

HUMUS, DAS „SCHWARZE GOLD“

Christoph Felgentreu, Jan Hendrik Schulz - Bückwitz

Landwirte haben die Wahlfreiheit mit welchen ökologischen Ausgleichsmaßnahmen sie „Greeningkonformität“ erreichen wollen. Nach Angaben des Bundeslandwirtschaftsministeriums wurden 2015 etwa 1,37 Mio. ha als Ökologische Vorrangfläche genutzt und davon allein 930.000 ha mit Zwischenfrüchten bzw. Untersaaten angesät. Nach Wichtung (Faktor 0,3) sind das etwa 40 % aller im Rahmen des Greenings erfolgten Maßnahmen.

Die Nutzung von Zwischenfrüchten bzw. Untersaaten auf diesem hohen Niveau überrascht nicht, denn die Themen Bodenfruchtbarkeit, Biodiversität und Fruchtfolgegestaltung sind in vielen Betrieben längst ein wichtiger Bestandteil moderner und innovativer Landbewirtschaftung. In diesem Zusammenhang wird gerne auf die Humusbilanz bzw. die Humusbildung hingewiesen. Zwischenfrüchte und Untersaaten werden mit einem Humusäquivalent von bis zu 450 kg C/ha und Jahr angerechnet. Rechnerisch wird damit

z.B. der Ausgleich sogenannter Humuszehrer erreicht und damit auch Cross Compliance gerecht gearbeitet. Das ist die mathematische Seite und die sollte den Landwirt auch nur aus dieser Sicht interessieren, denn die biologische ist eine andere, die entscheidendere Seite für den Landwirt. Humus ist vor allem in ariden Gebieten ein wichtiger Wasser- und Nährstoffspeicher und verbessert darüber hinaus auch die physikalischen sowie biologischen Eigenschaften eines Bodens. Ob und wie viel der zugeführten organischen Sub-

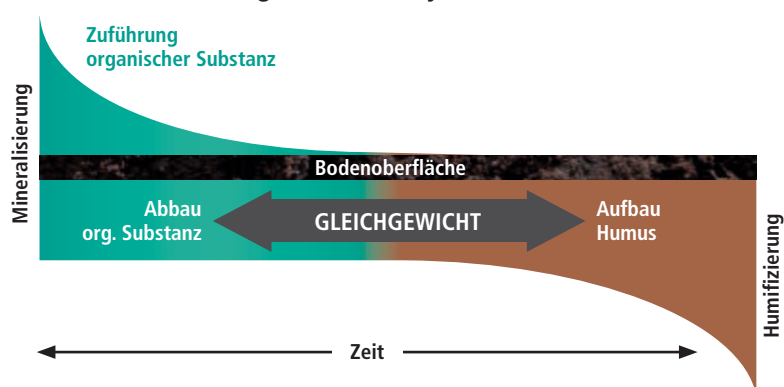
stanz auch wirklich zu Nähr- bzw. Dauerhumus wird, ist von vielen Faktoren abhängig.

Die wichtigsten Faktoren sind

- > Standort (Region/Bodenbeschaffenheit/Bodenart)
- > Klima/Witterung
- > pH-Wert
- > Art und Häufigkeit der Bodenbearbeitung (Sauerstoffeintrag)
- > Stickstoffdüngung in Abhängigkeit der Stickstoffform (mineralisch) und Art der Applikation (mineralisch und organisch)
- > Aktuelle biologische Situation des Bodens
- > Nährstoffbalance des Bodens
- > Menge und Qualität der Zufuhr an organischer Substanz
- > C/N-Verhältnis der organischen Substanz
- > Fruchtfolgegestaltung

Allein an diesen 10 Einflussgrößen kann man erkennen, dass sich die Humusbildung nicht allein am Schreibtisch erfassen lässt. An einigen ausgewählten Einflussfaktoren soll das dargestellt werden. Die Bedeutung des C/N-Verhältnisses im Boden

Abb. 1: Gesetzmäßigkeit humusdynamischer Prozesse



Quelle: Verändert nach Dr. Ulrich Völker, 1977

Boden



C/N-Verhältnis

Gewichtsanteile von Kohlenstoff und Stickstoff im Boden oder in Pflanzenteilen. Indikator der Stickstoffverfügbarkeit: je kleiner die Zahl, desto enger ist das C/N – Verhältnis und umso mehr Stickstoff steht zur Verfügung.



und in den organischen Ausgangsprodukten für die Humusbildung ist bisher unzureichend aufgeklärt. Das C/N-Verhältnis im Ackerboden liegt im Mittel bei 10/1. Wenn man eine Trockenrohddichte von 1,5 g/cm³ unterstellt und eine Krumentiefe von 30 cm, dann sind das 4.500 t Boden/ha. Bei einem angenommenen Gehalt an organischer Substanz (Humus) von 3 % ergeben sich 135.000 kg/ha. Der Umrechnungsfaktor (Mittelwert) zu Kohlenstoff (C_{org}) beträgt 0,58 und damit beträgt der rechnerische Kohlenstoffgehalt 78.300 kg/ha. Bei einem C/N-Verhältnis von 10/1 haben wir demzufolge 7.830 kg N im Boden gespeichert. Das wiederum bedeutet, dass für die Steigerung des Humusgehaltes um nur 1 % in unserem Modellboden ca. 2.600 kg N/ha benötigt werden. An dieser Modellrechnung ist zu erkennen, dass die Erhöhung des Humusgehaltes nicht nur von vielen langfristig wirkenden dynamischen Faktoren abhängt, sondern insbesondere der Stickstoffkreislauf im Boden dabei eine entscheidende Rolle spielt (vgl. Abb. 1, s. Seite 21).

Zwei Fragen sind zu beantworten:

1. Welche Bedingungen fördern die Humusbildung?
2. Wo bekomme ich den zusätzlichen Stickstoff her?

Zur Beantwortung beider Fragen kommt das C/N-Verhältnis der zugeführten organischen Substanz ins Spiel. Für Humusbildungsprozesse sind in erste Linie Pilze und Bakterien verantwortlich. Bakterien lieben eher ein niedrigeres C/N-Verhältnis (< 15/1), Pilze dagegen eher ein höheres (> 15/1). Das ideale C/N-Verhältnis für humusbildende Prozesse beträgt aber 24/1, ist also eher pilzlastig (Quelle: USDA, 2013). Bakterien nutzen häufig Stickstoffverbindungen zur Energie- und/oder Sauerstoffversorgung. Pilze hingegen sind energetisch in der Regel von der Pflanze abhängig. Bei der Zersetzung von totem Material nutzen viele Pilze Lipide (Wachse) als Energieträger. Diese können meist nur von Pilzen verdaut werden (Ausnahme sind z.B. Aktinomyzeten) und dieser Vorgang ist eine der Schlüsselstellen bei der Bildung von Huminsäuren/Huminstoffen und damit für die Humusbildung.

Eine wichtige Bakterienart bei der Umsetzung der organischen Substanz zu Huminstoffen sind die *Aktinomyzeten*. Man hat sie lange Zeit den

Pilzen zugeordnet, da sie nicht nur einen fadenartigen Habitus aufweisen, sondern sich in vielen Bereichen auch ähnlich wie Pilze verhalten. Einige bauen Schadstoffe ab, sorgen für Pathogenabwehr und den typischen, frischen Bodengeruch, sind exzellente Cellulose- und Ligninzer-setzer und lieben eher ein hohes C/N-Verhältnis. Bei Futterarmut können die *Aktinomyzeten* auch Humus abbauen, deshalb sollte ein ständiges Futterangebot vorliegen. Diese teilweise Abhängigkeit der *Aktinomyzeten* von Cellulose und Lignin wirft die Frage nach der Strohausgleichdüngung mit Stickstoff, mineralisch und/oder stickstoffhaltigen organischen Düngern, auf (vgl. Tab.1).

Durch die Verringerung des C/N-Verhältnisses werden unter Umständen Bakterien gefördert, die dem Humusaufbau entgegenstehen und die Strohersetzung beschleunigen, was in der Vergangenheit durchaus erwünscht war. Wird das Stroh ohne N-Ausgleich eingearbeitet, dann bin-

Tab.1: Wichtige C/N-Verhältnisse

Bodenmikroorganismen	5–15:1
Rhizobien	5:1
Bodenpilze	> 15:1
Zottelwicke	11:1
Weizenblätter	13:1
Maiswurzeln	14:1
Leguminosenheu	17:1
Rindergülle	17:1
Ölrettich	20:1
Rottemist	20:1
Rübenblatt	20:1
Inkarnatklee	21:1
Luzerneheu	25:1
Roggengewischnfrucht	26:1
Roggengewurzeln	28:1
Erbsenstroh	29:1
Weizenwurzeln	34:1
Sorghum-Sudan-Gras	63:1
Haferstroh	70:1
Roggenstroh	82:1
Weizenstroh	80:1– 100:1
Maisstroh	130:1



Tab. 2: Biologische Aktivität in Fruchtfolgen mit und ohne Kleegrashauptfutter- bzw. Zwischenfruchtbau

Fruchtfolge	Bakterien gesamt	Actinomyceten	Proteolytische Bakterien	N-bindende Bakterien	Nitrifikanten	Zelluloseersetzer Bakterien	Sporenbildende Bakterien	Anaerobe Bakterien
1	100	100	100	100	100	100	100	100
2	119	96	119	121	128	107	101	94
3	106	118	127	110	118	83	101	73
4	117	130	144	115	114	116	102	53

Fruchtfolgen: 1 Fruchtfolge ohne Kleegrashauptfutter, ohne Zwischenfrucht, 2 Fruchtfolge ohne Kleegrashauptfutter, mit intensiver Zwischenfrucht, 3 Fruchtfolge bis 1 Jahr Kleegrashauptfutter, mit intensiver Zwischenfrucht, 4 Fruchtfolge bis 2 Jahre Kleegrashauptfutter, mit intensiver Zwischenfrucht

det es Stickstoff aus dem Bodenpool, was für die folgende Kultur zu erheblichen Problemen führen kann (Ertrags- und Qualitätseinbußen). Dieser gordische Knoten ist lösbar, indem das Stroh an der Oberfläche verbleibt und mit geeigneter Drilltechnik das Saatgut unter dem Stroh abgelegt wird (Direktsaat oder flache Mulchsaat).

Ein weiterer Vorteil ist die Verringerung eines übermäßigen Sauerstoffeintrages. Wenn jetzt noch eine platzierte N-Düngung (min. oder organ.) erfolgt, dann haben wir nicht nur die Chance auf ein ideales C/N-Verhältnis der organischen Substanz, sondern auch einen geringeren Einfluss des Stickstoffs auf die bodenbürtige Biologie. Letzteres ist wiederum wichtig, wenn es um den zusätzlichen Stickstoff geht, der für die Humusbildung unabdingbar ist (Förderung von stickstofffixierenden Bakterien, wie z. B. von *Azotobacter* u.v.a.). Die wichtigste N-Quelle sind unbestritten die Leguminosen. Sie können, je nach Art und Nutzung bis zu 500 kg N/ha und Jahr an-

sammeln. Entscheidend ist, dass es gelingen muss, überschüssigen Stickstoff aus dem Leguminosenanbau, dem Aufbau von Humus zukommen zu lassen. Untersaatsysteme mit Gräsern in fast allen Kulturen sind ein sehr geeignetes Mittel, um auf der einen Seite den vagabundierenden Stickstoff zu binden und auf der anderen Seite über die Gräser das C/N-Verhältnis zu erhöhen (vergl. INNOVATION 1/2016). Im klassischen Zwischenfruchtbau werden hierfür Leguminosen mit Nichtleguminosen kombiniert. Die Bedeutung des Zwischenfruchtbaus und der Fruchtfolge auf die Entwicklung der Mikrobiologie zeigt die Tabelle 2 sehr anschaulich.

Vielsprechend als N-Quelle ist für die Zukunft noch eine weitere Bakteriengruppe, die der *Azoarcus*. Erste Versuchsergebnisse im Mais liegen vor. Im Mittel von vier Versuchsjahren am Standort Bückwitz konnten den *Azoarcus*-Bakterien, die an das Korn geimpft wurden, im Vergleich zur Kontrolle ohne N, etwa 60 kg N zugeordnet werden.

Fazit

Die Überführung organischer Substanz in Humus ist ein sehr komplexer Vorgang. Die Herausforderung besteht in der Ausbalancierung von Mineralisierung, Humusbildung und Ertrag. Unter Beachtung eines optimalen C/N-Verhältnis der zugeführten organischen Substanz von etwa 24/1 für die akkumulierenden mikrobiologischen Prozesse sowie der Erschließung von natürlichen Stickstoffquellen unter Bedingungen reduzierter Bodenbearbeitung und platzierter N-Düngung, sollte bei Einhaltung der guten fachlichen Praxis der Aufbau von Humus gelingen (s. Bild 1).



Christoph Felgentreu
Fon +49 33970 9910



Spatenproben zweier direkt nebeneinander liegender Ackerflächen. Links 16 Jahre Direktsaat mit intensivem Zwischenfruchtanbau und Kompost; Rechts wendende Bodenbearbeitung ohne Zwischenfruchtanbau und Kompost