

Kohlenstoffspeicherung und Humusbildung im Boden - die besondere Rolle der Leguminosen

Humus ist ein entscheidender Faktor für die Bodenfruchtbarkeit; er spielt im Ökolandbau deswegen eine zentrale Rolle. Der Eintrag und die Speicherung von Kohlenstoff im Boden in Form von Dauerhumus wird auch oft in Zusammenhang mit dem Klimawandel und der Reduktion von CO₂ in der Atmosphäre diskutiert. Die Erhöhung der Humusgehalte in Böden weltweit könnte dem Klimawandel entgegenwirken, dabei gleichzeitig die Bodenfruchtbarkeit erhöhen und durch die erhöhte Wasseraufnahme- und -speicherfähigkeit auch die Auswirkungen des Klimawandels abpuffern. Klingt verlockend und überzeugend. Zur tatsächlich klimarelevanten Erhöhung der Humusgehalte braucht es jedoch auch den Anbau geeigneter Kulturen auf der Fläche. In diesem Zusammenhang ist die über- und mehrjährige Bewirtschaftung von überragender Bedeutung. Durch viele neue Erkenntnisse im Bereich der Bodenwissenschaften in den letzten Jahren wird im Zusammenhang mit dem Kohlenstoffeintrag und der Bildung von Dauerhumus aber auch die Rolle des Stickstoffs immer deutlicher.

Humustheorie

Früher war man der Annahme, sehr schwer abbaubare Kohlenstoff-Verbindungen wie Lignin werden in Huminstoffe umgewandelt und diese seien die entscheidenden Komponenten der langlebigen Kohlenstoffverbindungen. Es hat sich allerdings herausgestellt, dass vor allem einfache und leicht abbaubare organische Substanzen wie Wurzelausscheidungen und abgestorbene Bodenmikroorganismen zur Dauerhumusbildung beitragen (Abb. 1, 2). Diese werden entweder chemisch über z.B. Calcium-Verbindungen an Mineralien gebunden - man spricht von Ton-Humus-Komplexen - oder physikalisch über Klebstoffe, wie das von Mykorrhiza-Pilzen produzierte Glomalin, verkittet und so vor weiterem Abbau geschützt.

Abgestorbene mikrobielle Biomasse macht mit ihrer chemischen Bindung an Bodenminerale über 50% des organischen Bodenkohlenstoffs aus, der in dieser Form 10-100 Jahre erhalten bleibt. Es stellt sich also zunehmend heraus, dass die Förderung des Bodenlebens und eine Optimierung des Stoffumsatzes im Boden auch der effizienteste Weg ist, Dauerhumus zu bilden und den Kohlenstoff langfristig zu fixieren. Und genau hier kommt auch der Stickstoff ins Spiel:



Abb. 1 Boden-Evaluierung und Humus-Check

C/N-Verhältnis

Das Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis (kurz C/N-Verhältnis) beschreibt den Anteil an Stickstoff in organischer Masse. Grob kann man sagen, je enger das C/N-Verhältnis, also je mehr Stickstoff in Relation zum Kohlenstoff vorhanden ist, umso einfacher und schneller ist die organische Substanz von Bodenorganismen abbaubar. Auch Mikroorganismen brauchen Stickstoff, um organisches Material zersetzen, verstoffwechseln und sich vermehren zu

können. Die Güllegabe zur Strohrotte bewirkt genau ebendiesen Effekt: Getreidestroh hat ein sehr hohes C/N-Verhältnis von über 50 bis 100. Es braucht zusätzlich N, um den Abbau bewerkstelligen zu können, entweder noch im Boden verfügbar oder von außen zugeführt. Fehlt der Stickstoff, oder sind die Lebensbedingungen für Mikroorganismen generell schlecht (z.B. fehlender Sauerstoff durch Verdichtung oder Staunässe), geht der Abbau der organischen Masse nicht oder nur schlecht vor sich.

Längerfristig stellt sich in Böden je nach Bodenart und Bewirtschaftung ein bestimmtes C/N-Verhältnis der vorhandenen organischen Substanz ein. In Ackerflächen bewegt sich dies meist in einem Bereich von ca. < 10-12 C/N. Um Dauerhumus aufbauen zu können, reicht es nicht, kohlenstoffhaltiges Material anzureichern; es braucht auch eine entsprechende N-Zufuhr, damit die Mikroorganismen das Material auch zügig umsetzen und dabei auch selbst zu Dauerhumus werden zu können (Abb.2).

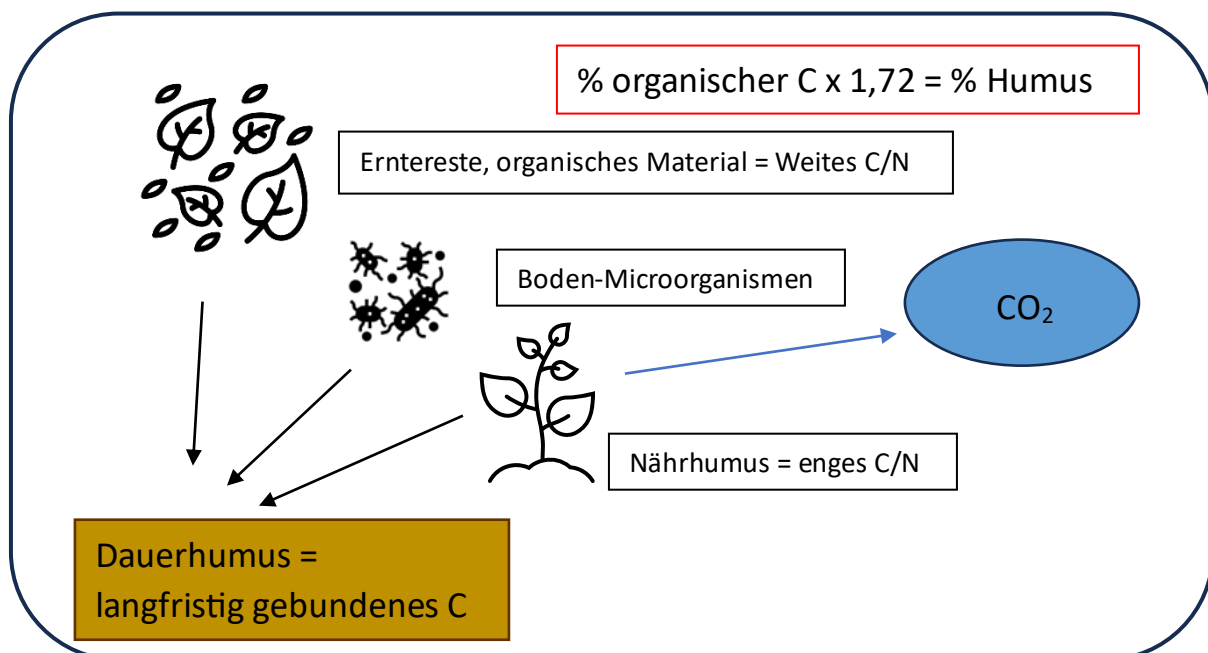


Abb. 2 Bodenkohlenstoff und Humus. Organisches Material aus Ernterückständen, abgestorbenen Wurzeln, organischer Düngung, etc. mit einem weiten C/N – Verhältnis wird durch die Boden-Mikroorganismen abgebaut. Dabei wird für das Pflanzenwachstum wertvoller Nährhumus mit einem engen C/N-Verhältnis gebildet. Bei diesem Prozess geht auch Kohlenstoff (C) durch Bildung von gasförmigem CO₂ verloren. Dauerhumus, der bis zu 100 Jahre stabil im Boden bleibt, und damit ein perfekter Kohlenstoffspeicher ist, kann durch abbaustabiles Pflanzenmaterial, durch abgestorbene Mikroorganismen oder durch Bindung von Huminstoffen an Bodenpartikel entstehen.

Kohlenstoff-Fixierung und Leguminosen

In ökologischen Systemen kommt die N-Zufuhr v.a. durch Leguminosen zustande, die durch ihre Knöllchenbakterien N aus der Luft binden und einen Teil davon dann auch, nach Absterben der Pflanze, in den Boden abgeben können. Auf ökologisch wirtschaftenden Betrieben ist

Stickstoff deswegen in der Regel ein begrenzender Faktor. Es bedarf deshalb ausreichend Stickstoff, um organisch gebundenen Kohlenstoff in Dauerhumus überführen zu können. Ansonsten wird für den Abbau der C-haltigen organischen Masse Stickstoff aus Dauerhumus genutzt, es entsteht dann aber kein Netto-Gewinn. Leguminosen haben in der Regel ein enges C/N-Verhältnis zwischen 10 und 20 und tragen damit entscheidend zur effizienten N-Versorgung der Bodenfauna und -flora bei. Dadurch leisten sie indirekt einen essenziellen Beitrag zur Umsetzung organischer Masse und damit zur N-Versorgung nachfolgender Kulturen wie auch zum Aufbau von Nähr- und Dauerhumus (Abb. 2). Leguminosen mehren organische Bodensubstanz (Input von Kohlenstoff und Stickstoff), nicht-legume Zwischenfrüchte erhalten organische Substanz (Verhinderung von N-Auswaschung).

Wie gelingt die Speicherung von Kohlenstoff im Boden?

Dauer des Anbaus bzw. der Brache:

Grundsätzlich besteht ein Zusammenhang mit der Dauer des Anbaues, der Beständigkeit des durchgehenden Pflanzenwachstums und des C-Gehaltes im Boden. So weisen Ackerböden in 0-30 cm Tiefe im Durchschnitt 61 t Kohlenstoff/ha auf, während Grünlandböden in derselben Tiefe durchschnittlich 88 t C/ha speichern, das heißt Grünland reichert im Mittel um 31% mehr Kohlenstoff an als landwirtschaftliche Böden mit wechselnden oder annuellen Feldfrüchten. Insbesondere die mechanische Bearbeitung, aber auch Zeiten fehlenden oder nur schwachen Wachstums (z.B. Saat und Feldaufgang) sind für die geringeren Humusgehalte in Ackerböden



entscheidend.

Körnerleguminosen tragen deutlich weniger zur Humusbildung bei als mehrjährige Feinleguminosen (wie Rotklee, Luzerne). Grund dafür ist sowohl die kürzere Standzeit als auch das geringere Wurzelbildungsvermögen. Laut Untersuchungen der Justus-Liebig-Universität Gießen kann es unter Umständen in Körnerleguminosen-Fruchtfolgen teils sogar zu Abnahmen des Humusgehaltes kommen (Abb. 3).

Abb. 3 Erbse auf dem Feld

Wurzelwachstum (-masse):

Je intensiver der Boden durchwurzelt ist, umso mehr organische Masse kann in den Boden transferiert werden. Diese Wurzelmasse ist es vor allem, die zu langlebigem Boden-Kohlenstoff und damit zu Dauerhumus beiträgt, betont Axel Don vom Thünen Institut. Die Wurzel-Biomassen unterscheiden sich beträchtlich zwischen verschiedenen Kulturen und sind sogar zwischen Leguminosen-Arten unterschiedlich, so kann Luzerne mit satten 600 g Trockenmasse/m² (vs. z.B. Rotklee mit 100 g TM/m²) besonders gut zum Kohlenstoff-Eintrag

beitragen. Die Standzeit einer Kultur bzw. Mischung hat ebenfalls Auswirkungen auf die Entwicklung der Wurzelmasse. Hier haben mehrjährige Futterleguminosen-Mischungen die Nase vorn. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch, Verdichtungen zu vermeiden, um eine möglichst gute Entwicklung der Wurzeln zu erreichen.

Durchwurzelung verschiedener Bodenschichten:

Nicht nur der Oberboden mit häufigem Kohlenstoff-Eintrag (Erntereste, Gründüngung, Laub, etc.) ist maßgeblich an der Speicherung von organischem Kohlenstoff beteiligt, sondern auch der Unterboden. Gerade hier spielt der C-Eintrag durch tiefwurzelnde Pflanzen und die Bodenfauna für die langfristige Kohlenstoffspeicherung eine große Rolle. Der potenzielle C-Gewinn durch den Anbau tiefwurzelnder Fruchtarten beträgt über 2 t CO₂ pro ha und Jahr. Eingebrachter Kohlenstoff wird dann wesentlich weniger durch Sauerstoff-Eintrag oxidiert und zu CO₂ umgewandelt – und stellt somit eine stabilere C-Senke als bei Flachwurzlern dar. Feldfutterleguminosen und Leguminosen-Komponenten einer Zwischenfruchtmischung wurzeln mitteltief bis tief, was zu einer positiven Auswirkung in Bezug auf die Kohlenstofffixierung führt.

Bodenbearbeitung - nur so viel wie nötig

Durch intensive mechanische Bearbeitung werden Bodenaggregate aufgebrochen und chemisch oder physikalisch gebundenes organisches Material wird mikroorganismen- und pflanzenverfügbar, es wird Humus mineralisiert und abgebaut. Das fördert das Wachstum der Kulturen – geht aber auf Kosten des organischen Kohlenstoffgehalts, wenn es nicht über den Anbau entsprechender humusmehrender Kulturen oder die Rückführung über Wirtschaftsdünger oder Komposte mindestens kompensiert wird.

Ausreichend Stickstoff bzw. in Summe ein ausgewogenes C/N-Verhältnis

Für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit ist die angemessene Zuführung von Stickstoff- und Kohlenstoffquellen entscheidend. Sowohl Leguminosen als auch org. Dünger spielen dabei eine wichtige Rolle. Gerade Biolandwirte müssen hier jedoch mit Bedacht vorgehen, da ein zu hoher Leguminosen-Anteil in der Fruchtfolge langfristig auch zu großen Problemen mit Leguminosen-Müdigkeit führen kann. Eine zu kohlenstofflastige Zufuhr organischen Materials auf der anderen Seite kann zu Ertragseinbußen durch unzureichend verfügbaren Stickstoff für die Kultur führen. Hervorzuheben ist aber auch in diesem Zusammenhang die Bedeutung mehrjähriger Futterleguminosen-Mischungen wie Klee- oder Luzernegrass für den Humusaufbau.

Erstellt von:

Dr. Bettina Fähnrich
Stefan Lemmerer