

Das Bodennahrungsnetz – ein komplexes System

Die Bedeutung der Interaktion zwischen Pflanze und Bodenleben für die praktische Landwirtschaft

Der Boden ist die wichtigste Grundlage für den Anbau. Er ist ein komplexes System, in dem zahlreiche Organismen leben und viele Vorgänge ablaufen. Das Zusammenspiel der Bodenlebewesen mit den Pflanzen beeinflusst das Pflanzenwachstum, die Gesundheit, die Nährstoffmobilisierung und die Bodenfruchtbarkeit. Welche Rolle die Wechselwirkung zwischen Boden und Pflanze für die praktische Landwirtschaft spielt wird nachfolgend beschrieben.

Uwe E. Nimmrichter, PROJEKT N2, Schirgiswalde-Kirschau

Die Vielfalt und Fülle an Bodenleben übertrifft bei einem gesunden Boden die anderer Ökosysteme. In einer Handvoll Boden leben zahlenmäßig mehr Bodenorganismen als auf der Erde Menschen. Die Etablierung, das Wachstum, die Pflanzengesundheit und im Falle von Kulturpflanzen der Ertrag von Pflanzen werden weitgehend von der unterirdischen Ökologie bestimmt. Bodenleben und Pflanzen stehen in direkter Interaktion. Die grundlegenden Arbeiten zum Bodennahrungsnetz gehen auf die amerikanische Bodenbiologin Elaine R. Ingham* zurück, die unter anderem auch für das US-Landwirtschaftsministerium tätig ist.

Das Nahrungsnetz besitzt eine unglaubliche Vielfalt von Organismen. Sie reicht von kleinsten einzelligen Bakterien, Algen, Pilzen und Protozoen, also Einzellern, über komplexere Nematoden und (Mikro-) Arthropoden bis hin zu sichtbaren Regenwürmern, Insekten, kleinen Wirbeltieren und Pflanzen. Arthropoden sind als Gliederfüßler die kleinsten mehrzelligen Tiere. Dazu gehören Milben, insbesondere Hornmilben, und Springschwänze als Hauptvertreter, ferner Bärtierchen, Rädertiere und kleine Borstenwürmer. In einer funktionellen „Kette“ von Aktivitäten zersetzen die verschiedenen Bodenorganismen organisches Material und wandeln es in Humus um.

Die Organismen im Boden machen Nährstoffe und Wasser für die Pflanzen verfügbar, viele von ihnen, wie die Mykorrhizapilze oder verschiedene Bakterien, stehen in direkter Interaktion mit den Pflanzen. Die Bodenorganismen und ihre Aktivitäten bestimmen somit die Nährstoffversorgung, die Wasserspeicherkapazität des Bo-

dens und letztendlich damit die pflanzliche Nettoproduktion.

Bodenorganismen zersetzen organische Verbindungen wie Gülle und Pflanzenreste. Sie verhindern damit, dass sie ins Grundwasser gelangen und zu Schadstoffen werden. Sie binden Stickstoff und andere Nährstoffe im Boden sowie Stickstoff aus der Atmosphäre, um ihn Pflanzen zur Verfügung zu stellen. Viele Organismen verbessern die Bodenaggregation und Porosität, wodurch die Infiltration erhöht und die Erosion des Bodens verringert wird.

Ein funktionierendes Bodennahrungsnetz enthält Bodenorganismen, die mit krankheitsverursachenden Organismen konkurrieren. Sie können verhindern, dass sich Bodenpathogene auf Pflanzenoberflächen ansiedeln und dass Krankheitserreger Nahrung erhalten. Sie ernähren sich

von Krankheitserregern oder erzeugen Metaboliten, die für die Erreger toxisch sind oder diese hemmen.

** Elaine R. Ingham ist u. a. auch für das US-Landwirtschaftsministerium (USDA) tätig. Wesentliche Grundlagen dieses Beitrages basieren deshalb auf Veröffentlichungen der USDA.*

Das Nahrungsnetz: Organismen und ihre Interaktion

Das Nahrungsnetz im Boden wird in der ersten Stufe von den Primärproduzenten betrieben: von Pflanzen, Flechten, Moos, photosynthetischen Bakterien und Algen, die die Sonnenenergie nutzen, um Kohlendioxid aus der Atmosphäre zu binden. Die meisten anderen Bodenorganismen, sozu-



Das Bodenleben kann zum größten Teil nur mit einem Mikroskop betrachtet werden. Das macht es häufig auch schwierig, die Bedeutung des Bodenlebens zu verstehen.



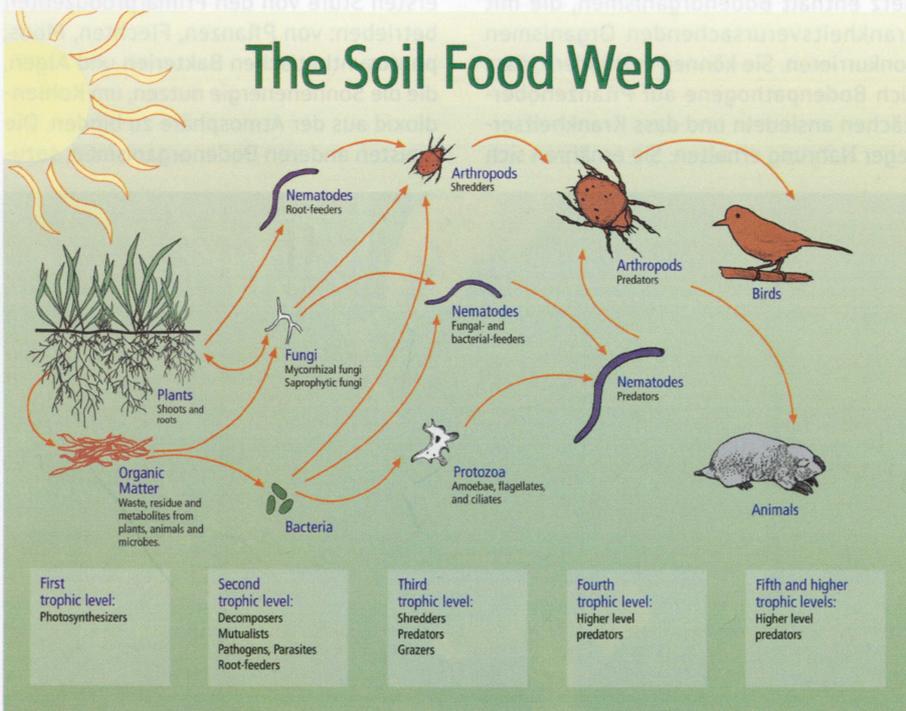
Regenerativ bewirtschaftete Böden werden dunkler und die Horizonte sind nicht mehr oder kaum noch vorhanden. Der Boden ist besser durchwurzelt.

sagen die Konsumenten, erhalten Energie und Kohlenstoff, indem sie die in Pflanzen, anderen Organismen und Abfallnebenprodukten enthaltenen organischen Verbindungen verbrauchen. Einige Bakterien, sogenannte Chemoautotrophen, beziehen Energie eher aus Stickstoff-, Schwefel- oder Eisenverbindungen als aus Kohlenstoffverbindungen oder der Sonne.

Bodenorganismen zersetzen oder verbrauchen komplexe organische Materialien oder andere Organismen im Boden. Dadurch werden Nährstoffe von einer

Form in eine andere umgewandelt und den Pflanzen und anderen Bodenorganismen zur Verfügung gestellt. Pflanzenreste und Assimilate, also Ausscheidungen von wachsenden Wurzeln, ernähren Bodenorganismen. Bodenorganismen unterstützen wiederum die Pflanzengesundheit, indem sie organische Stoffe zersetzen, für den Kreislauf der Nährstoffe sorgen, die Bodenstruktur verbessern und die Populationen von Bodenorganismen einschließlich Pflanzenschädlingen kontrollieren.

Abbildung: Das Bodennahrungsnetz nach Elaine R. Ingham



Das Nahrungsnetz des Bodens ist die Gemeinschaft von Organismen, die ihr ganzes Leben oder einen wesentlichen Teil davon im Boden verbringen. Das Nahrungsnetzdiagramm zeigt die durch Pfeile dargestellten Umwandlungen von Energie und Nährstoffen, wenn ein Organismus als „Nahrung“ des anderen dient.

Abbildung: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/health/biology/>

Frank Hermelingmeier setzt auf die regenerative Landwirtschaft

Frank Hermelingmeier ist konventioneller Landwirt in Delbrück in Nordrhein-Westfalen. Er betreibt eine Schweinemast und Ackerbau, vorrangig zur Erzeugung von Futter. Die Ackerzahl liegt zwischen 25 und 30 Bodenpunkten. Vor fünf Jahren kam er mit der regenerativen Landwirtschaft in Kontakt. Stück für Stück hat er anschließend die Maßnahmen auf seinem Betrieb umgesetzt. Die ersten Schritte waren die pfluglose Bodenbearbeitung, die Strohhorte nach der Ernte, Sommerzwischenfrüchte ebenfalls mit anschließender Flächenrotte und Winterzwischenfrüchte. In diesem Jahr beginnt Frank Hermelingmeier mit Untersaaten im Getreide. Im Boden sind erste Veränderungen zu erkennen, das Bodengefüge verändert sich, die Horizonte verschmelzen und der Boden wird dunkler. „Die Bestände halten länger durch, wenn es kritisch wird. Auf Luftbildaufnahmen war in den vergangenen Trockenjahren zu sehen, dass unsere Bestände länger vital waren. Zaubern können wir natürlich auch nicht“, zieht Frank Hermelingmeier Bilanz und ergänzt: „Der Einsatz von wurzel- und rottefördernden Produkten und das Aufdüngen der Flächen nach Albrecht/Kinsey erfordert im ersten Schritt Mehrarbeit und einen höheren finanziellen Aufwand. Aber am Ende des Tages, wenn ich Pflanzenschutzmittel und Dünger einsparen kann, rechnet es sich wieder und der Humusaufbau ist eine Investition in die Zukunft.“

Die flache Bodenbearbeitung, der dauergrüne Anbau auf den Feldern und die hohe Biodiversität sind der Schlüssel zu den ersten Erfolgen von Frank Hermelingmeier. Der Gehalt an organischer Substanz bestimmt wesentlich die Bodenfarbe im Oberboden und wirkt sich auf den Bodenwärmehaushalt aus. Neben der besseren Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit sind die Böden und damit das Bodenleben besser vor der extremen Hitze geschützt. Die Hitze und Trockenheit lassen nicht nur die Pflanzen vertrocknen, sie schädigen den Boden dauerhaft, Pflanzenschutzmittel werden schlechter abgebaut und unbewachsene Böden sind anfällig für Erosion. Mit den Zwischenfrüchten und der Strohhorte bringt Frank Hermelingmeier organische Masse in den Boden.

Organische Masse treibt das Nahrungsnetz an

Organische Masse im Boden setzt sich aus vielen unterschiedlichen Arten von

Verbindungen zusammen – einige sind für die Bodenorganismen nützlicher als andere. Die organische Bodensubstanz besteht aus Dauerhumus und Nährhumus. Nährhumus umfasst gemeinsam mit Pflanzenresten die aktive organische Substanz im Boden, die den Bodenorganismen zur Verfügung steht und von den Mikroorganismen abgebaut werden kann. Bakterien und Mykorrhizapilze verstoffwechseln in der Regel einfachere organische Verbindungen wie Wurzelexsudate oder frische Pflanzenreste. Andere Pilzarten neigen dazu, komplexere Verbindungen, wie faserige Pflanzenreste, Holz und Bodenhumus, zu verwerten. Kleine „Mikroschredder“, die Hornmilben, ernähren sich von Blättern und frischem pflanzlichem Material. Dadurch setzen sie Zellulose und Lignin frei. Beides dient wiederum anderen Lebewesen im Boden als Nahrungsgrundlage.

Organisches Material sollte deshalb möglichst nahe der Bodenoberfläche abgelegt werden, sodass es mit Sauerstoff versorgt wird. Pflanzenmaterial, das beim Pflügen in den Boden vergraben wird, kann dort nicht verrotten, kommt in den Fäulniszustand und wird von Bodentieren gemieden. Bei Sauerstoffmangel entstehen Methan, Schwefelwasserstoff und Ammoniak – Gifte für die meisten Bodenorganismen. Praktiken wie reduzierte Bodenbearbeitung und Zuführung von organischem Material bauen die organische Bodensubstanz im Boden auf. Sie erhöhen den Anteil an aktiver organischer Substanz, lange bevor die Zunahme des Humusgehaltes gemessen werden kann. Mit steigendem Gehalt an Nährhumus im



Landwirt Frank Hermelingmeier hat vor fünf Jahren begonnen, Maßnahmen der regenerativen Landwirtschaft umzusetzen.

Boden spielen die Bodenorganismen eine ebenso wichtige Rolle bei dessen Umwandlung in Dauerhumus – eine stabile Form von Kohlenstoff, der über Jahrzehnte oder sogar Jahrhunderte im Boden gebunden wird.

Wo leben Bodenorganismen?

Die Organismen des Nahrungsnetzes sind nicht gleichmäßig im Boden verteilt. Jede Art und Gruppe existieren, wo sie einen geeigneten Raum, Nährstoffe und Feuchtigkeit finden können. Sie befinden sich meist in den obersten Schichten des Bodens, in denen organisches Material vorhanden ist.

In und um Wurzeln. Die Rhizosphäre ist der unmittelbar von den lebenden Wurzeln beeinflusste Raum im Boden. Es wimmelt dort von Bakterien und Pilzen, die sich von abgelösten Pflanzenzellen und den von Wurzeln freigesetzten Proteinen und Zuckern ernähren. Die Protozoen und Nematoden, die wiederum von den Bakterien und Pilzen leben, sind ebenfalls in der Nähe der Wurzeln konzentriert. Daher erfolgt ein Großteil des Nährstoffkreislaufs und zahlreicher „Bodenfunktionen“, wie die Krankheitsunterdrückung, unmittelbar im Wurzelraum.

In Pflanzenresten. Pilze sind übliche Zersetzer von Pflanzenabfällen, da Abfälle große Mengen an komplexem, schwer

MÄUSE ERFOLGREICH ABWEHREN!

- ▶ Grünland und Getreidebau, bei Raps & Gemüse
- ▶ keine Gefährdung von Greifvögeln und Hauskatzen (Giftweizen)
- ▶ Versuch mit LWK Mistelbach positiv bestätigt (August 2019)
- ▶ in Deutschland auf zigtausend Hektar erfolgreich eingesetzt
- ▶ alle AKRA Produkte auch für den biologischen Landbau zugelassen

Kärner Düngerproduktion

www.duenger-akra.de | Tel. 0711 / 945 931 95

zu zersetzendem Kohlenstoff enthalten. Pilzhyphen können Stickstoff vom darunter liegenden Boden nach oben „leiten“. Bakterien können Stickstoff nicht über Entfernungen transportieren, insbesondere wenn das organische Material nicht in das Bodenprofil eingemischt wird. Bakterien sind jedoch in Resten jüngerer Pflanzen reichlich vorhanden, der mehr Stickstoff und einfachere Kohlenstoffverbindungen enthält als Reste älterer Pflanzen. Bakterien und Pilze können bei Pflanzenresten auf eine größere Oberfläche zugreifen, wenn Schredderorganismen wie Regenwürmer, blattfressende Insekten, Tausendfüßer und andere Arthropoden den Abfall in kleinere Stücke zerlegt haben.

Auf Humus. Pilze sind hier häufig. Viel organisches Material im Boden wurde bereits viele Male von Bakterien und Pilzen zersetzt und/oder durch die Eingeweide von Regenwürmern oder Arthropoden geleitet. Die resultierenden Huminverbindungen sind komplex und haben wenig verfügbaren Stickstoff. Nur Pilze stellen einige der Enzyme her, die zum Abbau der komplexen Verbindungen im Humus benötigt werden.

Auf der Oberfläche von Bodenaggregaten. Bodenaggregate sind Gefügeelemente, die sich durch die Zusammenlagerung einzelner Bodenbestandteile wie zum Beispiel Tonminerale, Schluff- und Sandkörner sowie organische Stoffe zu größeren Einheiten verbinden. Die biologische Aktivität, insbesondere die von aeroben Bakterien und Pilzen, ist in der



Regenerativ bewirtschaftete Böden werden dunkler und die Horizonte sind nicht mehr oder kaum noch vorhanden. Der Boden ist besser durchwurzelt.

Nähe der Oberflächen von Bodenaggregaten größer als innerhalb. In größeren Aggregaten können Prozesse auftreten, die keinen Sauerstoff benötigen, wie zum Beispiel die Denitrifikation. Darunter versteht man die Umwandlung des im Nitrat (NO_3^-) gebundenen Stickstoffs zu molekularem Stickstoff (N_2) und Stickoxiden durch bestimmte heterotrophe und einige autotrophe Bakterien zur Energiegewinnung.

In Räumen zwischen Bodenaggregaten. Die Arthropoden und Nematoden, die sich nicht durch den Boden graben können, bewegen sich in den Poren zwischen den Bodenaggregaten. In Austrocknung empfindliche Organismen wie Protozoen und viele Nematoden leben in wassergefüllten Poren. Ein verdichteter Boden, der keine oder kaum Poren aufweist, bietet keinen Lebensraum für diese Bodenorganismen. Das Bodennahrungsnetz wird dann an dieser Stelle unterbrochen.



Ein funktionierendes Bodennahrungsnetz ist am guten Wurzelanhang der Kulturpflanzen zu erkennen.

Fotos: Uwe E. Nimmrichter

Wann ist das Bodennahrungsnetz aktiv?

Die Aktivität von Bodenorganismen folgt sowohl saisonalen als auch täglichen Mustern. In gemäßigten Klimazonen tritt die größte Aktivität im späten Frühjahr auf, wenn die Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen für das Wachstum optimal sind und auch die Pflanzen das Bodenleben optimal ernähren können. Nicht alle Organismen sind gleichzeitig aktiv. Selbst in Zeiten hoher Aktivität frisst, atmet und verändert nur ein Bruchteil der Organismen ihre Umgebung.

Die Bodenorganismen interagieren miteinander und mit den Pflanzen, von denen sie mit Wurzelausscheidungen versorgt werden. Es wird davon ausgegangen, dass Pflanzen, Pilze und Bakterien Informationen austauschen. Das Ergebnis sind Funktionen des Bodens, die für gesunde Pflanzen und stabile Erträge sorgen: ein funktionierender Nährstoffkreislauf, Wasserverfügbarkeit und eine natürliche Schädlings- und Krankheitsbekämpfung.

Fazit

Die lebende Komponente des Bodens, das Nahrungsnetz, ist komplex und hat unterschiedliche Zusammensetzungen in verschiedenen Ökosystemen. Für die Landwirtschaft ist das Bodennahrungsnetz gerade vor dem Hintergrund des Klimawandels und der restriktiveren Düngemittel- und Pflanzenschutzmittelbestimmungen von enormer Bedeutung. Es sichert den Nährstoffkreislauf und die Nährstoffverfügbarkeit, verbessert die Bodenstruktur, die Wasserhaltefähigkeit, baut Schadstoffe im Boden ab und sichert die Pflanzengesundheit. Ziel der Arbeit muss es sein, das Bodenleben durch gezielte Maßnahmen für die Kulturführung zu nutzen. <<

Uwe E. Nimmrichter

PROJEKT N2

Schirgiswalde-Kirschau

u.nimmrichter@projekt2.de

Weiterführende Informationen

Weitere Informationen vermittelt das Webinar „Das Bodennahrungsnetz und die vier Stufen der Pflanzengesundheit“ mit Frau Dr. Ingrid Hörner und Christoph Felgentreu am 20.05.2021, 19.30 Uhr. <https://landwirtschaft.edu-dip.com/w/392164>