

Wie verhält sich Pflanzenkohle in Ackerböden?

Michael Scheifele und Andreas Gättinger, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL)



Biochar-Pyramide: Pyreg-Kohle aus der Maschine.
Echantillon de biochar: Charbon Pyreg issu de la machine.

Pflanzenkohle ist einer der Hauptbestandteile der Terra preta do indio, der Schwarzerde Amazoniens. Die Tatsache, dass diese Schwarzerde, höchstwahrscheinlich menschlichen Ursprungs, auch nach jahrhundertelanger Witterung im Regenwaldklima noch immer sehr fruchtbar ist, erstaunt. Die Ursachen, die zu dieser langanhaltenden Fruchtbarkeit führen, werden hauptsächlich der physikalischen und chemischen Beeinflussung des Bodens durch die Pflanzenkohle und deren Beständigkeit zugeschrieben. Pflanzenkohle wirkt wie ein Schwamm, sie ist sehr porös und kann viel Wasser speichern. Die im Bodenwasser gelösten Nährstoffe adsorbieren an der immensen Oberfläche der Pflanzenkohle. Sie ist ein unregelmässiges Gebilde aus kreuz und quer liegenden, miteinander verbundenen verschieden grossen Graphitschichten. Diese Kohlenstoff-Waben sind enzymatisch schwierig zu knacken, teils durch die starken aromatischen Bindungen, teils durch sterische (\approx räumliche) Hinderung der Enzyme. Nichtsdestotrotz verändern im Laufe der Zeit anorganische und organische Prozesse die Struktur der Pflanzenkohle, so dass diese irgendwann vollständig mineralisiert, an-

sonsten wäre die gesamte Erdoberfläche mit mehreren Metern aus Waldbränden stammender Kohle bedeckt. Wie aber die physikalischen, chemischen und biologischen Mechanismen zusammenwirken, die zum Abbau der Pflanzenkohle führen, ist weitgehend unbekannt. Fest steht: In den Terra-Preta-Böden sowie auch in den europäischen Schwarzerden sind die Bedingungen so, dass Pflanzenkohle Jahrhunderte überdauern kann. In anderen Böden und Regionen wie z.B. in den russischen Steppen oder wiederholt von Waldbränden heimgesuchten Regionen scheint dies nicht der Fall zu sein.

In jüngster Zeit genießt Pflanzenkohle den Ruf eines Allheilmittels, Böden fruchtbarer zu machen, darin Schadstoffe zu absorbieren und gleichzeitig dauerhaft CO_2 aus der Atmosphäre im Boden zu speichern. Inwiefern dies alles zutrifft, ist jedoch von vielen Faktoren abhängig. Einerseits spielen das Ausgangsmaterial und der Herstellungsprozess eine grosse Rolle. Die Verkohlung kann als Kontinuum angesehen werden, das vom Ausgangsmaterial über leicht verkohltes, braunkohleähnliches Material, stärker verkohlte Holzkohle bis zu Teer mit Graphit ähnlichen Strukturen reicht. In diesem kontinuierlichen Prozess verändern sich die Elementzusammensetzungen und Bindungsverhältnisse des Materials. Mineralien werden angereichert, die Elementverhältnisse Sauerstoff/Kohlenstoff und Wasserstoff/Kohlenstoff verringern sich und aromatische Verbindungen lösen zusehends Aryletherderivate ab. Wie dies genau geschieht, hängt jedoch nicht nur von der Länge und Temperatur des Verkohlungsprozesses, sondern auch von der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials ab. Das Verhältnis von Cellulose, Hemicellulose und Lignin

spielt eine grosse Rolle. Pflanzenkohle ist ein Produkt vieler Faktoren und zeigt dementsprechend unterschiedliche Eigenschaften. Andererseits ist Boden nie gleich Boden, nicht nur bedingt durch die geologischen Verhältnisse, sondern auch die Bewirtschaftung beeinflusst die Bodenqualität. So ist davon auszugehen, dass Böden unterschiedlich auf Pflanzenkohle reagieren. Entsprechend ist zu erwarten, dass die Effekte der Pflanzenkohlen in ein und demselben Boden unterschiedlich ausfallen können. Es stellt sich nun die Frage, auf welche physikalisch-chemischen und biologischen Mechanismen diese Phänomene zurückzuführen sind: so z.B., ob der Schutz der Pflanzenkohle gegenüber mikrobiellem Abbau eher von deren Molekülstruktur abhängt oder von den biologischen Eigenschaften des umgebenden Bodenhabitats. Sind nur Pilze oder auch Bakterien am Abbau beteiligt und inwiefern hängt dies vom Verkohlungsgrad ab? Sind die positiven Eigenschaften der Kohle auf den Boden nur von der Pflanzenkohle abhängig, oder spielt auch der Boden eine Rolle?

Seit knapp einem Jahr widmet sich das Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL) in Frick im Rahmen eines vom Schweizerischen Nationalfonds geförderten Forschungsprojekts diesen Fragen. Darin wird der Einfluss vier verschiedener Pflanzenkohlen auf vier verschiedene Ackerböden anhand biologischer Parameter untersucht. Ausgangsmaterialien für die Pflanzenkohlen sind Holzhackschnitzelsiebreste und mit dem schweren, nicht-radioaktiven Kohlenstoffisotop (^{13}C) angereicherte Maispflanzen. Von beiden Materialien wurden Kohlen nach dem Pyreg-Verfahren und der Hydrothermalen Karbonisation (HTC) hergestellt. Die untersuchten Ackerböden besitzen alle ausge-

prägte Lössauflagen und können in zwei Paare unterteilt werden, die sich jeweils in der mikrobiellen Aktivität oder dem pH klar unterscheiden. Das erste Paar stammt aus einem langjährigen Systemversuch des FiBL, dem DOK-Langzeitversuch in Therwil/BL, wo biologische und konventionelle Anbautechniken miteinander verglichen werden. Die Böden aus biodynamischem und konventionellem Anbau (nur mineralisch gedüngt), differieren hauptsächlich in den mikrobiologischen Eigenschaften. Das zweite Paar bilden ein saurer Lössboden aus dem Jura und ein basischer Lössboden aus dem Oberbaselbiet. Der Fokus der Studie liegt in der Untersuchung der mikrobiellen Gemeinschaften in den Ackerböden vor und nach Zugabe von Pflanzenkohle durch den Nachweis der Phospholipidfettsäuren-Muster. Dank der Analyse stabiler ^{13}C -Isotopen kann der Verbleib der Pflanzenkohle in verschiedenen Kompartimenten, der Bodenluft (als CO_2), der mikrobiellen Biomasse sowie in einzelnen Vertretern der mikrobiellen Gemeinschaften im Boden nachgewiesen werden. In den Bodeninkubations- und Topfexperimenten werden der kurzfristige und längerfristige Einfluss der

Pflanzenkohlen sowie des Ausgangsmaterials und deren Abbau untersucht. Das Topfexperiment ist mehrjährig mit Wachstums- und Ruhephasen sowie Fruchtfolge wie im Ackerbau üblich angesetzt, um die für das ganze System wichtigen Zyklen zu simulieren.

Erste Resultate der Bodeninkubationsstudie mit Böden des DOK-Versuches gut zwei Wochen nach der Einbringung von umgerechnet 20 t Pflanzenkohle pro Hektare Ackerböden zeigen klare Unterschiede sowohl zwischen den Pflanzenkohletypen nach HTC und der Pyreg-Methode als auch zwischen den Böden. Die mikrobielle Respiration in den mit HTC-Pflanzenkohle beaufschlagten Böden ist anfänglich sehr hoch, die Respirationkurve gleicht sich jedoch nach wenigen Tagen der mit dem Ausgangsmaterial vermengten Böden an und zeigt dann einen ähnlichen Verlauf wie diese. Auch die nach der Pyreg-Methode hergestellte Pflanzenkohle provoziert anfänglich eine erhöhte Respiration gegenüber der Kontrolle, bei der kein zusätzliches Material mit dem Boden vermengt wurde, doch schon nach kurzer Zeit ist dieser Unterschied verschwunden. Untersuchungen der mikrobiellen Biomasse und Aktivität bestätigen diesen Trend. Die Unterschiede zwischen den Respirationsraten der HTC-Kohlen aus Mais und Holz sind deutlich kleiner als beim jeweiligen Ausgangsmaterial, was auf eine Vereinheitlichung der Struktur durch den HTC-Prozess hinweist. Die beiden DOK-Böden zeigen die erwarteten Unterschiede auf Grund ihrer mikrobiellen Aktivität: der Boden aus biodynamischer Bewirtschaftung zeigt durchwegs erhöhte Werte gegenüber dem nur mineralisch gedüngten Boden.

Diese ersten Ergebnisse lassen noch keine Schlussfolgerungen zu. Es ist bekannt, dass durch den HTC-Prozess viele organische Säuren entstehen, die der Pflanzenkohle anhaften und für erhöhte mikrobielle Umsatzleistungen sorgen. Auch auf der nach dem Pyreg-Verfahren hergestellten

Quel est le comportement du charbon végétal dans les sols cultivés?

Le charbon végétal est un produit à plusieurs facettes et présente de ce fait des propriétés diverses. D'autre part un sol n'est jamais équivalent à un autre sol, pas seulement dû aux conditions géologiques, mais le type d'exploitation influence également la qualité du sol. Ainsi il faut partir du fait que les sols réagissent différemment face à un apport de charbon végétal. En conséquence, il faut s'attendre à ce que les effets des charbons végétaux puissent être différents au sein d'un seul et même sol. Dans un projet de recherche, le FiBL analyse l'influence de quatre charbons végétaux dans quatre sols cultivés différents. On dispose certes des premiers résultats, mais ils ne permettent pas encore de tirer de conclusions.

Pflanzenkohle kleben kurzkettige Kohlenwasserstoffe, so genannte Kondensate, die leicht abbaubar sind. Dies erklärt die bei beiden Pflanzenkohlen erhöhten Respirationraten zu Messbeginn. Interessant wird der weitere Verlauf des Experimentes auf längere Zeit, wo die Effekte der stabileren Verbindungen der Pflanzenkohle zum Tragen kommen sowie die noch bevorstehenden Analysen der $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Isotopenverhältnisse in den mikrobiellen Phospholipidfettsäuren. Dies wird Aufschluss geben, von welchen mikrobiologischen Populationen die verschiedenen Kohlen und die Ausgangsmaterialien hauptsächlich abgebaut werden, und falls spezifische Unterschiede bestehen, diese von den ursprünglichen, mikrobiologischen Populationen der verschiedenen Böden oder den Pflanzenkohlen abhängen. Ebenso spannend ist es zu erfahren, wie Pflanzen und Anbauzyklen die Abbaudynamik beeinflussen. In drei Jahren, nach Abschluss der Studie, werden wir mehr über die Beständigkeit und Dynamik von Pflanzenkohlen in Ackerböden wissen.



Pyreg-Pflanzenkohle und Boden in Inkubationsbehälter vor dem Vermischen.
Charbon végétal Pyreg et sol dans l'incubateur avant le mélange.



HTC-Pflanzenkohle und Boden in Inkubationsbehälter vor dem Vermischen.
Charbon végétal HTC et sol dans l'incubateur avant le mélange.