

C-Sequestrierung in landwirtschaftlich genutzten Böden

In unseren Böden ist dreimal mehr Kohlenstoff gebunden als in der Atmosphäre. Die Humusversorgung von Ackerbauflächen ist somit nicht nur wichtig für die Fruchtbarkeit und den Ertrag, sondern dient auch als wichtige CO₂-Senke. Welche Zusammenhänge bestehen zwischen langjähriger landwirtschaftlicher Bewirtschaftung, Humushaushalt, biologischen und physikalischen Bodenparametern, auf die Kohlenstoffgehalte und Kohlenstoffspeicherung im Boden? Prof. Kurt-Jürgen Hülsbergen vom Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme der Technischen Universität München berichtet über seine Forschung.

Die Bedeutung des Humus liegt in der komplexen Beeinflussung nahezu aller Bodeneigenschaften und -funktionen. Stoffumsatzprozesse in Böden werden durch die Zufuhr organischer Substanzen nachhaltig aktiviert. Die Humusversorgung ackerbaulich genutzter Böden dient der Ertragssicherung und hat - insbesondere durch die Steuerung des C (Kohlenstoff)- und N (Stickstoff)-Umsatzes - auch eine ökologische Relevanz. Kennzahlen zur Humusversorgung werden daher als wichtige Agrar-Umweltindikatoren angesehen. Aufgrund der vielfältigen Wirkungen ist eine geordnete, standortangepasste Humuswirtschaft in landwirtschaftlichen Betrieben eine wesentliche Grundlage für die Sicherung einer nachhaltigen pflanzlichen Produktion.

In der Klimadiskussion ist die Möglichkeit der Speicherung von CO₂ (Carbon Sequestration) aus der Atmosphäre im Humus in den Vordergrund gerückt. Die global in Böden gebundene Kohlenstoffmenge (2.500 Gt, eine Gigatonne ist eine Milliarde Tonnen) übertrifft die in der Atmosphäre enthaltene C-Menge (760 Gt) um das 3,3 fache, die im biotischen Pool gebundene C-Menge (560 Gt) um das 4,5 fache.

Humus ist ein CO₂-Speicher

Pflanzen binden in der Photosynthese CO₂ aus der Luft. Ein Teil dieses Kohlenstoffs gelangt als Wurzeln, Wurzelausscheidungen, Stoppeln, Stroh oder über den innerbetrieblichen Stoffkreislauf als Wirtschaftsdünger in den Boden.

Durch die Bodenorganismen werden diese organischen Substanzen zersetzt und mineralisiert, zugleich läuft aber auch der Prozess der Humusbildung ab, wobei hochmolekulare Substanzen entstehen, die sehr abbaustabil sind und Jahrzehnte im Boden überdauern können. Im Humus ist somit CO₂ der Atmosphäre gespeichert.

Ackerbauliche und ökologische Funktionen des Humus

Humus übt zahlreiche ökologische Funktionen aus:

- als Speicher und Transformator von Nährstoffen, insbesondere von Stickstoff, Schwefel und Phosphor: Nährstoffnachlieferung und Verbesserung der Nährstoffausnutzung, wichtiger N-Pool im Stickstoffkreislauf mit 95 bis 98 Prozent des Gesamt-N des Bodens,
- als Filter und Puffer: Immobilisierung und Entgiftung toxischer Substanzen,
- als CO₂-Senke: C-Speicherung und Beeinflussung des CO₂-Haushaltes der Atmosphäre,
- durch die Förderung der bodenbiologischen Aktivität: erhöhter mikrobieller Umsatz und Besiedlung durch die Bodenfauna bei guter Humusversorgung, damit verbundene phytosanitäre Wirkungen,
- beim Aufbau eines günstigen Bodengefüges: erhöhte Aggregatstabilität, gute Bodendurchlüftung, verbesserte Wasserspeicherung und Durchwurzelbarkeit; verminderte Bodenerosion durch geringere Verschlammungsneigung, höhere Infiltrationsrate und geringeren Oberflächenabfluss. Die Gefahr der Bodenschadverdichtung kann bei optimaler Humusversorgung vermindert werden.

In Dauerfeldversuchen (Feldexperimente mit mehr als 20 Jahren Versuchsdauer) können die Zusammenhänge zwischen langjähriger Bewirtschaftung, Humushaushalt, Bodenparametern und der Ertragsbildung analysiert werden.

Der Dauerfeldversuch gibt Antworten

Im Dauerfeldversuch Seehausen haben sich nach mehr als 30 Jahren differenzierter ackerbaulicher Nutzung sehr unterschiedliche C_t -Gehalte (Gesamt-Kohlenstoff) eingestellt.

Variiert wurde unter anderem die organische Düngung (ungedüngt bis zu maximalen Stallmistgaben in Höhe von $150 \text{ g N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$).

Tabelle 1: Beziehungen zwischen C_t -Gehalten und Bodeneigenschaften, Korrelationskoeffizienten r (n = 64), Dauerdüngungsversuch Seehausen (Hülsbergen 2003)

	Bodenchemische Parameter					
	C_{hwl}	N_t	N_{hwl}	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	N_{min}
C_t	0,93	0,98	0,91	0,72	n.s.	0,68
	Bodenbiologische Parameter			Bodenphysikalische Parameter		
	C_{mik}	Katalaseaktivität	Regenwurmabundanz	Trockenrohdichte	Porenvolumen	Grobporenvolumen
C_t	0,66	0,83	0,37	-0,50	0,50	0,36

Auf den Parzellen mit hohen C_t - und Humusgehalten ist die bodenbiologische Aktivität erhöht (Tabelle 1). Die mikrobielle Biomasse (C_{mik}), die Enzymaktivität (z.B. Katalaseaktivität) sowie die Abundanz (Anzahl der Individuen einer Art, bezogen auf ihr Siedlungsgebiet) und Biomasse der Regenwürmer korrelieren mit den C_t -Gehalten. Auch die bodenphysikalischen Parameter wurden durch hohe organische Düngung und hohe Humusgehalte positiv beeinflusst. Beispielhaft sind in Tabelle 1 die Trockenrohdichte und die Porenvolumina angeführt.

Einflussfaktoren auf die Humusgehalte

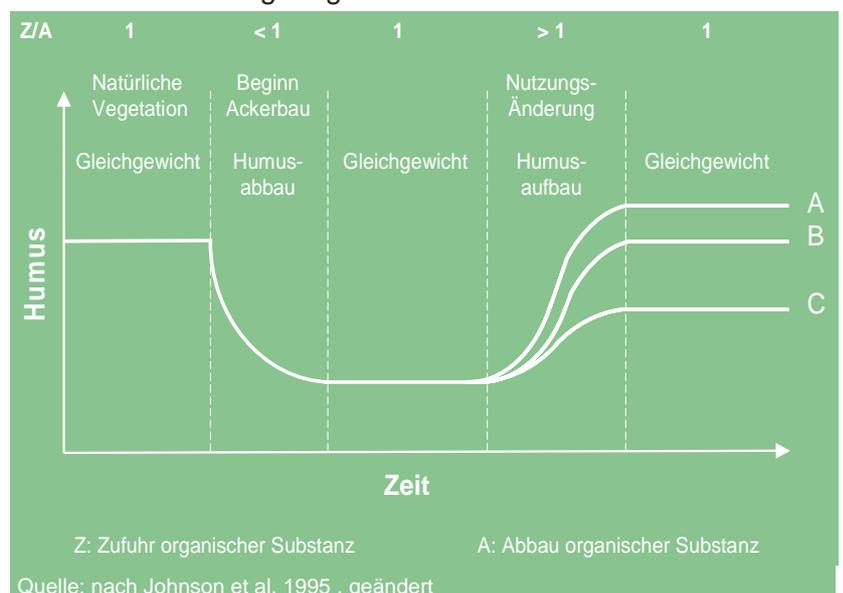
Die Entwicklung der Humusgehalte in Ackerböden hängt von vielen Faktoren ab: den Standortbedingungen, den Humus-Ausgangsggehalten, der Fruchtfolge, der Düngung, der Bodenbearbeitung. Zwei Faktoren steuern die Humusmenge im Boden, die Zufuhr organischer Substanz (Menge und Qualität) sowie der Abbau der organischen Bodensubstanz. Mit Beginn des Ackerbaus vermindert sich gegenüber der natürlichen Vegetation fast immer die Humusmenge; vor allem die Bodenbearbeitung führt zu höherer Mineralisierung. Nach Jahrzehnten gleichbleibender Flächennutzung stellen sich neue Humusspiegel (Fließgleichgewichte) im Boden ein.

Es ist belegt, dass viele Böden, zum Beispiel in den USA und Kanada, 30 bis 50 Prozent der ursprünglichen Humus- und C-Menge durch ackerbauliche Nutzung verloren haben. Eine Humusakkumulation kann erreicht werden, wenn der Ackerbau auf eine humusmehrende Bewirtschaftungsweise umgestellt wird. Um den Kohlenstoff dauerhaft zu speichern, darf nicht wieder auf eine humuszehrende Bewirtschaftung umgestellt werden.

Nicht in jedem Fall wird es möglich sein, Humusgehalte zu erhöhen, insbesondere dann, wenn der Humusspiegel bereits sehr hoch ist.

Die acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen besitzen unterschiedliche Potentiale der Humusanreicherung und der CO_2 -Bindung (Tabelle 2). Besonders durch die Umstellung von Ackerbau- auf Grünlandnutzung kann sehr viel Kohlenstoff gebunden werden. Bei der organischen Düngung spielt die Qualität (z. B. Stallmist, Kompost) eine große Rolle für die Humusersatzleistung.

Die Möglichkeiten der Humusanrei-



cherung durch reduzierte Bodenbearbeitung wurden in der Vergangenheit überschätzt. Die Umstellung auf pfluglose Bearbeitung bzw. auf Direktsaat bewirkt eine Umverteilung der organischen Substanz im Bodenprofil. Es kommt zu einer C-Anreicherung in den oberflächennahen Schichten, zumeist begleitet von einer C-Abreicherung in tieferen Schichten, so dass der Nettoeffekt auf die Humusmenge gering ist.

Die Klimarelevanz der C-Sequestrierung

Abschließend soll die Bedeutung der C-Bindung zur Minderung der Treibhausgas-Emissionen an einem Beispiel erläutert werden (Abbildung 1). Es handelt sich um Ergebnisse einer Untersuchung in 28 Betrieben des Tertiärhügellandes in Bayern. Dargestellt sind die Emissionen klimarelevanter Gase im Pflanzenbau ökologisch (öko) und konventionell (kon) bewirtschafteter Betriebe. Berücksichtigt wurden die CO₂-Emissionen durch den Einsatz fossiler Energie, die N₂O-Emissionen in Abhängigkeit vom Stickstoffeinsatz sowie die C-Bindung im Humus.

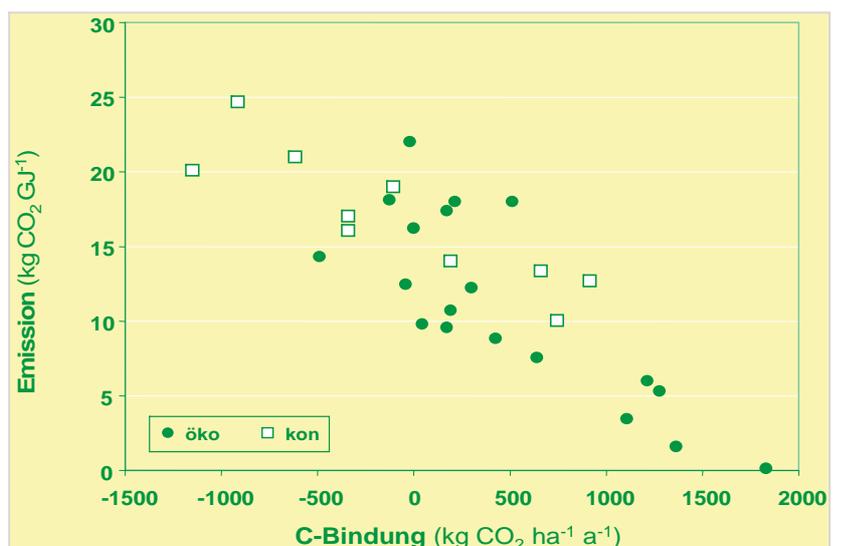
Tabelle 2: Potentiale der C-Bindung zusammengestellt anhand eigener Messungen und der Literatur		
Maßnahme	C-Bindung t ha ⁻¹ a ⁻¹	Erläuterungen
Umwandlung von Ackerland in Grünland, begrünte Dauerbrache	> 1,0	dauerhafte Bodenbedeckung und Zufuhr organischer Substanz, fehlende Bodenbearbeitung
Anbau mehrjähriger Leguminosen und deren Gemenge mit Gräsern	> 0,5	abhängig vom Ertrag, der Nutzungsdauer und der Bestandeszusammensetzung
Düngung mit Stalldung und Komposten	> 0,5	abhängig von der Menge und der Qualität der organischen Substanz
Reduzierte Bodenbearbeitung (pfluglos, Direktsaat)	0 bis 0,25	abhängig vom Standort (Boden, Klima), der Fruchtfolge und Düngung
Umstellung auf ökologischen Landbau	0 bis 0,5	abhängig von der Vorbewirtschaftung (dem Humus-Ausgangsgesamt) sowie der Art des ökologischen Landbaus (Struktur, Intensität, Anbauverfahren)

Die CO₂- und N₂O-Emissionen bzw. die C-Bindung wurden in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Die C-Bindung hat nach unseren Untersuchungen starken Einfluss auf die CO₂-Emissionen. Mit steigender C-Bindung im Humus gehen die produktbezogenen CO₂-Emissionen zurück. Einige Ökobetriebe mit positiver Humusbilanz wirtschaften nahezu CO₂-neutral. In den Betrieben mit den höchsten Treibhauspotentialen je Produkteinheit sind die Böden eine CO₂-Quelle (negative Humusbilanz). Die Ökobetriebe emittieren je Flächeneinheit (ha) deutlich weniger CO₂ als die konventionellen Betriebe, nicht aber je Produkteinheit. Hier zeigt sich vielmehr, vor allem aufgrund des Ertragseinflusses, eine enorme Variabilität der CO₂-Emissionen. Offenbar bestehen auch im ökologischen Landbau CO₂-Minderungspotentiale, was angesichts der Vielfalt der Ökobetriebe auch nicht verwundert.

Die Schlussfolgerungen

Bei der Berücksichtigung der Kohlenstoffspeicherung in Böden als Klimaschutzleistung besteht eine grundsätzliche Schwierigkeit in der Nachweisführung, weil Humusanreicherungen oftmals erst nach Jahrzehnten analytisch bestimmbar sind.

Die räumliche und zeitliche Variabilität der Humus- und C_{org}-Gehalte auf Nutzflächen erschwert den sicheren Nachweis einer Kohlenstoff-Akkumulation. Wichtig in diesem Zusam-



menhang ist die Ableitung standortspezifischer Richtwerte für den Humusgehalt landwirtschaftlich genutzter Böden. Zudem wäre der Aufbau eines Messnetzes zur Analyse der langfristigen C-Dynamik in Böden unterschiedlicher Standorte und Nutzungsformen empfehlenswert.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht im Bereich der C-Modellierung und Humusbilanzierung. Derzeit verfügbare Humusbilanzmethoden berücksichtigen zu wenig die Standortbedingungen und die Verfahrensgestaltung und für Anbausysteme des ökologischen Landbaus müssen die Bilanzparameter und die Bewertungsansätze angepasst werden.

Ferner ist zu beachten, dass die Humusanreicherung immer zeitlich limitiert ist; die Böden haben eine begrenzte Speicherkapazität. Dennoch könnte mit der C-Sequestrierung von Ackerböden für die kommenden 20 bis 30 Jahre ein bedeutsames Minderungspotential erschlossen werden. Die Diskussion sollte aber keinesfalls dazu führen, die C-Speicherung im Humus mit CO₂-Emissionen anderer Wirtschaftsbereiche zu verrechnen, weil dies notwendigen Emissionsminderungen entgegenwirken würde.

Ein entscheidender Vorteil der C-Sequestrierung besteht darin, dass nicht nur CO₂-Minderungspotentiale erschlossen werden. Die Humusanreicherung beinhaltet viele weitere ökologische Vorteile, beispielsweise eine verbesserte Bodenstruktur und Wasserspeicherkapazität, sowie höhere Ertragspotentiale. Besonders unter den Bedingungen der zu erwartenden Klimaänderungen können optimal mit organischer Substanz versorgte Böden den Einfluss von Witterungsextremen besser abpuffern, als Böden in schlechtem Kulturzustand. (KH; veröffentlicht in: INPUT 01/10; HUMUSS Nr. 23 2010)

Quelle: H&K aktuell 01/2_2011, Seite 1-4

Zum Autor

Prof. Dr. agr. habil. Kurt-Jürgen Hülsbergen ist seit 2007 Studiendekan der Fakultät Agrar- und Gartenbauwissenschaften am Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme im Wissenschaftszentrum Weihenstephan (Technische Universität München).



Schwerpunkte seiner Forschungsarbeiten sind unter anderem die Klimawirkungen des ökologischen und konventionellen Landbaus sowie Untersuchungen zu den Emissionen klimarelevanter Gase in vier Agrarräumen mit jeweils 40 ökologischen und 40 konventionellen Betrieben.

Kurt-Jürgen Hülsbergen ist wissenschaftlicher Beirat für Düngungsfragen des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten sowie Mitglied im Bundesfachausschuss zur Weiterentwicklung der Grundlagen des organisch-biologischen Landbaus.

Ende 2010 ist Prof. Dr. Hülsbergen in die neu gegründete Kommission für Landwirtschaft am Umweltbundesamt (KLU) als Mitglied berufen worden.