Verborgene Biodiversität im Boden steuert das System Erde

Im Erdreich unter unseren Füssen pulsiert im Verborgenen ein ungeheuer reiches, vielfältiges und faszinierendes Leben. Die Bodenorganismen sind massgeblich an Stoffkreisläufen beteiligt und tragen wesentlich zu verschiedenen Ökosystemleistungen bei.

VON MARCEL VAN DER HEIJDEN, ILDIKO SZELECZ, NOEMI PETER UND EDWARD MITCHELL

Mikroben bilden die unsichtbare Mehrheit aller Organismen der Erde und machen einen grossen Anteil der genetischen Vielfalt des Lebens aus. Schätzungen zufolge enthält ein Gramm Boden zwischen 10^{10} und 10^{11} Bakterien, 6000 bis 50 000 Taxa, 10^{4}-10^{6} Protisten und bis zu 200 Meter Pilzfäden. Das Gewicht der lebenden Biomasse unter einer Hektare Land kann bis zu 15 Tonnen betragen. Das entspricht dem Gewicht von 20 Kühen oder 200 Schafen, was eine Vorstellung von der enormen Menge von Bodenlebewesen vermittelt. Mikroorganismen sind sogar in sehr tiefen Böden und Grundwasserleitern präsent: Ein Gramm Sediment in einer Tiefe von 200 Metern kann Tausende von Bakterien beherbergen.

Im Boden leben unterschiedlichste Kreaturen, die von blossem Auge oft nicht zu sehen sind. Am bekanntesten sind makroskopische Tiere wie Regenwürmer. Daneben gibt es aber noch zahlreiche andere Wirbellose wie etwa Pseudoskorpione oder die winzigen Räder- und Bärtierchen, die nicht grösser sind als gewisse Protozoen. Viele dieser Arten sind im «Global Soil Biodiversity Atlas» beschrieben (Orgiazzi et al. 2016).

Viele Bodenlebewesen bilden eine Symbiose mit Pflanzen und anderen Organismen. Wahrscheinlich am bekanntesten sind die symbiotischen Verbindungen zwischen fast allen Landpflanzen und den Mykorrhiza-Pilzen. In dieser Symbiose werden hochkomplexe unterirdische Strukturen gebildet, die den Nährstoffaustausch zwischen Pflanze und Pilz erleichtern. Erstaunlicherweise ist auch eines der grössten Lebewesen unter der Erdoberfläche versteckt: Ein Klon eines holzabbauenden Pilzes, der sich in einem Wald in den USA über eine 15 Hektaren grosse Fläche (21 Fussballfelder) erstreckt und 10 000 kg wiegt (Smith et al. 1992).

Neuere Studien haben mit der Kartierung der immensen Bodenbiodiversität begonnen. Unterdessen gibt es globale Verbreitungskarten für Regenwürmer (Philipps et al. 2019), Mykorrhiza-Pilze (Davison et al. 2015), Bodenpilze (Tedersoo et al. 2014), Bodenprotisten (Olieverio et al. 2020) und wichtige Bodenbakterien (Delgado-Baquerizo et al. 2018). Die versteckte Vielfalt unter unseren Füssen ist oft grösser als die sichtbare Vielfalt auf der Erdoberfläche. Die Wälder im Norden werden von wenigen Baumarten dominiert, während an ihren Wurzeln nicht selten über 50 verschiedene Pilze zu finden sind. Ebenso werden nördliche Torfgebiete (Hoch- und Flachmoore) von wenigen Pflanzenarten beherrscht, sind aber die Heimat von über 60 Arten von schalenbildenden Amöben (Lamentowicz et al. 2010) und Tausenden Arten von Bakterien, Pilzen und anderen Protisten.

Motor wertvoller Ökosystemleistungen

Die Bodenmikroben erfüllen wichtige Funktionen und regulieren die Produktivität der Pflanzen. Vor allem in nährstoffarmen Ökosystemen sind symbiotische Wurzelpilze dafür verantwortlich, den Pflanzen die beschränkten Nährstoffe zur Verfügung zu stellen. Mykorrhiza-Pilze und stickstoffbindende Bakterien stellen 5 bis 20 % (Grasland und Savanne) bzw. bis zu 80 % (gemässigte und boreale Wälder) der gesamten Stickstoffmenge zur Verfügung, die von den Pflanzen aufgenommen wird (van der Heijden et al. 2008); beim Phosphor sind es bis zu 75 %. Oft ist man sich gar nicht bewusst, dass ein substanzieller Anteil der Nährstoffe im Brot oder in der Pizza aus dem Boden stammt und hoch komplexe, verschlungene Nahrungsketten von Mikroorganismen durchlaufen hat. Bodenmikroben (einschliesslich der mikrobiellen Pathogene) sind auch wichtige Regulierer der pflanzlichen, tierischen und mikrobiellen Vielfalt und ihrer Häufigkeit sowie der Dynamik der Gemeinschaften. In einigen Fällen wird die Etablierung exotischer Pflanzen und Tiere erleichtert, wenn ihre Krankheitserreger im neu besiedelten Gebiet fehlen. Umgekehrt können gewisse eingeführte Pathogene ehemals verbreitete Pflanzen vernichten, wie etwa beim Ulmen- und Eschensterben.

Konservative Schätzungen gehen zudem davon aus, dass rund 20 000 Pflanzenarten für ihr Wachstum und Überleben vollständig von mikrobiellen Symbionten abhängig sind (van der Heijden et al. 2008), was die Bedeutung von Bodenmikroben in der Regulierung des Pflanzenarten-Reichtums aufzeigt. Die Gemeinschaft der Mikroben ist zwar von blossem Auge nicht zu sehen, aber sie ist extrem vielfältig (viel mehr als jene der oberirdischen Pflanzen und Tiere). Sie steuert das System Erde durch ihren Einfluss auf den Nähr- und Kohlenstoffkreislauf. und spielt eine wichtige Rolle im Leben aller makroskopischen Organismen. •

Mykorrhiza-Pilze gehen Wechselbeziehungen mit den meisten Landpflanzen ein, die für beide Seiten von Vorteil sind und zu hoch komplexen Verbindungen führen. Diese haben Künstler zu Tattoos inspiriert, wie etwa dasjenige von Pflanzenwurzelzellen mit Pilz (siehe Pfeil) auf dem Arm der amerikanischen Mykorrhizaforscherin Shabana Hoosein. Foto: Marcel van der Heijden

Bodenorganismen geben Auskunft zum Alter von Kadavern

Bodenorganismen sind grösstenteils auf den organischen Kohlenstoffeintrag von Pflanzen durch ober- und unterirdische Streu und Wurzelausscheidungen angewiesen. Als weitere wichtige Nährstoffquellen dienen aber auch Urin, Kot und Kadaver von Tieren. Diese Quellen sind hoch konzentriert und nur temporär vorhanden. Daraus ergibt sich eine räumliche und zeitliche Heterogenität der Ressourcen, die wiederum zu einer extremen Vielfalt von Bodenorganismen beiträgt. Kadaver machen nur etwa 1% des organischen Stoffeintrags in die terrestrischen Ökosysteme aus, aber ihr Einfluss auf Bodenorganismen und Vegetation ist sehr deutlich, vor allem bei Grosssäugetieren (Carter et al. 2007). Ein verwesender Kadaver bildet eine sogenannte Verwesungsinsel, die mit einem räumlich und zeitlich begrenzten intensiven Schwall hoch konzentrierter Nährstoffe verbunden ist (Carter et al. 2007).

Während der Verwesung eines Kadavers verändern sich die physikalisch-chemischen Bedingungen des darunterliegenden Bodens (Szelecz et al. 2018a, Mark et al. 2019), was sich auf die Bodenorganismen auswirkt (Szelecz et al. 2014, Metcalf et al. 2016). Deshalb kann man durch eine Untersuchung der Bodenorganismen das Alter eines Kadavers bestimmen. Ein solches Datierungsinstrument ist sehr wertvoll für kriminalpolizeiliche Ermittlungen: Das «postmortale Intervall» ist nämlich eine zentrale Information, die sich jedoch mit den etablierten Methoden der forensischen Entomologie nur während ein paar Wochen bestimmen lässt (Szelecz et al. 2018b).

Die Verwesung von Grosssäugetier-Kadavern trägt zur Heterogenität des Ökosystems bei. Hier im chilenischen Patagonien ist der Einfluss eines Kuhkadavers, der eine sogenannte «Verwesungsinsel» bildet, gut erkennbar. Foto: Edward Mitchell

Das Studium des Bodens unter Kadavern ist auch für das Grundwissen über die Bodenbiodiversität höchst interessant. So hat eine molekulare Untersuchung von Bodenprotisten gezeigt, dass diese «Kadaver-Indikatoren» eine ungeahnte und unbekannte Vielfalt aufweisen (Seppey et al. 2016). Solche Böden sind also eigentlich sehr gute Orte, um nach unbekannten Vertretern der Bodenvielfalt zu suchen, obwohl sie bei Probenahmen der Bodenökologen kaum je die erste Wahl sind. •

Unterhosen als Beweisstück

Es ist schwierig, unterirdische Prozesse aufzuzeigen und diese der Bevölkerung bewusst zu machen. Deshalb hat Agroscope 2019 in Anlehnung an die internationale #SoilYourUndies-Kampagne den Tag des unterirdischen Bodenlebens organisiert. Das Konzept ist simpel: Man vergräbt eine alte Baumwollunterhose im Boden (synthetisches Gewebe funktioniert nicht) und schaut ein paar Monate später nach, wieviel davon abgebaut wurde. So lassen sich Vorgänge im Boden veranschaulichen.

Im Rahmen der internationalen Kampagne #SoilYourUndies ist die Öffentlichkeit eingeladen, Baumwoll-Unterhosen im Boden zu vergraben. Je stärker verrottet sie nach zwei Monaten sind, desto aktiver sind die Bodenlebewesen – und desto gesünder ist der Boden. Foto: www.nicolaszonvi.com

Die Aktion fand grosse Aufmerksamkeit. Sogar das Schweizer Fernsehen berichtete in Glanz & Gloria darüber und begleitete Bo Katzman, Salomé Jantz und David Bröckelmann beim Experiment. Eine Beobachtung war, dass der Klimawandel und vor allem die Trockenheit Abbauprozesse und Nahrungsnetze im Boden drastisch einschränken. Auf den ersten Blick scheint dieses Experiment nicht sehr seriös zu sein, aber es zeigt auf unkomplizierte und elegante Weise auf, dass der Boden lebt und unsere Existenz stark von unterirdischen Prozessen abhängt. 2021 werden Agroscope und die Universität Zürich die «Soil Your Undies»-Aktion weiterführen. Landwirte und Gärtner, die dazu beitragen möchten, können gerne Kontakt mit Marcel van der Heijden oder Noemi Peter aufnehmen. •

PROF. DR. MARCEL VAN DER HEIJDEN leitet die Forschungsgruppe Pflanzen-Boden-Interaktionen bei Agroscope. Er ist zudem Professor für Agrarökologie und Pflanzen-Mikrobiom-Interaktionen an der Universität Zürich sowie Professor für Mykorrhiza-Ökologie an der Universität Utrecht in den Niederlanden. **DR. ILDIKO SZELECZ** untersucht in Zusammenarbeit mit dem Labor für Bodenbiodiversität der Universität Neuenburg die Auswirkungen verwesender Kadaver auf die Zusammensetzung und Häufigkeit von Bodenorganismen. **DR. NOEMI PETER** ist promovierte Pflanzenbiochemikerin und arbeitet bei Agroscope und der Universität Zürich. Sie ist in einem Citizen Science Projekt zur Bodengesundheit und in einem Horizon 2020-Projekt zur Harmonisierung der europäischen Bodenforschung tätig. **PROF. DR. EDWARD MITCHELL** leitet das Labor für Bodenbiodiversität an der Universität Neuenburg. Im Zentrum seiner Forschung stehen die Vielfalt der Bodenorganismen, die funktionelle Rolle wenig bekannter Bodenorganismen und die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf das Bodenökosystem. Kontakt **marcel.vanderheijden@agroscope.admin.ch** ››› Literatur **biodiversity.scnat.ch/hotspot**