über dem Meeresspiegel. Wenn der steigt, geht das Land unter.

Um dieses ehrgeizige Ziel zu erreichen, will die Regierung das Kohlendioxid, das ihr Land ausstößt, einfangen – und zwar mit Kokosnüssen. Das ist kein Witz.

Was wie ein Schildbürgerstreich klingt, markiert nichts Geringeres als die Geburt einer neuen Industrie. Überall auf der Welt treten plötzlich Firmen mit dem Versprechen an, Biomasse wie das stinkende Zeug aus der braunen Tonne, Rasenschnitt, Biertreber, Hühnermist, Kokosshalen oder auch ganze Wälder in sogenannte Biokohle zu verwandeln und damit den Kohlenstoff dauerhaft zu binden.

Überlässt man das tote Pflanzenmaterial sich selbst, machen sich im Nu Mikroorganismen darüber her, zersetzen es und verwandeln es schließlich in Kohlendioxid. Es befeuert den Klimawandel genauso wie Autos, Schiffe, Flugzeuge oder all die anderen Transportmittel, die fossile Energie in Vortrieb verwandeln. Bei der Verkohlung wird weitaus weniger Kohlendioxid freigesetzt als beim Verbrennen oder beim Verrotten der Abfälle. 50 Prozent des Kohlenstoffs aus dem Ausgangsmaterial – je nach Methode sogar noch mehr – bleiben in der Kohle gebunden.

Die Befürworter sehen bereits "die schwarze Revolution" heraufziehen. Es sei an der Zeit, "die mächtigste Atmosphärenreinigungsmaschine, die wir besitzen", zu starten, sagt der australische Umweltschützer Tim Flannery. Als Professor für Umweltwissenschaften lehrt er an der Macquarie University in Sydney und ist Vorsitzender des Copenhagen Climate Council, das für wirksame und endlich verbindliche Regelungen zum Klimaschutz wirbt. Bodenökologe Johannes Lehmann, der an der Cornell University im US-Bundesstaat New York forscht und als einer der führenden Köpfe der Biokohle-Bewegung gilt, beschreibt die Theorie dahinter so: "Es geht darum, Kohlenstoff aus dem globalen Kreislauf herauszunehmen und so wegzupacken, dass er nicht mehr in die Atmosphäre gelangen und das Klima aufheizen kann." Wenn man ein Drittel der globalen Ernterückstände in Biokohle verwandeln würde, käme das einer Senkung der Treibhausgas-Emissionen um 10 bis 20 Prozent gleich, hat Lehmann ausgerechnet. Als "letzte Chance der Menschheit" hat gar der britische Geophysiker James Lovelock diesen Ansatz bezeichnet.

Gewaltige Mengen des Materials, so die Idee der Experten, sollen in den Erdboden eingearbeitet werden und dort Gigatonnen Kohlenstoff für lange Zeit binden. Dass dies im Prinzip möglich ist, lässt sich in Amazonien studieren. Terra Preta, schwarze Erde, wird dort ein fruchtbarer Boden genannt, der sich wie ein Streifen über Kilometer hinweg entlang des Amazonas erstreckt. Neben dem fruchtbaren Korridor beginnt abrupt der normale gelbe, unfruchtbare, stark verwitterte Boden des Regenwaldes. Um darauf etwas zum Wachsen zu bringen, bräuchte man große Mengen Kunstdünger. In der schwarzen Erde dagegen sind die Konzentrationen an Mineralstoffen wie Kalzium und Phosphor erstaunlich hoch für diese Region. Es sprießen dort Papayas und Getreide. Das liegt, so weiß man inzwischen, an den großen Mengen von Holzkohle, die von den Ureinwohnern Amazoniens stammt. Im Untergrund wirkt sie wie ein Schwamm für Nährstoffe, Wasser und Bodenmikroben. Die ältesten bislang bekannten schwarzen Böden sind 4000 bis 5000 Jahre alt und sind so immer noch unvermindert nährstoffreich. Weniger als ein Prozent der Fläche Amazoniens ist von Schwarzerde bedeckt. Und dennoch könnte sie vor der Ankunft der europäischen Eroberer einen großen Beitrag dazu geleistet haben, Millionen von Menschen zu ernähren.

Die Stabilität der Kohle und die Fruchtbarkeitssteigerung beflügeln die Fantasie der Klimaingenieure. Sie hoffen, mittels Biokohle den Klimawandel bremsen und gleichzeitig das Ernährungsproblem der Menschheit lindern zu können. Nebenbei würde bei der großtechnischen Verkohlung von Biomasse auch noch ein wasserstoffhaltiges Gasgemisch anfallen, mit dem man Autos antreiben oder Häuser beheizen könnte, argumentieren die Befürworter.

Das klingt zu gut, um zu wahr sein. Viele Fragen sind offen. Die wichtigste im Moment: Wie stellt man überhaupt Biokohle in so

großen Mengen her? Wenn man Markus Antonietti besucht, dann wirkt es so, als ob dieser Mann mehr Antworten hat, als es Fragen gibt. Der mit Preisen und Ehrungen überhäufte Direktor vom Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Golm bei Potsdam hat vor etwa fünf Jahren eine Methode erfunden, um nasse Pflanzenabfälle unter hohem Druck und bei hoher Temperatur zu einer Art Holzkohle zu verkochen. Damit ließe sich die Folge der Industrialisierung für das Klima "einfach zurückdrehen", sagt Antonietti. Er selbst bezeichnet dieses Produkt lieber als "Designerkohle", weil sich durch Veränderungen von Druck, Hitze und Verweildauer im Reaktor die Eigenschaften des Produkts gezielt steuern lassen. Die eigene Pressestelle dagegen nennt das "die Zauberkohle aus dem Dampfkochtopf".

Dabei hat Antonietti sich zunächst lediglich an ein altes Verfahren von Friedrich Bergius erinnert, der 1913 einen Weg fand, Kohle aus Pflanzenabfällen zu kochen. Heute wird dieser Weg als hydrothermale Karbonisierung bezeichnet, kurz HTC, was sich etwa als "wässrige Verkohlung bei erhöhter Temperatur" übersetzen lässt. Bergius verfolgte damals das Ziel, den knappen Rohstoff Öl für die deutsche Industrie durch Kohle zu ersetzen. Später jedoch wurden Gas und Öl so billig, dass sich die Kohlechemie des Bergius nicht mehr gelohnt hat. So ging das alte Wissen im Laufe eines halben Jahrhunderts fast verloren, bis es Antonietti wieder entdeckte. Fast zeitgleich begannen auch chinesische Forscher mit dem Kohlekochen.

Unterstützt durch Katalysatoren sowie moderne Mess- und Regeltechnik ist durch die Arbeit von Antoniettis Forschergruppe inzwischen eine Methode entstanden, die das Innere einer Biotonne in Kohle, Wasser und Dünger verwandeln kann. Bei der "Inkohlung" im Druckkessel spaltet die organische Materie unter dem Einfluss von 20 bis 30 Bar Druck, etwa 200 Grad Celsius und manchmal mit einer Säure als Katalysator über fünf bis zwölf Stunden alles ab, was nicht Kohlenstoff ist. "Die Verkohlungsreaktion an sich ist trivial", sagt Antonietti, dessen Beitrag darin besteht, dass die Methode zu einem industriellen Prozess weiterentwickelt werden kann. Heraus kommt ein Produkt, das chemisch Braunkohle ähnelt und nach Erde und Feuer riecht. 90 bis 99 Prozent des Kohlenstoffs liegen in dem wässrigen schwarzen Matsch, der aus dem Reaktor quillt, gebunden vor. Im Wasser schwimmen die übrigen Elemente mit. Dass darunter Mineralstoffe sind, macht den Schlamm zumindest theoretisch zu einem nährstoffreichen Dünger. Denn er könnte auch Pflanzenschutzmittel oder andere Gifte enthalten, je nachdem, was in den Reaktor geworfen wurde. Bisher hat man dies noch nicht eingehend untersucht.

Jedoch bereits mit der Wiederentdeckung der Bergius-Methode und mit ihrer Verfeinerung sorgten Antonietti und seine Forscher für Furore. Nicht nur, dass HTC aus Abfall einen hochwertigen Brennstoff macht. Bei der Spaltung im Druckkessel wird auch noch so viel Energie frei, dass sich die Reaktion nach der Startphase selbst antreibt. Der herkömmliche Weg ist die Pyrolyse, die bei 500 bis 900 Grad und unter Sauerstoffausschluss abläuft. Die hohen Temperaturen lassen die Verbindungen der großen organischen Moleküle aufbrechen. Ein Nachteil ist jedoch, dass sie nur mit trockener Biomasse funktioniert. Und man muss Energie einsetzen, um sie am Laufen zu halten. Damit ist die Pyrolyse nicht kontinuierlich, was diesen Prozess weniger effizient macht, auch wenn dabei ein brennbares Synthesegas entsteht.

Doch so gut das HTC-Verfahren im Prinzip funktioniert – einer wirtschaftlichen Umsetzung hat es sich bislang widersetzt. Experten wägen dazu unterschiedliche Szenarien ab: kleine, dezentrale Anlagen oder große Kohlewerke? Werden in großen Kesseln im Einmalprozess große Mengen hergestellt, oder soll man lieber auf Durchlaufanlagen setzen?

Die Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) in Freising denken in großen Dimensionen. Die Ingenieure dort wollen den Verkohlungsreaktor vergraben, um den hohen Druck und die frei werdende Energie mittels der umgebenden Gesteinsmasse abzufangen. Der Aufwand lohne sich jedoch nur, wenn große Mengen Biomasse in der Nähe zur Verfügung stehen, sagt Andreas Stäbler, der am IVV Geschäftsfeldmanager für "biogene Rohstoffe" ist. Eine Großstadt wie Berlin reiche da vielleicht als Abfallquelle aus, so Stäbler, die Reste von gigantischen Zuckerrohrplantagen in Südamerika oder Presskuchen aus der Palmölgewinnung in Südostasien würden sich jedoch eher eignen. Zurzeit suchen die Fraunhofer-Forscher auch nach Geldgebern. Sie wollen aus dem Laborstadium herauszukommen und größere Anlagen auf ihre Tauglichkeit testen. Deren Konstruktion wird mit dem Dampfkochtopf-Prinzip aber kaum noch etwas zu tun haben: Der unterirdische Kessel könnte zum Beispiel U-förmig konzipiert werden. Am einen Ende wird Bioabfall eingefüllt, auf der anderen Seite kommt die Kohle hervor. "Das Verfahren wird nur wirtschaftlich sein, wenn es kontinuierlich abläuft", erklärt Stäbler. Es wäre zu energieaufwendig, den Reaktor nach einem Durchgang jedes Mal wieder abkühlen zu lassen und ihn dann erneut anzuheizen.

Dem Ideal der Durchlaufreaktion ist nach eigenen Angaben bislang das Unternehmen CS Carbonsolutions aus Kleinmachnow in der Nähe von Potsdam am nächsten gekommen. Man habe bereits alle Einzelteile für den ersten Testreaktor beisammen, sagt Geschäftsführer Volker Zwing. Noch 2010 will er den Betrieb aufnehmen und beweisen, "dass die Methode nicht nur in der Fantasie funktioniert", so Zwing. Eine Anordnung von Pumpen und Ventilen soll die kontinuierliche Verkohlung gewährleisten. Außerdem habe es das Unternehmen geschafft, den Prozess von mehreren Stunden auf 90 Minuten zu verkürzen. Wie genau das alles funktioniert, will Zwing jedoch nicht verraten. Wenn es um HTC-Verfahrenswissen geht, gilt es die Konkurrenz auf Abstand halten. Alle Wettbewerber versuchen, sich durch einen Schutzwall aus Patenten einen Vorsprung zu verschaffen. In diesem Bereich gibt es noch keine etablierte Technik wie bei der konventionellen Holzkohleherstellung per Pyrolyse.

Wer jetzt ins HTC-Geschäft einsteigt, hofft darauf, dass die CO<sub>2</sub>-Sequestrierung durch Kohleproduktion während der aktuellen Klimaverhandlungen in Kopenhagen zu einem handelbaren Gut auf dem Zertifikate-Markt wird. "Um die Industrie zu beflügeln, wären Anreize aus Kopenhagen wichtig", sagt Zwing. Ab einem Preis von 37 Dollar pro vermiedene Tonne Kohlendioxid könnte das Vergraben von Kohle finanziell attraktiv werden, hat Johannes Lehmann ausgerechnet. (Ergebnisse der Kopenhagener Konferenz lagen bei Redaktionsschluss noch nicht vor.)

Bleibt noch die Frage: Wohin mit der Kohle? Der Kleinmachnower Prototyp von Carbonsolutions ist auf 10.000 Tonnen Biomasse jährlich ausgelegt. Das falle in einer kleinen Gemeinde an, sagt Zwing. Sein Unternehmen denkt eher an dezentrale

Lösungen, damit der minderwertige Biomüll nicht allzu weit transportiert werden muss. Herauskommen würden dabei etwa 1000 Tonnen Kohle. Diese einfach nur zu verbrennen ist schwierig, denn der Schlamm müsste zuvor aufwendig getrocknet werden. Außerdem würde dann kein CO<sub>2</sub> eingespart. Auf die Felder der Umgebung auftragen, um die Äcker Brandenburgs in fruchtbare Terra Preta zu verwandeln? Da ist Zurückhaltung angezeigt, denn die beiden Versprechen aus Amazonien – Langzeitstabilität der Kohle im Boden und Düngeneffekt – scheinen nicht überall auf der Welt zu gelten.

"Nach unseren bisherigen Erfahrungen ist nicht davon auszugehen, dass es nur positive Effekte gibt", so lautet das zurückhaltende Urteil Hans-Josef Kochs vom Institut für Zuckerrübenforschung an der Universität Göttingen. In einem durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekt untersucht er die Effekte von Kohle im Boden. Erst Anfang September ließ er eine erste Ladung Biokohle unter die Erde pflügen. Zunächst wird Winterweizen darauf angebaut, im nächsten Frühjahr folgen Zuckerrüben. Experimente im Labor mit Topfpflanzen verliefen jedoch ernüchternd. Weder bestätigte sich, dass die Kohle Mikroben abschreckt, noch gab es immer einen wachstumsfördernden Effekt – manchmal wuchsen die Versuchspflanzen in Kohletöpfen sogar schlechter. Er wolle vermeiden, dass die Biokohle in Verruf gerät, sagt Koch. "aber man muss sich davor hüten, die Ergebnisse aus anderen Regionen auf Europa übertragen zu wollen."

Die deutschen Beobachtungen stehen in herbem Kontrast zu den Daten aus Amazonien: Auf mit Terra Preta Nova angereicherten Testfeldern in der Nähe von Manaus ernten Forscher fast neunmal so viel Reis und Mohrenhirse wie vom unbehandelten Regenwaldboden. Und auch andernorts überzeugte die Kohle. In der Savannenlandschaft Kolumbiens wuchsen nach Angaben der Biokohle-Lobbyorganisation "International Biochar Initiative" Pflanzen auf kohlehaltigen Böden besser als auf unbearbeiteten Nachbarfeldern. Im US-Bundesstaat Georgia ließ sich dasselbe beobachten auf Feldern, die mit Kohle aus Hühnermist gedüngt wurden. Und David Laird vom amerikanischen Department of Agriculture zeigte kürzlich auf einem Biokohlekongress, wie Kohle das Auswaschen von Nährstoffen selbst in üppigen Böden bremst. Für den Bodenexperten Johannes Lehmann stehen die verschiedenen Beobachtungen nicht im Widerspruch. "Unterschiedliche Böden profitieren von unterschiedlichen Kohlearten und -mengen. Das wissen wir bereits von unserer Arbeit mit Mineraldünger, von Biokohle war daher nichts anderes zu erwarten."

Auch die Frage der Persistenz im Boden wird sich bis zur Klimakonferenz in Kopenhagen kaum klären lassen. Sie kann von einigen Jahren bis zu mehreren Jahrzehnten reichen. Pyrolysekohle scheint hingegen wesentlich stabiler zu sein. Doch auch mit HTC-Kohle lasse sich in unseren Breiten zumindest ein "transienter Kohlenstoffspeicher" im Boden aufbauen, argumentiert Gerd Gleixner, der am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena untersucht, wie lange Biokohle im Boden verbleibt. Eine Art Puffer, der Kohlenstoff aufnimmt und erst zeitlich verzögert wieder abgibt. "Das ist wie der Transport von Wasser in einem löchrigen Eimer", erklärt der Bodenforscher. "Wenn man oben genug nachfüllt und die Löcher nicht zu groß sind, bleibt immer etwas in dem Gefäß." Ob solche regenerativen Speicher auch für den CO<sub>2</sub>-Zertifikatehandel zugelassen werden sollten, müsste man sorgfältig diskutieren. In jedem Fall hätte dieser Speicher nur eine begrenzte Aufnahmekapazität.

Ihre vermuteten Schwächen bei der Langlebigkeit kann die HTC-Kohle bei der Herstellung ausgleichen. Sie ist energetisch günstiger als die gängigen Pyrolyse-Techniken, und ihre Fähigkeit, selbst Klärschlamm und die Reste aus Biogasanlagen verarbeiten zu können, ist unerreicht. Außerdem schwärmen die Experten von der Anpassungsfähigkeit des Prozesses: "Egal ob ich Stroh oder Essensreste reinwerfe – die Kohle, die rauskommt, ist fast identisch", sagt Hans-Günter Ramke, Abfallwirtschaftsexperte von der Hochschule Ostwestfalen-Lippe in Höxter.

Unterstützt von der Bundesstiftung Umwelt versucht er herauszufinden, wie man den Prozess steuern muss, um von einer beliebigen Biomasse zum gewünschten Kohleprodukt zu kommen. Druck, Temperatur, Verweildauer – viele Parameter scheint es nicht zu geben, und dennoch ist Ramke davon überzeugt, Biokohle bedarfsgerecht produzieren zu können. "Die Prozessbedingungen scheinen zum Teil wichtiger zu sein als das Substrat." Für den Süden Europas könnte so irgendwann Kohle gemacht werden, die das Wasser besonders gut hält, für den Norden eher solche mit guten Düng-Eigenschaften, damit die Bauern beim Kunstdünger sparen können. "Uns schwebt ein technologisches Produkt vor", sagt Ramke, "dessen Eigenschaften wir nach Belieben gestalten können."

Das wäre die "Designerkohle", von der Markus Antonietti schwärmt. Wenn es nach ihm geht, ist dieses Produkt viel zu schade, um es zu verbrennen oder zu vergraben. Er sieht darin einen wertvollen Rohstoff für die Industrie. Bereits Bergius dachte über eine ganze Reihe von Produkten nach, die man aus Kohle herstellen könnte. Nun entwickelt auch Antonietti dazu konkrete Ideen: Hydrothormaler Kohlenstoff könnte zum Beispiel als Ausgangsmaterial für die Elektroden in neuartigen Batterien dienen, für Kohlenstoff-Nanopartikel oder auch für Farbstoffe in Druckertinte. Alles, was die Industrie bislang aus fossilen Kohlenstoffquellen herstellt, ließe sich zumindest theoretisch auch aus Biokohle raffinieren, sagt Antonietti. "Wir wollen so hoch wie möglich in die Veredelungskette einsteigen."

So würde CO<sub>2</sub> auf dem Umweg über Pflanzen zum Rohstoff der Industriegesellschaft. Vielleicht lassen sich mit Biokohle die Treibhausgaswerte nicht auf vorindustrielle Zeiten drücken. "Aber die Technologie kauft uns Zeit", sagt der australische Umweltschützer Tim Flannery, "bis wir auf eine Niedrigemissionsökonomie umgestiegen sind."

Dieser Text ist der **Zeitschriften-Ausgabe 01/2010 von Technology Review** [<http://www.heise.de/tr/magazin?ausgabe=1037>] entnommen. Das Heft kann, genauso wie die aktuelle Ausgabe, **hier online portokostenfrei bestellt werden** [<http://www.heise-shop.de/Produkte/Zeitschriften/Technology-Review/Einzelhefte/>].

**Kommentieren** [<http://www.heise.de/tr/themen/foren/S-Fuer-eine-Handvoll-Kohlenstoff/forum-173600/list/>]

Permalink: <http://heise.de/-919943> [<http://heise.de/-919943>]

**Version zum Drucken** [<http://www.heise.de/tr/artikel/Fuer-eine-Handvoll-Kohlenstoff-919943.html?view=print>] | **Per E-Mail versenden** [<http://www.heise.de/tr/artikel/Fuer-eine-Handvoll-Kohlenstoff-919943.html?view=mail>] | **Newsletter** [<http://www.heise.de/newsletter/manage/technology-review>]



Auch auf heise online:

**Biokohle als Klimaretter**

**Gaia-Theoretiker mit unorthodoxen Ideen**

**Biokohle soll Klima retten**

**Für eine Handvoll Kohlenstoff**

**Holzkohle für den Klimaschutz?**

**Instant-Kohle aus Biomasse**

3D Anonymität Atomkraft Auto China Cloud Computing Cluster Community Cookies **Datenschutz** Deepwater Horizon Demokratie  
Elektroautos **Energie** Gentechnik Hardware Identity Management Information Innovation **Internet** Internetzugang Interview  
IP-Adressen Jahresrückblick Japan **KI** Laufzeit Logistik **Medizin** Mobilfunk Netzneutralität Obama Online-Werbung Open Source Peer Review  
Pharmaindustrie Prognose Raumfahrt **Roboter** Router **Sicherheit** Smartphone Software Spiele Technology Review Telekommunikation  
Tiefsee Tracking Werbung Zensur