

Tagung
Humusaufbau
Chance für Landwirtschaft und
Gartenbau gegen den
Klimawandel

23. November 2018 in Hannover

Tagungsort: Akademie des Sports - Hannover



Foto: Dr. Otto Ehrmann „Wurzeln in Regenwurmröhren“

www.bund-hannover.de

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

Prof. Dr. Claudia Kamman – Hochschule Geisenheim 2

Begrüßung durch die Veranstalter

Silke Dahl – BUND Region Hannover 4

Heiner Cuhls – IG Gesunder Boden 6

Grußwort

Marion Senger – Landwirtschaftskammer Niedersachsen 7

Humus und Bodenfruchtbarkeit

Dr. Norman Gentsch / Prof. Dr. Georg Guggenberger – Leibniz Universität Hannover
„Organische Substanz für Bodenfruchtbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftungssysteme“ 11

Dr. Nils Borchard – Natural Resources Institute Finland (Luke) /Helsinki
„Humusaufbau in Meilerböden – Ein Modell für klimaschonende Landwirtschaft“ 16

Dr. Sonja Dreyman – Pflanzenbauberaterin „Wege zu mehr Bodenfruchtbarkeit in der
Anbaupraxis – Huminstoff bildende Prozesse und erweiterte Bodenanalysen nutzen“ 27

Humus aufbauen in der Praxis

Jens Petermann – Landwirt „Wann funktioniert der Boden von allein?
Durch Erosion zum Boden- und Humusexperten geworden“ 29

Dr. Anita Idel – Tierärztin, Mediatorin und Lead-Autorin des UN-Weltagrarberichtes
„Zur Bedeutung nachhaltiger Beweidung für Bodenfruchtbarkeit, Biodiversität und Klima“ 37

Projekte zur Schließung regionaler organischer Kreisläufe und zum Humusaufbau

Dr. Robert Wagner / Dr. Ines Vogel – Freie Universität Berlin – FB Geowissenschaften
„Verwertung von organischen Reststoffen zur Schließung von regionalen Kreisläufen mittels
Herstellung und Anwendung von Biokohle und Biokohlesubstraten mit dem Ziel der
Bodenverbesserung und Minimierung von Umweltbelastungen – Ergebnisse aus
praxisorientierten Forschungsprojekten“ 46

Gerald Dunst – „Humusaufbau und Grundwasserschutz – Datenauswertung aus dem
Humusprojekt der Ökoregion Kaindorf“ / Österreich 57

Anhang

Christine Jones, PhD, Founder, Amazing Carbon, www.amazingcarbon.com
“Liquid carbon pathway” – „Zucker für das Bodenleben –
Der Weg des Kohlenstoffs von der Pflanze in den Boden“ 64

Die Tagung und der Druck des Readers sind durch die freundliche
Unterstützung der Niedersächsischen BINGO Umweltstiftung
ermöglicht worden!



Einleitung

Prof. Dr. Claudia Kammann - Hochschule Geisenheim
Sibylle Maurer-Wohlatz – BUND Region Hannover

Der langanhaltende Sommer mit dauerhaft hohen Temperaturen und kaum nennenswerten Niederschlägen verleiht dem Thema „Humusaufbau und Klimawandel“ eine besondere Aktualität: gerade auf humusarmen Böden mit einem geringen Wasserspeichervermögen kommt es zu großen Ernteaussfällen. Zudem können unter dem Einfluss des Klimawandels die Humusvorräte von Agrar- und Gartenböden abnehmen¹. Der renommierte Wissenschaftler **Rattan Lal, Mitglied und Lead Author des IPCC** und Präsident der International Union of Soil Sciences, stellte fest, dass der Klimawandel mit dramatischen Auswirkungen mit immer schnellerem Verlust fruchtbarer Böden einher geht; und dass am stärksten die Menschen in den ärmeren Ländern betroffen sind, die am wenigsten zum Problem beigetragen haben. Im Durchschnitt werden 30-35% der weltweiten Treibhausgase² durch eine nicht klimaangepasste Landwirtschaft verursacht. Die einzige Lösung, um die Welternährung auf immer weniger Fläche für eine wachsende Weltbevölkerung sicher zu stellen, sieht er darin, den Kohlenstoffgehalt der Böden und damit den Humus zu erhalten und zu erhöhen, wobei gleichzeitig CO₂ im Boden gespeichert und der Atmosphäre entzogen wird. Böden werden so wieder zu Kohlenstoffsenken statt Quellen. Mit welchen Maßnahmen dies geschehen kann, wird auf dieser Tagung erläutert und diskutiert.

Die „**4per1000 Initiative – Soils for Food Security and Climate**“, die anlässlich des Pariser Klimagipfels ins Leben gerufen wurde, verfolgt das Ziel, die Aufmerksamkeit von Öffentlichkeit und Politik auf den Boden und die Bedeutung des Bodenkohlenstoffs für die Welternährungssicherheit und die CO₂-Speicherung zu lenken. Es zeigt sich zunehmend, dass wir nur wenige Optionen für einen aktiven CO₂-Entzug aus der Atmosphäre haben, die heute schon anwendbar sind und keine verträumte Zukunftsmusik (Lawrence et al., 2018) – und die zu win-win Situationen führen, oder einfach nur die Ernährungssicherheit nicht gefährden. Rein rechnerisch entspricht eine jährliche Zunahme der Kohlenstoffmenge von 4/1000 (also 0,04 %) in Böden der Menge CO₂, die als Konzentrationsanstieg jährlich in der Atmosphäre sichtbar wird (was *nicht* der gesamten emittierten Menge entspricht.) Um das 2°C-Ziel (und mehr noch das 1.5°C-Ziel) zu erreichen, muss zusätzlich zur raschen und gründlichen Abkehr von der Nutzung fossiler Brennstoffe auch zusätzlich CO₂ aus der Atmosphäre entzogen werden. Und dabei geht es nicht darum, potentielle Optionen gegeneinander auszuspielen, oder Betrachtungen wie „entweder Humusaufbau – oder Pflanzenkohle“ anzustellen. Wir können es uns nicht mehr leisten, auch nur eine dieser Techniken zu ignorieren: unsere beste Option wird in der *Kombination* aller Verfahren liegen, die Landschaften zu Kohlenstoffsenken machen und dabei Ökosystemleistungen für Mensch und Natur erbringen: Also Kohleinsatz aus organischen Reststoffen plus Begrünung und reduziertem Pflugeinsatz, statt nur eine dieser Optionen isoliert anzuwenden. Es ist dieses Ringen um Synergien, dass die Tagung antreibt.

Denn es ist keine Zeit zu verlieren, die Realität hat uns bereits überholt und der Klimawandel hat schon begonnen. Am 8.Oktober dieses Jahres hat der **Weltklimarat IPCC** seinen neuen Sonderbericht zur drängenden Begrenzung der Klimaerwärmung auf 1,5 °C vorgestellt mit

¹ Martin Wiesmeier: Humusschwund durch Klimawandel?, TUM. Lehrstuhl für Bodenkunde, 2015

² Live Übertragung vom 2.10.2018 Rattan Lal, PhD presenting at Nobel Conference 54

dem Appell, **alle** Möglichkeiten zu nutzen, um dieses Ziel nicht zu überschreiten. Dabei wurden Lösungen vorgeschlagen, die dem Boden (endlich) eine Schlüsselrolle bei der Begrenzung der Klimaerwärmung zuerkennen. Dies ist die Erhöhung der Biomasse-Produktivität des Planeten durch verschiedene Maßnahmen, wie u.a. Aufforstung und Waldgärten und die Erhöhung des Humusgehalts durch biodiverse Kulturen und stets bedeckte, begrünte Böden; sowie der Umwandlung und Sequestrierung des aus der Atmosphäre aufgenommenen pflanzlichen Kohlenstoffs in Pflanzenkohle und weitere pyrogene Produkte (Werner et al., 2018, Schmidt et al., 2018). Diese können im landwirtschaftlichen Stoffstrommanagement in Kaskaden genutzt werden, sodass jährlich kleine Mengen nährstoffangereichert in den Boden gelangen und die Bodeneigenschaften allmählich verbessern – und so die CO₂-Quelle „landwirtschaftlicher Betrieb“ in eine CO₂-Senke verkehren. Eine aktuelle Studie der TU München kommt zu dem Schluss, dass die Zugabe von gealterter Pflanzenkohle in Böden, insbesondere unter Dürrebedingungen, das Wasserregime und Pflanzenwachstum verbessern kann³.

Auch der Weltklimarat hat nunmehr die **Speicherung von Kohlenstoff** durch verschiedene Maßnahmen, die auch Pflanzenkohle (pyrogenen Kohlenstoff) umfassen, als eine mögliche Lösung für die Reduktion des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre aufgenommen. Die Grundlagen dafür haben gemeinsam ein Forscherteam des PIK Potsdam sowie Wissenschaftler der Humboldt-Universität, der HS Geisenheim und dem Ithaka-Institut geschaffen ((Werner et al., 2018, Schmidt et al., 2018), wobei zunächst nur eine ähnliche Verwendungsweise wie bei BECCS (bioenergy with carbon capture and storage) betrachtet wurde. Der kritische Punkt ist, dass Pflanzenkohle zu positiven Ertragseffekten in den Tropen und Subtropen führt und daher „Fläche freimachen kann“ für die Produktion von Biomasse.

Auch die **Europäische Union** hat sich des Themas angenommen und startet gerade eine Umfrage im Rahmen des **CIRCASA** Projektes zur Optimierung der Kohlenstoffspeicherung in landwirtschaftlichen Böden: „Im Boden wird fast doppelt so viel Kohlenstoff wie in der Atmosphäre gespeichert. Für unsere Klimaschutzbemühungen ist es daher unerlässlich dafür zu sorgen, dass der im Boden gebundene Kohlenstoff nicht in die Atmosphäre entweicht. Landwirtschaftlich genutzte Böden weisen ein enormes Potenzial für zusätzliche Kohlenstoffspeicherung auf.“ Ziel ist eine robuste wissenschaftliche Grundlage zu schaffen, um den im Boden gebundenen Kohlenstoff durch landwirtschaftliche Praktiken nicht nur zu erhalten, sondern kontinuierlich zu verbessern.⁴

LAWRENCE, M. G., SCHÄFER, S., MURI, H., SCOTT, V., OSCHLIES, A., VAUGHAN, N. E., BOUCHER, O., SCHMIDT, H., HAYWOOD, J. & SCHEFFRAN, J. 2018. Evaluating climate geoengineering proposals in the context of the Paris Agreement temperature goals. *Nature Communications*, 9, 3734.

SCHMIDT, H.-P., ANCA-COUCÉ, A., HAGEMANN, N., WERNER, C., GERTEN, D., LUCHT, W. & KAMMANN, C. 2018. Pyrogenic Carbon Capture & Storage (PyCCS). *GCB Bioenergy*, in press.

WERNER, C., SCHMIDT, H.-P., GERTEN, D., LUCHT, W. & KAMMANN, C. 2018. Biogeochemical potential of biomass pyrolysis systems for limiting global warming to 1.5 °C. *Environmental Research Letters*, 13, 044036.

³ Paetsch et al: Effect of in-situ aged and fresh biochar on soil hydraulic conditions and microbial C use under drought conditions, 2018

⁴ <https://www.ecologic.eu/de/15865>

Begrüßung durch den Veranstalter

Silke Dahl – BUND

Sehr geehrte Damen und Herren,

nach den vorhergehenden BUND-Tagungen in Hannover zu den Themen „Qualitätssicherung und Umwelteffekte von Pflanzenkohle“ (2014) und „Bodenleben fördert Bodenfruchtbarkeit“ (2015) begrüßen wir Sie herzlich zum diesjährigen Thema „Humusaufbau – Chance für Landwirtschaft und Gartenbau gegen den Klimawandel“.

Der mehrdeutig zu interpretierende Titel der Tagung ist bewusst gewählt. Es geht zum einen darum, Ackerland, Gartenland und Grünland resilient gegen die zunehmenden extremen Wetterlagen durch eine der Natur angepasste Bodenbewirtschaftung zu machen. Resilienz – was wir mit belastbar oder widerstandsfähig übersetzen können – bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Boden sowohl Starkregen aufnehmen kann, ohne dass die Krume fortgespült wird und die Oberfläche verschlämmt. Es bedeutet auch, dass Boden in langen Trockenperioden seine Wasserhaltefähigkeit für gutes Pflanzenwachstum aufrecht erhält und stärker werdenden Stürmen ohne Winderosion standhält. Humus spielt dabei eine Schlüsselrolle.

Zum anderen verweist der Titel der Tagung darauf, dass Agrarböden ein oftmals unterschätzter Speicher für Kohlenstoff sein könnten. Mit der Steigerung der Humusgehalte in Böden wird der Atmosphäre CO₂ entzogen, während gleichzeitig die Bodenfruchtbarkeit steigt, das Bodenleben gefördert wird und die Nährstoffverfügbarkeit verbessert wird.

Mit der Tagung wollen wir Verständnis für die kostenlosen, wertvollen Leistungen, die uns die Natur bereit stellt, wecken und für ein Wirtschaften mit und nicht gegen die Natur werben.

Wir freuen uns, zu diesem Thema Referentinnen und Referenten aus der Wissenschaft, der pflanzenbaulichen Beratung und aus der landwirtschaftlichen Praxis begrüßen zu dürfen:

Zunächst wird **Dr. Norman Gentsch** von der Leibniz Universität Hannover erläutern, was Humus überhaupt ist, welche Funktion die organische Substanz in Böden übernimmt und wie man sie schützt. Was ist Dauerhumus? Wie lässt sich ein Nettogewinn beim Humus erzielen, wenn dieser durch Mikroorganismen ständig auf- und abgebaut wird?

Auch die Frage, ob sich tatsächlich ein natürliches, standorttypisches Gleichgewicht einstellt, ist zu diskutieren. Über Jahrzehnte genutzte oder historische Gartenböden können Humusgehalte von 6 % bis 15 % erreichen (G. Mielich, Nachrichten aus dem Untergrund, 2016). Die Terra-Preta Böden Amazoniens, die von internationalen Wissenschaftlern (Glaser und Birk, 2012; Glaser et al., 2001) untersucht wurden, weisen Humusgehalte von 10 % bis 15 % auf, obwohl sie seit rund 500 Jahren nicht bewirtschaftet wurden. Was können wir von alten Meilerböden lernen? **Dr. Nils Borchard** vom Natural Resources Institute Finland (Luke) wird in seinem Vortrag auf den Humusaufbau in Meilerböden eingehen. Ist die Einbringung von Holzkohle in Böden zur Speicherung von Kohlenstoff und nachhaltige Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität eine Möglichkeit? Was muss bei dabei bezüglich der Nährstoffkreisläufe berücksichtigt werden?

Die Steigerung der Bodenfruchtbarkeit und der Düngeneffizienz in der Anbaupraxis ist das Thema der Pflanzenbauberaterin **Dr. Sonja Dreyman** aus Kiel. In einem belebten Boden, der aufbauende Prozesse, wie z. B. die Huminstoffbildung vollziehen kann, steigt die

Pflanzengesundheit und die Ertragsstabilität nimmt zu. Welche Maßnahmen diese Prozesse beeinflussen und wie erweiterte Bodenanalysen genutzt werden können, erläutert sie in ihrem Vortrag.

Welche Rolle kann eine konservierende Landwirtschaft mit den drei Säulen „minimale Bodenbearbeitung, permanente Bedeckung des Bodens und eine sehr vielfältige Fruchtfolge“ spielen? **Jens Petermann**, Landwirt aus Brandenburg ist durch Erosion zum Boden- und Humusexperten geworden. Er gibt den Zuhörerinnen und Zuhörern zehn Empfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis mit auf den Weg und erläutert die Konsequenzen, die seine Auseinandersetzung mit dem Thema Bodenfruchtbarkeit für sich und seinen Betrieb hat.

Dr. Anita Idel, Tierärztin und Mediatorin lenkt mit ihrem Vortrag zur Bedeutung nachhaltiger Beweidung für Bodenfruchtbarkeit, Biodiversität und Klima den Blick auf das Grasland. Das weltweit großräumigste Ökosystem wird bezüglich seiner Klimawirksamkeit häufig unterschätzt. Denkbar sind die Erhaltung des Dauergraslandes und eine hohe CO₂-Bindungsleistung jedoch nur durch ein nachhaltiges Beweidungsmanagement. So wird die gesunde grasende Kuh vom Vorwurf der Nahrungskonkurrentin des Menschen und der „Klimakillerin“ rehabilitiert.

Biokohle und Biokohlesubstrate können zur Bodenverbesserung und der Minimierung von Umweltbelastungen beitragen. **Dr. Ines Vogel** und **Dr. Robert Wagner** von der Freien Universität Berlin präsentieren Ergebnisse neuer praxisorientierter Forschungsvorhaben zum Einsatz der „Biokohle-Technologie“ und der regionalen Schließung von organischen Stoffkreisläufen, z. B. bei der Kompostierung und der Wiederherstellung der Bodenqualität auf belasteten militärischen Konversionsflächen.

Die Ökoregion Kaindorf in Österreich erhöhte den Humusgehalt in den Böden der teilnehmenden Landwirte seit 2007 im Schnitt in 0,1 % pro Jahr. Der Prozess wird durch die erfolgsorientierte Vergabe von Humuszertifikaten unterstützt. Wurde zunächst der Humusgehalt durch die Einbringung von reifem Kompost deutlich angehoben, wird mittlerweile versucht, den Aufbau der organischen Bodensubstanz durch eine Veränderung der Bewirtschaftungsweise, im Wesentlichen durch reduzierte Bodenbearbeitung und Dauerbegrünung zu erreichen. **Gerald Dunst** von der Firma Sonnenerde und Mitbegründer der Ökoregion Kaindorf stellt die Daten des Projektes zum Humusaufbau und zum Grundwasserschutz vor.

Die Tagung wirft viele Fragen auf, die wir nicht alle an einem Tag ausreichend diskutieren können. Deshalb sind weitere Veranstaltungen zu diesem Themenbereich in der Region Hannover geplant. In den folgenden Monaten wollen wir gemeinsam mit anderen an je einem Abend eine Fragestellung mit einem einführenden Beitrag einer Expertin oder einem Experten aus der praktischen Landwirtschaft oder der Wissenschaft in den Mittelpunkt stellen. Dabei soll es viel Raum geben, gemeinsam zu diskutieren und nach Lösungen zu suchen.

Die Tagungsreader aller BUND-Veranstaltungen zum Themenkomplex Boden/ Bodenfruchtbarkeit/ Bodenleben stehen zum download unter www.bund-hannover.de, Thema „Boden und Terra Preta“ zur Verfügung.

Wir bedanken uns bei den Referentinnen und Referenten und natürlich auch bei der Moderatorin **Prof. Dr. Claudia Kammann** von der Hochschule Geisenheim für die Bereitschaft, die Tagung mit ihrem Wissen, ihren Ideen und Erkenntnissen zu bereichern. Ebenfalls bedanken wir uns bei der Niedersächsischen BINGO Umweltstiftung, die diese Tagung unterstützt, bei Marion Senger von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen für das Grußwort und bei der Interessengemeinschaft Gesunder Boden für die Zusammenarbeit.

Begrüßung Interessengemeinschaft gesunder Boden e.V.

Heiner Cuhls / Franz Rösl

Sehr geehrte Damen und Herren,

im Namen der Interessengemeinschaft gesunder Boden heiße ich Sie herzlich willkommen zur heutigen Tagung: "Humusaufbau - Chance für Landwirtschaft und Gartenbau gegen den Klimawandel". Das Dürrejahr 2018 hat uns eindrucksvoll gezeigt, wie wichtig gesunde, humusreiche Böden wären. Aber nicht nur die natürliche Bodenfruchtbarkeit hängt am Humusgehalt unserer Böden, sondern eine Vielzahl weiterer wichtiger Bodenfunktionen:

- Humus verbessert die Pflanzenverfügbarkeit von Haupt- und Spurennährstoffen.
- Humus verbessert die Bodenstruktur.
- Humus verbessert die Wasserspeicherung.
- Humus verbessert die Infiltrationsfähigkeit der Böden.
- Humus reduziert die Bodenerosion durch Wind und Wasser.
- Humus verbessert die Nährstoffspeicherfähigkeit.
- Humus verbessert den Trinkwasserschutz.
- Humus verbessert die Lebensmittelqualität.
- Humusanreicherung verbessert das Klima, da CO₂ aus der Luft entzogen und der Kohlenstoff im Humus eingelagert wird.

Es gibt also viele Gründe, sich mit Humusanreicherung im Boden zu beschäftigen. Hierfür sind vor allem zwei Wege zu nutzen:

1. der (organisch) gebundene Kohlenstoffweg
2. der "flüssige" Kohlenstoffweg, der über die Photosynthese und den Wurzelabscheidungen Kohlenstoff in den Boden bringt.

Es stellt sich die Frage, wie können wir unser Wissen in so wichtigen Bereichen, wie Bodenchemie, Bodenphysik, Bodenbiologie, Kompostherstellung, praktische Bodenbearbeitung, Humuswirtschaft ausbauen?

Das Prinzip muss lauten: Wissensvermehrung durch Wissensteilung!

Mit der Gründung der IG gesunder Boden möchten wir unsere eigene und praktisch anwendbare Kompetenz steigern! Unser Ziel ist, abschätzen zu können:

- Wo arbeiten wir "gegen die Natur"?
- Wie können wir unterstützend mit der Natur arbeiten?
- Wie wirkt sich unser Handeln beispielsweise auf Bodenorganismen, Bodenstruktur, Humusgehalt, und Nährstoffverhältnisse aus?

Durch die zahlreiche aktive Teilnahme von engagierten Fachleuten bei den von der IG gesunder Boden durchgeführten Veranstaltungen auf Bodentagen, Feldtagen, bei Fachvorträgen wie heute und auf Komposttagen findet ein wertvoller Wissenstransfer statt.

Grußwort

Marion Senger - Bodenspezialistin - LWK Niedersachsen

Humus aus dem lateinischen abgeleitet heißt „Erde, Erdboden“. Von **Adam Horowitz** gibt es eine Sammlung von Gedichten mit dem schönen Titel „**The soil never sleeps**“, übersetzt „Der Boden schläft nie“. Wie wir wissen, besteht unter uns im Boden besteht eine ganz eigene Welt, die immer aktiv ist. In unserem Bemühen, diese Welt zu verstehen, können wir uns ihr nur annähern, auch wenn wir sie inzwischen mit Hilfe eines Endoskops aus der Perspektive eines Regenwurms wahrnehmen können.

Der **Mensch zeichnet sich durch seine hohe Anpassungsfähigkeit** an seine Umgebung aus. Wir hatten und haben **extreme Niederschläge und Trockenheit**. Die Bilder zeigen Beispiele von **Erosion** in Schleswig-Holstein und im Saarland. Solche Ereignisse zeigen uns, dass wir immer bereit sein müssen, uns Herausforderungen zu stellen und über die Art und Weise unserer Bewirtschaftung nachzudenken.



Abbildung links: Erosionsereignis in Schleswig-Holstein 2017/2018 aufgrund der andauernden Niederschläge seit Juli 2017. Es wurde Mais angebaut. Durch den Zuschnitt der Fläche ist nur eine Bearbeitung Hangabwärts möglich.

Abbildung rechts: Erosionsereignis im Mai 2018 im Saarland nach 200 mm Niederschlag innerhalb weniger Stunden, der Oberboden ist abgeschwemmt, aufgrund der Steine wurde weniger Boden erodiert. Der Schlag konnte aufgrund der andauernden Niederschläge erst im Frühjahr bestellt werden.

Dies sind **Einzelbeispiele**, zeigen aber die Ausmaße möglicher Bodendegradationen. Richtig ist aber auch, dass man sich nicht vor allen Katastrophe schützen kann. Sowie bei der eigenen Gesundheit, kann man das eine oder andere tun, um vorzusorgen und soweit wie möglich fit zu bleiben.

Hierzu gibt es **unterschiedliche Ideen und Erfahrungen**. Es gibt nicht nur den einen Weg, der richtig ist. Die Ausgestaltung vor Ort auf den landwirtschaftlichen Betrieben hängt u. a. von

den Standortbedingungen und den klimatischen Verhältnissen ab. Dies ist unterschiedlich, je nach Betrieb, der die Familie ernähren muss, und den gesetzlichen Rahmenbedingungen.

Ich nenne hier ein paar Ansätze und Ideen, die als Anregung dienen sollen, aber **keine fertigen Empfehlungen** darstellen.

In ihrem Text „**The Liquid Carbon Pathway**“ beschreibt **Dr. Christine Jones** (siehe letzter Text im Tagungsband) den Transfer von Kohlenstoff in den und im Boden sowie, wie wir diesen Prozess fördern können. Die gelösten Kohlenstoffverbindungen werden durch Photosynthese von den Pflanzen gebildet. Sie werden von den Pflanzen über Wurzeln ausgeschieden und ernähren das Bodenleben. Dieser Kohlenstoff wird über Verbindungen durch bestimmte Pilze, den Mykorrhizen, im Boden weitergeleitet. Im Gegenzug erhalten die Pflanzen Nährstoffe, die sie zum Wachsen benötigen. Dieser Transfer von Kohlenstoff wurde im Grünland mit markiertem Kohlenstoff nachgewiesen. Über die Vorgänge im Boden wird derzeit verstärkt geforscht.

Die Idee von Christine Jones ist es u. a., durch **Diversität auf dem Boden** eine Vielfalt im Boden zu schaffen. Durch ein aktives Bodenleben wird die Pflanze ernährt und Kohlenstoffgehalt im Boden erhöht, so der Ansatz. Bestimmte Maßnahmen unterstützen dies. Hierzu gehört: schrittweise Reduzierung der mineralischen Düngung, weitgehender Verzicht von Fungiziden und Insektiziden und - so weit wie möglich - auch anderer Pflanzenschutzmittel sowie Minimieren/Verzicht von Eingriffen in den Boden, z. B. durch Pflügen. Hierdurch soll ein System geschaffen werden, mit dem wir das Bodenleben für den Ackerbau nutzen können, die Böden widerstandsfähiger machen und gleichzeitig Auswirkung auf die Umwelt minimieren können.

Ob dieser Ansatz, Diversität zu schaffen und Böden zu beleben, auch geeignet ist, ausreichende Erträge zur Ernährung von Mensch und Tier zu erreichen und für landwirtschaftliche Betriebe wirtschaftlich zu sein, gleich welcher Ausrichtung, ist für mich noch ein großes Fragezeichen. Auf jeden Fall ist er geeignet, Böden robuster zu machen, so dass sie trotz extremer Witterungsereignisse länger durchhalten.

Auch **David Montgomery** beschreibt in seinem Buch „**Growing a Revolution**“ „Anbau einer Revolution“ bestimmte Prinzipien zur Verbesserung der Böden, die jeder Betrieb ausgestalten kann, abhängig davon auf welchem Standort er wirtschaftet oder welche betrieblichen Voraussetzungen er mitbringt. Hier steht im Vordergrund, den Input zu minimieren und ausreichenden Gewinn zu erzielen. Die drei Prinzipien sind: (1) Minimieren des Eingriffs in den Boden; (2) Anbau von Zwischenfrüchten und Belassen der Erntereste auf dem Boden, so dass er ständig bedeckt ist, und (3) Fruchtfolgen, die aus möglichst verschiedenen Kulturen bestehen. Er hat verschiedene landwirtschaftliche Betriebe in einigen Ländern besucht. Er nennt Beispiele von Ackerbaubetrieben, viehhaltenden Betrieben, Betrieben mit Biokohle sowie auch ökologisch wirtschaftende Betriebe. Einige Ackerbaubetriebe haben in ihr System wieder Futterbau und Beweidung der Flächen eingeführt, um ihre Böden zu verbessern. In tropischen Regionen versucht man dies durch den Einsatz von Biokohle. Hierdurch sollen die Humusgehalte im Vergleich zum Regenwald erhöht werden, um den Anbau von Gemüse etc. auch über mehrere Jahre zu ermöglichen. Auf Prärieböden in den USA konnten die Humusgehalte durch die oben genannten drei Prinzipien im Boden angeblich soweit erhöht werden, dass sie sogar über dem ursprünglichen Gehalte der Prärie liegen.

In Deutschland kommen wir ursprünglich vom Waldboden, auf dem wir heute unser Ackerland haben. Welche **Humusgehalte** im Boden anzustreben sind und wie und ob man Humusgehalte anheben kann, wird in der Wissenschaft kontrovers diskutiert. Dabei kann die **Zielsetzung auch unterschiedlich** sein. Beim **ökologischen Anbau** ist man bestrebt, den Humus aufzubauen, da durch die Mineralisierung wieder Stickstoff und andere Nährstoffe für Pflanzenanbau frei werden können. Dagegen ist immer wieder aus dem Bereich des **Wasserschutzes** zu hören, dass nicht mehr als 2% Humus angestrebt werden sollten, da ansonsten die Gefahr der Mineralisierung, besonders durch Bodenbearbeitung, besteht.



Abbildung links: Untersaat Mais mit Leguminosen. Feldtag Hemmoor, 2012.

Abbildung rechts: Verschiedene Fruchtarten für eine diverse Fruchtfolge mit Bodenprofil und freigelegten Wurzeln. Feldtag Borwede 2015. (Foto Eiler)

In der DDR gab es ein **Institut für Humusforschung**. In seiner Veröffentlichung von 1956 beschreibt **Gustav Rhode**, dass die Bodenbedeckung wichtig ist, um den Bodenhumusgehalt aufzubauen. Nur durch den so geschützten Boden herrscht ein relativ konstantes Klima für die Bodenlebewesen und ausreichendes Nahrungsangebot.

In einem aktuellen **internationalen Projekt 4per1000** wird die Wichtigkeit der **Bodenbedeckung** für das System Boden ebenfalls hervorgehoben.

Jörg Zimmer (Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung des Landes Brandenburg) hat **Dauerversuche mit langjährig organischer Düngung** in Form von Stallmist bei konventioneller Bewirtschaftung ausgewertet. Hier, verkürzt dargestellt, hat er festgestellt, dass eine Erhöhung der Humusgehalte möglich ist, bis ein Gleichgewicht erreicht ist, man aber die organische Düngung fortführen muss, um dieses zu erhalten. Hierbei muss man sich im Klaren sein, dass es durch die Mineralisation zu Verlusten an Kohlenstoff und Stickstoff kommt. Heutzutage ist es sinnvoller, die Humusgehalte über die Gestaltung der Fruchtfolge und Anbau z. B. von Ackergras zu erhöhen und zu erhalten, als durch Zufuhr von Mist, der ja auch nicht mehr in dem Maße zur Verfügung steht.

Ob durch die **Erhöhung der Humusgehalte in Böden eine Klimaveränderung vermindert** werden kann, wird diskutiert. Dabei muss bei allen Klimamodellen auch klar sein, auf welche **Datengrundlage** man sich bezieht und wie sie zu bewerten ist. Bei aller Unterschiedlichkeit der Ansichten und Erfahrungen ist man sich - denke ich - einig, dass Humus für das Leben auf der Erde wichtig ist. Wir haben eine **Verantwortung, dem Boden, den wir nutzen, auch wieder etwas zurückzugeben.**

Hier möchte ich schließen mit einem Auszug (Seite 113) aus dem Buch „The soil never sleeps“ „**Der Boden schläft nie**“:

„The world could turn to our survival
If we let it, with working hand in root
With the shift of seasons. ...“

**„Die Erde dreht sich hin zu unserem Überleben,
wenn wir sie lassen, mit arbeitsamen Händen in Wurzeln,
im Lauf der Jahreszeiten. ...“**

„We are born of compost.
Even our breath is history. ...“

**„Wir sind aus Kompost geboren.
Selbst unser Atem ist Geschichte. ...“**

Organische Substanz für Bodenfruchtbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftungssysteme

Dr. Norman Gentsch & Prof. Dr. Georg Guggenberger
 Institut für Bodenkunde, Leibniz Universität Hannover

Herausforderungen des Klimawandels an die Gesellschaft

Die deutsche Landwirtschaft steht aktuell vor einer gewaltigen Herausforderung: Um die fortschreitende Degradation landwirtschaftlicher Böden aufzuhalten, die Anpassung an Klimaveränderungen und gleichzeitig eine nachhaltige Intensivierung der Produktion zu gewährleisten, bedarf es Maßnahmen, mit denen diese Ziele erreicht werden können. Zunehmende Forderungen aus Gesellschaft und Politik nach ökologisch und nachhaltig produzierten Lebensmitteln verstärken zusätzlich den Druck auf die Landwirte.

Die Verbesserung der Energieeffizienz von Anbaumethoden, Einsparung von Kunstdüngern, Reduktion von Agrochemikalien und Anpassungsmechanismen an den Klimawandel sind daher wichtige Schwerpunkte in deutschen Forschungseinrichtungen. Auch die Nutzung naturnaher Kreisläufe zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit, welche z.B. durch Steigerung der Artenvielfalt in der Fruchtfolge, dem Einsatz von organischem Dünger und Biokohle oder eine Aktivierung von Bodenorganismen erreicht werden können, sind wichtige Forschungsschwerpunkte.

Die extreme Trockenheit des Jahres 2018 führte vielen Landwirten und Gärtnern vor Augen, dass der Klimawandel nicht irgendwo weit weg stattfindet, sondern in Deutschland angekommen ist. Seit Beginn der industriellen Revolution haben sich die mittleren Jahrestemperaturen in Deutschland bereits um 1,3°C erhöht (Brasseur et al., 2017), und 2018 wird mit einer Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur von 2,2°C gegenüber dem langjährigem Mittel das Klimaziel der Vereinten Nationen von 1,5°C bereits jetzt gesprengt.

Die stärksten Auswirkungen werden jedoch durch den Rückgang der Sommerniederschläge zu erwarten sein. Im Sommer 2018 fiel zwischen 100-250 mm weniger Niederschlag im langjährigen Mittel. Solche extremen Jahre werden in Zukunft keine Ausnahme mehr sein. Projektionen des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) zeigen, dass langfristig die Sommerniederschläge für Deutschland im Mittel um etwa 80 mm zurückgehen werden (<http://www.climateimpactsonline.com/>). Regional können dabei jedoch noch beträchtliche höhere Werte erreicht werden. Zwar werden die projizierten Winterniederschläge etwas steigen, jedoch werden diese nicht ausreichen, um das jährliche Niederschlagsdefizit auszugleichen. Dadurch wird auch die Grundwasserneubildungsrate in vielen Regionen Deutschlands beeinträchtigt.

Organische Substanz als Klimaanpassungsstrategie und Steuergröße für Bodenfunktionen

Eine mögliche Anpassungsstrategie an die Klimaveränderungen bietet der Aufbau organischer Substanz in land- und gartenbaulich genutzten Böden. Organische Substanz ist die Ge-

samtheit der toten organischen Substanz im Boden und wird umgangssprachlich auch als Humus bezeichnet (Scheffer et al., 2010). Streustoffe von Pflanzen, aber auch tote Bodenorganismen (Bakterien, Pilze, Bodentiere) bilden die Grundlage für die organische Substanz.

Die Umwandlung der Streustoffe in stabile organischer Substanzverbindungen wird als Humifizierung bezeichnet, die Umwandlung von organischer Substanz in pflanzenverfügbare Nährstoffe als Mineralisierung. Im Kontext unseres Manuskriptes werden Streustoffe und organischer Substanzstoffe als organische Bodensubstanz zusammengefasst. Als Proxy zur Bestimmung der organischen Bodensubstanz wird der organische Kohlenstoffgehalt mittels Elementaranalytik bestimmt.

Die organische Bodensubstanz spielt eine zentrale Rolle für viele Bodenfunktionen. Schon seit der Antike waren die Vorteile einer ausgeglichenen Wirtschaft der organischen Bodensubstanz für hohe Erträge bekannt (Blume, 2004). Der Zugang zu preiswerten Kunstdüngern und Agrochemikalien ab Mitte des 20. Jahrhunderts ließ jedoch die Kreislaufwirtschaft zugunsten leichter realisierbarer Bewirtschaftungsmethoden weichen. Als Folge verloren die Böden 25% bis 75% an organischem Kohlenstoff (Lal, 2011). Da die organische Bodensubstanz zu etwa 50% aus Kohlenstoff besteht, sind landwirtschaftlich genutzte Böden eine wichtige (und negative) Quelle für das atmosphärische Klimagas CO₂.

Der Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Klima, Mineralbestand und Landnutzung sind maßgeblich für den Vorrat an organischem Kohlenstoff verantwortlich. Als klimatische Faktoren haben Temperatur und Niederschlag einen starken Einfluss auf die Anreicherung von organischer Substanz im Boden. Die Anreicherung im Boden ist am höchsten, wenn die Differenz zwischen jährlicher Pflanzenproduktion und Zersetzung am höchsten ist. Kalte, niederschlagsreiche Gebiete bieten also die besten Voraussetzungen für hohe Gehalte an organischem Kohlenstoff. Dessen Gehalt steigt außerdem proportional mit der Menge an Ton- und Schluffpartikeln im Boden an. Auch die Menge an Eisen- und Aluminiumverbindungen steht positiv mit dem Gehalt an organischem Kohlenstoff in Verbindung. Je mehr dieser Verbindungen im Boden zur Verfügung stehen, umso mehr organomineralische Verbindungen können entstehen. Die Art der Landnutzung bzw. die Praktiken der Bodenbearbeitung spielen jedoch die zentrale Rolle, bieten sie doch die Möglichkeiten zum aktiven Eingriff in die Humusbilanz.

Viele wissenschaftliche Studien der vergangenen Jahrzehnte beschäftigten sich mit dem Einfluss von organischer Substanz auf Bodenfunktionen und Pflanzenwachstum bzw. Produktion ackerbaulicher Produkte (siehe Abbildung 1). So spielen die organischen Partikel eine wichtige Rolle für den Kationenaustausch (Magdoff and Weil, 2004; Scheffer et al., 2010). Durch ihn werden Nährstoffe im Boden in einer Form gehalten, in der sie vor Auswaschung geschützt und pflanzenverfügbar sind. Die Menge der austauschbaren Kationen steigt proportional zur Menge der organischen Substanz im Boden. Der Gehalt an organischer Substanz greift damit unmittelbar in den Stoffhaushalt der Böden und in die Mineralstoffversorgung der Pflanzen ein. Er steuert weiterhin die Wasseraufnahmefähigkeit und die Menge des pflanzenverfügbaren Wassers im Boden.

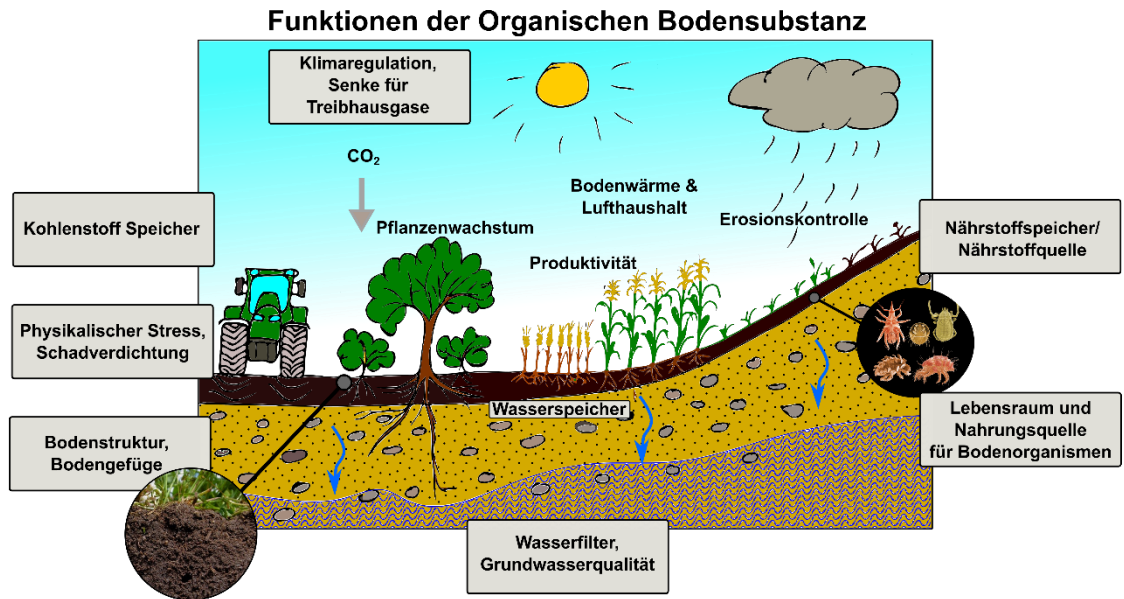


Abbildung 1: Einflüsse der organischen Substanz auf Bodenfunktionen, Pflanzenwachstum und Ökosystemdienstleistungen.

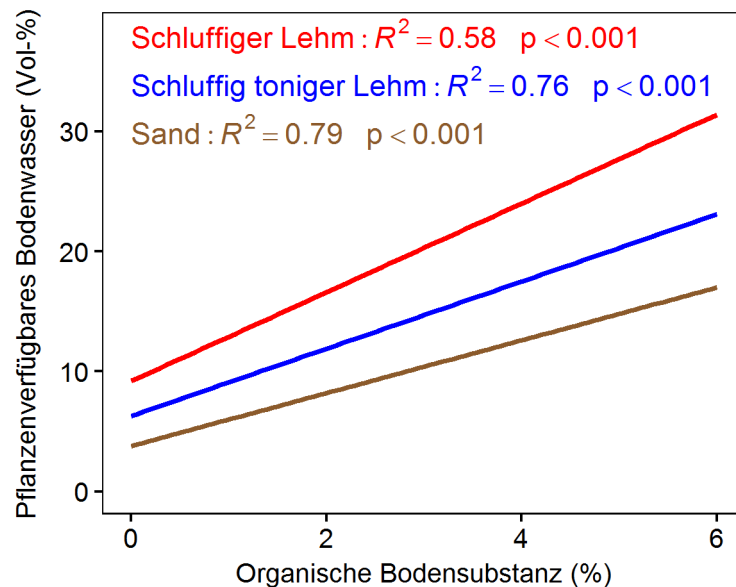


Abbildung 2: Pflanzenverfügbares Bodenwasser in Abhängigkeit von organischer Bodensubstanz und Textur (nach Hudson, 1994).

In Abbildung 2 ist zu erkennen, dass das pflanzenverfügbare Wasser in Abhängigkeit von der Textur im Boden proportional zur organischen Substanz ansteigt. Außerdem wirkt ein hoher organischer Substanzgehalt als Wasserfilter und trägt zur Reinhaltung des Grundwassers bei. Die dunkle Farbe der organischen Substanz bewirkt zudem eine schnellere Erwärmung im Frühjahr und das verbesserte Porenvolumen ermöglicht eine bessere Durchlüftung der Böden. Zusätzlich sinkt die Bodendichte mit zunehmendem Gehalt an organischer Substanzgehalt und beugt somit einer Schadverdichtung vor.

Die organische Substanz ist Nahrungsgrundlage für alle Bodenorganismen. Sowohl die Menge der Fauna wie Regenwürmer und Käfer als auch der Mikroorganismen wie Pilze und Bakterien steigen proportional mit dem Gehalt an organischer Substanz im Boden an (Ottow, 2011). Diese Organismen schließen die in der organischen Substanz gespeicherten Nährstoffe auf und machen sie pflanzenverfügbar. Gleichzeitig steigt das Potential zur Lebendverbauung der Böden und die Bodenstruktur verbessert sich. Die Stabilität von Bodenaggregaten ist ein wichtiger Parameter für den Bodenzustand. Diese Aggregatstabilität steigt mit der Menge an organischer Substanz im Boden und bewirkt neben einer Optimierung des Wasser- und Lufthaushalts der Böden auch Schutz bei Druckbelastung.

All diese Parameter bewirken, dass der Gehalt an organischer Bodensubstanz einen zentralen Einfluss auf das Pflanzenwachstum und die Produktivität der Böden hat.

Möglichkeiten zum Aufbau an organischer Bodensubstanz

Eine ausgeglichene organische Substanzbilanz bzw. der organische Substanzaufbau sollte daher das Ziel auf jeder acker- und gartenbaulich genutzten Fläche sein. Auf Gartenebene kann der Aufbau an organischer Substanz relativ schnell durch erhöhte Kompostgaben und Mulchmaterial erfolgen. Auf Feldebene stehen große Mengen davon jedoch nicht zur Verfügung und der Aufbau an organischer Substanz kann sich über viele Jahrzehnte hinziehen. Er sollte aber als Zukunftsinvestition betrachtet werden, da es die Böden im Hinblick auf das veränderte Klima stressresistenter macht.

Die wichtigste Maßnahme ist die Reduzierung der Bodenbearbeitung. Jeder Bodenbearbeitungsschritt, sei es Pflügen, Grubbern auf dem Acker oder Umgraben im Garten, belüftet den Boden und bewirkt in einem regelrechten „Strohfeuer“ die Umsetzung der organischen Substanz durch Mikroorganismen und damit deren Abbau. Vergleichende Untersuchungen zu pflugloser oder Minimalbodenbearbeitung konnten zeigen, dass durch diese Techniken die organische Substanz im Boden konserviert wird (Magdoff and Weil, 2004).

Organische Düngung in jeglicher Form (Kompost, Festmist, Gülle), Zwischenfruchtanbau oder vielfältige Fruchtfolgegestaltung und v.a. das Belassen von Stroh bzw. Ernterückständen tragen zur Vermehrung organischer Bodensubstanz bei. Die Abfuhr von organischen Reststoffen vom Boden für Bioenergieproduktion führt demgegenüber zum Verlust organischer Bodensubstanz und zur Bodendegradation und ist aus bodenwissenschaftlicher Sicht zu verneinen. Pflanzenkohle und Gärreste aus Biomassekraftwerken sind zwar wichtige Rohstoffe zum Aufbau organischer Substanz (Wang et al., 2016; Zimmerman et al., 2011), können diesen negativen Effekt aber nur teilweise kompensieren.

Die Erhöhung der Biodiversität in Agrarökosystemen ist ein weiterer wichtiger Schritt zur Entwicklung einer positiven Kohlenstoffbilanz (Altieri et al., 2015). Im Zwischenfruchtanbau bewirkt beispielsweise eine Erhöhung der Pflanzenarten in Mischungen eine verbesserte Photosyntheseleistung und damit erhöhten Eintrag an organischer Bodensubstanz als im Vergleich zu Reinsaaten.

In Agrarforstsystemen wird über ein sehr komplexes Wirkungsgefüge ebenfalls organische Substanz im Boden aufgebaut (Schoeneberger, 2009).

Die Stimulierung der mikrobiellen Biomasse im Boden trägt ebenfalls zum Aufbau stabiler organischer Substanzen bei. Beispielsweise produzieren Pilze eine Substanz namens Gloma-

lin. Dies ist eine Proteinverbindung, die nach dem Absterben der Pilze noch viele Jahre im Boden verbleibt und zur Verbesserung der Bodenstruktur beiträgt. Die Reduzierung der Bodenbearbeitung verhindert also nicht nur den direkten Verlust an organischer Substanz, sondern auch die Zerstörung von Hyphengeflechten und Nährstoffaustauschnetzwerken im Boden.

Referenzen

- Altieri, M.A., Nicholls, C.I., Henao, A., Lana, M.A., 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 869–890. doi:10.1007/s13593-015-0285-2
- Blume, H.-P., 2004. Die Wurzeln der Bodenkunde, in: Blume, H.-P., Stahr, K., Fischer, W., Guggenberger, G., Horn, R., Frede, H.-G., Felix-Henningsen, P. (Eds.), *Handbuch der Bodenkunde*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, pp. 1–32. doi:10.1002/9783527678495.hbbk2003001
- Brasseur, G., Jacob, D., Schuck-Zöller, S. (Eds.), 2017. *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Springer Spektrum, Berlin.
- Hudson, B.D., 1994. Soil organic matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation* 49, 189–194.
- Lal, R., 2011. Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. *Food Policy, The challenge of global food sustainability* 36, S33–S39. doi:10.1016/j.foodpol.2010.12.001
- Magdoff, F., Weil, R.R. (Eds.), 2004. *Soil organic matter in sustainable agriculture*, *Advances in agroecology*. CRC Press, Boca Raton.
- Ottow, J.C., 2011. *Mikrobiologie von Böden: Biodiversität, Ökophysiologie und Metagenomik*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Wesemael, B.V., Schumacher, J., Gensior, A., 2011. Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology* 17, 2415–2427. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02408.x
- Scheffer, F., Schachtschabel, P., Blume, H.P., 2010. *Lehrbuch der Bodenkunde / Scheffer/Schachtschabel.*, 16th ed. Spectrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- Schoeneberger, M.M., 2009. Agroforestry: working trees for sequestering carbon on agricultural lands. *Agroforestry Systems* 75, 27–37. doi:10.1007/s10457-008-9123-8
- Wang, J., Xiong, Z., Kuzyakov, Y., 2016. Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *GCB Bioenergy* 8, 512–523. doi:10.1111/gcbb.12266
- Zimmerman, A.R., Gao, B., Ahn, M.-Y., 2011. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. *Soil Biology and Biochemistry* 43, 1169–1179. doi:10.1016/j.soilbio.2011.02.005

Humusaufbau in Meilerböden: Ein Modell für klimaschonende Landwirtschaft

Dr. Nils Borchard: Research Manager Plant Production, Natural Resources
Institute Finland (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki, Finland

Die organische Bodensubstanz (d.h. Humus) ist von besonderer Bedeutung für die Landwirtschaft, da sie einen bedeutenden Einfluss auf den Kohlenstoffkreislauf, die Nährstoffkreisläufe und den Wasserkreislauf hat. Räumliche Unterschiede in den Humusgehalten in Deutschland lassen sich im Wesentlichen durch Bildungs-, Stabilisierungs- und Umsetzungsprozesse von organischer Bodensubstanz erklären, welche von klimatischen, geologischen, hydrologischen, pedologischen, biologischen und anthropogenen Faktoren gesteuert werden. Änderungen der Landnutzung führen zu typischen Aufbau- und Abbauprozessen; z.B. führt die Umnutzung von Wald und Grünland zu Ackerland stets zu Humusverlusten.

Insofern sollte der Humuserhalt und Humusaufbau in landwirtschaftlich genutzten Böden gefördert werden, um die landwirtschaftliche Produktivität langfristig zu erhalten und um Folgen klimatischer Änderungen ausgleichen zu können.

Verschiedenste Möglichkeiten zur Förderung des Erhaltens und Aufbaus von Humus sind bekannt, werden angewendet, erprobt und studiert. Eine seit kurzem intensiv untersuchte und diskutierte Möglichkeit ist die Einbringung von Holzkohle in Böden zur Speicherung von Kohlenstoff und nachhaltiger Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität.

Jedoch kann mit den bisherigen Experimenten (i.d.R. <10 Jahre) die Langzeitwirkung von Holzkohle nicht erklärt werden, was aber mit aufgegebenen Meilerflächen kompensiert werden kann. Meilerflächen lassen sich überall in Europa in Wäldern oder umgenutzten Wäldern (d.h. heute Acker oder Grünland) finden. Im Vergleich zu den natürlich vorkommenden Böden, sind Böden von aufgegeben Meilerflächen schwarz und angereichert mit Holzkohle. Auch noch nach Jahrzehnten finden sich Holzkohlepartikel in diesen Böden, was mit der chemischen Stabilität von verkohlter organischer Substanz (d.h. Holz) erklärt wird.

Die Anwesenheit von Holzkohle stimuliert zudem die Stabilisierung von natürlicher organischer Substanz (z.B. zersetzte Wurzeln und Blätter) bis zu einem Sättigungswert, der wahrscheinlich standortspezifisch ist. Daher kann die Nutzung von Holzkohle eine Methode zur langfristigen Speicherung und Stabilisierung von Kohlenstoff in Böden sein, jedoch müssen hierbei Aspekte des Umweltschutzes (z.B. Bodenschutz) berücksichtigt werden.

Mit der Änderung der Gehalte und der Zusammensetzung des Bodenkohlenstoffes sollten sich auch die Nährstoffkreisläufe und der Wasserkreislauf ändern. In Wäldern mit sauren Böden ist die Kationenaustauschkapazität (d.h. reversible Sorption von z.B. Kalium, Ammonium, Calcium, Magnesium) in Meilerböden höher als in den Vergleichsböden. Leider verliert sich dieser positive Effekt nach Umnutzung zu Ackerland aufgrund der Optimierung der pH-Werte (z.B. durch Kalkung).

Die Holzkohle in Böden aufgegebener Meilerflächen scheint auch keinen Einfluss auf die Phosphorgehalte zu haben, weshalb die Phosphordüngung eher nicht angepasst werden muss.

Anders ist es beim Stickstoff, der in Anwesenheit von größeren Mengen Kohlenstoff mikrobiell immobilisiert werden kann und/oder in Holzkohlepartikeln und deren organo-mineralischen Belägen zum Teil für pflanzliche Wurzel schwer zu erschließen ist. Daher sind weitere Studien zur optimalen Stickstoffdüngung und nachhaltigen Bodennutzung (z.B. Förderung der Mykorrhiza) unerlässlich, um den langfristigen Erfolg von Holzkohle in der Landwirtschaft sicher zu stellen.

Neben den chemischen Einflüssen kann Holzkohle einen Beitrag zur Verfügbarkeit von Wasser leisten, was dem Pflanzenwachstum in trockeneren Perioden zugute kommt. Holzkohle kann vor allem in sandigen Böden die nutzbare Feldkapazität (d.h. pflanzenverfügbares Bodenwasser) im Vergleich zu Kontrollböden erhöhen. Dieses Vermögen bleibt auch über längere Zeiten erhalten, so dass die Pflanzenproduktivität auf holzkohlereichen Böden in Trockenperioden stabil bleibt und zu höheren Erträgen führen kann.

Obwohl diese Erkenntnisse auf Einzelstudien beruhen, lassen sich folgende Erkenntnisse festhalten, die jedoch näher zu untersuchen sind. Die Einbringung von Holzkohle in Böden ist eine Methode Kohlenstoff langfristig zu speichern und zu stabilisieren. Unbekannt ist jedoch, wieviel des ursprünglich eingebrachten Holzkohlenkohlenstoffes auch nach Jahrzehnten noch in den Böden vorliegt; d.h. der Nettoeffekt ist bisher unbekannt.

Die Holzkohle wirkt sich in sauren Böden positiv auf die Kationensorption aus, was jedoch im Rahmen von pH-Wertoptimierungen (z.B. Kalkung) verloren geht.

Holzkohle scheint jedoch eine Möglichkeit zu sein, klimabedingten Änderungen des Wasserhaushaltes entgegenzuwirken, da Holzkohle vor allem in sandigen Böden pflanzenverfügbares Wasser speichert und in Trockenperioden zur Stabilisierung der Pflanzenernährung beiträgt.

Vor einem großflächigen Einsatz von Holzkohle ist jedoch sicher zu stellen, dass Belange des Bodenschutzes und der Pflanzenernährung, insbesondere mit Stickstoff, hinreichend bekannt und bewertet sind.

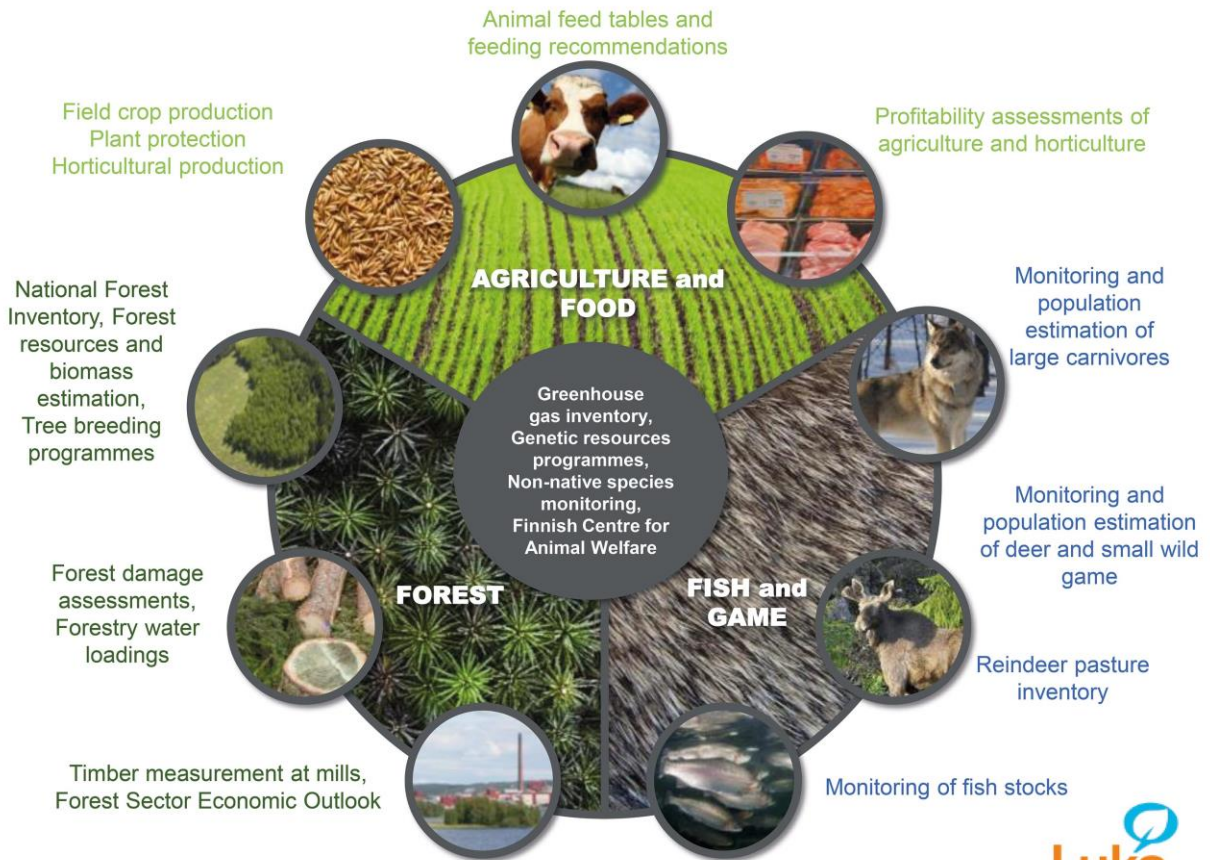
Humusaufbau in Meilerböden

Ein Modell für klimaschonende Landwirtschaft

Nils Borchard



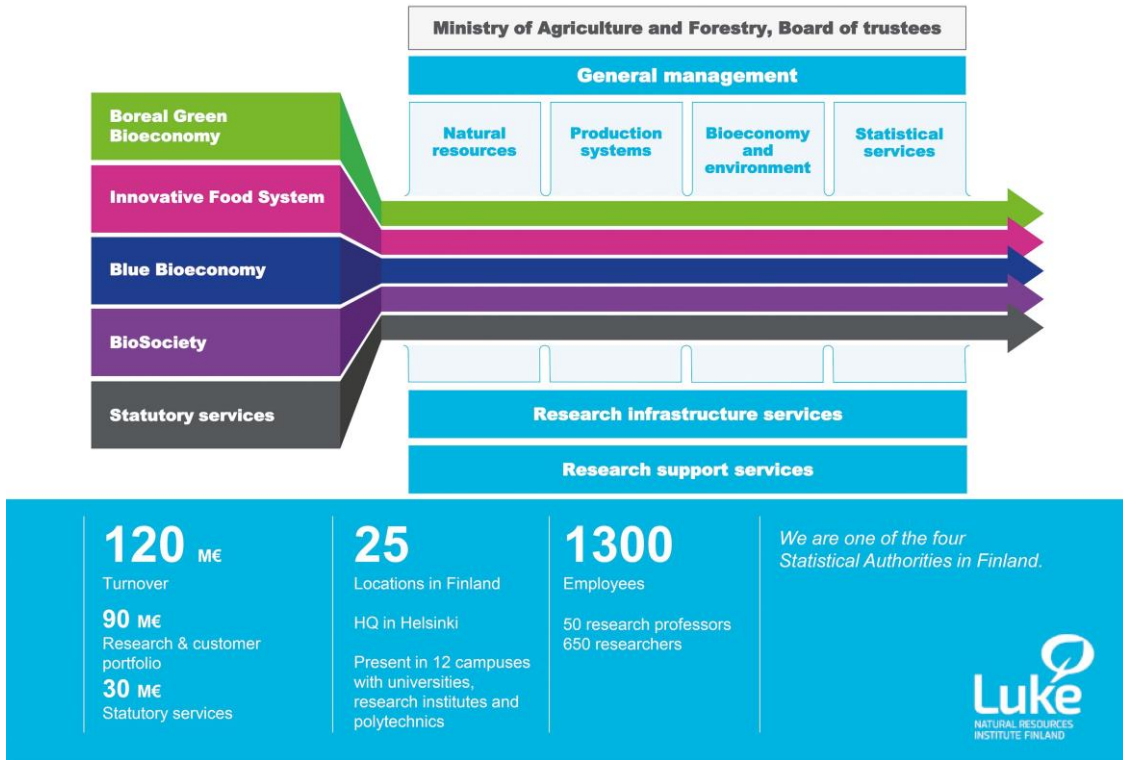
19.10.2018 © Natural Resources Institute Finland



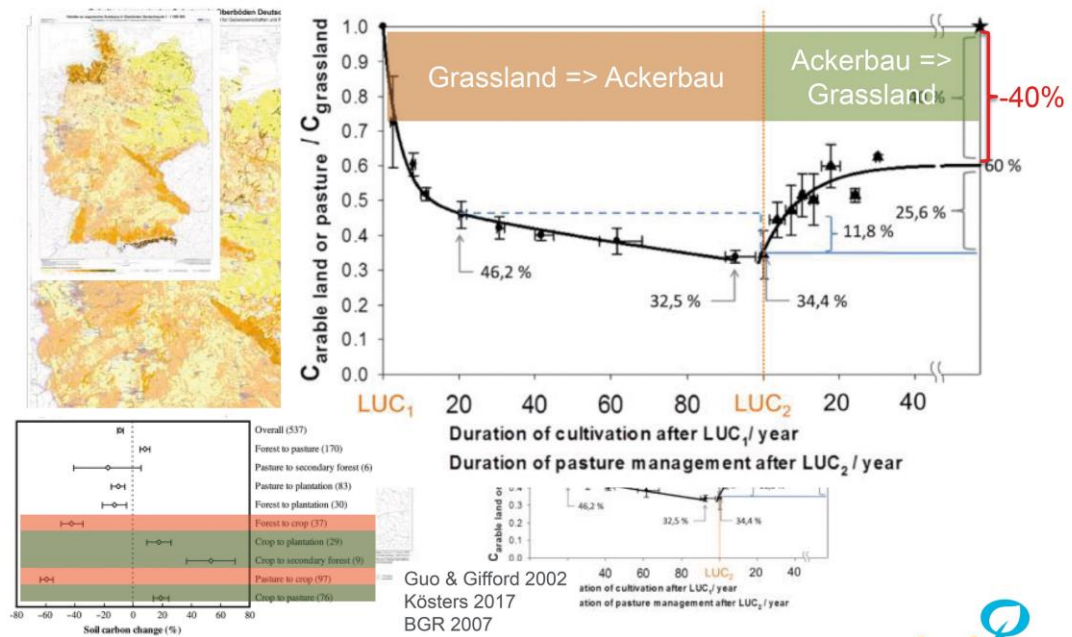
8.11.2018 © Natural Resources Institute Finland



LUKE Natural Resources Institute Finland



Bodenkohlenstoff und Landnutzung



Bodenkohlenstoff und Pflanzenproduktion

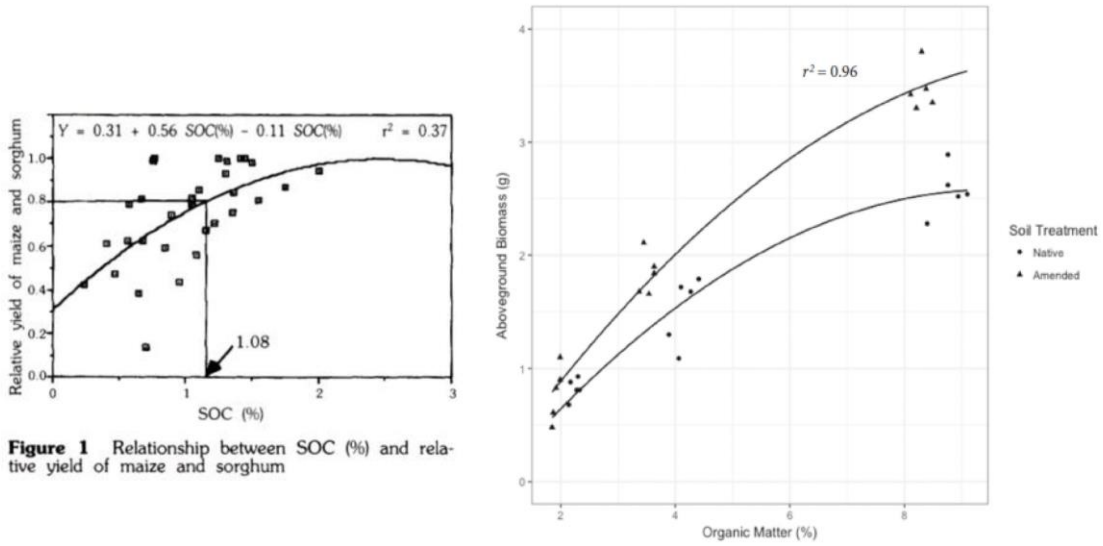


Figure 1 Relationship between SOC (%) and relative yield of maize and sorghum

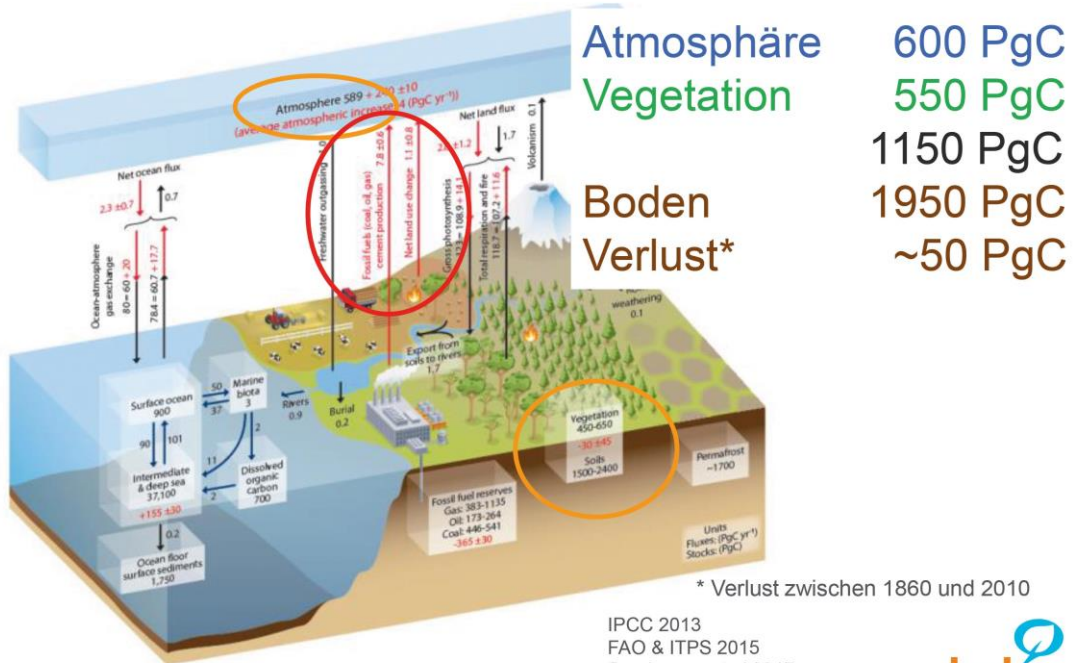
Aune & Lal 1997
Oldfield et al 2017
Lal 2006



1

8.11.2018 © Natural Resources Institute Finland

Bodenkohlenstoff und Klimawandel



Atmosphäre 600 PgC
Vegetation 550 PgC
Boden 1950 PgC
Verlust* ~50 PgC

* Verlust zwischen 1860 und 2010

IPCC 2013
FAO & ITPS 2015
Sanderman et al 2017



1

8.11.2018 © Natural Resources Institute Finland

Klimawandel-Minderungsoptionen in der Landwirtschaft

- Pfluglose Bodenbearbeitung
- Zwischenfrüchte und Untersaaten
- Fruchtfolgen
- Dauergrünland
- Tief wurzelnde Pflanzen
- Organische Hilfsstoffe
- Präzisionslandwirtschaft
- Smart Farming
- ...

Pflanzenkohle

7

19.10.2018 © Natural Resources Institute Finland



Holzkohle und Pflanzenkohle

Produkte der *Verkohlung* (Pyrolyse) und *Vergasung*

1. **Feststoff** (Holzkohle und Asche)
 2. Flüssigkeiten (Öle und Teere)
 3. Synthesegase (CO_x , CH_4 , ...)



Erträge in %	Fest	Flüssig	Gas
Langsame Verkohlung	35	30	35
Schnelle Verkohlung	12	75	13
Vergasung	10	5	85



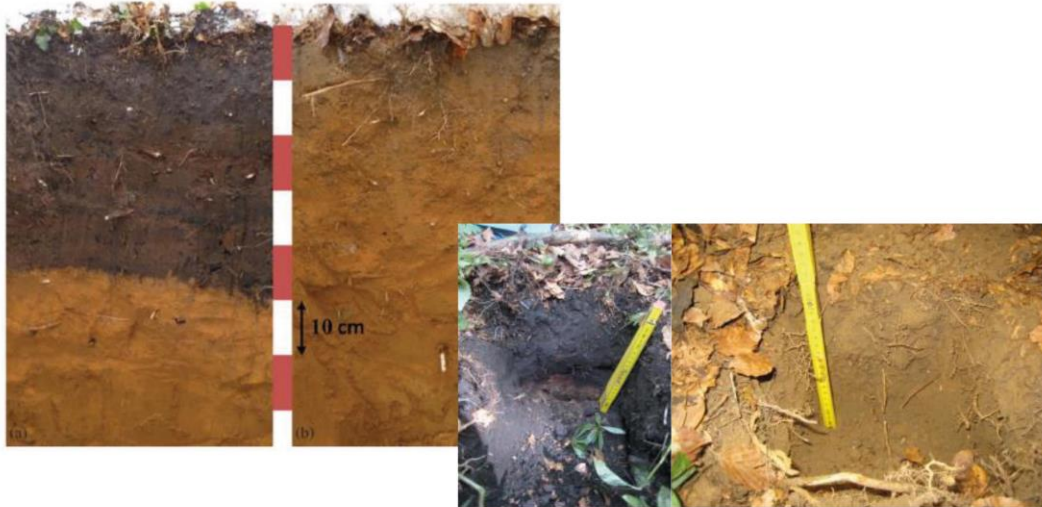
www.poenairclasroom.org.uk
www.en.wikipedia.org/wiki/Charcoal
www.dbu.de
www.moethermik.de

1

8.11.2018 © Natural Resources Institute Finland



Meilerböden in Deutschland und Belgien



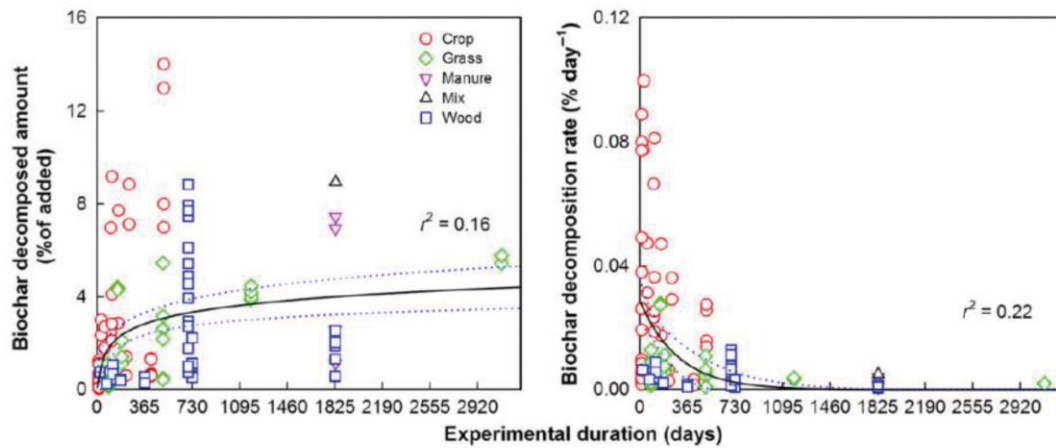
Eschemann 2010
Hardy et al 2016

1

8.11.2018 © Natural Resources Institute Finland



Pflanzenkohle und Bodenkohlenstoff – Stabilität von Pflanzenkohle



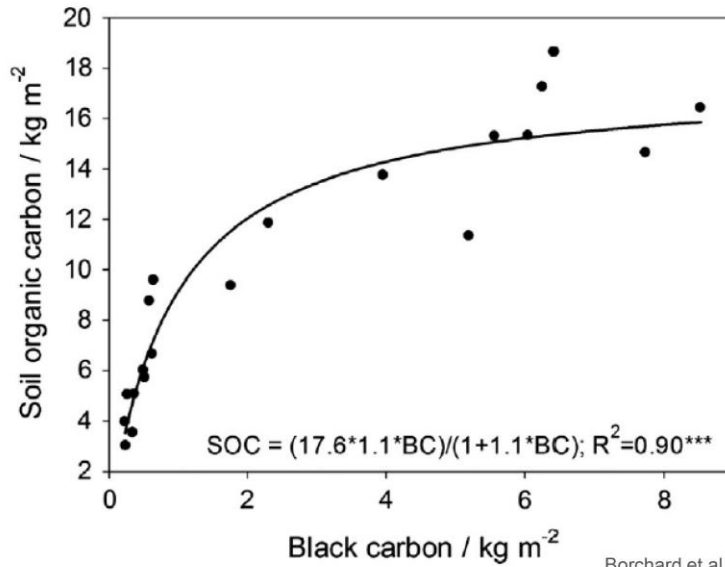
Wang et al 2016

1

8.11.2018 © Natural Resources Institute Finland



Holzkohle und Bodenkohlenstoff – Stabilisierung von natürlichem Bodenkohlenstoff in Meilerböden

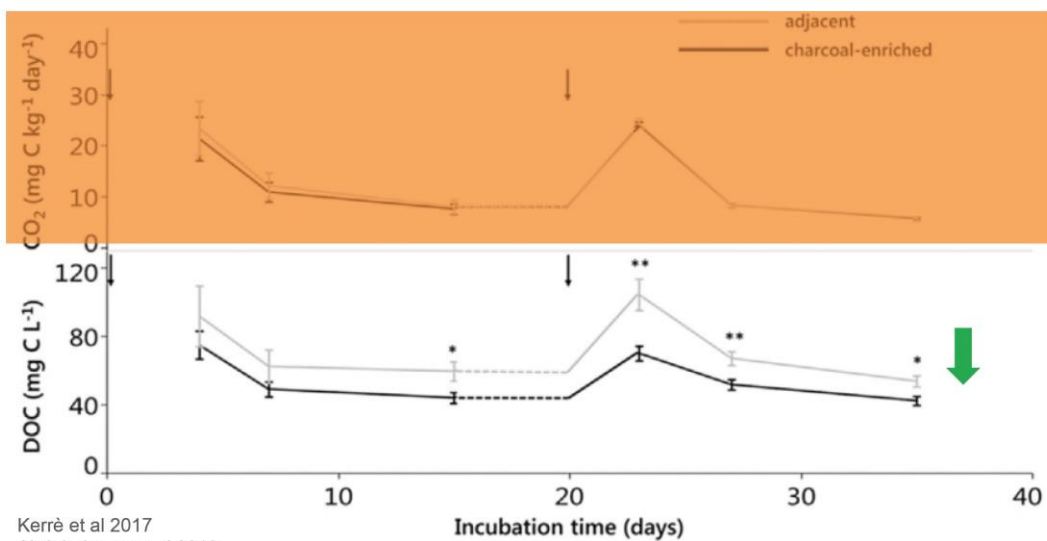


1

8.11.2018 © Natural Resources Institute Finland



Holzkohle und Bodenkohlenstoff – Partikulärer und löslicher Bodenkohlenstoff in Meilerböden



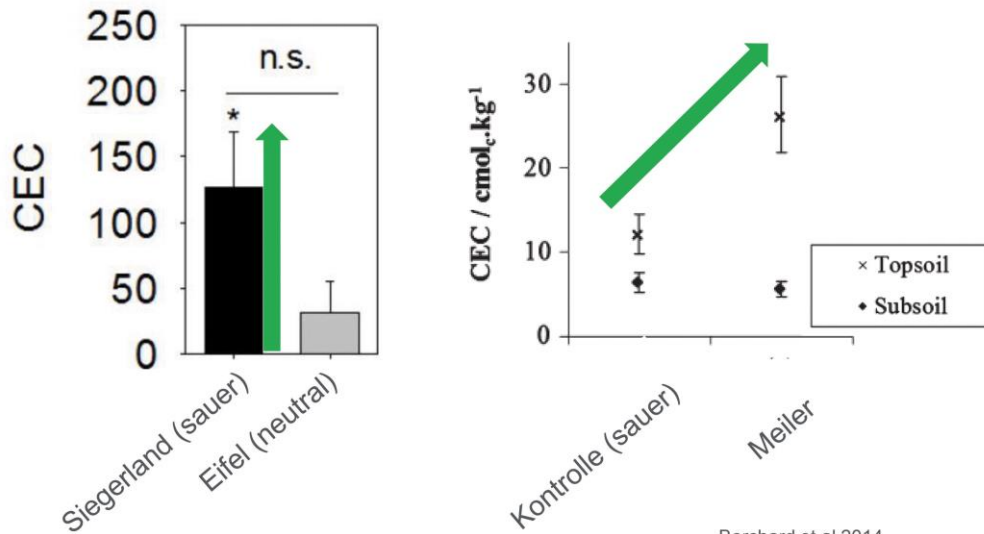
Kerrè et al 2017
Abdelrahman et al 2018

1

8.11.2018 © Natural Resources Institute Finland



Holzkohle und Nährstoffsorption - Wälder



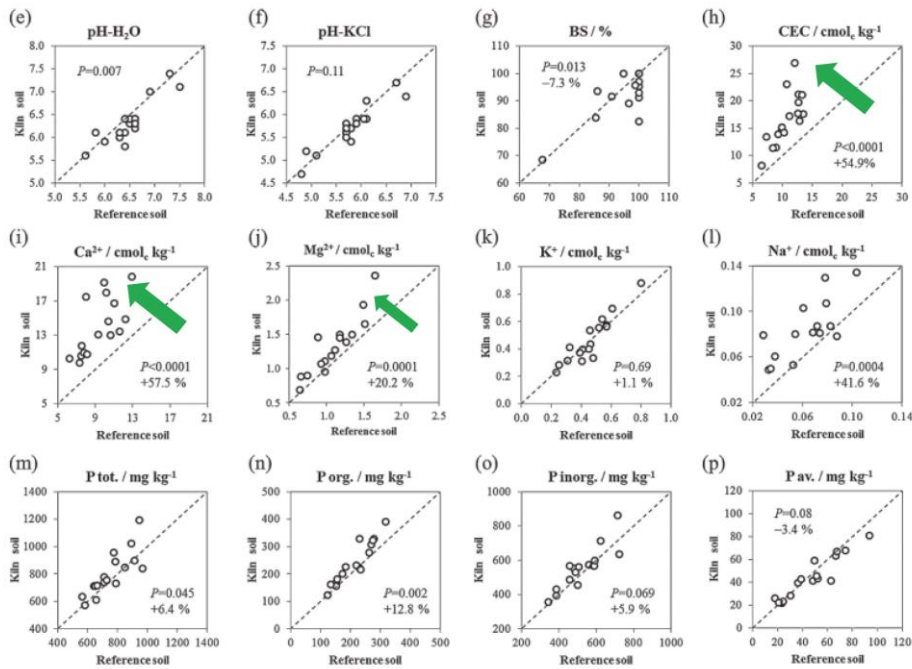
Borchard et al 2014
Hardy et al 2016



1

8.11.2018 © Natural Resources Institute Finland

Holzkohle und Nährstoffsorption - Äcker



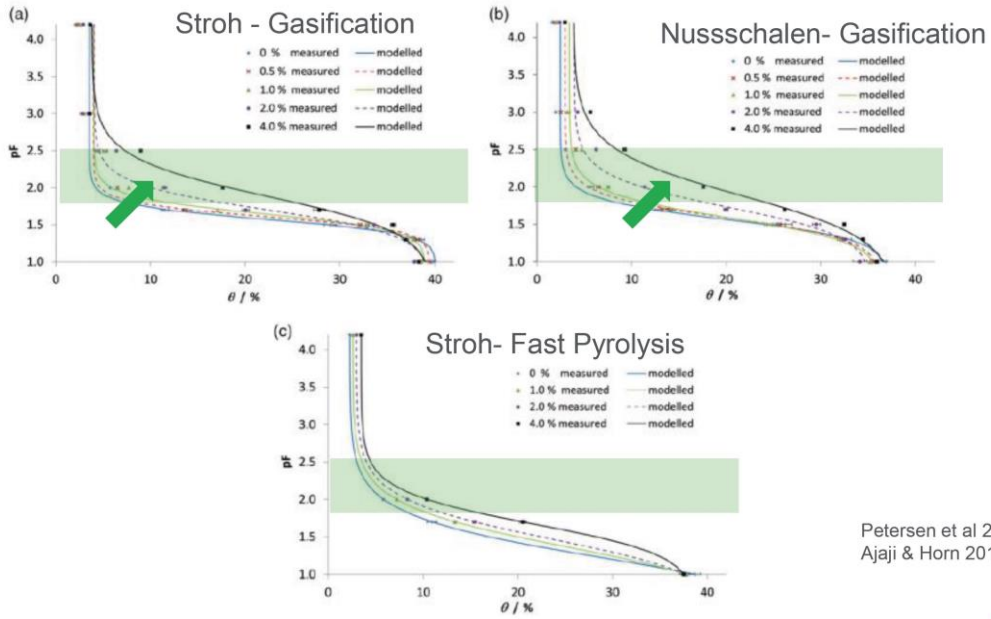
Hardy et al 2017



1

8.11.2018 © Natural Resources Institute Finland

Pflanzkohle und Wasserretention

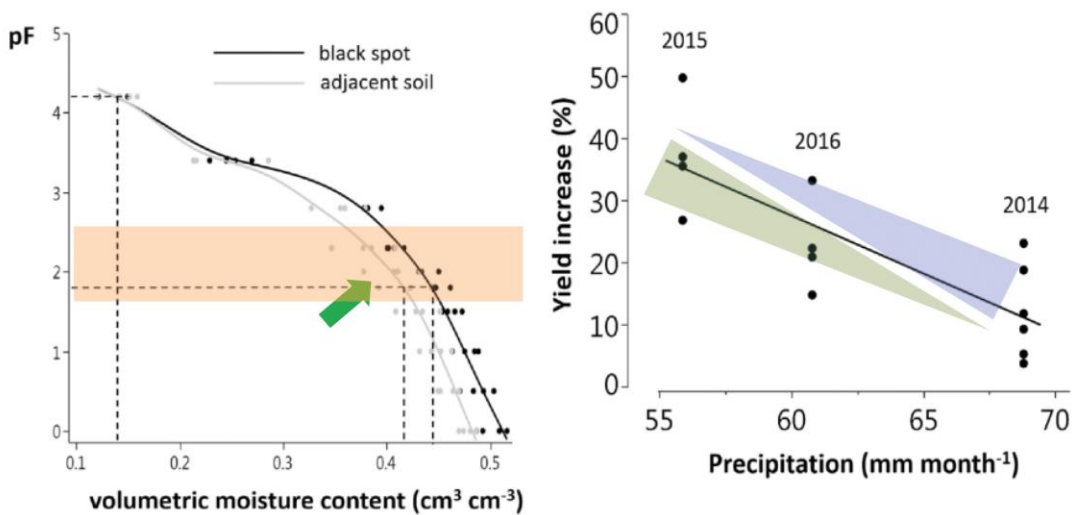


1

8.11.2018 © Natural Resources Institute Finland



Holzkohle und Wasserretention - Äcker



Kerre et al 2017

1

8.11.2018 © Natural Resources Institute Finland



Fazit aus der Meilerforschung

Kohlenstoffanreicherung **Ja**

⇒ **Böden als Kohlenstoffspeicher**

Nährstoffespeicherung **Jein**

⇒ **Böden als Lebensgrundlage (Ackerbau)**

⇒ **Böden als Puffer und Filter**

Wasserspeicherung **Ja**

⇒ **Böden im Wasserkreislauf**

17

19.10.2018 © Natural Resources Institute Finland



Get in touch and join us!

 Web site
www.luke.fi

 Facebook
www.facebook.com/Luonnonvarakeskus

 Twitter
twitter.com/LukeFinland

 LinkedIn
www.linkedin.com/company/luke-%E2%80%93-natural-resources-institute-finland

 Youtube
www.youtube.com/lukefinland

 Blogs
www.luke.fi/blogi/

 Customer magazine Leia
www.luke.fi/leia/

 Newsletter
www.luke.fi/uutiskirje/

 Publication series: Natural Resources and Bioeconomy
www.luke.fi/en/publications/

 Events
www.luke.fi/tapahtumat/

1

8.11.2018 © Natural Resources Institute Finland



Wege zu mehr Bodenfruchtbarkeit in der Anbaupraxis – Huminstoff bildende Prozesse und erweiterte Bodenanalysen nutzen

Dr. Sonja Dreymann - Pflanzenbauberaterin

Die pflanzliche Erzeugung ist auf vielen Betrieben geprägt von stagnierenden bis hin zu abnehmenden Erträgen und oftmals nicht zufrieden stellender Qualität. Dies ist sowohl bei Futterkulturen als auch bei Marktfrüchten festzustellen. Häufig ist die Wirkung von ausgebrachten Düngemitteln viel zu gering, bzw. sie fördern die Kulturen nicht in der erhofften Weise. Auch die weiteren externen Betriebsmittel sind für die zunehmenden Herausforderungen, wie z.B. Unkrautdruck, Pilzkrankheiten und das Auftreten von Schädlingen, keine nachhaltige Lösung und mindern noch weiter die Wirtschaftlichkeit des Anbaus. Hinzu kommt der von vielen Landwirten geäußerte persönliche Wunsch, die Aufwendungen für Pflanzenschutzmittel- und Düngemitteln zu reduzieren und die Bodenfruchtbarkeit wieder zu verbessern.

Diese Situation ist nicht nur dadurch entstanden, dass negative Effekte in Folge von engen Fruchtfolgen mit beispielsweise hohen Anteilen an Wintergetreide und Raps aufgetreten sind. Vielmehr haben die allgemeinen Anbaumethoden dazu geführt, dass sich der Humus nicht mehr regeneriert und der Boden seine natürliche Funktion als Puffer verloren hat. Die Bildung von Huminstoffen ist im Boden an Lebensprozesse gebunden, deren Vorhandensein oder Abwesenheit sich in einem Mehr oder Weniger an Bodengare zeigt. Die Düngung der Kulturpflanzen nach dem Prinzip des Bilanz-Ansatzes reicht nicht aus, um gesunde und nicht-gestresste Pflanzenbestände zu erzeugen, die eine hohe Ertragsstabilität aufweisen und hohe Qualität im Ernteprodukt liefern kann.

Die Grundlage dafür ist ein belebter Boden, der in Folge seiner hohen biologischen Aktivität eine hohe Nährstoffverfügbarkeit bietet und sich selbst regulieren kann. Dafür bedarf es balancierter Nährstoffverhältnisse und einer robusten Mikrobiologie, die nicht nur abbauende Stoffwechselwege wie z.B. die Nitrat-Bildung beschreitet, sondern aufbauende Prozesse, wie z.B. die Huminstoffbildung, vollziehen kann. Vor allem unter lebenden Pflanzen, insbesondere Gräsern, finden Huminstoff bildende Prozesse statt, wenn das Zusammenspiel der Pflanzen mit dem Boden funktioniert. Eine fehlende Calcium-Verfügbarkeit, übermäßige Belüftung und Stickstoff-Düngesalze wirken kontraproduktiv. Weiterhin kann der Aufbau von Huminstoffen im landwirtschaftlichen Betrieb durch den Stoffwechsel von Wiederkäuern und/oder dem Einsatz von Komposten gefördert werden. Wichtig ist hierbei, dass die organischen Dünger nicht mit einer Fäulnisbiologie in den Boden eingearbeitet werden, sondern dass sie vorher durch eine Aufbereitung (z.B. mit EM/Ferment) Boden verträglicher gemacht werden. Der Parameter pH-Wert ist als Milieu-Faktor von großer Bedeutung, zusätzliche Informationen sind aber notwendig, wenn der Boden aufgebaut und seine Fruchtbarkeit gefördert werden soll.

Die Ergebnisse einer erweiterten Bodenanalytik helfen, eine optimale Bodenstruktur und damit das optimale Habitat für die Mikrobiologie und die Pflanzen zu schaffen. So ist das entsprechende Verhältnis von Calcium zu Magnesium Voraussetzung für ein optimales Porenvolumen, das den Lebensraum für die Bodenbiologie bildet und die beste Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit für die Pflanzen ermöglicht.

Für die Bildung von Huminstoffen, bei der Kohlenstoff und Stickstoff aus der Luft in den Boden eingebunden werden, sollten zukünftig die mikrobiellen Prozesse im Boden in der Anbaupraxis gezielter gefördert werden.



Foto: Graswurzeln mit starkem Erdbehang bilden fruchtbaren Boden

Wann funktioniert der Boden von allein? Durch Erosion zum Humusexperten geworden

Jens Petermann – Landwirt aus Brandenburg

Bei der Suche nach dem Titel für das Thema meines Vortrages hat mich das Buch „Mulch total“ von Kurt Kretschmann und Rudolf Behm inspiriert. Ich erhebe in meinen Ausführungen keinen Anspruch auf wissenschaftlichen Erklärungen für die Vorgänge im Boden. Vielmehr möchte ich auf einfache Art und Weise Mut machen, vor dem komplizierten Thema Boden nicht zu resignieren.

Begonnen hat meine Reise in den Boden im Sommer 2007, auf dem Höhepunkt meiner Erfolge bei konventioneller Bewirtschaftung meiner Böden. Ich hatte auf dem leichten Brandenburger Boden eine sensationelle Rapsernte (fast 5t/ha) und auch bei der Getreideernte lag der Schnitt jenseits von 6t/ha. Als im August 2007 drei Niederschläge mittlerer Intensität in 10 Tagen auf einem meiner mit Mais bestellten Böden einen Erosionsschaden hinterließen, war vom gefühlten Erfolg nur ein großes Loch im Boden und vor allem im Kopf geblieben.

Was war schiefgelaufen? Alles nach „Vorschrift“ und dennoch dieses Ereignis? Wer bewirtschaftet diesen Zustand? Ich!



Es begann für mich eine Zeit quälender Fragen und von den offiziellen „Beratern“ eine Zeit fehlender Antworten. Bei der eigenen Suche danach stieß ich, aus heutiger Sicht selbstverständlich, auf alte Fachliteratur. Es begann bei allen Autoren dieser Bücher mit deren Moti-

vation, Probleme und deren Folgen bei „falscher Bewirtschaftung“ der Böden zu ergründen und Lösungen zu finden. Auch damals ging es immer um die Gesundheit und deren Ausgangspunkt, die Ernährung. Du bist, was Du ißt! Das gilt für das Bodenleben, die Pflanzen, die Tiere und die Menschen.

Erst viel später wurde mir klar, den Anfang unserer Nahrungskette, das Bodenleben, in meiner Bewirtschaftung überhaupt nicht bedacht zu haben. Schwere Technik, unangepasste Bodenbearbeitung, Toxine in Form von Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden, chemische Düngemittel und Mangelernährung durch fehlenden Bewuchs des Bodens! Welches Lebewesen macht eine derartige Dauerbelastung mit? Wir stehen vor einem riesen Problem! Wenn der Anfang der Nahrungskette krank ist, sind es Pflanzen, Tiere und Menschen auch! Wenn der Anfang der Nahrungskette stirbt???

Es geht also, einfach gesagt, um alle Maßnahmen, dem Bodenleben Bedingungen für ein gesundes Leben zu schaffen. Dieses gesunde Bodenleben kann auf nicht immer erklärbare Weise und ohne „fremde Hilfe“ jedes weitere Glied der Nahrungskette ernähren und erhält dafür im Gegenzug „Rendite“, ob in Form von gesunden Ausscheidungen dieser Organismen oder einem ausgewogenen Nährstoffmix nach deren natürlichem Ableben.

Wenn ich mir die derzeitigen „Nährstoffkreisläufe“ und die Bewirtschaftung der Böden betrachte, weiß ich nicht, wann wir beginnen wollen, uns um den zu kümmern, der uns retten kann, den Boden!

Was ist also zu tun?

1. Analyse des Ist-Zustands der eigenen Böden (Spatenanalysen, Bodenanalysen im Labor zur Feststellung der aktuellen Nährstoffverhältnisse)



2. Bei enger Fruchtfolge Umstellung auf vielfeldrige Fruchtfolge



Quelle: Jens Petermann

3. Einbau von Untersaaten und Zwischenfrüchten zur weiteren Stabilisierung der Bodenstruktur und Förderung der Biodiversität des Bodenlebens (Boden ohne lebendige Wurzeln hat nicht genügend Futter für den Erhalt des Bodenlebens)



Quelle: Jens Petermann

4. Analyse der Anbautechniken auf Störfaktoren für das Bodenleben und deren Optimierung (Anschaffung geeigneter Technik)



Quelle: Jens Petermann

5. Ganzjährige Bedeckung der Bodenoberfläche bzw. Reduktion der Phasen von ungeschützter Bodenoberfläche



Quelle: Jens Petermann

6. Bodenverträgliche Rückführung sämtlicher nicht vermarkteter Biomasse in das Bodensystem. Unbehandelte Biomasse sollte nicht eingearbeitet werden, um Fäulnisprozesse im Boden zu vermeiden. Stattdessen Hygienisierung der rückgeführten Biomasse über gesteuerte Kompostierung, Flächenkompostierung der auf dem Boden gewachsenen Grünmasse oder Behandlung der rückgeführten Biomasse mit Mikroorganismen zur Stabilisierung der Nährstofffreisetzung beim Abbau dieser Biomasse.



Quelle: Jens Petermann

7. Umbau der Kulturlandschaft zur Schaffung von sogenanntem „Kleinklima“ (Schutz vor Erosionseinflüssen, bessere Nutzung von CO², Optimierung der lokalen Wasserkreisläufe)

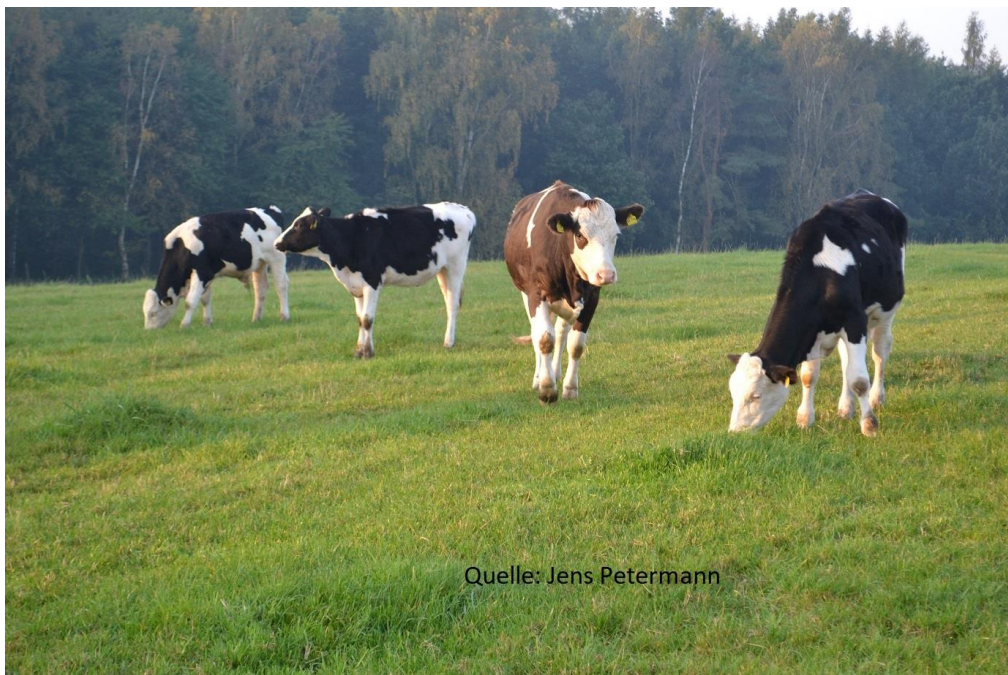


Quelle: Jens Petermann

8. Regelmäßiger Anbau von Blühflächen und Bienenweiden zum Erhalt und zur Steigerung der Artenvielfalt



9. Weidehaltung als Bestandteil der Fruchtfolge zum effektiven Humusaufbau und damit Bindung von Kohlenstoff im Boden



10. Verständliche Weitergabe der erlangten Fähigkeiten zum Erhalt der Böden an die nächste Generation!!

Fazit:

Derzeitig ist es großräumig und ohne massive Einschränkung unserer Gewohnheiten nicht möglich, diese Ziele umzusetzen! Der Trend geht weiterhin zu urbanen Räumen mit hohen Konzentrationen und unendlichen Überschüssen, die oft unverträglich in unser System zurückfließen. Das Wissen für den Erhalt der Böden ist jedem zugänglich, wir müssen es nur tun! Der Grund, warum die Natur funktioniert, liegt in ihrer Genügsamkeit zum Selbsterhalt. Marktwirtschaftliche Aspekte kennt die Natur nicht!

Ich habe in den Prinzipien der Biologisch-Dynamischen Landwirtschaft die größten Übereinstimmungen zu meinen Ansichten einer natürlichen Bewirtschaftung unserer Böden gefunden und den Betrieb am 01.07.2017 begonnen auf Demeter umzustellen.



Einige Autoren und Titel auf meinem Weg:

Asmus Petersen „Das Vermächtnis von Albert Schultz-Lupitz“

Chabousseau „Pflanzengesundheit und ihre Beeinträchtigung“

Karl Sommer „Cultan“

Gary Zimmer „The biological Farmer“

Gabriele & Manfred Probst „Praktische Gründung“

Franz (Margaret) Sekera „Gesunder und kranker Boden“
 Jena Experiment www.the-jena-experiment.de
 Johannes Görbing „Die Grundlagen der Gare im Ackerbau“
 Schultz-Lupitz „Zwischenfruchtanbau auf leichten Böden“
 Wilhelm Simon „Ackerbau auf leichten Standorten“
 Graham Shepard „Visual Soil Assessment“
 Andrea Beste „Erweiterte Spatendiagnose“
 GKB Berlin e.V. „Gefügeansprache“
 Kurt Kretschmar/Rudolf Behm „Mulch total“
 DLG „Leben und Werk Albrecht Daniel Thaer's“
 Albrecht Daniel Thaer „Die Grundsätze der rationellen Landwirtschaft“
 Rolf Derpsch www.rolf-derpsch.com
 Rolf Hennig „Geheimnisse fruchtbarer Böden“
 Raoul France „Das Leben im Boden“
 Otto Graf „Unsere Regenwürmer“
 Acres USA (Zeitschrift) www.acresusa.com
 The soilfood web www.rodaleinstitute.org
 Charles Darwin „Die Bildung des belebten Bodens durch Regenwürmer“
 Dr. Anita Idel „Die Kuh ist kein Klima-Killer“
 Sir Albert Howard „Mein landwirtschaftliches Testament (Auszüge)“
 Gustav Rhode „Lehrbuch natürlicher Kompostierung“
 Raoul France „Geheimnisse der fruchtbaren Böden“
 Werner Bergmann „Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen 1993“
 Edwin Scheller „Aktive Nährstoffmobilisierung durch die Pflanze“
 David Montgomery „Dreck, warum unsere Gesellschaft den Boden unter den Füßen verliert“
 Lore Kutschera & Monika Subotik „Wurzelatlas (7.Band)“
 Annie France Harrar „Die letzte Chance für eine Zukunft ohne Not“
 Hans Peter Rusch „Bodenfruchtbarkeit - Eine Studie biologischen Denkens“
 Neal Kinseys “HANDS-ON AGRONOMY”
 Rainer Maché www.ich-mache-boden-gut.de

Zur Bedeutung nachhaltiger Beweidung für Bodenfruchtbarkeit, Biodiversität und Klima

Dr. Anita Idel

Rinder stehen als Klima-Killer am Pranger und das häufigste Synonym für Grasland lautet *nicht ackerfähiges Land*: Obwohl Grasland weltweit 70 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche ausmacht, wird es somit mit etwas charakterisiert, was es *nicht* kann. Gleichzeitig wundern sich (auch Klima-) Experten darüber, dass weltweit in den Böden der Grasländer 50 Prozent mehr Kohlenstoff im Boden gespeichert ist, als unter dem Wald. Die Potenziale nachhaltiger Beweidung für den Klima-Schutz wahrnehmen zu können, erfordert einen ökosystemaren – holistischen – Ansatz.

Grasland nimmt mehr als 30 Prozent der Landfläche des Planeten ein und ist somit trotz dramatischen Umbruchs immer noch das größte irdische Biom. Bezogen auf die weltweit landwirtschaftlich genutzte Fläche (LN) sind 70 Prozent Grasland – und auch in Europa immerhin noch circa 40 Prozent. Aber die (Klima-)Forschung konzentriert sich überwiegend auf die 30 Prozent, das Ackerland. In der Folge bleiben die speziellen Wachstumsdynamiken des Graslandes und die Potenziale nachhaltiger Beweidung für Bodenfruchtbarkeit und Artenvielfalt und in der Folge für das Weltklima und den Wasserhaushalt weitgehend unerkannt und ungenutzt. Die Bewirtschaftung von Grasland, der neben dem Wald größten Dauer- sowie Mischkultur, spielt in der Ausrichtung der Agrarforschung und -politik kaum eine Rolle.



Foto: Rohrschwengel (*Festuca arundinacea*), Lichtenegger aus Kutschera und Lichtenegger 1997 - Obere Teilansicht der bis in eine Tiefe von 257 cm tief reichenden Wurzeln.

Ko-Evolution von Gräsern/Grasland und Weidetieren

Zu den zu selten gestellten Fragen zählen unter anderen die folgenden: Wie ist Bodenfruchtbarkeit entstanden, **bevor** sich Menschen sesshaft machten und zu ackern und zu gärtnern begannen? Wo liegen heute die fruchtbarsten Großebenen der Welt?

In sogenannten Kornkammern werden seit Jahrzehnten Getreide, Mais und Soja in riesigen Monokulturen angebaut. Dazu zählen die Schwarzerdeböden (Tschernoseme) der Prärien in Nordamerika, der Ukraine, der Puszta in Ungarn, des Baragans in Rumänien, der bis zu 100-Punkte-Böden in den deutschen Tieflandsbuchten sowie Kasachstans, der Mongolei und Chinas (Mandschurei) und auch der subtropischen Pampas in Argentinien und Uruguay. Das gemeinsame Vielfache: Sie alle sind Steppenböden. Ihre hohen Lössanteile bieten eine günstige Voraussetzung für Bodenfruchtbarkeit. Aber belebt wurden sie wie alle Böden von oben: Jahrtausende lange Beweidung hatte im Mittleren Westen sogar bis zu sechs und in der Ukraine bis zu drei Meter dicke Humusschichten (OBS) entstehen lassen.⁵

Die – fast völlige – Ausrottung der über 60 Millionen Bisons in Nordamerika erfolgte erst im 19. Jahrhundert. Viel weniger bekannt ist dieses Schicksal für die Guanacos, die Stammform der Lamas. Sie beweideten die Pampas Argentiniens und Uruguays. Auf über 40 Millionen wird ihre Zahl bei der Ankunft der spanischen Eroberer im 16. Jahrhundert geschätzt.

Auch in Europa prägten wandernde Weidetiere in der noch zaunlosen nacheiszeitlichen Welt Böden und Landschaften. Mit der Entstehung der Eiszeit hatten Bäume durch die sinkende Wasserverfügbarkeit sukzessive ihren Lebensraum verloren und überlebten nur in Nischen. Das Land abseits der Gletscher war von Grasland, Stein oder Sand bedeckt. Die Böden Europas sind noch sehr jung – entstanden mit dem Ende der letzten Eiszeit.

Die Tierzeichnungen in der Höhle von Chauvet/Frankreich zählen mit 30.000 bis 40.000 Jahren zu den ältesten weltweit bekannten. Darunter der Auerochse; sein enormes Verbreitungsgebiet reichte von der Atlantikküste im Westen Eurasiens bis zur Pazifikküste im Osten; von ihm stammen alle Hausrinder einschließlich der Zebus ab. Auch der Wisent, der europäische Bison, äste zwischen Nordspanien und Zentralasien.⁶

Mit zunehmender Bevölkerungsdichte in Mitteleuropa werden die Großherbivoren anfangs weniger der Ausrottung als der Verdrängung durch Störung ausgesetzt gewesen sein, sodass sich die wandernden Weidetiere immer weiter in den Nordosten Europas zurückzogen. Deshalb grasten in unseren Breiten bereits vor 2000 Jahren, zu Zeiten der Römer, keine großen Herden mit Wisenten oder Auerochsen mehr. Im Vergleich zu den zuvor Park ähnlichen Weidelandschaften, in denen die Tiere kleine und große Lichtungen dauerhaft offen hielten, wie wir es heute nennen, galt Germanien damals bereits als Waldland.

⁵ Humus hier und im Folgenden = organische Bodensubstanz (OBS).

Seit circa 60 Millionen Jahren währt die CoEvolution zwischen Grasland und Weidetieren: Seit der Zeit, als Gräser begannen, Böden flächig zu bedecken, entwickelte ein Teil der Tiere hochkronige Backenzähne.

⁶ Weniger Literatur existiert bisher über den Wasserbüffel, der als dritter Großherbivore zu nennen ist.

Dauergrasland ist anders

Warum löst Beweidung von Gräsern einen Wachstumsimpuls aus, hingegen der Verbiss von Baumschösslingen eine Wachstumsdepression? Die Gründe für diese völlig entgegengesetzten Effekte der Beweidung liegen im fundamentalen Unterschied in der Wachstumsdynamik zwischen Gräsern und Bäumen. Gräser wachsen von unten nach. Bäume wachsen hingegen aus dem Spross heraus und die kleinen Schösslinge verfügen nur über einen einzigen. Viele Pflanzen wehren sich deshalb mit energetischem Aufwand gegen den sogenannten Verbiss durch pflanzenfressende Tiere: Sie bilden Bitterstoffe, Toxine oder Stacheln. Gras hingegen benötigt die Beweidung; denn kein Grasland bleibt erhalten, wenn es dauerhaft ungenutzt bleibt: Es verbuscht oder verwaldet, wenn genügend Niederschlag verfügbar ist.



Foto: Rohrschwengel (*Festuca arundinacea*), Lichtenegger aus Kutschera und Lichtenegger 1997 - Mittlere Teilansicht der bis in eine Tiefe von 257 cm tief reichenden Wurzeln.

Gräser kommen als größte Mischkultur in und zwischen vier Extremen vor – Hitze und Kälte sowie Trockenheit und Nässe: Gräser überstehen die extreme Kälte oberhalb der Baumgrenzen ebenso wie die Hitze der Kalahari. Gräser leben in feuchten Gebieten wie den Auenlandschaften ebenso wie im meist trockensten Sahel. Das Erfolgsprinzip des Graslandes liegt wie beim Wald in seiner Biodiversität. Ein entscheidender Unterschied liegt darin, dass Grasland mit der regionen- bzw. ortsspezifischen Zusammensetzung aus mehr- und einjährigen Gräsern extrem flexibel auf Umweltänderungen reagieren kann. Das gilt auch für alle Übergangsformen zwischen nass und kalt sowie trocken und heiß. So überleben Grasgesellschaften in Regionen, in denen sich Überschwemmungen und Trockenzeiten abwechseln.

Dauergrasland

- ist das größte Biom – das großräumigste Ökosystem;
- ist die größte Permakultur – die Pflanzengesellschaft mit mehrjährigem Bewuchs mit der größten Ausdehnung;
- ist die größte Mischkultur – die verbreitetste Pflanzengesellschaft,
- kann extrem flexibel und schnell auf Umweltveränderungen reagieren;
- ist in Koevolution mit Weidetieren entstanden;
- ist in Folge der Koevolution von der Beweidung / ggf. Mahd abhängig: „Grasland braucht den Biss“;
- speichert weltweit in den Böden 50 Prozent mehr Kohlenstoff als Waldböden;
- bietet – aufgrund seiner Wurzelmasse mit Feinwurzeln – die größte Wasserspeicherkapazität und das größte Potenzial, Wassererosion zu verringern.

Gräser

- haben im Vergleich mit anderen Pflanzen eine besonders lange Vegetationsperiode;
- bilden im Vergleich zu anderen Pflanzen mehr Wurzelmasse im Verhältnis zum oberirdischen Spross: von 1:2 bis 1:20;
- verfügen über einen hohen Feinwurzelgehalt pro Einheit Bodenvolumen und sind deshalb effizienter in der Wasser- und Nährstoffaufnahme als Bäume, die über ein sogenanntes extensives Wurzelsystem verfügen;
- bewachsen den Boden natürlicher Weise flächendeckend – und hemmen dadurch Erosion;
- wachsen von unten und nicht aus der Sprossspitze;
- können überall dort leben, wo Bäume leben können – und auch darüber hinaus;
- benötigen einen Impuls zur Auslösung des Wachstums – durch Nutzung (Beweidung/Mahd).



Foto: Schafschwingel (*Festuca ovina*), Lichtenegger aus Kutschera und Lichtenegger 1997

Weil das Stamm- und Astholz das Produkt Jahrzehnte langer Speicherung darstellt, ist es unwissenschaftlich, allein die pflanzliche Biomasse und nicht die gesamte organische Biomasse von einem Hektar Wald und einem Hektar Grasland zu vergleichen.

Das Verhältnis von oberirdischer Pflanzenmasse zur Wurzelmasse – das Spross-Wurzelverhältnis – fällt bei Graspflanzen stark zugunsten der Wurzelmasse aus. Wie der oberirdische Zuwachs stammt auch der unterirdische überwiegend aus dem CO₂ der Luft. Das gilt folglich auch für den Humus (OBS), der durch die Arbeit der (Mikro-) Organismen (in unseren Breiten besonders den Regenwürmern) vor allem aus verrottenden Bestandteilen von Pflanzen sowie Kleinstlebewesen entsteht. Deshalb kann man für Graslandböden vereinfacht formulieren: Die Wurzeln von heute sind der Humus von morgen. Im Gegensatz dazu fallen Blätter und Streu von z.B. Gehölzpflanzen auf den Boden und verrotten dort, ehe sie in den Boden transportiert werden. Dabei erfolgt die Bodenbildung quasi indirekt und ist deshalb mit gasförmigen Verlusten in der Atmosphäre verbunden.

Für unsere Breiten gilt: Um die Bodenfruchtbarkeit auf Dauer zu erhalten bzw. zu fördern, muss Gras – bezogen auf das einzelne Graspflänzchen – nach der Beweidung regenerieren. Wenn die Halme kürzer als circa fünf Zentimeter abgeweidet werden, verbleibt nicht mehr genug Energie (ATP) im Blattgrün, um die Photosynthese wieder zu starten. Die einzelnen Graspflanzen zapfen dann ihre Wurzelmasse an und bilden mit dieser Energie oberirdisch so lange Blattgrün, bis das ATP für den Start der Photosynthese wieder reicht. Wiederholte Beweidung ohne Regeneration der Wurzelmasse innerhalb derselben Vegetationsperiode belässt den einzelnen Gräsern immer weniger Reserveenergie. Letztlich führt Überbeweidung deshalb zum Absterben der einzelnen Graspflanzen.

Der Wachstumsimpuls, den der Biss beim Gras auslöst, kann auch durch Mähen imitiert werden, nicht aber der Beitrag der Beweidung zur biologischen Vielfalt. Diese Problematik belegen die allarmierenden Ergebnisse der Krefelder Entomologen: Über 24 Jahre, zwischen 1989 und 2013, nahm die Biomasse in den Malaise-Fallen über 70 Prozent ab. Dem Reglement des Vertragsnaturschutzes folgend, das die Mahd erst ab einem Stichtag erlaubt, findet verbreitet flächendeckender Kahlschlag am Folgetag statt. Es ist möglich, mit hohem arbeitstechnischem und entsprechend finanziellem Aufwand räumlich und zeitlich versetzt zu mähen. Mähen sollte auf die Bergung des Winterfutters beschränkt sein.

Der Klima-Killer ist immer der Mensch

Zu den großen landwirtschaftlichen Fehlentwicklungen zählen der Umbruch von Grasland mit anschließend nicht-nachhaltigen Ackerbaumethoden und die Fütterung von GrASFressern mit Ackerfrüchten. Mehr als 70 Prozent der in der Landwirtschaft der EU verfütterten Proteine stammen aus Importfutter – insbesondere transgene mit Glyphosat erzeugte Soja aus Südamerika. Von Natur aus Weidetiere werden Rinder durch Hochleistungszucht und die Fütterung mit intensiv produziertem Ackerfutter zu Nahrungskonkurrenten der Menschen gemacht. Nur eine drastische Reduktion des Fleischkonsums und der Fokus auf Grasland basierte Tierhaltung entlastet die ökologischen Ressourcen sowie die menschliche und tierische Gesundheit.

Warum kommen fast alle Studien...

...zu dem Ergebnis, Kühe seien **schlechte Futterverwerter?**

Wer Kühe nicht vorrangig daran misst, was sie richtig gut können, nämlich Gras verdauen, generiert zwangsläufig falsche Schlussfolgerungen. In den meisten Studien erhalten sie erhebliche Mengen Kraftfutter. Aber dass die Allesfresser Schwein und Huhn Kraftfutter besser verwerten können als **Wiederkäuer**, ist bekannt, bevor diese Studien beginnen.

... zu dem Ergebnis, Kühe seien **Klima-Killer?**

Wer Kühe für Klima-Killer hält und Forschung darauf beschränkt, Methan-Emissionen zu verringern, wird zwangsläufig zu der Schlussfolgerung kommen: Stall statt Weide und viel Kraftfutter. Denn es sind ja vorrangig Gras abbauende Mikroorganismen im Pansen, die das Methan bilden, welches dann von den Kühen ausgerülpt wird.

Wer hingegen die **Klimawirkung von Agrarsystemen** erforschen will, berücksichtigt die Umwelt- und Klimawirkungen der Kraftfutterproduktion – die Flächenkonkurrenz und den Dünger. Innerhalb der Landwirtschaft bewirkt chemisch-synthetischer Stickstoffdünger den Löwenanteil: Schon seine Herstellung, das Haber-Bosch-Verfahren, ist extrem Energie aufwendig und setzt pro Tonne des aus atmosphärischem Stick- und Wasserstoff synthetisierten Ammoniaks (NH_3) circa 5 Tonnen CO_2 frei. Bei seiner Anwendung auf dem Acker entstehen zudem pro Düngeeinheit zwei bis fünf Prozent **Lachgas** (N_2O), das mehr als 300mal so klimarelevant ist wie CO_2 und 12mal klimarelevanter als Methan.



Foto: Alpenrispengras (*Poa alpina*), Lichtenegger

Wir haben es in der Hand

Verdient wird vielmehr an als in der Landwirtschaft. Das macht die gesunde grasende Kuh, die Bodenfruchtbarkeit generiert und das Klima entlastet, zu einer Konkurrentin der chemischen Industrie. Diese zielt auf intensiven Ackerbau, da sie immer mehr Saatgut, chemischen Dünger, Pestizide und Veterinärpharmaka sowie Agrartechnik verkaufen will.

Wird Boden nachhaltig bewirtschaftet bzw. ist das Beweidungsmanagement nachhaltig, überwiegt der Bodenaufbau. Infolge der Photosynthese stammt mehr als die Hälfte der ent-

stehenden Biomasse aus Kohlenstoff – dem C aus dem CO₂ der Luft. Deshalb entlastet jede zusätzliche Tonne Humus (OBS) im Boden die Atmosphäre um circa 1,8 Tonnen Kohlendioxid (CO₂): 0,55 to C und 1,25 to O₂. Und umgekehrt belastet jeder Schwund von Humus durch nicht angemessene Bodennutzung die Atmosphäre entsprechend mit CO₂.

Aufgabe der Landwirtschaft ist nicht, das Klima zu entlasten. Aufgabe der Landwirtschaft ist, die Basisressourcen nachhaltig zu erhalten und zu fördern, um die Ernährung für die Weltbevölkerung zu sichern. Genau dieser Fokus auf Bodenfruchtbarkeit und biologische Vielfalt entlastet das Klima. Nachhaltige Beweidung bietet dazu enormes Potenzial. Aber noch bremsen industrielle Interessen und Unwissen/(Nicht-)Wahrnehmung die politische Umsetzung. **Back to the roots...**

Literatur

- Bakker, Peter A.H. M.; Berendsen, Roeland L.; Doormbos, Rogier F.; Wintermans, Paul C. A. and Corné M. J. Pieterse (2013): The rhizosphere revisited: root microbiomics. In: Front. Plant Sci. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2013.00165/full> (letzter Abruf 18.07.2018).
- Conant, Richard T. (2010): Challenges and opportunities for carbon sequestration in grassland systems. A technical report on grassland management and climate change mitigation. Plant Production and Protection Division. FAO.
- Fileccia, Turi; Guadagni, Maurizio and Vasyl Hovhera (2014): Ukraine: Soil fertility to strengthen climate resilience. Preliminary assessment of the potential benefits of conservation agriculture FAO and WB (Hrsg.) Rom.
- Ford, Hilary; Garbutt, Angus et al. (2016): Soil stabilization linked to plant diversity and environmental context in coastal wetlands. Journal of vegetation science Volume 27, Issue 2, Pages 259-268. <https://doi.org/10.1111/jvs.12367>.
- Gyssels, G.; Poesen, J. et al. (2005): Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. <https://doi.org/10.1191/0309133305pp443ra>.
- Hewins, Daniel B.; Lyseng, Marc P. et al. (2018): Grazing and climate effects on soil organic carbon concentration and particle-size association in northern grasslands. Scientific Reports 8:1336. DOI:10.1038/s41598-018-19785-1. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-19785-1.pdf> (letzter Abruf 15.05.2018).
- Huyghe C., De Vlieghe A., and P. Golinski (2014): European grasslands overview: temperate region. Grassland Sci. Europe 19:29–40.

- Idel, Anita (2018): Der Wert nachhaltiger Beweidung mit Rind & Co. für Bodenfruchtbarkeit, Klima und biologische Vielfalt. In: Idel, Anita und Andrea Beste (2018): Vom Mythos der klimasmarten Landwirtschaft. Hrg. Martin Häusling MdEP/Die Grünen im Europäischen Parlament. Brüssel.
- Idel, Anita (2010): Die Kuh ist kein Klima-Killer! Metropolis-Verlag. (6. Auflage 2016).
- Mueller, Kevin E.; Tilman, David; Fornara, Dario and Sarah E. Hobbie (2013): Root depth distribution and the diversity-productivity relationship in a long-term grassland experiment. *Ecology*, 94(4), 2013, pp. 787–793 by the Ecological Society of America.
- Necpalova, Magdalena; Juhwan Leea, Colin Skinner, Lucie Büchi, Raphael Wittwer, Andreas Gattinger, Marcel van der Heijden, Paul Mäder, Raphael Charles, Alfred Berner, Jochen Mayer, Johan Six (2018): Potentials to mitigate greenhouse gas emissions from Swiss agriculture. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 265 (2018): 84–102.
- Peyraud J. L., van den Pol-van Dasselaar A., Collins R. P., Huguenin-Elie O., Dillon P. and A. Peter (2014): Multi-species swards and multi scale strategies for multifunctional grassland-base ruminant production systems: an overview of the FP7-MultiSward project. *Grassland Sci. Europe* 19:695–715.
- Pfadenhauer, Jörg und Frank Klötzli (2014): *Vegetation der Erde. Grundlagen, Ökologie, Verbreitung.* Springer Spektrum.
- Poeplau, Ch. et al.: Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology* 17 (2011), pp. 2415–2427.
- Roser, Max and Hannah Ritchie (2018): *Yields and Land Use in Agriculture.* <https://ourworldindata.org/yields-and-land-use-in-agriculture> (letzter Abruf 19.05.2018).
- Sutton, M.A.; Howard, C.M.; Erisman, J.W. et al. (Eds.) (2011): *The European Nitrogen Assessment. Sources, Effects and Policy Perspectives.* Cambridge.

Weitere Literatur bei der Verfasserin.

Verwertung von organischen Reststoffen zur Schließung von regionalen Kreisläufen mittels Herstellung und Anwendung von Biokohle und Biokohlesubstraten mit dem Ziel der Bodenverbesserung und Minimierung von Umweltbelastungen – Ergebnisse aus praxisorientierten Forschungsprojekten

Dr. Ines Vogel / Dr. Robert Wagner
Freie Universität Berlin – FB Geowissenschaften

Die Verwertung von organischen Rest- und Abfallstoffen leistet einen wichtigen Beitrag zum Klima- und Umweltschutz und der Schonung fossiler Ressourcen. Darüber hinaus besitzen organische Abfälle, aufgrund der ökologischen und ökonomischen Bedeutung, eine wichtige Rolle innerhalb eines regionalen Stoffstrommanagements. Durch die energiepolitische Abhängigkeit und die Auswirkungen des Klimawandels ist es erforderlich, lokal bis regional angepasste Konzepte für ein innovatives, integriertes Landnutzungs-, Energie- und Stoffstrommanagement zu entwickeln. Aber auch hinsichtlich der globalen Umweltprobleme, wie der Gefährdung der Böden und der zunehmende Verlust der Bodenfruchtbarkeit sowie des Klimawandels müssen einer nachhaltigen Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen Sorge getragen und Maßnahmen umgehend eingeleitet werden.

Die Herstellung und Anwendung von Biokohle hat in den letzten Jahren gezeigt, dass ein Werkzeug zur Umsetzung der Nachhaltigkeitsstrategie bereit steht. Der Einsatz der "Biokohle-Technologie" ist definiert als die Herstellung und der Einsatz von Biokohle zur Erzeugung hochwertiger Biokohlekomposte zur Schließung bzw. Optimierung von Stoffkreisläufen, verbunden mit positiven Umwelteffekten (Terytze et al., 2015).

Die Wiederentdeckung der Terra Preta do Indio und die einsetzende Forschung über die Entstehung und deren Zusammensetzung führte innerhalb der letzten 20 Jahre zu einem zunehmenden wissenschaftlichen Interesse an Biokohle/Pflanzenkohle (englisch biochar) in der Landwirtschaft (Jeffrey et al., 2011). Biokohle bezeichnet das feste Endprodukt der Karbonisierung von Biomasse durch Pyrolyse. Das Ausgangsprodukt, die Temperatur und die Dauer des Prozesses bestimmen die Eigenschaften der Biokohle maßgeblich.

Die Herstellung von Biokohle eröffnet einen einfachen Weg, um atmosphärisches CO₂ über die Biomasse in eine stabile Lagerform zu konvertieren (Lehmann und Joseph, 2009). Damit besitzt Biokohle eine positive Klimawirkung. Im Gegensatz zur Verbrennung oder natürlichen Verrottung wird während der Pyrolyse nur ein Teil (etwa ein Drittel) des von der Biomasse absorbierten CO₂ wieder in die Atmosphäre freigesetzt. Biokohle wirkt dem Klimawandel durch die Beförderung der CO₂-Speicherung in Böden entgegen, ermöglicht durch nachhaltige Rückführung organischer Substanz eine nachhaltigere Landnutzung und kann generell zur Verbesserung der Fruchtbarkeit von Böden beitragen. Zunehmend kristallisiert sich heraus, dass Biokohle in der Lage ist, relevante Mengen an Stickstoff einschließlich Nitrat zu speichern und damit vor Auswaschung zu bewahren und darüber hinaus Emissionen von Stickoxiden u. a. bei Kompostierungsprozessen zu verringern. Ergebnisse der Forschungsprojekte TerraBoGa (Terytze et al., 2015) und LaTerra (Vogel et al., 2016) zeigten eine Reihe von positiven Effekten auf, u.a. die CO₂-Bilanz, die Bodenqualität und den Kompostierprozess.

Ergebnisse des Forschungsvorhabens TerraBoGa

Als aussichtsreichste Form der Biokohleanwendung hat sich die Kombination von Biokohle und Kompost herauskristallisiert. Es ist bekannt, dass Kompost eine erhebliche Quelle von Pflanzennährstoffen ist, als Puffer für den Boden-pH-Wert wirkt und zu einer Steigerung der organischen Substanz führt. Ein weiterer Vorteil liegt in der Reduzierung von Pathogenen (Elad, 2011) aufgrund der großen Anzahl von nützlichen Mikroorganismen, die mit Komposten Böden zugeführt werden können (Fuchs, 1996). Die organische Bodensubstanz wird durch den Einsatz von Kompost mit co-kompostierter Biokohle aufgrund deren Abbaustabilität langfristig erhöht (Fischer und Glaser, 2012).

Im Kompostierungsprozess wirkte die Biokohle stabilisierend auf den Kohlenstoffhaushalt der Mieten. In den Mieten ohne Biokohle wurde im Kompostierungsverlauf durchschnittlich 55 % des anfänglichen organischen Kohlenstoffs aus dem Grünschnitt abgebaut, mit Biokohle nur 36 %. Insgesamt bedeutet die Kohlenstoffstabilisierung eine Reduzierung der Kohlendioxidemission und somit eine Entlastung der Atmosphäre (Abb. 1).

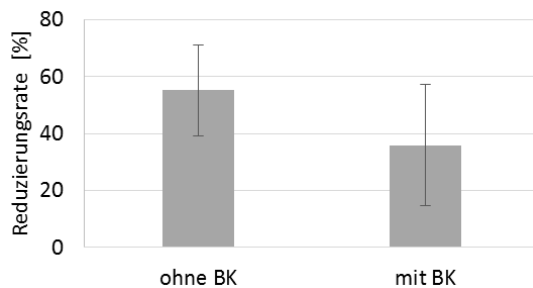


Abb. 1: Abbauraten des organischen Kohlenstoffes in Kompostversuchen des TerraBoGa-Projekts aus vier Großversuchen. Der Abbau bezieht sich auf den organischen Kohlenstoff des kompostierten Grünschnitts. Der Kohlenstoffanteil aus der Biokohle wurde bei der Berechnung berücksichtigt und herausgerechnet.

Darüber hinaus wurden die Emission weiterer Treibhausgase, wie N_2O , CH_4 und NH_3 reduziert (Wagner et al., 2016). Die Mieten mit Biokohle wiesen im Vergleich zu den Mieten ohne Biokohle zwischen 24 und 43 % geringere CH_4 -, NH_3 - und N_2O -Emissionen auf (verglichen als CO_2 -äquiv) (Tab. 1). Dies bestätigen Untersuchungen von Dias et al. (2010), Jindo et al. (2012) und Fischer und Glaser (2012), die eine Reduktion der C-Verluste nachweisen konnten. Biokohle unterstützte in diesen Untersuchungen die Entstehung stabiler Humate/Huminsäuren während der Kompostierung.

Tab. 1: Gesamtemissionen bei der Kompostierung mit und ohne Biokohle; mBK: mit Biokohle, oBK: ohne Biokohle, M: Miete (Terytze et al., 2015)

	N_2O	NH_3	CH_4	CO_{2eq}
	mg/kg TS			
M 1 mBK	12,80	12,30	149,1	7579
M 2 oBK	13,50	18,50	233,0	9903

Das Abfall- und Substratmanagement des Botanischen Garten kann durch die Herstellung und Anwendung von Biokohle und die Nutzung der im Karbonisierungsprozess anfallenden Wärme von vormals ca. 160 Tonnen freigesetzten $\text{CO}_2/\text{CO}_{2\text{eq}}$ pro Jahr um ca. 200 Tonnen $\text{CO}_2/\text{CO}_{2\text{eq}}$ pro Jahr CO_2 -negativ auf minus 42 Tonnen $\text{CO}_2/\text{CO}_{2\text{eq}}$ pro Jahr gesenkt werden (Terytze et al., 2015). Damit wird die gesamte emissionsökologische Entlastung deutlich.

Die Mitkompostierung von Biokohle führt neben der Auswirkung auf das Emissionsgeschehen und die Kohlenstoffstabilität zu einer reduzierten Auswaschung von Nitrat, Phosphor und Kalium. Leachingversuche im Rahmen der Forschungsprojekts TerraBoGa zeigten einen signifikanten Einfluss der Biokohle auf das Nährstofffreisetzungsverhalten von Biokohlekomposten und –substraten (Abb. 2). Vor allem in den gealterten (gelagerten) Biokohlesubstraten führt die Biokohle zu einer deutlich verzögerten Freisetzung an Nährstoffen.

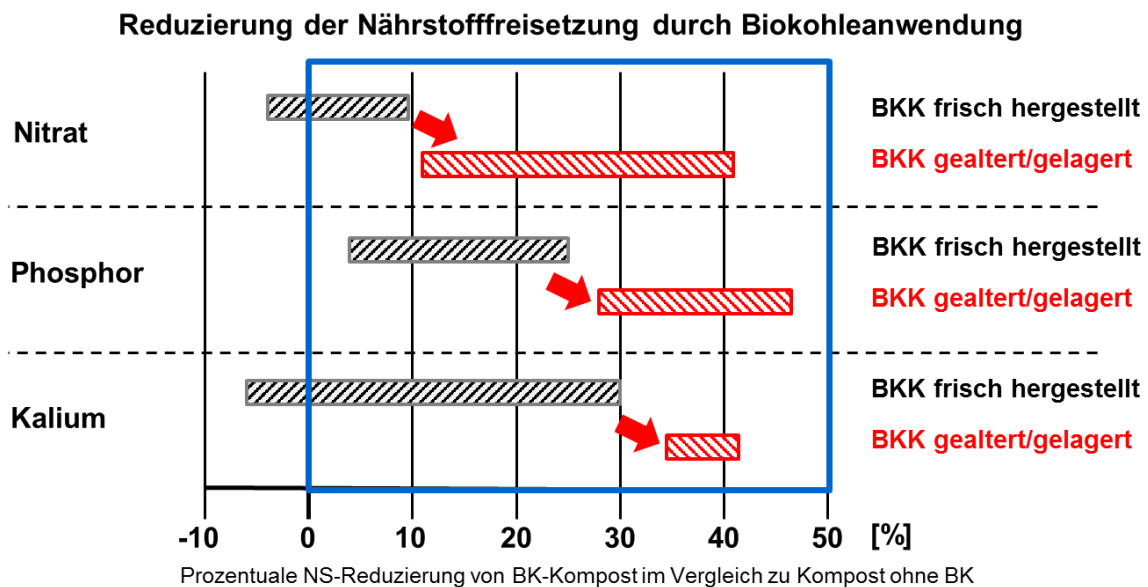


Abb. 2: Reduzierung der Nährstofffreisetzung durch die Anwendung von Biokohle (dargestellt als prozentuale Nährstoffreduzierung von Biokohlekompost im Vergleich zu Kompost ohne Biokohle; Abweichung angegeben als proben- und methodenübergreifende Spannweite (n=7 jeweils mit/ohne Biokohle); Muster der Balken stellen frisch bzw. gealtert dar)

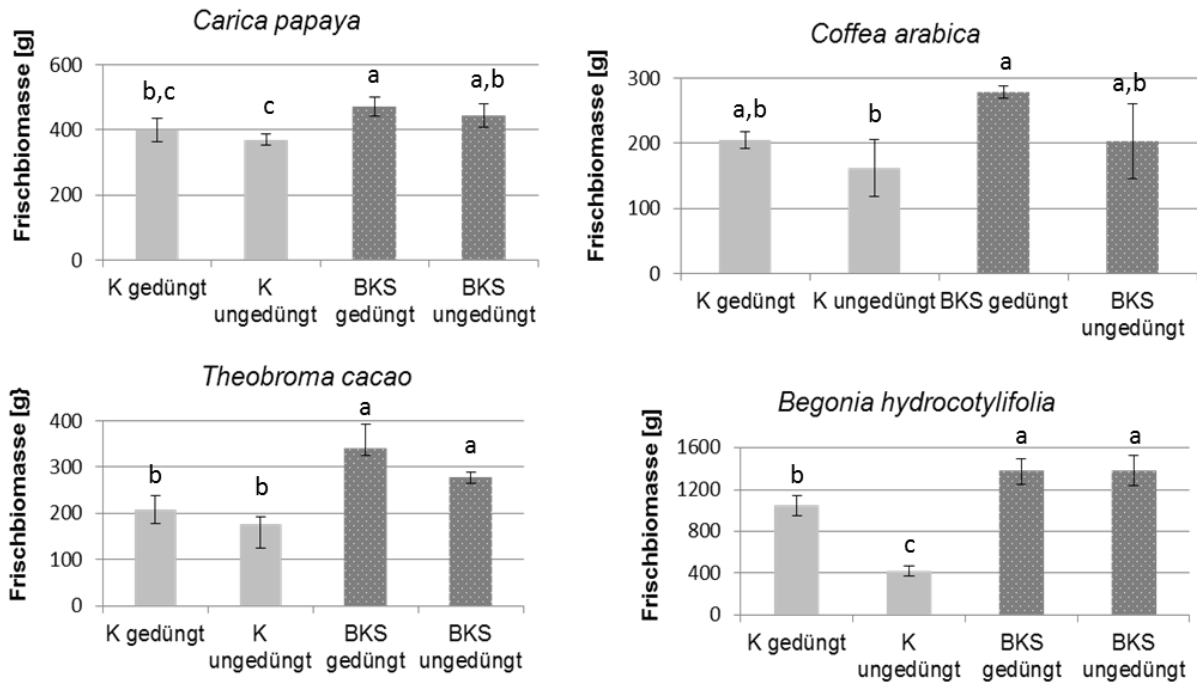


Abb. 3: Frischmasse der Testpflanzen am Versuchsende in den unterschiedlichen Substraten (K=Kontrolle; BKS=Biokohlesubstrat)

Die zahlreichen Untersuchungen konnten nachweisen, dass eine Reduktion bzw. Substitution von Torf durch die Anwendung von Biokohlekompost als Additiv für Pflanzsubstrate im Zierpflanzenbau möglich ist, ohne das Pflanzenwachstum negativ zu beeinträchtigen. Speziell hergestelltes Moorbeetersatzsubstrat unter Verwendung von Schwefel zur pH-Wertabsenkung belegte in Versuchen ebenfalls das Potenzial einer Torfsubstitution (Abb. 4).

Angesäuerte Biokohlesubstrate haben aus gärtnerischer Sicht den Vorteil, dass aufgrund des Kompostanteils mehr Nährstoffe vorhanden sind als in reinen Torfsubstraten. Die Zugabe von Schwefel verbessert außerdem die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe.

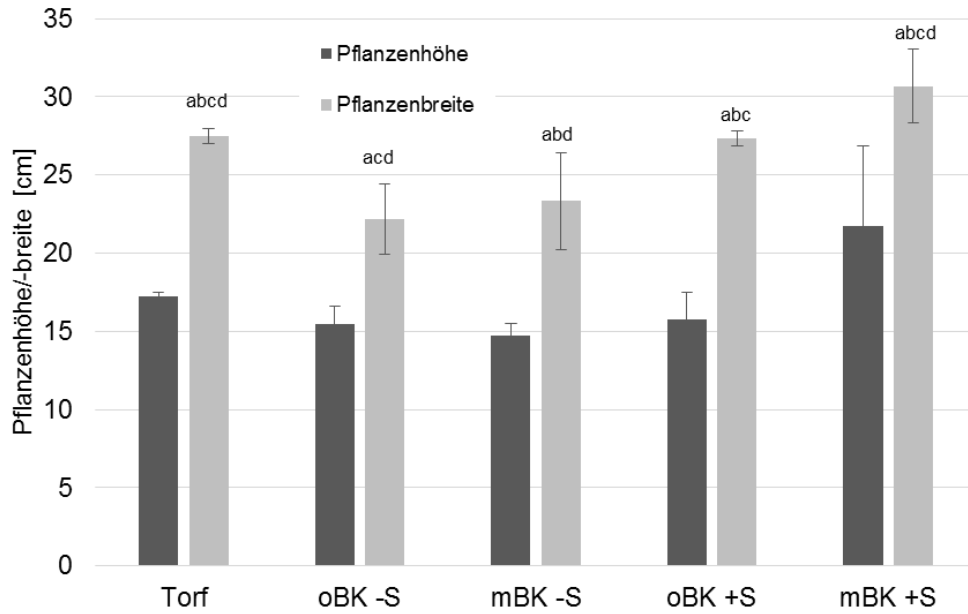


Abb. 4: Wachstumsergebnisse von *Rhododendron simsii* (n=3), Substrat-mischungen aus 25 Vol% Torf und 75 Vol% unangesäuertem Kompost mit (mBK-S) und ohne Biokohle (oBK-S) und dem mit Schwefel angesäuertem Kompost mit (mBK+S) und ohne Biokohle (oBK+S).

Darüber hinaus konnten positive Auswirkungen auf die Vitalität von Versuchspflanzen unter Befallsdruck pilzlicher Krankheitserreger beobachtet werden (Abb. 5).

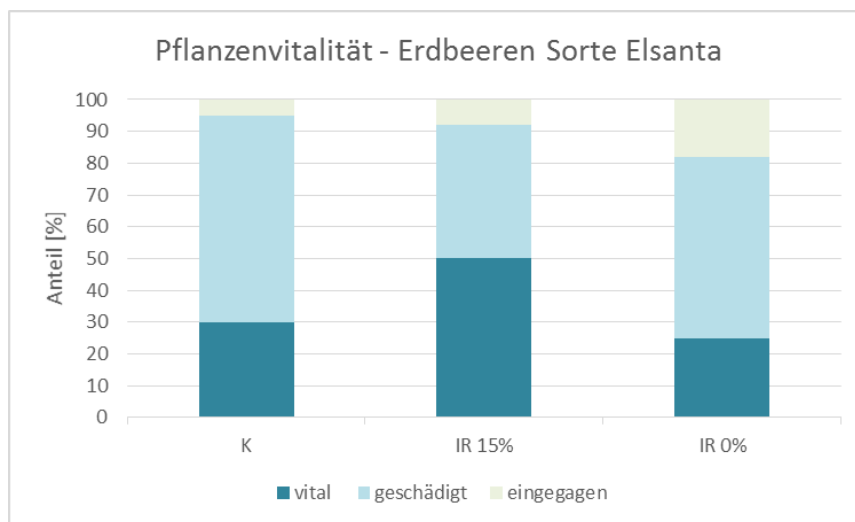


Abb. 5: Pflanzenvitalität bei Erdbeeren nach Befall mit Krautfäule (K: Kontrolle = Boden ohne Kompostzugabe, IR 15%: Kompost mit 15 Vol.-% Biokohle, IR 0%: Kompost ohne Biokohle)

Ausgewählte Ergebnisse des Verbundforschungsvorhabens LaTerra (aus Abschlussbericht LaTerra)

Im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens LaTerra wurden in ausgewählten Modellregionen, die von Problemen der Bodenkontaminationen infolge langjähriger militärischer Nutzung, der Wiedernutzbarmachung von durch Braunkohlentagebau devastierter Flächen sowie der Wiederaufforstung von Windwurfflächen besonders betroffen sind, mit den Akteuren vor Ort Wege erforscht, um regionale Kreisläufe auf der Grundlage innovativer Systemlösungen zu schließen. Eine besondere Rolle spielt dabei die Integration der Biokohle-Technologie.

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse des Teilprojekts zur Wiederherstellung der Bodenqualität auf militärischen Konversionsflächen unter besonderer Berücksichtigung der Nutzung von Bodenverbesserungsmitteln auf der Basis von Biokohlekomposten vorgestellt. Konversionsflächen stellen wegen ihrer enormen, teils zusammenhängenden Flächen ein großes Potenzial für die regionale Entwicklung dar. Eine Möglichkeit der Nachnutzung ist u.a. der Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) bei geringer Bioverfügbarkeit der vorliegenden Schadstoffe. Diese unterliegt hier keinem Landnutzungskonflikt und bietet die Chance einer regionalen, CO₂-neutralen Energieverwertung. Die mit dem Anbau von NawaRo gleichzeitig einsetzende Phytoremediation, von z. B. Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK), stellt dabei einen Synergieeffekt dar, der durch die Einbringung von Biokohlesubstraten (BKS) in den Boden infolge der biologischen Aktivierung verstärkt werden kann. So können die degradierten Böden aufwertet und in einem überschaubaren Zeitraum erneut einer höherwertigen Nutzung zuführen werden.

Zusammenfassend können aus den Untersuchungen nach 3, 4 und 5 Vegetationsperioden in Gefäß-, Lysimeter- und Parzellenversuchen hinsichtlich der Bodencharakteristika, organische Bodensubstanz, den Wasserhaushaltsparametern, maximale Wasserhaltekapazität und nutzbare Feldkapazität, der Rohdichte und ausgewählten Gehalten an Gesamt- und löslichen Nährstoffe folgende Schlussfolgerungen gezogen werden: Der stärkste Einfluss der Biokohlesubstrate aber auch der Biokohle spiegelt sich in der Veränderung der organischen Bodensubstanz wieder. In Abhängigkeit von der jeweils zugegebenen Substrat- und Biokohlemenge wurden über den gesamten Versuchszeitraum anhaltende erhöhte Gehalte der organischen Substanz durch die jeweiligen Zugaben ermittelt. Hier zeigten die Biokohlesubstrate gegenüber den Substratzugaben ohne Biokohle eindeutige Vorteile, wie entsprechend der Abbaustabilität der Biokohle zu erwarten war. Abbildung 6 zeigt dieses exemplarisch für die 3jährigen Gefäßversuche mit Böden mit MKW-Kontamination – hier wurde die organische Substanz über den gesamten Versuchszeitraum bei Zugabe von BKS nur um 3 % gegenüber dem Versuchsbeginn verringert, bei Zugabe von Kompostsubstraten ohne Biokohle jedoch um 34 %.

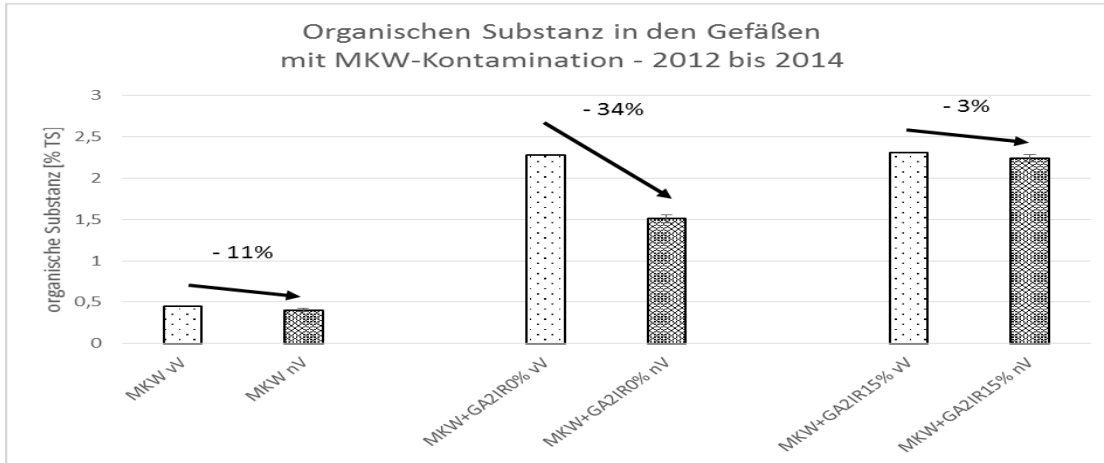


Abb. 6: Entwicklung der organischen Substanz von Versuchsbeginn 2012 bis Versuchsende 2015 – MKW-kontaminierte Böden mit Zugabe von Biokohle und Biokohlesubstraten sowie Substraten ohne Biokohlezusatz

Die Wasserhaushaltsgröße maximale Wasserhaltekapazität wurde vor allem durch die Zugabe höherer Biokohlesubstratmengen, aber auch durch Substrate ohne Biokohlezusatz signifikant erhöht, dagegen durch Zugabe geringerer Mengenanteile (10 Vol.-%) kaum mehr beeinflusst. Der Parameter nutzbare Feldkapazität, der ein direktes Maß für die Wasserversorgung der Pflanzen darstellt, zeigte auch bei Zugabe der geringsten BKS-Menge von 10 Vol.-% sowie bei Zugabe von Biokohle eine signifikante Verbesserung (siehe auch Abb. 7)."

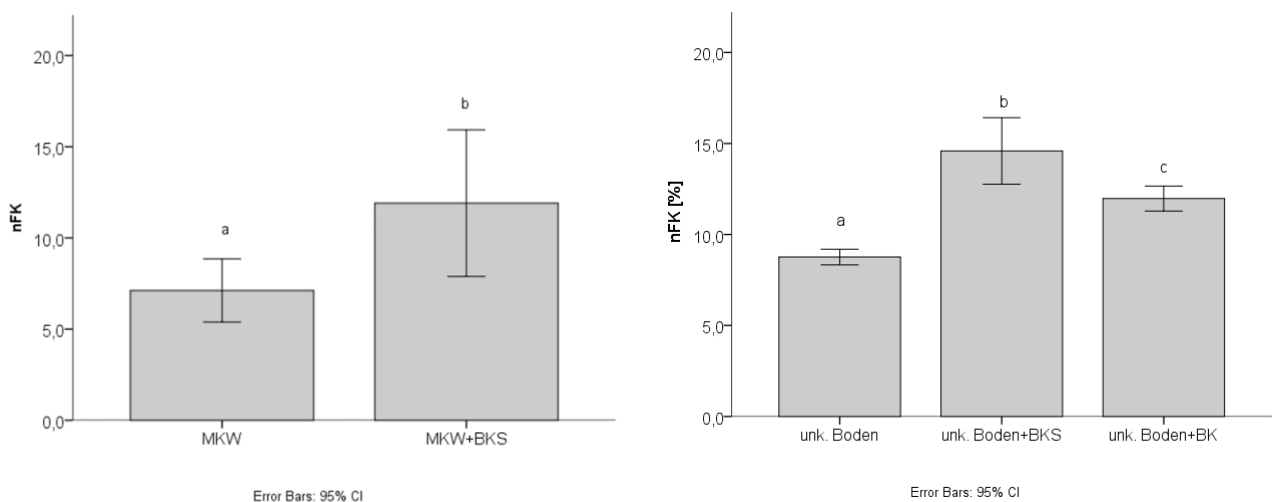


Abb. 7: Maximale Wasserhaltekapazität in Abhängigkeit der Zugabe von BKS – MKW-kontaminierte Böden mit 10 Vol.-% BKS sowie unkontaminierte Böden mit 50 Vol.-% BKS/15 Vol.-% BK– Ergebnisse nach 4 Vegetationsperioden

Die Ergebnisse aus Gefäß-, Lysimeter-, und Parzellenversuchen belegen, dass durch den Einsatz von BKS der Abbau der vorhandenen gealterten MKW-Kontamination beschleunigt werden konnte. Nach bereits zwei Vegetationsperioden wurde ein fast vollständiger Abbau der

Kontamination beobachtet. Dieses ist auf eine Erhöhung der bodenbiologischen Aktivität, die über einen längeren Zeitraum bestimmt wurde, zurückzuführen (siehe auch Abb. 8).

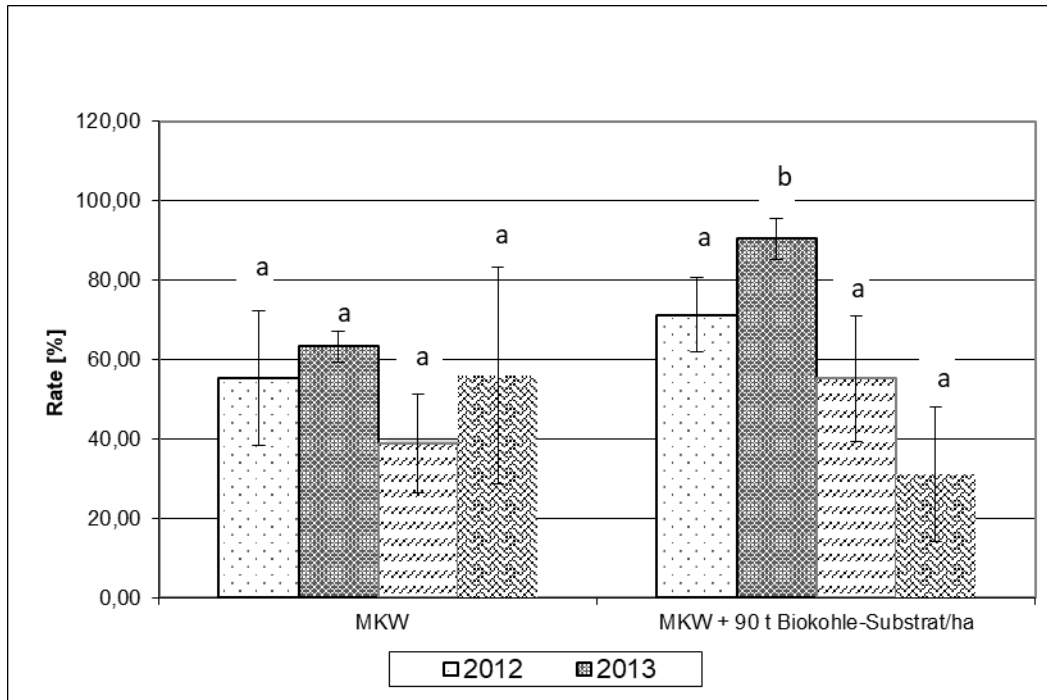


Abb. 8: MKW - Reduzierungsraten der Jahre 2012 und 2013 - a, b - unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Signifikanzniveau $p \leq 0.05$ - Vergleich immer Jahresweise

Bei den PAK Kontaminationen wurde durch den Einsatz von BKS die Mobilität/Bioverfügbarkeit des Schadstoffs deutlich gesenkt. Infolge dessen verringerte sich das ökotoxikologische Potenzial der PAK, sowie die Gefahr einer Aufnahme in die Pflanze und einer Verlagerung ins Grundwasser (siehe auch Abb. 9). Auch in anderen Untersuchungen (u. a. Beesley et al. 2010; 2011) konnten bei der Applikation von Biokohle eine Reduzierung der Mobilität und damit Verfügbarkeit besonders für höhermolekulare Aromaten nachgewiesen werden. Darüber hinaus wurde in den vorliegenden Untersuchungen bei allen Versuchsansätzen in Abhängigkeit von der zugegebenen Menge BKS die Pflanzenbiomasse signifikant erhöht.

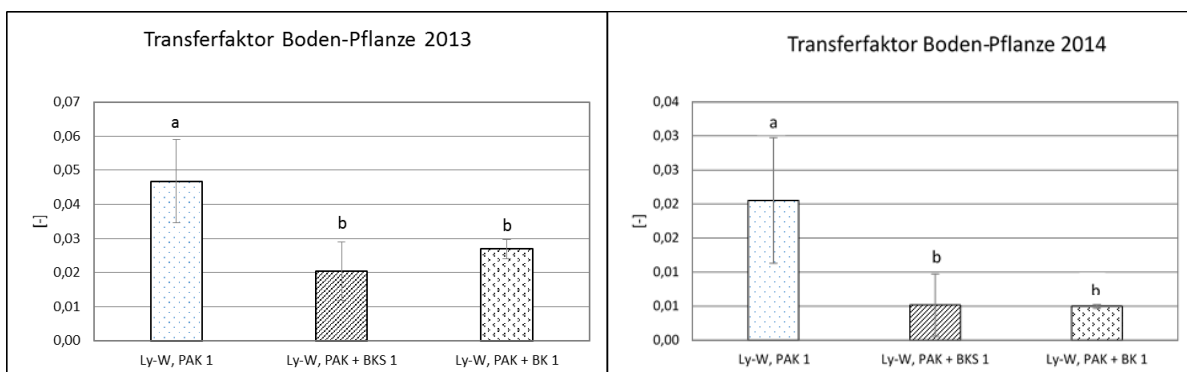


Abb. 9: Transferfaktor Boden-Pflanzenwurzel (Mais) aus den Lysimeterversuchen (BKS - Biokohlesubstrat; BK - Biokohle) a, b - unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Signifikanzniveau $p \leq 0.05$

Somit wurde der angestrebte Doppelleffekt erreicht, einen Abbau oder zumindest eine Sicherung vorliegender Kontaminationen zu erreichen und zusätzlich die größtenteils humusarmen Sandböden durch die nachhaltige Anreicherung von organischer Substanz in ihrer Fruchtbarkeit bzw. Funktionalität wesentlich zu verbessern.

Vorstellung des Forschungsvorhabens CarboTIP

Mit dem Tierpark Berlin-Friedrichsfelde existiert ein Forschungsraum, in dem die Biokohle-Technologie hervorragend eingesetzt und untersucht werden kann. Ziel ist es neben der Verbesserung der CO₂-Bilanz des Tierparks vor allem das große CO₂-Sequestrierungspotenzial der Biokohle-Technologie für die Abfallentsorgung von ganz Berlin aufzuzeigen.

Der Tierpark Berlin stellt mit seinen 160 ha Fläche eine der größten Landschaftstiergärten Europas dar und beherbergt über 800 verschiedene Tierarten. Er vereint großflächige Parkanlagen mit breiten Alleen, Teich- und Wiesenanlagen mit großzügigen Tiergehegen. Mehr als 8.500 Bäume in über 60 Arten (zum Beispiel Ahorn, Himalaja-Birke, Kiefer, Stieleiche und Zürgelbaum) wachsen im Berliner Tierpark, darunter vier Naturdenkmäler.

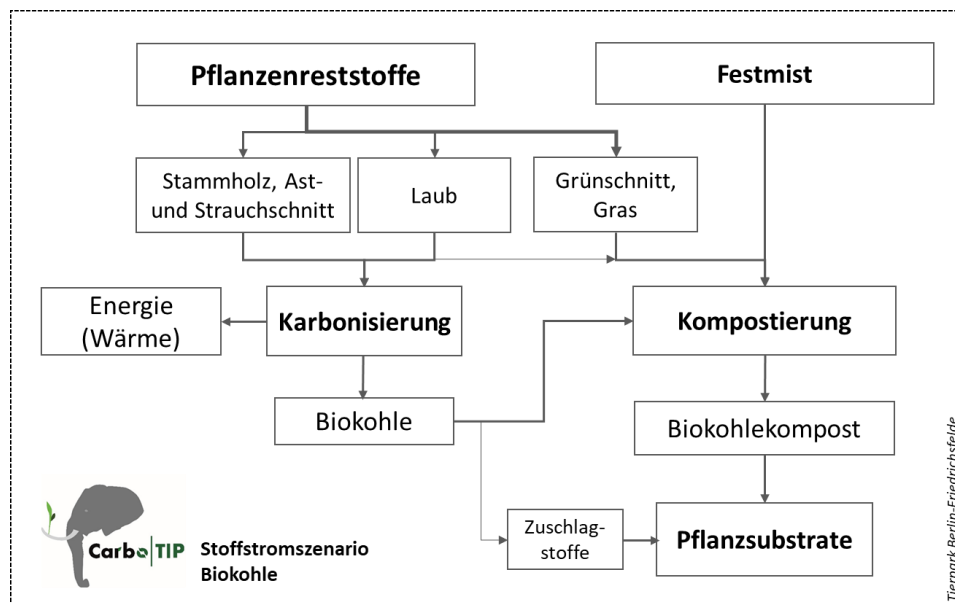


Abb. 10: Angestrebtes Stoffstromszenario im Tierpark Berlin-Friedrichsfelde

Bei einem Betrieb wie dem Tierpark, dessen Flächen sowohl gärtnerisch als auch tiergärtnerisch genutzt werden, entstehen diverse organische Abfallarten. Jährlich fallen ca. 8.000 m³ Mist, 150 Mg Holz (155 m³), 72 m³ (ca. 32,7 Mg) Grünschnitt und rund 16.000 m³ Laub an.

Auf der Grundlage der Ergebnisse und Erfahrungen des TerraBoGa - Forschungsprojektes im Botanischen Garten Berlin-Dahlem (vgl. Terytze et al., 2015), in dem erfolgreich durch die Implementierung der Biokohle-Technologie mit Hilfe der Herstellung und Anwendung von Biokohle, interne Stoffkreisläufe geschlossen werden konnten, bei gleichzeitiger Verringerung von Treibhausgasemissionen und einer Minimierung weiterer Umweltbelastungen, soll erstmalig in einem Tiergarten die Implementierung dieser Technologie unter erweiterten

und neuen Fragestellungen erprobt werden. In Abbildung 10 ist das angestrebte Stoffstromszenario dargestellt.

Besonders die Mengen an Laub stellen dabei ein riesiges ungenutztes Potenzial zur Herstellung von Biokohle und der damit verbundenen Speicherung von Kohlenstoff dar. Mit einer mobilen Pelletiermaschine werden Laubpellets für die Karbonisierung hergestellt (Abb. 11).



Abb. 11: Pelletierungsanlage und erste erzeugte Laubpellets

Die Bilanzierung der Biomasseströme weisen auf ein großes Potenzial zur Verminderung von THG-Emissionen und der Speicherung von Kohlenstoff hin. Laut ersten Berechnungen, könnten im Tierpark Berlin, durch Anwendung der Biokohletechnologie, bis zu 1.900 Mg CO₂ bzw. CO_{2eq} eingespart werden.

Die hergestellten Biokohlen und Biokohlesubstrate werden im Tierpark im Freigelände und in den Häusern eingesetzt und wissenschaftlich hinsichtlich ihrer Umweltwirkung untersucht.

Literatur

Beesley, L.; Moreno-Jiménez, E.; Gomez-Eyles, J. (2010): Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. In: *Environmental Pollution* 158 (2010), S. 2282-2287.

Beesley, L., Moreno-Jimenes, E., Gomes-Eyles, J.L., Harris, E., Robinson, B., Sizmus, T. (2011): A Review of biochars potential role in the remediation, revegetation an restoration of contaminated soils – In: *Environmental Pollution* 159 (2011). S. 3269 – 3282. Dias et al. (2010)

Elad, Y.; David, D. R.; Harel, Y. M.; Borenshtein, M.; Kalifa, H. B.; Silber, A.; Graber, E. R. (2010): Induction of systemic resistance in plants by biochar, a soil-applied carbon sequestering agent. In: *J Phytopathol*.

Fischer, D. & Glaser, B. (2012): Synergisms between Compost and Biochar for Sustainable Soil Amelioration, *Management of Organic Waste*, Dr. Sunil Kumar (Ed.), ISBN: 978-953-307-925-7, InTech, DOI: 10.5772/31200. Available from: <http://www.intechopen.com/books/management-of-organic-waste/synergism-between-biochar-and-compost-for-sustainable-soil-amelioration>

- Fuchs, J. (1996). Komposteinsatz im Gartenbau: Möglichkeiten und Limiten aus der Sicht der biologischen Komposteigenschaften. Branchenmagazin G'plus, 12, 19.
- Jeffreys, S.; Verheijen, F.G.A.; van der Velde, M.; Bastos, A.C. (2011): A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. In: *Agricultures, Ecosystem & Environment*, Vol. 144/1, S. 175-187.
- Jindo, K.; Suto, K.; Matsumoto, K.; Garcia, C.; Sonoki, T.; Sanchez-Monedero, M.A. (2012): Chemical and biochemical characterisation of biochar-blended composts prepared from poultry manure. *Bioresource Technology*, 110, 396-404
- Lehmann, J. und S. Joseph (Hrsg.) (2009): *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*; Earthscan UK, London, 416 S.
- Terytze, K., Wagner, R., Schatten, R., Rößler, K. und König, N. (2015): Endbericht zum Forschungsvorhaben „Schließung von Kreisläufen durch Energie- und Stoffstrom-management bei Nutzung der Terra-Preta-Technologie im Botanischen Garten im Hinblick auf Ressourceneffizienz und Klimaschutz – Modellprojekt Urban farming“ (TerraBoGa). http://edocs.fu-berlin.de/docs/receive/FUDOCS_document_000000024218
- Terytze, K. und Wagner, R. (Hrsg) (2016): *Handlungsanleitung – Verwertung von organischen Reststoffen zur Erzeugung fruchtbarer Pflanzenkohlesubstrate und deren Nutzung im Gartenbau*. Shaker-Verlag, S. 110, Aachen
- Terytze, K.; Vogel, I.; Worzyk, F.; Schatten, R.; Friede, K.; Krüger, C. (2016): Abschlussbericht Teilvorhaben 1 „Wiederherstellung der Bodenqualität auf militärischen Konversionsflächen unter besonderer Berücksichtigung der Nutzung von Bodenverbesserungsmitteln auf der Basis von Terra Preta und Verbundkoordination“. 01.10.2010 – 30.04.2016. Forschungsverbund „Nachhaltige Landnutzung durch regionales Energie- und Stoffstrom-management bei Nutzung der Terra-Preta-Technologie auf militärischen Konversionsflächen und ertragschwachen Standorten (LaTerra)“ gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen Projektträger Jülich: 033LA021A
- Vogel, I.; Schatten, R.; Wagner, R.; Terytze, K. (2015): Rechtliche Situation der Anwendung von Biokohle in der Bundesrepublik Deutschland. In: *Müll und Abfall*, 07.15, S. 362-367
- Vogel, I.; Worzyk, F.; Wagner, R.; Schatten, R.; Krüger, Ch.; Terytze, K. (2016): Ergebnisse mehrjähriger Parzellenversuche zu den Auswirkungen von Biokohle-Substraten und Biokohle auf Bodenqualität und Pflanzenwachstum auf mit MKW und PAK kontaminierten Böden. In: *altlasten spektrum*, 25. Jahrgang, Heft 04/2016, S. 125-133
- Wagner, R., Schatten, R., Rößler, K., Vogel, I. and Terytze, K. (2016): Biochar as an integrated and decentralised environmental management tool in the Botanic Garden Berlin – Dahlem. In: Bruckman et al (Hrsg.): *Biochar: A regional Supply Chain Approach in View of Climate Change Mitigation*. Cambridge University Press. (in press)

Humusaufbau – ein Projekt der Ökoregion Kaindorf

Projektleiter: Gerald Dunst

Die Ökoregion Kaindorf wurde im Jahr 2007 nach Bekanntwerden des ersten IPCC Klimaschutzberichtes gegründet. Es handelt sich dabei um einen Zusammenschluss von ursprünglich sechs Gemeinden mit dem Ziel, bis zum Jahr 2020 CO₂-neutral zu werden. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden sieben Arbeitsgruppen installiert, wo sich spontan rund 100 Personen zur freiwilligen Mitarbeit verpflichtet haben.

Seit 2007 wurden bereits über 300 Projekte umgesetzt. Das weitreichendste Projekt ist das Humusprojekt. Dazu wurde bereits im Jahr 2007 mit dem ersten Humus-Symposium gestartet, wo 30 Experten (Wissenschaftler und Praktiker) über die Möglichkeiten des Humusaufbaues und damit der CO₂-Bindung im Boden diskutierten. Die dabei erarbeiteten Ergebnisse wurden sofort bei drei Landwirten auf je einem Hektar umgesetzt. Das erklärte Ziel war dabei, in möglichst kurzer Zeit den Boden zu verändern – also auf 5% Humus anzureichern, um dann den anderen Landwirten zeigen zu können, dass dies einerseits funktioniert und andererseits auch eine Erleichterung in der Bewirtschaftung mit sich bringt.

Der einfachste Weg um Humus im Boden anzureichern ist, fertigen reifen Kompost einzubringen, der bereits starke Humusqualitäten hat. So wurden zu Beginn 100 m³ Kompost pro Hektar ausgebracht und in der obersten Bodenschicht gemeinsam mit Gründüngung oder Ernterückständen eingearbeitet. Die Idee dahinter war, schlagartig den Lebensraum in der obersten Bodenschicht zu verändern und mit dem Kompost die richtigen (humusaufbauenden) Mikroorganismen hinzubringen, die dann aus der gleichzeitig eingearbeiteten organischen Masse sofort beginnen können, Humus aufzubauen. Die Bodenbearbeitung wurde dabei so weit als möglich reduziert, damit ein Überleben dieser neuen biologischen Gemeinschaft auch gewährleistet werden konnte.

Heute versuchen wir, den Humusaufbau immer öfter auch ohne Kompost zu erreichen – also “nur” durch eine Veränderung in der Bewirtschaftungsweise – im Wesentlichen durch reduzierte Bodenbearbeitung und Dauerbegrünung.

Die Untersuchung von Humus:

Wenn in dieser Zusammenfassung von „Humus“ die Rede ist, wurde dieser immer vom zertifizierten Labor der AGES (Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit) in Wien untersucht.

Dabei wird der Boden auf 2 mm gesiebt und die sichtbare Organik wie Wurzelreste oder Ernterückstände mit der Pinzette entfernt. Anschließend wird der Boden bei 105°C getrocknet und danach die Organik bei 550°C verbrannt. Die Gewichts Differenz (der Glühverlust) wird dann als „Humus“ bezeichnet, der Kohlenstoffgehalt darin wird mit dem Faktor 0,58 errechnet.

Die ursprüngliche “Methode” funktionierte wie folgt:

- Verwendung von großen Kompostmengen (100m³/ha)
- Reduzierte Bodenbearbeitung

- Dauerbegrünung – vor allem auch Winterbegrünung, Untersaaten, Mischkulturen
- Reduzierung des Chemieeinsatzes - so weit als möglich
- Erhöhung des Leguminosenanteils in der Fruchtfolge auf 30%

Mit dieser Methode ist es gelungen, den Humusgehalt in 0 - 25cm Tiefe von 3% auf 7% anzuheben. Zugleich wurden die ursprünglich problematischen Wind- und Wassererosionen auf Null reduziert. Eine Bodenbearbeitung ist selbst auf unseren schweren Böden nicht mehr erforderlich, die Kulturen brauchen keinen zusätzlichen Kopfdünger, nur die jährliche Grunddüngung mit dem hofeigenen Wirtschaftsdünger (Gülle). Der Einsatz von Insektiziden und Fungiziden ist nicht mehr erforderlich. Alle Bodenparameter sind im optimalen Bereich.



Den enormen Unterschied sieht man auch mit freiem Auge: rechts ist derselbe Boden vier Jahre nach erfolgreichem Humusaufbau.

Nach 11 Jahren wurden beeindruckende Ergebnisse erzielt und wir erkennen in diesem Humusprojekt eine Riesenchance um auf folgende Herausforderungen eine Antwort zu finden:

- **Klimawandel:** Kohlenstoffanreicherung – sprich Humusaufbau ist auch ohne große Kompostmengen möglich – es muss „nur“ die Bewirtschaftungsart verändert werden.
- **Nitratproblem:** Humusaufbau braucht Stickstoff – wenn dieser Prozess einmal gestartet wurde, wird der gesamte verfügbare Stickstoff im Boden gebunden. Die wichtigsten Mikroorganismen sind in diesem Zusammenhang die Mykorrhizapilze.
- **Wassermanagement:** Humusböden können viel mehr Wasser speichern: jedes zusätzliche Prozent Humus speichert zusätzlich rund 400 m³ Wasser pro Hektar. Die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme steigt ebenso enorm: es wurden bis zu 150 Liter pro Stunde und Quadratmeter von diesen Böden aufgenommen.

- **Erosionen:** in diesen humusangereicherten Böden gibt es keine Wind- und Wassererosionen mehr.

Der Handel mit Humuszertifikaten:

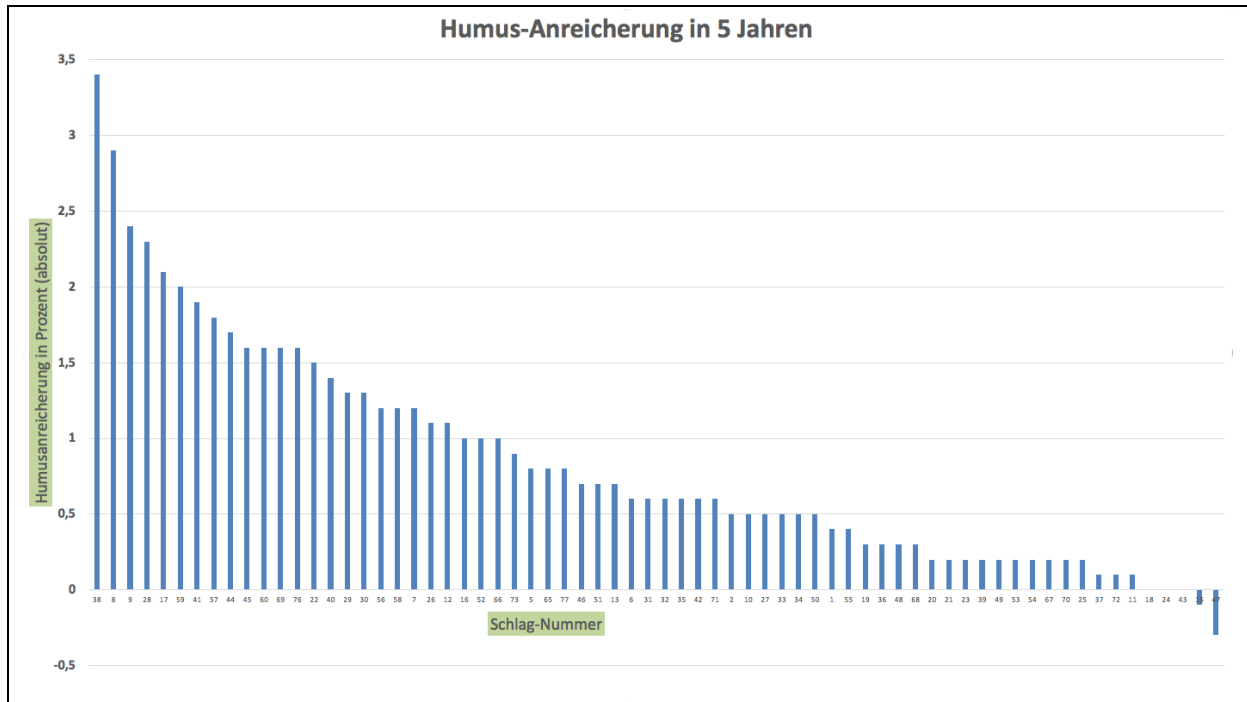
Es ist sehr wichtig, dass die Landwirte in der Übergangsphase unterstützt werden, da Humusaufbau Zeit und Geld kostet und eine Investition in die Zukunft bedeutet. Die Kosten dafür wurden in diesem Projekt genau erhoben und mit 30€ pro Tonne fixiertem CO₂ bewertet.

Da die Humusanreicherung aber gleichzeitig auch für die Gesellschaft einen großen Nutzen bringt (Maßnahme im Kampf gegen den Klimawandel), wurde ein neues System für den freiwilligen CO₂-Zertifikatehandel entwickelt:

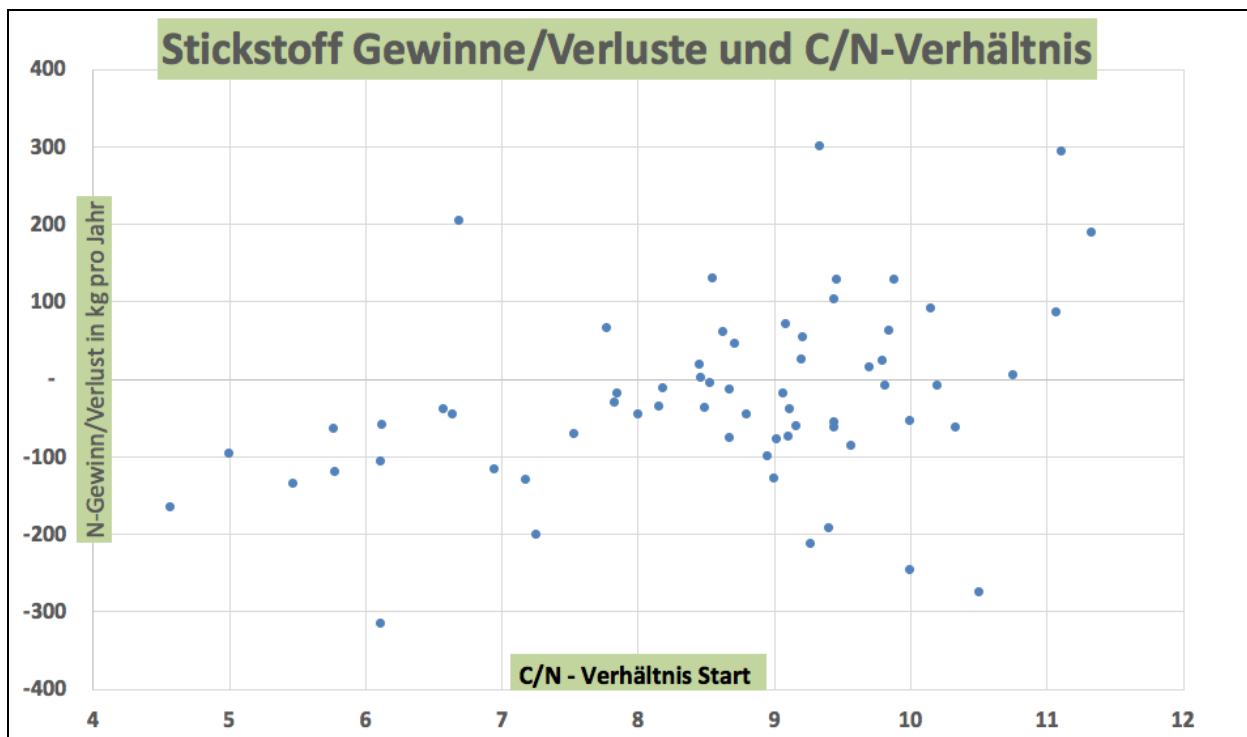
- 1) Es werden Verträge abgeschlossen, wo sich der Landwirt auf den beteiligten Schlägen zu Humusaufbau bekennt.
- 2) Es werden anschließend professionell von einem Ziviltechniker Bodenproben (0-25cm) gezogen und jeder Probenahmepunkt mit GPS genau vermessen.
- 3) Die wichtigsten Bodenparameter werden analysiert.
- 4) Der Landwirt starten mit Humusaufbau nach eigenem Ermessen und in eigener Verantwortung – wir unterstützen mit Informationen und Seminaren.
- 5) Nach 5 Jahren wird an denselben Stellen eine weitere Bodenprobe gezogen und analysiert. Die zusätzlich angereicherte Menge an Kohlenstoff wird zu CO₂ umgerechnet (1% Humus entspricht rund 50 Tonnen CO₂ pro Hektar) und der Landwirt erhält eine Erfolgsprämie von 30€ pro Tonne CO₂. Damit wurde ein sogenanntes „Humuszertifikat“ generiert.
- 6) Der Landwirt muss nach Auszahlung garantieren, dass der erhöhte Humusgehalt im Boden auch stabil bleibt. Dies wird weitere 5 Jahre später überprüft und eine dritte Beprobung durchgeführt. Sollte Humus wieder abgebaut worden sein, so muss der Landwirt für diesen Anteil die erhaltenen Gelder zurückzahlen.
- 7) Die mit diesem System generierten „Humuszertifikate“ werden zu einem Preis von 45€ pro Tonne CO₂ an Unternehmen verkauft, die freiwillig ihren nicht vermeidbaren CO₂-Ausstoß kompensieren wollen. Derzeit gibt es mehr Interessenten aus der Wirtschaft, die diese Zertifikate kaufen möchten, als Landwirte die bereit sind, sich mit Humusaufbau zu beschäftigen.

Um die Landwirte in ihrer Umstellungszeit zu unterstützen, wurde die „Humusakademie“ gegründet, wo in Tagesseminaren die wichtigsten Themenbereiche von Experten vorgetragen und diskutiert werden. Zusätzlich werden monatlich Humusstammtische organisiert, wo jeder Landwirt jederzeit und unentgeltlich teilnehmen kann. Einmal jährlich gibt es die „Humustage“ mit rund 400 Teilnehmern aus 6 Nationen, wo rund 30 Experten über die neuesten Erkenntnisse in diesem Bereich diskutieren.

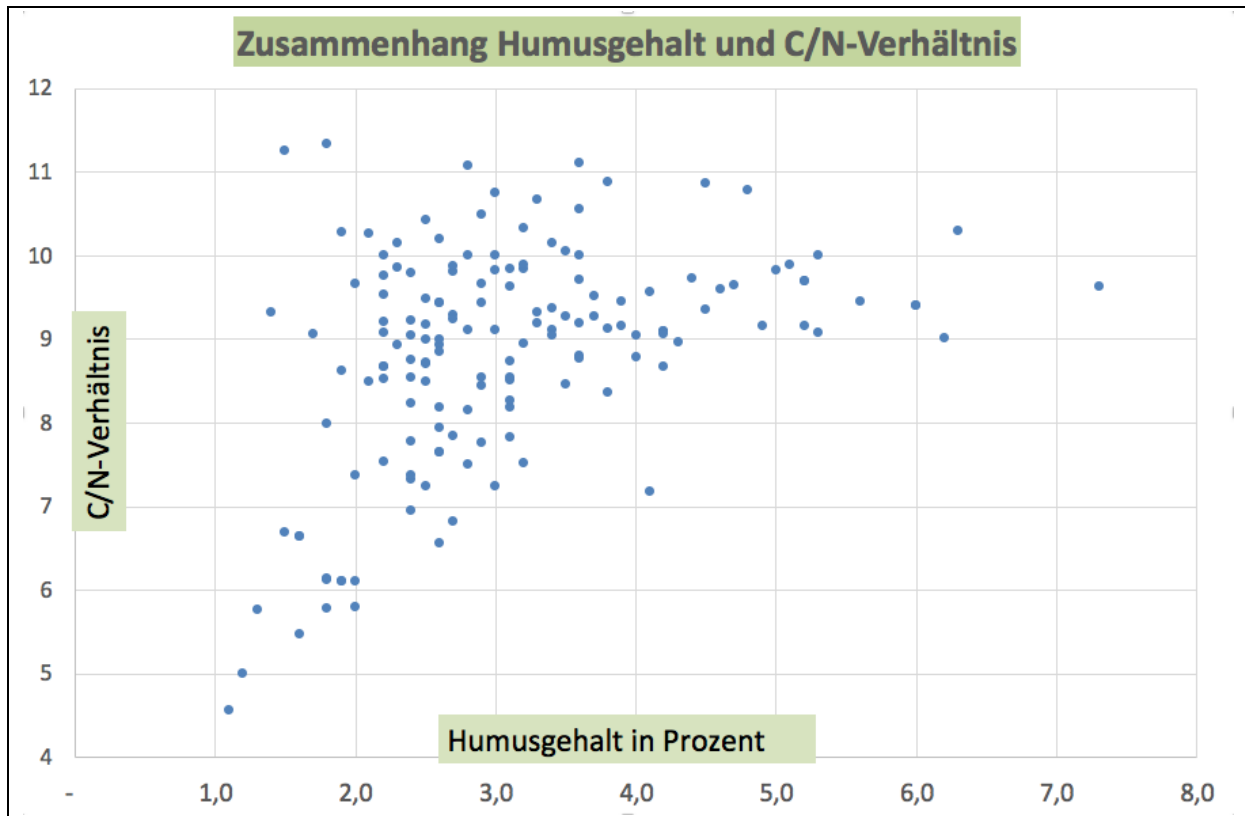
Die Humusdatenbank: Um das gesamte Projekt hundertprozentig rückverfolgbar zu machen, wurde eine online Datenbank entwickelt, wo alle Daten regelmäßig eingetragen werden. Das Projekt verzeichnet nach wie vor ein starkes Wachstum (jährliche Verdoppelung). Derzeit sind rund 200 Landwirte mit insgesamt rund 2.000 Hektar an diesem Projekt beteiligt. Vor zwei Jahren wurde diese Datenbank erstmals ausgewertet. Es sind höchst spannende und neue Erkenntnisse zu Tage getreten:



Die Humusanreicherung betrug in 5 Jahren bis zu 3,4% (absolut).



Je niedriger das C/N-Verhältnis im Boden, desto größer sind auch die Stickstoffverluste. Bei einem C/N-Verhältnis von 6 gehen bereits rund 200kg N pro Hektar und Jahr verloren (unabhängig von der Bewirtschaftung). Bei einem C/N-Verhältnis von 9-10 gibt es verstärkt N-Gewinne aus der Luft – scheinbar wird hier die N-Bindung durch die freilebenden Mikroorganismen verstärkt angeregt. Um N-Verluste zu vermeiden muss also ein hohes C/N-Verhältnis von 9-10 angestrebt werden.



Je niedriger der Humusgehalt im Boden, desto größer ist die Gefahr für ein niedriges C/N-Verhältnis und desto höher sind somit auch die N-Verluste. Bei einem Humusgehalt ab 5% sind die C/N-Verhältnisse ausnahmslos stabil zwischen 9 und 10.

Wenn also das Nitratproblem dauerhaft gelöst werden soll, muss ein Humusgehalt von zumindest 5% angestrebt werden.

Die Lösung des Nitratproblems:

Humus wurde in den letzten Jahren vielfach als eine der Ursachen des Nitratproblems dargestellt, da Humus angeblich unkontrolliert mineralisieren und dabei auch unkontrolliert Nitrat freisetzen kann. Unsere Daten, sowie die Untersuchungsergebnisse der Bioforschung Austria zeigen genau das Gegenteil, dass nämlich der Aufbau von stabilem Humus das Nitratproblem lösen kann:

- Ab 5% Humus im Boden gibt es ausnahmslos stabile C/N-Verhältnisse von 9 bis 10 und damit keine unkontrollierbaren N-Verluste
- Humus ist die Grundlage für die Bodenbiologie. Bei Vorhandensein einer entsprechenden Mykorrhiza-Infektion kann freies Nitrat, welches beispielsweise durch Düngung ins System kommt, innerhalb von Sekunden gebunden werden! (Nachweis durch Prof. Dr. Strauss – Boku Wien – Vortrag bei den Humustagen 2017 in der Öko-region Kaindorf)
- Wenn die Bewirtschaftung in Richtung Humusaufbau gelenkt wird, gibt es eher einen N-Mangel als einen N-Überschuss. Für 1% Humusanreicherung werden rund 2.000 kg Reinstickstoff pro Hektar benötigt.
- Die Dauerbegrünung (vor allem auch Winterbegrünung) ist eine unabdingbare Grundvoraussetzung, um Humusaufbau erreichen zu können. Dadurch wird auch der Stickstoff besser im System gehalten.

Das Potential der C-Fixierung in Böden:

In den letzten Jahren konnten wir lernen, dass das Potential zur C-Fixierung in Böden wesentlich höher ist, als wir ursprünglich angenommen hatten. Humusaufbau ist auch ohne Kompost möglich, wenn folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Dauerbegrünung mit sehr vielfältigen Gründüngerarten (mindestens 20 verschiedene Gemengepartner)
- Keine Einarbeitung von (unkompostierten) Grünmassen in den Boden - maximal eine oberflächliche (3 cm) Flächenrotte durchführen, besser nur niederwalzen und mulchen
- Mischkulturen anstelle von Monokulturen
- Verzicht auf Pflug
- Reduktion des Chemieeinsatzes so weit als möglich
- Aufbereitung der Wirtschaftsdünger (z.B. durch Fermentierung) und damit Verhinderung von Fäulnis

Ausblick

Im Durchschnitt haben unsere Landwirte den Humusgehalt um 0,1% pro Jahr erhöht – das sind rund 5 Tonnen CO₂ pro Hektar und Jahr. In Österreich beträgt das Potential der CO₂-Bindung in Böden somit 5,5 Mill. Tonnen pro Jahr – das entspricht rund 25% des derzeit durch den Verkehr verursachten CO₂-Ausstoßes.

Ein Drittel unserer Landwirte hat in den letzten Jahren aber 0,4% Humusanreicherung pro Jahr erzielt – damit wird das enorme Potential sichtbar, wenn die derzeit angewandte Methode noch verbessert wird.

Derzeit wird das Humusprojekt der Ökoregion Kaindorf im kleinen Rahmen (2.000 ha) umgesetzt. Es wurden aber die Grundlagen erarbeitet, um dieses Projekt flächendeckend einführen zu können.



Humusanreicherung sichtbar gemacht: links: Ausgangssituation, in der Mitte: nach 2 Jahren, rechts: nach 5 Jahren

Extract from Australian Farm Journal Edition 338 3 July 2008
 Auszug aus Australian Farm Journal Edition 338, 3. Juli 2008

Liquid carbon pathway

Christine Jones, PhD, Founder, Amazing Carbon, www.amazingcarbon.com

Zucker für das Bodenleben

Der Weg des Kohlenstoffs von der Pflanze in den Boden

Christine Jones, PhD, Gründerin von Amazing Carbon, www.amazingcarbon.com

[Der Weg, über den die Pflanze aus der Photosynthese über den Phloemstrom Kohlenstoffverbindungen in Form von Zuckern den Symbionten im Boden zur Verfügung stellt, Anmerkung der Übersetzung]

Übersetzung: Sibylle Maurer-Wohlatz (BUND) und Marion Senger (LWK Niedersachsen),
 19. Oktober 2018

The process whereby gaseous carbon dioxide is converted to soil humus has been occurring for millions of years. Indeed, it is the only mechanism by which deep topsoil can form.

Der Prozess, durch den gasförmiges Kohlendioxid in Humus im Boden überführt wird, vollzieht sich seit Millionen von Jahren. Tatsächlich ist dies der einzige Weg, wodurch ein mächtiger humoser Oberboden aufgebaut werden kann.

Not only is rebuilding carbon-rich topsoil a practical and beneficial option for productively removing billions of tonnes of excess carbon dioxide from the atmosphere, but when soils gain in carbon, they also improve in structure, water-holding capacity and nutrient availability. Understanding the soil building process is therefore of fundamental importance to the future viability of agriculture.

Der Wiederaufbau eines kohlenstoffreichen Oberbodens ist nicht nur eine praktikable und gute Möglichkeit, um Milliarden von Tonnen von überschüssigem Kohlendioxid aus der Atmosphäre zu binden. Gewinnen Böden an Kohlenstoff dazu, wird auch die Struktur, die Wasserhaltefähigkeit und die Nährstoffverfügbarkeit erheblich verbessert. Für eine zukunftsfähige Landwirtschaft ist es daher von grundlegender Bedeutung, die bodenbildenden Prozesse zu verstehen.

Building topsoil is a biological process

Der Aufbau des Oberbodens ist ein biologischer Prozess

'Biological carbon capture and storage' begins with photosynthesis, a natural process during which green leaves transform sunlight energy, carbon dioxide and water into biochemical energy. For plants, animals and people, carbon is not a pollutant, but the stuff of life. All living things are based on carbon.

In addition to providing food for life, some of the carbon fixed during photosynthesis can be stored in a more permanent form, such as wood (in trees or shrubs), or as humus (in soil). These processes have many similarities.

Die „Biologische Umwandlung und Speicherung von Kohlenstoff“ beginnt mit der Photosynthese, einem natürlichen Prozess. Grüne Blätter wandeln hierbei die Energie des Sonnenlichts, Kohlenstoffdioxid und Wasser in biochemische Energie um. Für Pflanzen, Tiere und Menschen ist Kohlenstoff nicht schädlich, sondern der Grundstoff allen Lebens. Alles Lebendige beruht auf Kohlenstoff.

Zusätzlich zur Nahrungsbereitstellung kann ein Teil des photosynthetisch gewonnenen Kohlenstoffs in dauerhaftere organische Verbindungen überführt werden. Der Kohlenstoff kann z. B. in Holz (Bäume oder Sträucher) oder als Humus (im Boden) gespeichert werden. Diese Prozesse weisen viele Gemeinsamkeiten auf.

1) Turning air into wood. The formation of wood requires photosynthesis to capture carbon dioxide in green leaves, followed by lignification, a biological process within the plant whereby simple carbon compounds are joined together into more complex and stable molecules to form the structure of the tree.

i) Die Grundlage zur Holzbildung aus „Luft“ ist die Photosynthese. Kohlendioxid wird in den grünen Blättern gebunden und schließlich lignifiziert. Dieser Prozess, durch welchen aus einfachen Kohlenstoffverbindungen komplexe und stabilere Moleküle zusammengefügt werden, ist ein rein biologischer Vorgang. Dieser Vorgang bildet die Gerüststruktur der Bäume aus.

ii) Turning air into soil. The formation of topsoil requires photosynthesis to capture carbon dioxide in green leaves, followed by exudation of simple sugars from plant roots and humification within biologically active soil aggregates. Humification is a process whereby simple carbon compounds are joined together into more complex and stable molecules. The formation of humus requires a vast array of soil microbes, including mycorrhizal fungi, nitrogen fixing bacteria and phosphorus solubilising bacteria, all of which obtain their energy from plant sugars (liquid carbon).

ii) Für die Oberbodenbildung aus „Luft“ ist ebenfalls die Photosynthese erforderlich. Kohlendioxid wird in den grünen Blättern gebunden und in Form einfacher Zucker über die Wurzeln ausgeschieden. Innerhalb biologisch aktiver Bodenaggregate erfolgt dessen Humifizierung. Die Humifizierung ist ein Prozess, bei dem einfache Kohlenstoffverbindungen zu komplexeren und stabileren Molekülen aufgebaut werden. Die Bildung von Humus erfordert eine Unmenge von Bodenmikroben, einschließlich mykorrhizierender Pilze, stickstofffixierenden Bakterien und Phosphor lösenden Bakterien, die alle ihre Energie aus in den Boden abgegebenen Pflanzenzuckern (in Flüssigkeit gelöster, also löslichem Kohlenstoff) beziehen.

How can it be that trees are still turning carbon dioxide into wood, but soils are no longer turning carbon dioxide into humus?

The answer is quite simple. In order for trees to produce new wood from soluble carbon, they must be living and covered with green leaves. In order for soil to produce new humus from soluble carbon, it must be living and covered with green, actively growing plants.

Wie kann es sein, dass Bäume laufend Kohlendioxid in Holz umwandeln, jedoch Böden Kohlendioxid nicht kontinuierlich zu Humus?

Die Antwort ist denkbar einfach: Damit Bäume neues Holz aus löslichem Kohlenstoff produzieren können, müssen sie leben und über grüne Blattmasse verfügen. Damit der Boden aus

löslichem Kohlenstoff neuen Humus produzieren kann, muss er belebt und mit grünen, aktiv wachsenden Pflanzen bedeckt sein.

Building stable soil carbon is a four-step process that begins with photosynthesis and ends with humification. Many broadacre agricultural production systems fail to build stable soil carbon at depth due to lack of sufficient photosynthetic capacity and/or the use of high rates of synthetic fertilisers or other chemicals that inhibit the plant-microbe bridge. These factors have been overlooked in most models of soil carbon sequestration.

Der Aufbau von stabilem Bodenkohlenstoff ist ein vierstufiger Prozess, der mit der Photosynthese beginnt und mit der Humifizierung endet. Viele großflächige landwirtschaftliche Produktionssysteme scheitern daran, tiefreichend stabilen Bodenkohlenstoff aufzubauen. Es fehlt ihnen die ausreichende photosynthetische Leistungsfähigkeit, weil u.a. große Mengen synthetischer Düngemittel oder Chemikalien eingesetzt werden, welche die Pflanze-Mikroben-Brücke hemmen.

Diese Faktoren werden bei den meisten Modellen zur Bodenkohlenstoffbindung übersehen.

The „biomass model“ **Das „Biomassemodell“**

Models designed to mathematically predict the movement of carbon in and out of soils are generally based on the assumption that carbon enters soil as ‘biomass inputs’, that is, from the decomposition of leaves, roots and crop stubbles. These models provide useful estimations of soil carbon fluxes in conventionally managed agricultural soils, but fail to account for the significant levels of carbon sequestration observed in soils actively fuelled by soluble carbon.

Modelle, die entwickelt wurden, die Kohlenstoffbewegungen in und aus dem Boden mathematisch vorherzusagen, beruhen im Allgemeinen auf der Annahme, dass Kohlenstoff als „Biomasse Input“ in den Boden gelangt. Dieser „Biomasse-Input“ entstammt der Zersetzung von Blättern, Wurzeln, und Ernterückständen. Diese Modelle liefern wertvolle Schätzungen zu den Kohlenstoffflüssen in konventionell bewirtschafteten landwirtschaftlichen Böden, aber eignen sich nicht, die erhebliche Kohlenstofffixierung abzubilden, die in den Böden beobachtet wurde, die aktiv durch löslichen Kohlenstoff gespeist werden.

When carbon enters the soil ecosystem as plant material (such as crop stubble), it decomposes and returns to the atmosphere as carbon dioxide. Hence the lamentation “my soil eats mulch”, familiar to home gardeners and broadacre croppers alike. While plant residues are important for soil food-web function, reduced evaporative demand and the buffering of soil temperatures, they do not necessarily lead to increased levels of stable soil carbon.

What is less well known is that mycorrhizal fungi can play an extremely important role in humification and soil building processes.

Gelangt Kohlenstoff in Form von pflanzlichem Material (wie Erntereste) in den Boden, wird er zersetzt und als Kohlendioxid wieder in die Atmosphäre zurückgegeben. Darin bestätigt sich die für Gärtner und Ackerbauern gleichermaßen zutreffende Klage „mein Boden frisst Mulch“. Pflanzenrückstände sind wichtig für die Bodennahrungsnetzfunktion, verringern

Verdunstung und gleichen die Temperatur im Boden aus. Sie führen aber nicht zwingend zur einer Erhöhung eines stabilen Kohlenstoffgehaltes im Boden.

Conversely, soluble carbon channelled into soil aggregates via the hyphae of mycorrhizal fungi can be rapidly stabilised by humification, provided appropriate land management systems are in place.

Löslicher Kohlenstoff hingegen dringt über die Hyphen von mykorrhizierenden Pilzen in die Bodenaggregate ein. Dort kann dieser Zucker-Kohlenstoff sehr schnell durch Humifizierung stabilisiert werden, insofern dies durch ein entsprechend angepasstes Landmanagementsystem unterstützt wird.

Mycorrhizal carbon

Mykorrhizierter Kohlenstoff

The types of fungi that survive in conventionally managed agricultural soils are mostly decomposers, that is, they obtain energy from decaying organic matter such as crop residues. As a general rule these kinds of fungi have relatively small hyphal networks. They are important for soil fertility and soil structure, but play only a minor role in carbon storage.

Die Pilzarten, die in konventionell bewirtschafteten landwirtschaftlichen Böden überleben, sind überwiegend Zersetzer. Das heißt, diese Pilze gewinnen ihre Energie aus der Umsetzung organischen Materials, wie z.B. Ernterückständen. Im Allgemeinen haben diese Pilze ein relativ kleines Netzwerk von Hyphen. Sie sind wichtig für die Bodenfruchtbarkeit und die Bodenstruktur, spielen jedoch eine untergeordnete Rolle für die Kohlenstoffspeicherung.

Mycorrhizal fungi differ quite significantly from decomposer fungi in that they acquire their energy in a liquid form, as soluble carbon directly from actively growing plants. There are many different types of mycorrhizal fungi. The species important to agriculture are often referred to as arbuscular mycorrhiza (AM), [previously known as vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM)]. The term VAM is no longer used as not all AM fungi have vesicles.

Mykorrhizierende Pilze unterscheiden sich signifikant von Zersetzer-Pilzen. Sie erhalten ihre Energie in flüssiger Form als löslicher Kohlenstoff direkt aus der Wechselbeziehung mit aktiv wachsenden Pflanzen. Es gibt viele verschiedene Typen von Mykorrhiza-Pilzen. Die für die Landwirtschaft bedeutende Spezies werden oft den Arbuskulären Mykorrhizen (AM) zugeordnet, [früher bekannt als versikuläre arbuskuläre Mykorrhiza (VAM)]. Der Begriff VAM wird nicht länger verwendet, da nicht alle AM Vesikel haben.

It is well known that mycorrhizal fungi access and transport water - plus nutrients such as phosphorus, nitrogen and zinc - in exchange for carbon from their living host. They also have the capacity to connect individual plants below ground and can facilitate the transfer of nutrients between species. This is one reason why above-ground diversity is important. Plant growth is usually higher in the presence of mycorrhizal fungi than in their absence.

Es ist allgemein bekannt, dass Mykorrhiza-Pilze Wasser erschließen und transportieren sowie Nährstoffe wie Phosphor, Stickstoff und Zink. Im Austausch erhalten sie organische Kohlenstoffverbindungen von ihrem lebenden Wirt. Sie haben außerdem die Eigenschaft einzelne

Pflanzen unterirdisch miteinander zu verbinden und den Transfer von Nährstoffen zwischen den Arten zu ermöglichen. Dies ist einer der Gründe, warum oberirdische Diversität von besonderer Bedeutung ist. Pflanzen wachsen in der Regel besser in der Gegenwart von Mykorrhiza-Pilzen, als bei ihrer Abwesenheit.

Weniger bekannt ist die extrem wichtige Rolle, die Mykorrhiza-Pilze bei der Humifizierung und bei bodenaufbauenden Prozessen spielen können.

Humification

Humifizierung

Under appropriate conditions, a large proportion of the soluble carbon channelled into aggregates via the hyphae of mycorrhizal fungi undergoes humification, a process in which simple sugars are resynthesised into highly complex carbon polymers. Humus polymers are made up of carbon and nitrogen from the atmosphere, combined with a range of minerals from the soil. These organo-mineral complexes form a stable and inseparable part of the soil matrix that can remain intact for hundreds of years.

Unter geeigneten Bedingungen ist ein großer Teil des löslichen Kohlenstoffes, der durch die Pilzhyphen in die Bodenaggregate gelangt, der Humifizierung ausgesetzt, ein Prozess, in dem einfacher Zucker in hochkomplexe Kohlenstoffpolymere resynthetisiert wird. Humuspolymere bestehen aus Kohlenstoff und Stickstoff aus der Atmosphäre, kombiniert mit einer Reihe von bodenbürtigen Mineralen. Diese organo-mineralischen Komplexe bilden einen stabilen und untrennbaren Teil der Bodenmatrix, der über hunderte von Jahren intakt erhalten bleiben kann.

[Polymer (aus vielen (gleichen) Teilchen) ist ein chemischer Stoff, der aus Makromolekülen besteht, Anmerkung Übersetzung]

Humified carbon differs physically, chemically and biologically from the labile pool of organic carbon that typically forms near the soil surface. Labile carbon arises principally from biomass inputs (such as crop residues) which are readily decomposed. Conversely, most humified carbon derives from direct exudation or transfer of soluble carbon from plant roots to mycorrhizal fungi and other symbiotic or associative microflora. It is 'microbial carbon' as opposed to 'plant carbon'.

Humifizierter Kohlenstoff unterscheidet sich physikalisch, chemisch und biologisch vom labilen oberflächennahen Pool des organischen Kohlenstoffes. Labiler Kohlenstoff entsteht prinzipiell durch Biomasse-Input (z. B. Erntereste, die leicht zersetzt werden). Umgekehrt, stammt der meiste humifizierte Kohlenstoff direkt aus den Exsudaten oder aus der Weitergabe von löslichem Kohlenstoff aus den Pflanzenwurzeln durch Mykorrhiza-Pilze und anderer symbiotischer oder assoziierter Mikroflora. Es handelt sich daher um „mikrobiellen Kohlenstoff“ im Gegensatz zu „Pflanzen-Kohlenstoff“.

Humus can form relatively deep in the soil profile, provided plants are managed in ways that encourage vigorous roots. Once atmospheric carbon dioxide is sequestered as humus it has high resistance to microbial and oxidative decomposition. The soil conditions required for humification are diminished in the presence of herbicides, fungicides, pesticides, phosphatic and nitrogenous fertilisers - and enhanced in the presence of root exudates and humic substances such as those derived from compost.

Humus kann sich relativ tief im Boden bilden, wenn Pflanzen so angebaut werden, dass starkes Wurzelwachstum gefördert wird. Wenn einmal atmosphärisches Kohlendioxid in Form von Humus gespeichert wird, ist dieser sehr widerstandsfähig gegen mikrobielle und oxidative Zersetzung.

Die Bodenbedingungen, die für Humifizierung notwendig sind, werden durch die Anwendung von Herbiziden, Fungiziden, Pestiziden sowie phosphat- und stickstoffhaltigen Düngern verschlechtert. [Auch durch intensive Bodenbearbeitung, wie durch Pflügen und intensives Mulchen mit dem Grubber etc., siehe auch 5 Wege zur Bodenfruchtbarkeit von Dr. Christine Jones, Anmerkung Übersetzung]. Die Bodenbedingungen werden hingegen durch Wurzel-exudate und humose Substanzen wie z. B. Kompost verbessert.

Yearlong Green

Ganzjährig Grün/Immergrün

The biological soil environment required for humus formation is supported by farm practices that promote diverse green cover for as much of the year as climate allows. Yearlong Green Farming practices include adaptive high density short duration grazing, pasture cropping and multi-species cover crops.

Remember, photosynthesis and the 'liquid carbon pathway' are the most important drivers for soil building. Living hosts (green plants) provide soluble carbon and the necessary habitat for colonisation by mycorrhizal fungi.

Eine bodenbiologische Umwelt, die günstig für die Humusbildung ist, wird durch landwirtschaftliche Praktiken gefördert, wie dem Anbau diverser grüner Bedeckung, soweit es die klimatischen Bedingungen erlauben. Zu einer „immergrünen Bewirtschaftung“ gehört intensive Kurzumtriebsbeweidung [bekannt als „Mobgrazing“, Anmerkung Übersetzung], dauerhaftes Grünland kombiniert mit einjährigen Kulturpflanzen (Mais, Getreide, Bsp. Hafer) [dieses System stammt von Colin Seis aus Australien, das Grünland befindet sich in einer Ruheperiode und das ausgesäte Getreide kann wachsen, Anmerkung Übersetzung] und der Anbau artenreicher Zwischenfruchtgemenge.

Zur Erinnerung: Photosynthese und der Weg des atmosphärischen Kohlenstoffs zu löslichem Kohlenstoff (Pflanzenzucker) im Boden sind die wichtigsten Treiber für den Bodenaufbau. Lebende Wirte (grüne Pflanzen) liefern löslichen Kohlenstoff und notwendigen Lebensraum für die Ansiedlung von Mykorrhiza-Pilzen.

Restoring soil

Wiederherstellen von Böden

Under appropriate conditions, 30-40% of the carbon fixed in green leaves can be transferred to soil and rapidly humified, resulting in rates of soil carbon sequestration in the order of 5-20 tonnes of CO₂ per hectare per year.

In some instances, high soil carbon sequestration rates have been recorded where there were virtually no 'biomass inputs', suggesting that the liquid carbon pathway was the primary mechanism for soil building.

Unter günstigen Bedingungen kann 30 bis 40% des Kohlenstoffs, der in grünen Blättern fixiert worden ist, in den Boden überführt und schnell humifiziert werden. Demzufolge können ungefähr 5 bis 20 Tonnen CO₂ pro Hektar pro Jahr als Kohlenstoff gebunden werden.

In einigen Fällen wurde von hohen Kohlenstoffbindungsraten im Boden berichtet, obwohl es nahezu keinen Biomasse-Input gab. Das lässt vermuten, dass hier der „Pfad des Pflanzenzuckers (löslicher Kohlenstoff)“ der primäre Mechanismus für die Bodenbildung war.

Every 27 tonnes of carbon sequestered biologically in soil represents 100 tonnes of carbon dioxide removed from the atmosphere. As a bonus, it also enables more reliable and profitable production of nutritious food.

Currently, most agricultural land is a net carbon source. That is, the soil is losing more carbon than it is sequestering. A biology-friendly approach to crop production - and carefully planned grazing of pastures and rangeland - would enable agricultural land to become a net carbon sink (that is, soil sequestering more carbon than it was losing).

27 Tonnen Kohlenstoff, die biologisch im Boden gebunden werden, entsprechen 100 Tonnen Kohlendioxid, die der Atmosphäre entzogen werden. Als ein Zusatznutzen wird damit eine verlässliche und profitable Produktion von nahrhaften Lebensmitteln möglich.

Zurzeit sind die meisten landwirtschaftlichen Flächen eine Nettokohlenstoffquelle. Das bedeutet, der Boden verliert mehr Kohlenstoff als er bindet. Eine das Bodenleben fördernde Art der Pflanzenproduktion sowie eine sorgfältig geplante Beweidung von Grünland und natürlichem Weideland [Grasland, Land mit Büschen, Prärie etc., Anmerkung Übersetzung] würde unsere landwirtschaftlichen Flächen in eine Nettokohlenstoffsene überführen (das heißt, dass mehr Kohlenstoff im Boden gebunden wird, als er wieder verliert).

If all farmland was a net sink rather than a net source for CO₂, atmospheric CO₂ levels would fall at the same time as farm productivity and watershed function improved. This would solve the vast majority of our food production, environmental and human health 'problems'.

Wenn alle Ackerflächen statt einer Nettoquelle eine Nettosenke für CO₂ wären, würde der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre sinken. Zugleich würde die Produktivität der Betriebe verbessert und die Austräge aus den Böden vermindert werden [Im Original Wasserhaushaltsfunktion verbessert, Anmerkung Übersetzung]. Das würde den größten Teil unserer Probleme im Bereich der Produktion von Lebensmitteln, Umwelt und Gesundheit lösen.

Find out more / Literaturliste

- ❖ Allen, M.F (2007) 'Mycorrhizal fungi: highways for water and nutrients in arid soils'. Soil Science Society of America, Vadose Zone Journal Vol 6 (2) pp. 291-297.
www.vadosezonejournal.org
- ❖ Leake, J.R., Johnson, D., Donnelly, D.P., Muckle, G.E., Boddy, L. and Read, D.J. (2004). Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. Canadian Journal of Botany, 82: 1016-1045.
doi:10.1139/B04-060
- ❖ Other articles by Dr. Christine Jones can be found at www.amazingcarbon.com
- ❖ Weitere Veröffentlichungen von Dr. Christine Jones unter www.amazingcarbon.com
- ❖ <https://www.abc.net.au/news/2018-11-02/probiotics-of-the-plant-world-soil-microbes-gaining-interest/10457558?pfmredir=sm>



Fotos SMW:

Frühe Weidenblüte mit Honigbiene,
Kornrade, Phacelia mit Hummel &
Inkarnatkle / Mohn: Wertvolle
Gründünger- und Nektarpflanzen
für Wildbienen und Co
für Humusaufbau & Artenschutz



Impressum

BUND Region Hannover
Goebenstr. 3a – 30161 Hannover
bund.hannover@bund.net
www.bund-hannover.de

Redaktion:

Silke Dahl
Sibylle Maurer-Wohlitz

Layout:

Dietrich Wohlitz

Klimaneutral gedruckt:

dieUmweltDruckerei.de
Kompensation von Treibhausgasemissionen durch
zusätzliche Klimaschutzprojekte.
CO₂-Äquivalente 141 kg. Unterstütztes Klimaschutzprojekt:
Waldschutz April Salumei Papua-Neuguinea
ClimatePartner-ID 12312-1811-1016

Bund für
Umwelt und
Naturschutz
Deutschland



FRIENDS OF THE EARTH GERMANY



ClimatePartner.com/12312-1811-1016