

BODENÖKOLOG*INNEN ALS DETEKTIV*INNEN, DIE HERAUSFINDEN, WER WEN ODER WAS IM BODEN FRISST

Amandine Erktan^{1*}, Melanie M. Pollierer¹ and Stefan Scheu^{1,2}

¹J.F. Blumenbach Institut für Zoologie und Anthropologie, Georg-August-Universität Göttingen, Untere Karspüle 2, 37073 Göttingen, Deutschland

²Zentrum für Biodiversität und Nachhaltige Landnutzung, Georg-August-Universität Göttingen, Büsgenweg 1, 37077 Göttingen, Deutschland

JUNGE REVIEWER:



CECÍLIA

ALTER: 9



NYNKE

ALTER: 12

Ist dir schon einmal aufgefallen, dass sich totes Laub nie im Wald ansammelt? Diesen Dienst verdanken wir einem Reinigungsteam aus winzigen Wiederverwertern, die im Boden leben. Tote Organismen sind ihre Nahrungsquelle, und sie recyceln sie, indem sie sie einfach fressen. Um diese Recycling-Maschinerie zu verstehen, muss man wissen, wer was oder wen im Boden frisst. Aber das ist schwer herauszufinden, denn viele Bodentiere sind winzig, versteckt im Boden und können uns nicht sagen, was sie gefressen haben! Um diese Schwierigkeiten zu umgehen, haben Bodenökolog*innen eine spezielle Methode entwickelt. Sie verfolgen bestimmte Indikator-Moleküle, sogenannte Marker, von Bakterien, Pilzen und Pflanzen im Fett von Tieren und können so feststellen, wovon diese sich ernährt haben. Manche Tiere nehmen eine große Vielfalt an Nahrungsquellen zu sich, andere sind spezialisierter. Bemerkenswerterweise haben viele Organismen erstaunliche

Strategien entwickelt, um sich im Boden zu ernähren, denn es ist gar nicht so einfach, in einem so dunklen Labyrinth Nahrung zu finden!

WARUM IST ES WICHTIG ZU VERSTEHEN, WER WEN ODER WAS IM BODEN FRISST?

Ist dir schon einmal aufgefallen, dass sich im Wald nie riesige Haufen von totem Laub ansammeln? Es ist auch sehr selten, dass man ein totes Tier auf dem Waldboden liegen sieht. Das wirft die Frage auf: "Wer reinigt den Waldboden?" In den Städten beseitigen die städtischen Arbeiter das gesamte tote Laub. Im Wald wird diese Arbeit von einem Team winziger Wiederverwerter erledigt, die im Boden leben. Für diese kleinen Bodentiere sind tote Organismen eine Nahrungsquelle, und sie recyceln Blätter und andere tote Dinge, indem sie sie einfach fressen. Wenn die Bodentiere ihren Kot absetzen, geben sie Nährstoffe frei, die von den Pflanzen zum Wachstum genutzt werden können. Oder kleine Bodentiere werden von größeren Tieren gefressen, und das ermöglicht den größeren Tieren zu wachsen. Dieser Prozess sorgt für die Wiederverwertung von Nährstoffen und ist für das Wachstum von Pflanzen unerlässlich. Er ist auch für den Menschen sehr wichtig, denn Pflanzen versorgen uns mit vielen Gütern, z. B. mit Lebensmitteln wie Gemüse, Getreide und Obst, aber auch mit Holz zum Bau von Möbeln und Häusern. Um diese wertvolle Recycling-Maschine zu verstehen, muss man wissen, wer was im Boden konsumiert bzw. frisst.

WELCHE ART VON NAHRUNG GIBT ES IM BODEN ... UND WAS IST EIN BODEN-NAHRUNGSNETZ?

Welche Nahrung befindet sich im Boden? Wenn du im Wald in der Erde wühlst, wirst du keinen Teller mit Spaghetti Bolognese finden. Wir sprechen natürlich nicht von dieser Art von Nahrung! Die Hauptnahrungsquellen im Boden sind totes Gewebe von Pflanzen und anderen Lebewesen (tote Blätter oder tote Bodenorganismen jeder Größe) sowie Pflanzenwurzeln (Abbildung 1A). Diese Grundnahrungsquellen werden hauptsächlich von Bakterien und Pilzen verzehrt, die als **Primärkonsumenten** bezeichnet werden, also Organismen, die das tote Pflanzenmaterial direkt verzehren. Pilze und Bakterien selbst sind die Hauptnahrungsquelle für größere Organismen wie Protisten, Nematoden, Springschwänze und Milben (etwa 0,1-2 mm; Abbildung 1). Diese Organismen werden wiederum von größeren Räubern (einige Millimeter groß) wie Hundertfüßern und Spinnen gefressen (Abbildung 1B). Regenwürmer ernähren sich auch hauptsächlich von Bakterien und Pilzen, aber auf eine besondere Art und Weise: Sie fressen sie zusammen mit dem Boden (Abbildung 1B). Das ist ein bisschen so, als würde man das Essen auf dem Teller zusammen mit dem Teller essen!

Einige Bodentiere, wie Springschwänze oder Nematoden, ernähren sich zwar hauptsächlich von winzigen Lebewesen wie Bakterien und Pilzen, können aber auch Pflanzengewebe fressen, insbesondere die Wurzeln oder die nahrhafte Flüssigkeit, die die Wurzeln abgeben. Insgesamt gibt es im Boden viele Nahrungsquellen, die von pflanzlichen bis zu tierischen Geweben und von toten bis zu lebenden Organismen reichen, und die meisten Bodenorganismen

PRIMÄRKONSUMENT

Organismus, der totes Pflanzenmaterial direkt konsumiert.

nehmen mehrere dieser Nahrungsquellen zu sich. Die Gesamtheit der Verbindungen, die angeben, wer was oder wen im Boden konsumiert, wird als **Bodennahrungsnetz** bezeichnet (Abbildung 1A).

Abbildung 1

Organismen eines typischen Boden-Nahrungsnetzes (A) Ein Nahrungsnetz enthält basale Nahrungsressourcen, wie Pflanzenwurzeln und tote Organismen, aber auch Primär- und Sekundärkonsumenten und verschiedene Räuber. Die Pfeile zeigen, wer wen oder was frisst. Beachte, dass Primärkonsumenten eine Nahrungsquelle für Sekundärkonsumenten darstellen, die wiederum eine Nahrungsquelle für Räuber sein können. (B) Hier kannst du Beispiele sowohl für Primär- und Sekundärkonsumenten, als auch für Räuber im Boden sehen.

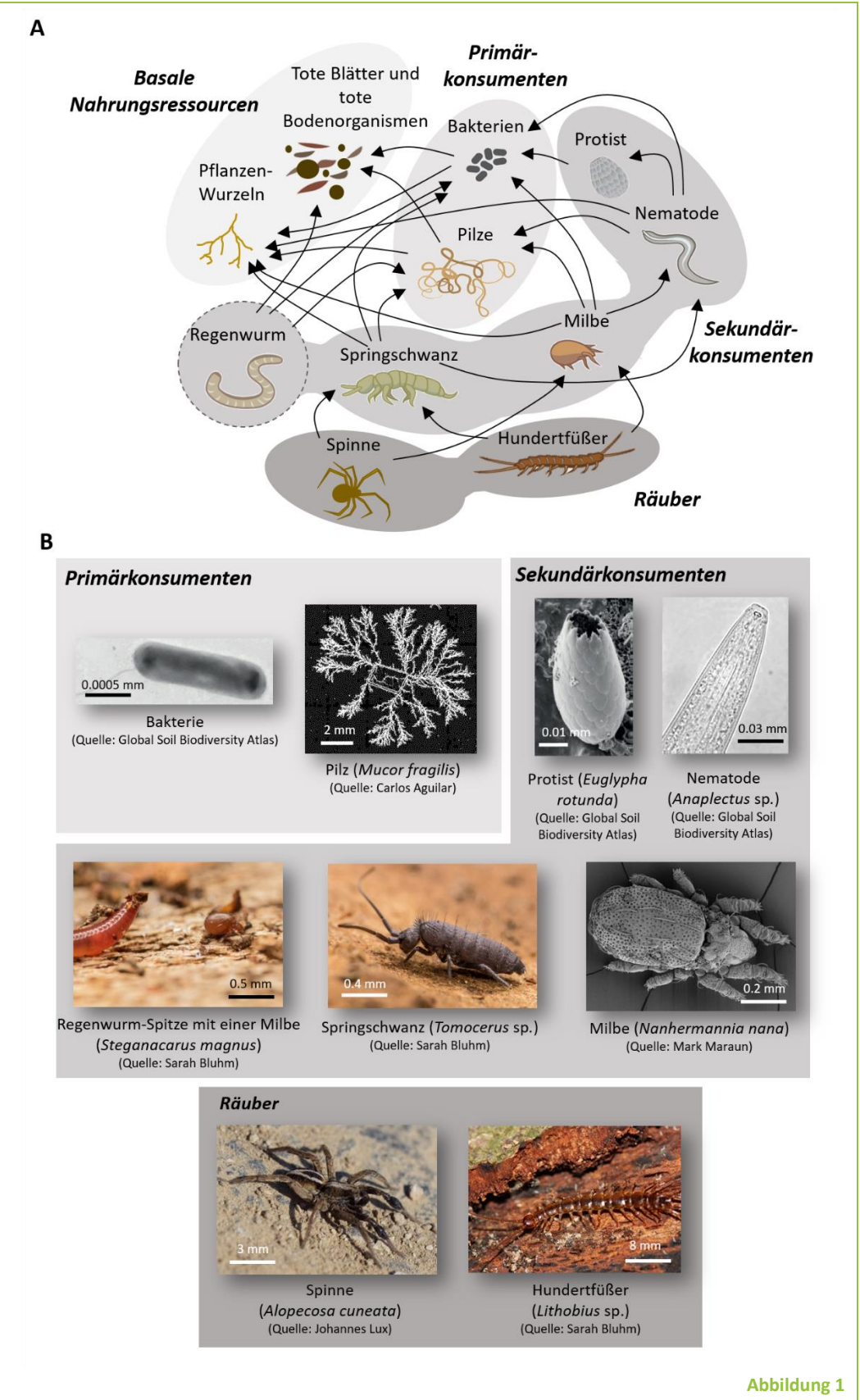


Abbildung 1

BODEN-NAHRUNGSNETZ

Alle Verbindungen, die zeigen wer wen oder was im Boden frisst.

WIE UNTERSUCHEN WIR DAS NAHRUNGSNETZ IM BODEN?

Trotz aller Forschungen, die in den letzten Jahrzehnten durchgeführt wurden, wissen die Forschenden immer noch wenig darüber, wer was oder wen im Boden frisst. Das liegt daran, dass die Bodentiere winzig sind, sich im Boden verstecken und uns nicht sagen können, was sie gefressen haben! Um zu wissen, wer was im Boden verzehrt, müssen die Forschenden wie Detektiv*innen vorgehen. Sie haben eine besondere Methode entwickelt: Sie untersuchen das Fett der Bodentiere (Abbildung 2). Wenn man etwas isst, dient die Nahrung als Energiequelle, damit man wachsen und aktiv sein kann.

Abbildung 2

Bestimmung der Nahrungsgrundlage von Bodenorganismen anhand von Fettsäuremarkern
(A) Bodentiere haben verschiedene Arten von Fetten in ihren Körpern, abhängig von den Nahrungsquellen, die sie fressen, wie Bakterien, Pilze oder tote Blätter.
(B) Die Fette können in Form von Fettsäuren aus diesen Tieren extrahiert werden.
(C) Diese Fettsäuren können dann mit einem Gaschromatographen analysiert werden. Anhand der Daten aus dem Gaschromatographen können die Forschenden feststellen, welche Nahrungsmittel die Bodenorganismen

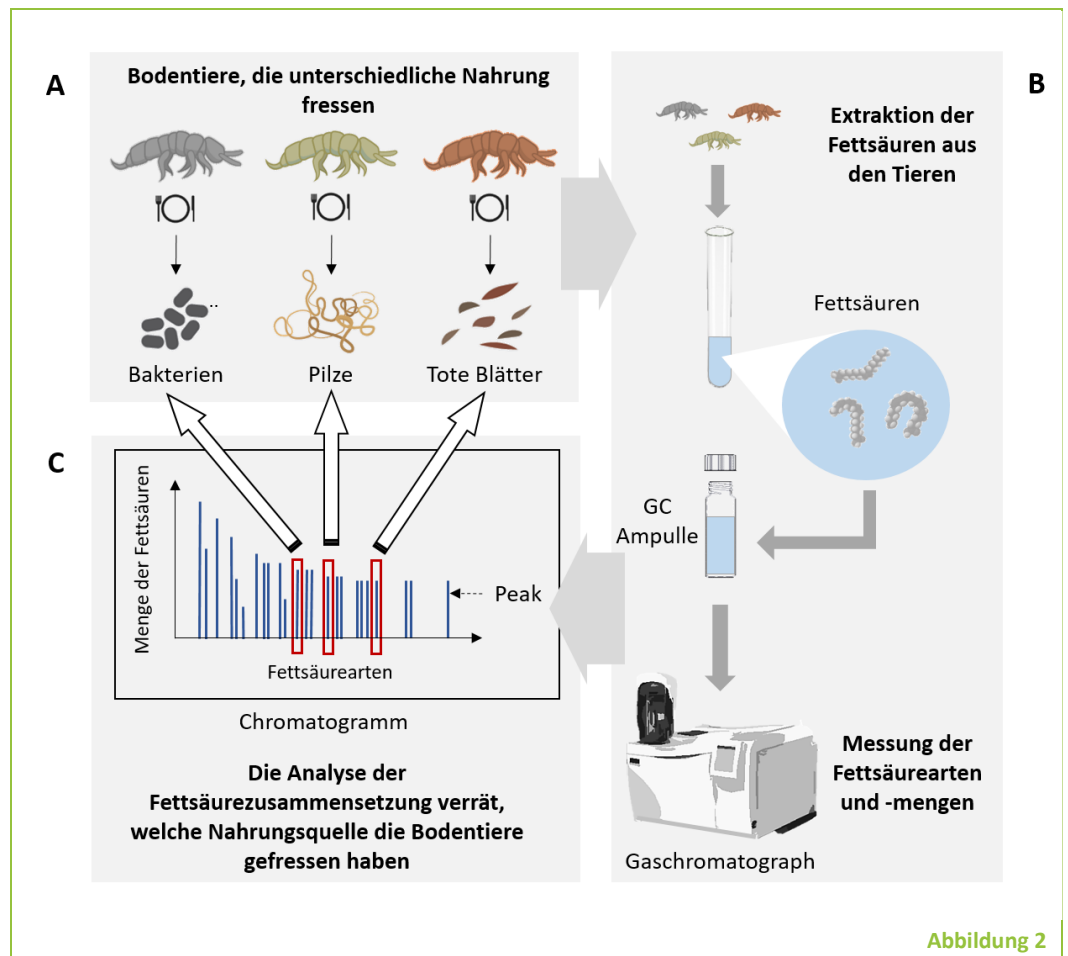


Abbildung 2

Allerdings kann man nicht die gesamte Energie auf einmal verbrauchen, also muss der Körper sie für eine spätere Verwendung speichern. Wie wird die Energie gespeichert? Wenn wir mehr essen als wir in diesem Moment brauchen, baut der Körper Fett als Energiespeichergewebe auf. Das Fett wird später zur Energiegewinnung "verbrannt", wenn wir es brauchen. Sowohl bei Menschen als auch bei Tieren ist es für den Körper einfacher, das bereits in der Nahrung enthaltene Fett aufzunehmen und zu speichern, als neues Fett zu bilden. Der Trick dabei ist, dass nicht alle Fette gleich sind! Bakterien, Pilze und Pflanzen haben verschiedene Arten von Fett. Forschende können diese sogenannten **Fettsäuremarker** in den Tieren nachweisen [1]. So können wir letztendlich feststellen, ob das in einem Tier gespeicherte Fett von Bakterien, Pilzen oder Pflanzen stammt - und somit wissen, was es gegessen hat.

FETTSÄUREMARKER

Fett-Moleküle, die speziell in einer Nahrungsquelle vorkommen, zum Beispiel in Bakterien oder Pilzen.

NAHRUNGS-GENERALISTEN

Bodenorganismen, die sich von vielen verschiedenen Nahrungsarten ernähren.

NAHRUNGS-SPEZIALISTEN

Bodenorganismen, die nur eine oder wenige Arten von Nahrung konsumieren.

Abbildung 3

Tiere haben Mittel und Wege entwickelt, um mit der Schwierigkeit der Nahrungsaufnahme im dunklen Boden umzugehen

(A) Kleine Löcher im Boden bieten winzigen Bodenorganismen (Nematoden, Protisten und Bakterien) einen Platz, um sich vor den Tieren zu verstecken, die sie fressen. **(B)** Um ihre Beute zu erreichen, kann eine Amöbe (eine Art von Protisten) einen Arm ausstrecken, der 20 Mikrometer lang und 1 Mikrometer dünn ist, um Bakterien zu fangen, die in kleinen Bodenlöchern versteckt sind. **(C)** Springschwänze sind bei der Auswahl ihrer Nahrungsquellen flexibel, so dass sie jeden Tag etwas zu essen haben. **(D)** Regenwürmer nehmen den Boden zusammen mit ihrer Nahrung auf und verdauen die darin enthaltenen Bakterien und Pilze. Dadurch wird auch ein Weg durch das Bodenlabyrinth geschaffen, der es ihnen erleichtert, sich darin zu bewegen. Zur Erinnerung: 1 Mikrometer ist 1.000 Mal kleiner als 1 mm.

NAHRUNGS-GENERALISTEN IM VERGLEICH ZU NAHRUNGS-SPEZIALISTEN

Bei der Untersuchung des Fettes von Bodentieren fanden die Forschenden heraus, dass sich zum Beispiel viele Springschwänze vorzugsweise von Pilzen ernähren, aber auch Bakterien oder Pflanzen fressen können. Da sie sich von verschiedenen Nahrungsquellen ernähren können, gelten sie als **Nahrungs-Generalisten** [2]. Das bedeutet, dass es nicht schwer ist, sie zufrieden zu stellen, wenn man sie zum Essen einlädt! Einige andere Organismen sind **Nahrungs-Spezialisten** und neigen dazu, nur eine Sache zu essen. Einige Nematoden bevorzugen zum Beispiel Bakterien als Nahrung, während andere wiederum vorwiegend Pilze fressen. Es gibt sogar räuberische Nematoden, die andere Nematoden fressen! Jede dieser Nematoden-Gruppen hat eine andere Mundform, die speziell für die Aufnahme einer bestimmten Art von Nahrung geeignet ist.

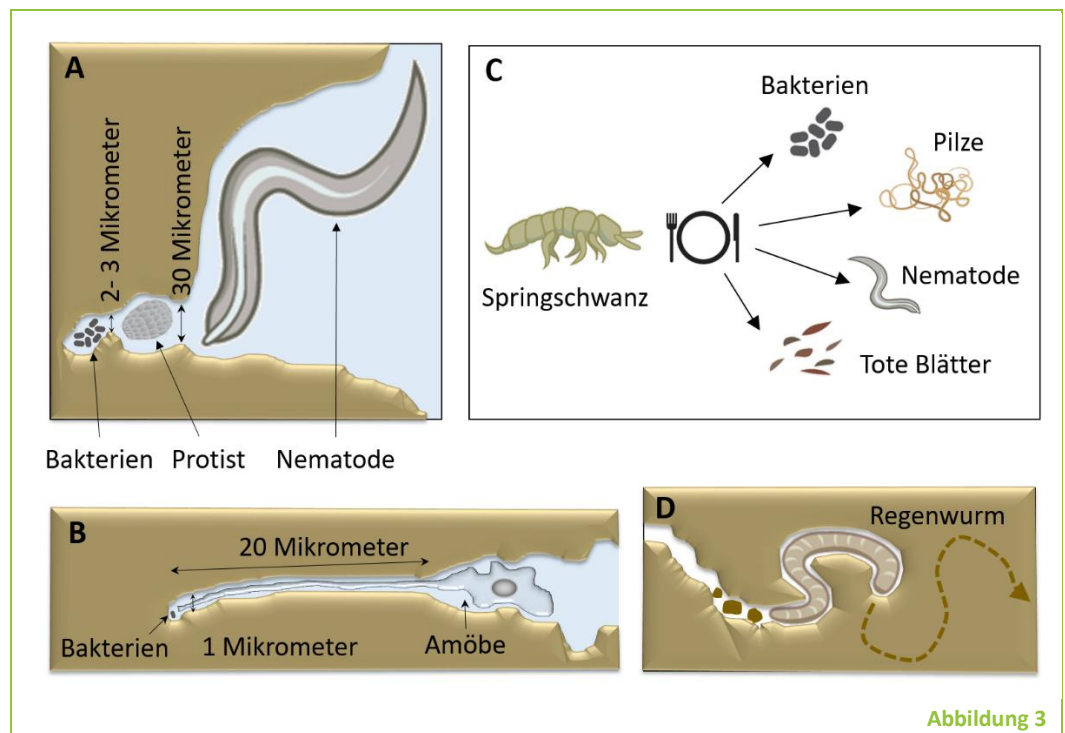


Abbildung 3

WARUM IST ES SO BESONDERS, SEINE NAHRUNG IM BODEN ZU SUCHE?

Der Boden ist dunkel. Hast du schon einmal versucht, dein Abendessen im Dunkeln zu essen? Es ist gar nicht so einfach, herauszufinden, wo das Essen ist. Bodentiere haben das gleiche Problem. Augen funktionieren im Boden nicht, deshalb haben viele Bodentiere nicht einmal welche. Im Gegensatz dazu haben die meisten Bodentiere sehr feine "Nasen". Nematoden, Springschwänze und Regenwürmer zum Beispiel können ihre Nahrung sehr gut riechen. Sie können erkennen, wo sich die Nahrung befindet, und bewegen sich darauf zu. Nematoden können Bakterien in bis zu 50 cm Entfernung "riechen" und erreichen sie innerhalb von zwei Wochen [3]. Das ist eine beachtliche Entfernung für einen Nematoden, da diese kleinen Würmer normalerweise nur

einige hundert Mikrometer lang sind (1 Mikrometer = 0,001 mm; zum Vergleich: die Breite eines menschlichen Haares beträgt 100 Mikrometer). Das wäre so, als ob der Mensch Nahrung aus etwa 70 km Entfernung riechen könnte!

Der Boden ist nicht nur dunkel, er ist auch ein Labyrinth, in dem sich die Bodenorganismen nicht frei bewegen können. Der Boden ist wie ein Schwamm mit größeren und kleineren Löchern. Die kleineren Organismen, wie z. B. die Bakterien, messen in der Regel 1-2 Mikrometer und können sich in kleinen Löchern "verstecken". Wir wissen zum Beispiel, dass Protisten (Abbildung 1) die bakterielle Beute nicht erreichen können, wenn sich die Bakterien in Löchern befinden, die kleiner als 2-3 Mikrometer sind [4] (Abbildung 3A). Dasselbe gilt für Nematoden, die keine Bakterien fressen können, die sich in Löchern mit einer Größe von weniger als 30 Mikrometern befinden [4] (Abbildung 3A). Je kleiner die Löcher im Boden sind, desto besser können sich die Bakterien darin verstecken und vermeiden, von Räufern gefangen und gefressen zu werden. Die Räuber haben jedoch Strategien entwickelt, um sich trotz dieser Probleme zu ernähren. Amöben sind beispielsweise Protisten mit weichen Körpern, die jede beliebige Form annehmen können (Abbildung 3B). Amöben können einen sehr dünnen und langen "Arm" in kleine Erdlöcher ausstrecken, um versteckte Bakterien zu fangen [5]. Springschwänze haben eine andere Strategie: Sie sind nicht sehr wählerisch, was die Nahrungsquellen angeht, die sie verzehren - sie sind Nahrungsgeneralisten. Sie können Bakterien und Pilze fressen, aber auch abgestorbene Blätter und Nematoden (Abbildung 3C). Je nachdem, was in den kleinen Löchern des Bodens, durch den sie krabbeln, verfügbar ist, nehmen sie die eine oder andere Nahrungsquelle zu sich. Diese Flexibilität hilft ihnen, jeden Tag etwas zu fressen zu haben. Regenwürmer haben weniger Schwierigkeiten ihre Nahrung im Boden-Labyrinth zu finden, da sie diesen einfach direkt fressen (Abbildung 3D). Sie können die darin enthaltenen Bakterien und Pilze sowie abgestorbenes Pflanzenmaterial verdauen. Wenn Regenwürmer kacken, bilden die unverdauten Reste typischerweise kleine Erdkugeln.

EIN NEUER BLICK AUF DIE NAHRUNGSSUCHE IN EINEM DUNKLEN LABYRINTH

Die Nahrungsaufnahme im Boden ist wie die Suche nach Nahrung in einem dunklen Labyrinth. Um zu verstehen, wer wen in der Dunkelheit des Bodens unter unseren Füßen frisst, müssen Bodenökolog*innen wie echte Detektiv*innen vorgehen und alle möglichen komplizierten Techniken anwenden, entweder im Wald oder im Labor. Jetzt, wo du weißt, wie kompliziert es sein kann, sich im Boden zu ernähren, wirst du Bodentiere bestimmt mit anderen Augen sehen!

DANKSAGUNG

Diese Forschung wurde von der Europäischen Kommission - Horizon 2020 Forschungs- und Innovationsprogramm, Marie Skłodowska-Curie-Maßnahmen (Zuschuss Nr. 750249) unterstützt. Wir sind Audrey Marville für das Zeichnen der Bodentiere dankbar.

REFERENZEN

- [1] Ruess, L., and Chamberlain, P. M. 2010. The fat that matters: soil food web analysis using fatty acids and their carbon stable isotope signature. *Soil Biol. Biochem.* 42:1898–910. doi: 10.1016/j.soilbio.2010.07.020
- [2] Digel, C., Curtsdotter, A., Riede, J., Klarner, B., and Brose, U. 2014. Unravelling the complex structure of forest soil food webs: higher omnivory and more trophic levels. *Oikos* 123:1157–72. doi: 10.1111/oik.00865
- [3] Rasmann, S., Köllner, T. G., Degenhardt, J., Hiltbold, I., Toepfer, S., Kuhlmann, U., et al. 2005. Recruitment of entomopathogenic nematodes by insect-damaged maize roots. *Nature* 434:732. doi: 10.1038/nature03451
- [4] Rønn, R., Vestergård, M., and Ekelund, F. 2012. Interactions between bacteria, protozoa and nematodes in soil. *Acta Protozool.* 51:223–35. doi: 10.4467/16890027AP.12.018.0764
- [5] Foster, R. C., and Dormaar, J. F. 1991. Bacteria-grazing amoebae in situ in the rhizosphere. *Biol. Fertil. Soils* 11:83–7. doi: 10.1007/BF00336368

EDITIERT DURCH: Rémy Beugnon, German Centre for Integrative Biodiversity Research(iDiv), Germany

QUELLE: Erktan A, Pollierer MM and Scheu S (2020) Soil Ecologists as Detectives Discovering Who Eats Whom or What in the Soil. *Front. Young Minds* 8:544803. doi: 10.3389/frym.2020.544803

INTERESSENSKONFLIKT: Die Autoren versichern, dass die Studie ohne kommerzielle oder finanzielle Beziehungen durchgeführt wurde, die als möglicher Interessenskonflikt ausgelegt werden könnten.

COPYRIGHT © 2020 Erktan, Pollierer and Scheu. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

JUNGE REVIEWER

CECÍLIA, 9 JAHRE

Cecília ist eine aufgeweckte junge Dame, die gerne Schach spielt und sehr neugierig auf alle möglichen Dinge ist. Sie will einfach nur wissen, wie alles funktioniert und mag es, später all die Fakten, die ihr Gehirn gesammelt hat, zu präsentieren.

NYNKE, 12 JAHRE

Hi, mein Name ist Nynke.



AUTORINNEN UND AUTOREN



AMANDINE ERKTAN

Ich bin Postdoc an der Universität Göttingen in Deutschland. Ich interessiere mich für die Frage, wie lebende Organismen die Bodenstruktur formen und umgekehrt. Zunächst habe ich mich mit Pflanzenwurzeln beschäftigt und untersucht, wie sie den Boden strukturieren. Schnell wurde mir klar, dass Wurzeln nicht die einzigen Ingenieure des Bodens sind. Es gibt unzählige Mikroben und Tiere im Boden, und ihre Rolle ist entscheidend für die Bodenstruktur. Ich erwerbe nun neue Fähigkeiten bei der Untersuchung von Bodentieren und hoffe, Licht in das Zusammenspiel von Pflanzenwurzeln, Mikroben und Bodentieren in der Bodenmatrix bringen zu können.



MELANIE M. POLLIERER

Ich bin Postdoc an der Universität Göttingen, Deutschland. Mein Hauptinteresse gilt den Nahrungsnetzen von Bodentieren. Da es schwer zu beobachten ist, was Bodentiere wirklich fressen, verwende ich indirekte Methoden, um mehr herauszufinden. In meiner Doktorarbeit habe ich Fettsäuren in Bodentieren analysiert und den Weg des markierten Kohlenstoffs von den Pflanzen zu den Tieren verfolgt. Jetzt verwende ich eine weitere neue Methode: Ich analysiere stabile Formen von Kohlenstoff und Stickstoff in Aminosäuren, was noch detailliertere Einblicke in die Ernährung ermöglicht.



STEFAN SCHEU

Während meines Biologiestudiums in Tübingen und Göttingen zwischen 1979 und 1986 war ich fasziniert von der enormen Vielfalt und der wichtigen Rolle von wirbellosen Bodenlebewesen. Seitdem habe ich die Struktur und Funktion von Bodentiergemeinschaften untersucht, zunächst während meiner Promotion an der Universität Göttingen und später als Postdoc in Calgary und Göttingen. 1997 gründete ich meine eigene Forschungsgruppe als Professor für Zoologie und Ökologie an der Technischen Universität Darmstadt, und 2008 kehrte ich als Lehrstuhlinhaber für Tierökologie an die Universität Göttingen zurück. Hier untersuchen wir die Struktur, Funktion und Evolution von Bodentierarten und -gemeinschaften.

ÜBERSETZERIN

MELANIE M. POLLIERER

(siehe Autorinnen und Autoren)