



WIE BODENORGANISMEN AUSSEHEN, VERRÄT ETWAS ÜBER IHRE FUNKTION IM BODEN

Pierre Ganault^{1*}, Léa Beaumelle², Apolline Auclerc³

¹ CEFE, Univ. Montpellier, CNRS, EPHE, IRD, Univ. Paul-Valéry Montpellier, Montpellier, France,

² INRAE, UMR SAVE, Villenave d'Ornon, France

³ Laboratoire des sols et Environnement, Université de Lorraine, INRAE, LSE, Nancy France

JUNGE REVIEWER:



GIULIA

ALTER: 13

Auf unserem Planeten gibt es viele verschiedene Lebensformen, und besonders viele unter unseren Füßen, im Boden. Regenwürmer, Spinnen und Tausendfüßler sind nur einige Beispiele aus unzähligen Bodenlebewesen. Sobald man sich genauer ansieht, was alles in Böden lebt, bemerkt man die unglaubliche Vielfalt an Formen und Farben. Aber was, wenn wir uns die Zeit nehmen, all ihre Merkmale zu beschreiben: Farbe, Größe, Form, die Anzahl an Beinen oder die Art der Flügel, die Lebensdauer und bevorzugten klimatischen Verhältnisse? All diese Eigenschaften helfen uns, zu verstehen, welche Lebewesen wir in einem bestimmten Ökosystem finden können, was sie fressen, und wie weit sie sich fortbewegen können. Wissenschaftler:innen nutzen diese Informationen, um zu verstehen, welche unterschiedliche Rolle die Lebewesen im Boden einnehmen, und um kaputte Böden wiederherzustellen. Dadurch

ABBILDUNG 1

Methoden zum Sammeln und Untersuchen von wirbellosen Bodentieren. Um kleine Tiere aus einer Bodenprobe herauszuholen, trocknet man die Probe und sammelt die herausfallenden Individuen. Große und flinke Tiere, die in der Laubstreu leben, fängt man in Bodenfallen. Bei weniger mobilen Organismen zerlegt man einen Erdklumpen mit der Schaufel und sammelt die Tiere von Hand. Regenwürmer, die tief in der Erde leben, werden mit einem Gemisch aus Senf und Wasser aus ihren Gängen getrieben. Wenig mobile Lebewesen aus der Laubstreu kann man mit einem Berlese-Aufbau isolieren, der den Boden trocknet und die Tiere in einem Gefäß auffängt. (Zeichnungen: www.lesbullesdemo.fr; Bilder: Apolline Auclerc, EcoBioDiv lab)

WIRBELLOSES TIER

Kleine Tiere ohne internes Skelett, etwa Insekten, Würmer oder Weichtiere.

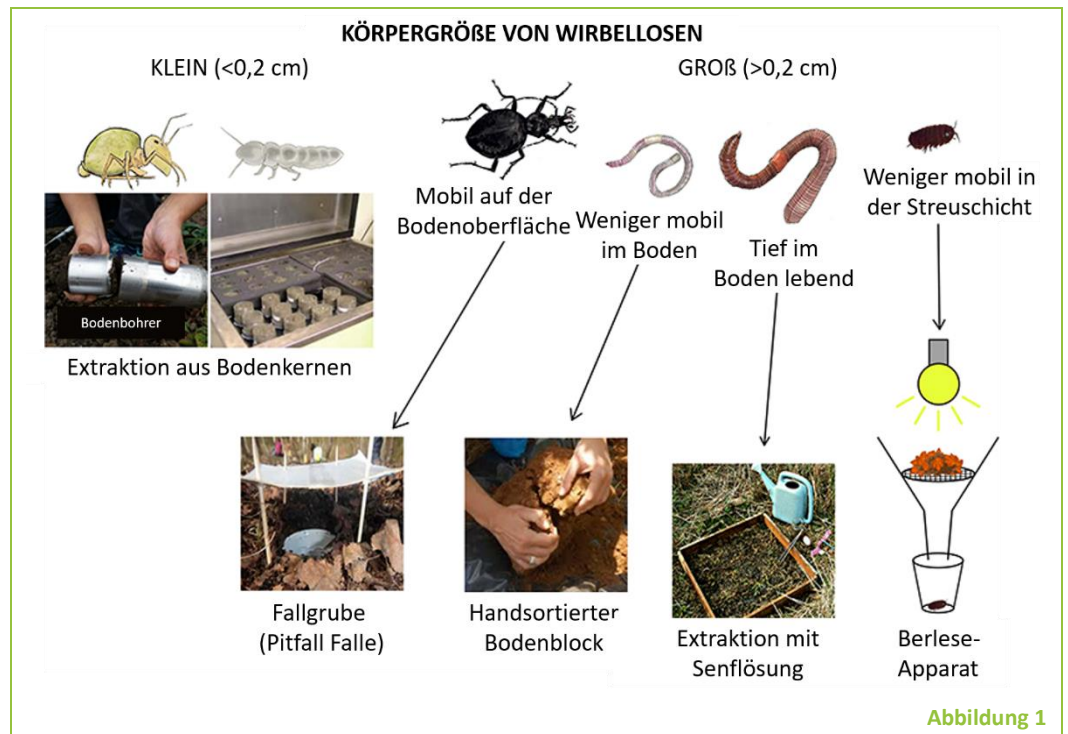
BODENBIODIVERSITÄT

Die Vielfalt der Lebensformen im Boden. Sie kann zum Beispiel durch die Anzahl der Arten, messbaren Merkmale, oder Gene dieser Lebewesen ausgedrückt werden.

BODENÖKOLOGE/-IN

Ein:e Wissenschaftler:in, der/die sich mit Bodenlebewesen, ihren Wechselwirkungen mit ihrer Umwelt, und ihrer Funktion im Boden beschäftigt.

zeigen sie, wie wichtig Bodenlebewesen sind und warum sie eine grundlegende Rolle für uns Menschen und unsere Gesellschaft spielen.



BÖDEN: EINE WUNDERBARE, ABER UNBEKANNTE WELT

Im Boden unter unseren Füßen leben Millionen von Organismen [1]. Diese reichen von mikroskopischen Lebewesen (genannt Mikroorganismen) bis hin zu **wirbellosen Tieren** (etwa Regenwürmern), die über einen Meter lang sein können. Die Vielfalt an Lebewesen im Boden nennt man **Bodenbiodiversität**. Biodiversität bezeichnet die Variation aller Lebensformen auf unserem Planeten.

Bodenökolog:innen sind Wissenschaftler:innen, die die Vielfalt der Bodenlebewesen untersuchen. Für gewöhnlich sammeln sie Bodenorganismen an unterschiedlichen Orten, wie tropischen Regenwäldern oder Äckern. Ihre Proben nehmen sie mit Schaufeln, Fallen oder Metallzylindern, je nachdem, ob die Lebewesen, für die sie sich interessieren, im Boden oder an der Oberfläche leben (Abb. 1). Dann fangen sie die Organismen, die sie in ihren Proben sehen können, per Hand oder mit einer Pinzette. Um die kleinsten wirbellosen Bodentiere zu erwischen, benutzen Bodenökolog:innen oft eine Technik, die man **Berlese-Methode** nennt: im Labor geben sie ihre Probe in einen Trichter, mit einer Wärmelampe darüber und einem Glas darunter. Licht und Wärme bringen die winzigen Tierchen dazu, durch den Trichter abwärts in das Glas zu wandern. Nach einigen Tagen können die Forschenden dann die Lebewesen im Glas untersuchen.

Sobald alle Organismen gesammelt sind, beginnt die langsame und zähe Arbeit. Die Wissenschaftler:innen zählen und beobachten jedes einzelne Tierchen genau, um zu bestimmen, zu welcher **Art** es gehört. Dazu benutzen sie verschiedene Arten von Mikroskopen sowie Bestimmungsschlüssel und

BERLESE-METHODE

Ein Verfahren, um kleine Lebewesen aus Proben von Blättern oder Boden herauszuholen. Dafür trocknet man die Probe und sammelt Tierchen, die durch die Probe wandern und in ein Gefäß fallen.

ABBILDUNG 2

Morphologische Unterschiede zwischen neun Arten wirbelloser Bodentiere aus drei Gruppen: Regenwürmer, Laufkäfer und Springschwänze. (Zeichnungen: www.lesbullesdemo.fr)

ART

Einzelne Lebewesen, die zur selben Art zählen, können fruchtbare Nachkommen zeugen. Die Art ist die am häufigsten genutzte Einheit, um das Leben auf der Erde zu beschreiben. Alle Menschen gehören derselben Art an, aber es gibt unzählige Arten unter den Bodenlebewesen.

(MESSBARES) MERKMAL

Jedes Merkmal, das man an einem Individuum messen kann, um seine Form, Fortbewegungsvermögen, Ernährung, Verhalten oder Fortpflanzungsstrategie zu beschreiben.

Bücher. Die Gesamtzahl an Arten in einem bestimmten Ökosystem entspricht seiner Biodiversität. Bodenökolog:innen haben eine Menge zu tun, denn Böden sind mit die Ökosysteme auf der Welt mit der größten Vielfalt und besonders stark von Menschen beeinflusst. Außerdem sind in vielen Regionen der Welt die Böden noch nicht untersucht worden. Viele Arten von Bodenlebewesen kennen wir deswegen noch gar nicht.

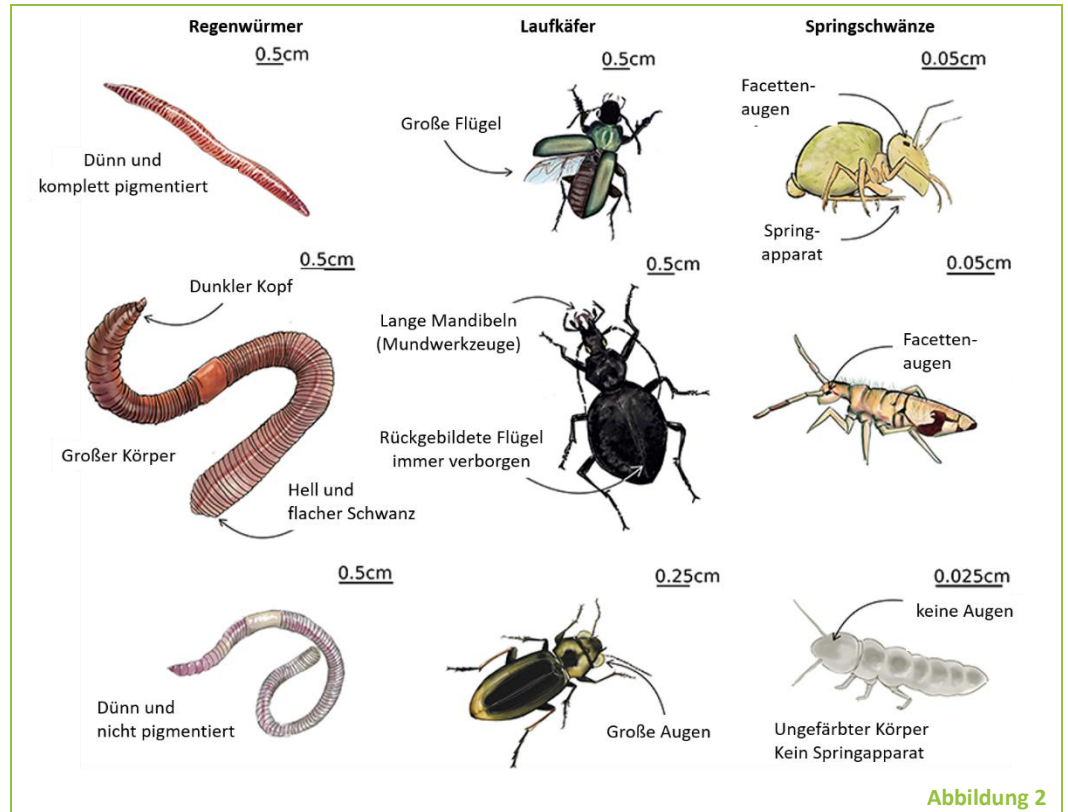


Abbildung 2

BODENLEBEWESEN SIND EXTREM VIELFÄLTIG

Die Biodiversität im Boden ist so groß, dass es fast unmöglich ist, die **Eigenschaften** aller Bodenlebewesen auf einmal zu beschreiben. Wir veranschaulichen diese Vielfalt für Dich, indem wir das Aussehen und Verhalten von drei bekannten Gruppen beschreiben von Regenwürmern, Springschwänzen und Laufkäfern (Abb. 2).

Körpergröße

Ein wichtiger Unterschied in der Erscheinung von Regenwürmern, Springschwänzen und Laufkäfern (und von Arten innerhalb dieser Gruppen) ist ihre Körpergröße. Sie ist ein Beispiel für ein sogenanntes morphologisches Merkmal. Der kleinste Regenwurm misst einige Zentimeter, während der größte, der in tropischen Regenwäldern zuhause ist, bis zu 2 m lang werden kann. Laufkäfer in Europa werden zwischen 2 mm und 8 cm lang, gemessen vom Kopf bis zum Ende des Abdomens (Hinterleib). Springschwänze sind viel kleiner, im Durchschnitt nur 2 mm groß, aber ihre Körpergröße hängt davon ab, wo sie leben. Zum Beispiel sind manche Springschwanzarten in toten Blättern größer als andere, die tiefer in der Erde leben.

UV-LICHT

Ein Teil der Sonnenstrahlen, die Sonnenbrand verursachen, aber für das bloße Auge unsichtbar sind.

Fortbewegung

Um Lebensräume mit ausreichend Nahrung, Artgenossen zur Fortpflanzung und wenigen Fressfeinden zu finden, haben Bodenlebewesen zahlreiche Techniken zur Fortbewegung entwickelt, sowohl an der Erdoberfläche als auch im Boden. Regenwürmer haben keine Beine, aber manche Arten besitzen starke Muskeln und kleine Härchen, mit deren Hilfe sie sich zwischen Bodenpartikeln eingraben können. Laufkäfer mit ihren sechs Beinen können auf der Erdoberfläche laufen, um ihre Beute zu fangen. Viele Laufkäferarten haben außerdem Flügel, die es ihnen erlauben, rasch vor einem Fressfeind zu oder anderen Bedrohungen zu entkommen, oder sich dorthin zu bewegen, wo sie mehr Nahrung oder Partner finden. Springschwänze bewegen sich ebenfalls auf ihren sechs Beinen fort, aber dank eines speziellen Fortsatzes, der wie eine Feder funktioniert, können manche von ihnen mehrere Zentimeter in die Luft springen, um Jägern zu entkommen.

Farbe

Bodenorganismen können sehr bunt sein. Regenwürmer, die in den obersten Zentimetern des Bodens leben – in Laub, Kompost oder Mist –, sind rötlich braun. Damit tarnen sie sich im orange-braunen Laub vor ihren Fressfeinden und schützen sich vor **UV-Strahlung** [2]. Andere Regenwürmer leben tiefer im Boden und haben oft bleiche Farben wie schwachrosa, grau oder grün. Im dunklen Boden brauchen sie keine Pigmentierung, weil UV-Strahlung nicht bis dorthin vordringt. Wieder andere Regenwürmer leben die meiste Zeit im Boden, stecken aber ihren Kopf heraus, um Laub zu fressen, weshalb nur ihr Kopf gefärbt ist. Springschwänze weisen ähnliche Farbmuster auf wie Regenwürmer: farbige Arten leben an der Bodenoberfläche und farblose Arten tiefer im Boden [3]. Laufkäfer schließlich können viele wunderbare Farbmuster haben, besonders die aus der Gattung *Carabus*. Die bunten Farben könnten Vögel irritieren, die sie fressen wollen, oder ihnen helfen, sich in ihrer Umgebung zu tarnen.

Mundwerkzeuge

Ein weiterer großer Unterschied zwischen unseren Gruppen sind ihre Mundwerkzeuge. Laufkäfer besitzen starke Mandibeln (Kiefer), die unterschiedlich groß und geformt sein können, je nachdem, was sie am meisten fressen. Manche Arten haben zum Beispiel sehr lange, vorwärts gerichtete Mandibeln, um das Innere von Schneckenhäusern erreichen zu können. Springschwänze haben kleine Mäuler, mit denen sie Pilze auf Blättern und auch kleine Blattstücke fressen können. So hinterlassen sie wunderschöne Skelette abgestorbener Blätter. Regenwürmer haben keine Mandibeln, aber ihre Muskelmägen sind stark genug, um Erdkrümel und Blätter zu zerkleinern.

DIE MERKMALE VON BODENLEBEWESSEN GEBEN HINWEISE AUF IHRE WICHTIGEN FUNKTIONEN

Sorgfältige Betrachtung der Merkmale von Bodenorganismen verrät Ökolog:innen eine Menge darüber, was die Tiere fressen, wo sie leben, und ihre Wechselwirkung mit ihrer Umgebung (Abb. 3). Die Aktivität von Organismen im Boden ist extrem wichtig, um gesunde Böden zu erhalten. Sie können die

physischen Verhältnisse im Boden verändern, indem sie Gänge graben, sie können dem Boden durch das Zersetzen von Laub Nährstoffe hinzufügen, oder die Populationen anderer Bodentiere beeinflussen [4]. Wir wollen uns die wichtigen Funktionen unserer drei Beispielorganismen einmal genauer ansehen.

Regenwürmer sind aufgrund ihrer intensiven Wühltätigkeit sehr wichtig für den Erhalt gesunder Böden. Arten, die im Boden leben, graben sich durch ihn hindurch, fressen, was sie dort finden, und durchmischen Bodenpartikel mit Teilen von Laub. So schaffen sie eine Vielzahl von Gängen, durch die Luft und Wasser leichter fließen können, was wiederum anderen Bodentieren hilft, zu atmen und zu trinken, und Pflanzen das Wachstum ihrer Wurzeln erleichtert. Manche großen Regenwürmer graben lange, breite, vertikale Gänge wie Kamine; andere schaffen kleinere Gänge, tragen aber ebenfalls viel zur Durchmischung des Bodens bei. Deshalb sind Regenwürmer sehr wichtig, um Überflutungen und Bodenabtragung zu verhindern und den Zustand von Böden zu verbessern.

ABBILDUNG 3

Bodentiere im Einsatz. (1) Ein Regenwurm lebt in und ernährt sich von Laub. (2) Durch einen weiten, tiefen Gang gelangt ein Regenwurm an die Erdoberfläche. (3) Regenwürmer leben im Boden und graben viele Gänge. (4) Unterschiedliche Springschwanz-Arten wandeln Laub in Dungkugelchen um. (5) Ein Springschwanz entkommt einem Fressfeind, indem er mit seinem sprunghaftartigen Fortsatz springt. (6) Ein Laufkäfer frisst eine Schnecke. (7) Laufkäfer klar zum Abflug. (Zeichnungen: www.lesbullesdemo.fr)

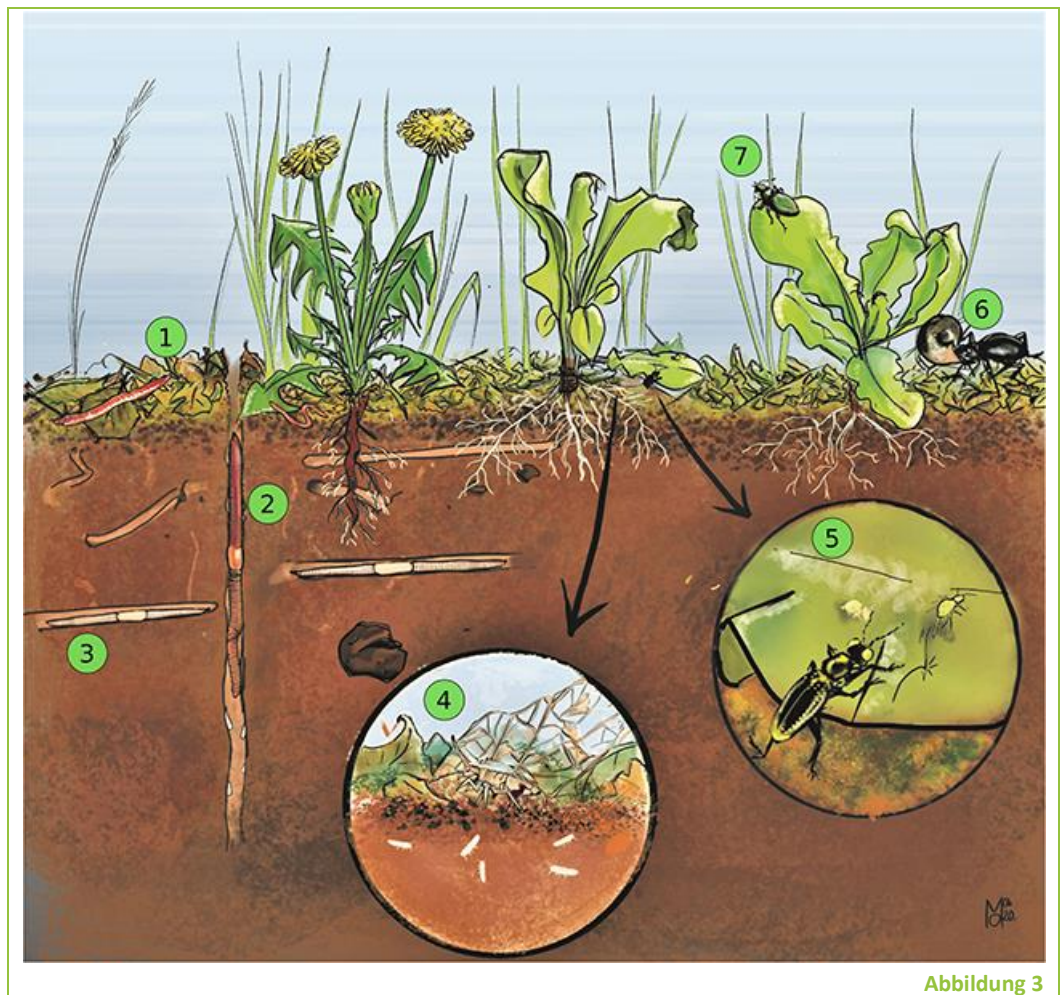


Abbildung 3

Auch Springschwänze haben extrem wichtige Funktionen in Böden, besonders beim Nährstoffrecycling aus Laub, was Pflanzen beim Wachstum hilft. Manchmal findet man auf einem einzigen Quadratmeter zigtausende Springschwänze! So viele Tiere können große Mengen Laub und Mikroben fressen (zum Beispiel Pilze und Bakterien). Nach dem Fressen produzieren sie

viele kleine Dungkügelchen, in denen winzige Stücke von Blättern mit etwas Wasser gemischt sind. Die sind die perfekte Nahrung für Mikroben, die so das Laub weiter zu Nährstoffen zersetzen, welche wiederum von Pflanzen genutzt werden können. Dieses Nährstoffrecycling von Springschwänzen und Mikroben ist daher enorm wichtig für Ökosysteme und Pflanzenwachstum.

Laufkäfer können sich unterschiedlich ernähren, zum Beispiel als Jäger verschiedener Beutetiere, von kleinen Läusen bis zu größeren Schnecken. Einzelne Käferarten sind auf einen bestimmten Beutetyp spezialisiert: der Gewöhnliche Schaufelläufer (*Cychrus caraboides*) ernährt sich zum Beispiel nur von Schnecken. Manche fangen dank ihrer gut entwickelten Augen winzige Springschwänze (Abb. 3). Laufkäfer haben eine wichtige Funktion bei der Regulierung der Populationen anderer Tiere. Auf Feldern fressen sie zum Beispiel Schädlinge, die sonst die Früchte befallen würden. Das bezeichnet man als biologische Schädlingsbekämpfung, weil natürliche Raubtier-Beute-Beziehungen zwischen den Organismen dafür genutzt werden, Schädlinge unter Kontrolle zu halten. Weil nicht alle Arten die gleiche Beute fressen, ist es wichtig, eine hohe Vielfalt an Laufkäfern in einem Ökosystem zu erhalten. Laufkäfer sind unterschiedlich groß und fressen meist Beute, die kleiner ist als sie selbst. Eine hohe Vielfalt an Laufkäfern ermöglicht daher eine bessere Regulierung von Schädlingen [6].

Körpergröße, Größe und Art der Mundwerkzeuge, Jagdverhalten und Beutetyp sind also wichtige Eigenschaften, die Bodenökolog:innen einbeziehen, um die Wechselwirkungen zwischen Bodentieren und ihrer Umgebung zu verstehen.

ZUSAMMENFASSUNG

Aussehen und Verhalten von Bodentieren sind unglaublich vielfältig. Bodenökolog:innen erkunden die wunderbare Welt der Böden und können dabei neue Arten und Merkmale entdecken. Die Merkmale der gefundenen Arten helfen ihnen dabei, Wechselwirkungen zwischen Lebewesen und Ökosystemen besser zu verstehen. Die zahlreichen Funktionen verschiedener Bodentiere ergänzen sich und bilden die Grundlage für den Erhalt gesunder Böden. Daher ist es sehr wichtig für uns, Biodiversität im Boden zu bewahren und zu schützen, während sie immer mehr dem wachsenden Einfluss menschlicher Aktivität ausgesetzt ist, etwa durch intensive Landwirtschaft und Klimawandel. Es ist wichtig, viele Menschen auf die Bedeutung von Bodentieren aufmerksam zu machen und unser Wissen über Bodenvielfalt zu vermehren. So können wir die Auswirkungen unseres Handelns auf die fantastischen Ökosysteme unter unseren Füßen verringern.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the TEBIS consortium (<http://www.reseau-tebis.fr/>) and the different NGO, such as *Les petits débrouillards* (<https://www.lespetitsdebrouillards.org>) and *CARABES* (<https://assocarabes.com>) with which the authors are working with to increase citizen awareness and encourage protection of soils and their biodiversity. The authors also thank Morgane Arietta Ganault for the quality of the detailed drawings, the mentor and young reviewers for their suggestions that improved the manuscript quality, and Susan Debad for her help with English syntax that improved the manuscript clarity.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Orgiazzi, A., Bardgett, R. D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M. J. I., Chotte, J. L., et al. 2016. *Global Soil Diversity Atlas*. Luxembourg: European Union. Available online at: http://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/JRC_global_soilbio_atlas_online.pdf (accessed April 28, 2020).
2. Bottinelli, N., Hedde, M., Jouquet, P., and Capowiez, Y. 2020. An explicit definition of earthworm ecological categories—Marcel Bouché's triangle revisited. *Geoderma* 372:114361. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114361
3. Potapov, A. A., Semenina, E. E., Korotkevich, A. Yu., Kuznetsova, N. A., and Tiunov, A. V. 2016. Connecting taxonomy and ecology: trophic niches of collembolans as related to taxonomic identity and life forms. *Soil Biol. Biochem.* 101:20–31. doi: 10.1016/j.soilbio.2016.07.002
4. Pey, B., Nahmani, J., Auclerc, A., Capowiez, Y., Cluzeau, D., Cortet, J., et al. 2014. Current use of and future needs for soil invertebrate functional traits in community ecology. *Basic Appl. Ecol.* 15:194–206. doi: 10.1016/j.baee.2014.03.007
5. Capowiez, Y., Bottinelli, N., Sammartino, S., Michel, E., and Jouquet, P. 2015. Morphological and functional characterisation of the burrow systems of six earthworm species (Lumbricidae). *Biol. Fertil. Soils* 51:869–77. doi: 10.1007/s00374-015-1036-x
6. Rusch, A., Birkhofer, K., Bommarco, R., Smith, H. G., and Ekbom, B. 2015. Predator body sizes and habitat preferences predict predation rates in an agroecosystem. *Basic Appl. Ecology* 16:250–9. doi: 10.1016/j.baee.2015.02.003

EDITED BY: Rémy Beugnon, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany

CITATION: Ganault P, Beaumelle L and Auclerc A (2021) The Way Soil Organisms Look Can Help Us Understand Their Importance. *Front. Young Minds* 9:562430. doi: 10.3389/frym.2021.562430

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

COPYRIGHT © 2021 Ganault, Beaumelle and Auclerc. 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.

YOUNG REVIEWER

GIULIA, ALTER: 13

I am Giulia. I am 13 years old. I like going to school and my favorite subject is English. In my free time, I love playing with my dog, playing tennis, and going to ride horse. In the summer, I like playing in my little swimming pool with my friends and going around my city, all together, by bike. Instead, in the winter, I like very much skiing with my parents and our neighbors.



AUTOR:INNEN

PIERRE GANAULT

At each walk in nature, I cannot help myself from flipping logs and rocks over or searching into the dead leaves to see what wonderful animal I will find hiding there. This curiosity led me to study soil biodiversity and do a Ph.D. on the response of tree species mixture for soil invertebrates and the role of these animals for soil processes. I also work with associations to bridge the gap between scientists and citizens so we can work all together to study, better understand and protect the creatures living in the soil. *pierre.ganault@gmail.com



LÉA BEAUMELLE

I am a post-doc at the French National Institute for Agriculture of Bordeaux. My research aims to better understand the impacts of human activities on soil biodiversity and functioning. During my Ph.D. in Versailles, I was studying the response of earthworms to heavy metal pollution. I have expanded my research during my post-docs in France and Germany, by investigating the effects of



multiple pollutants, the response of entire soil communities, and the consequences of biodiversity changes for ecosystem processes.

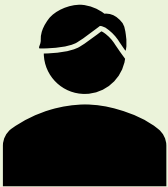


APOLLINE AUCLERC

I am an Assistant Professor in soil ecology and biology at University of Lorraine in France, Nancy. My research is focused on understanding how urban and industrial soil ecosystems can host a surprisingly high level of biodiversity by assessing how invertebrates, such as earthworms, insects, spiders, millipedes... are adapted to the special features of these human-impacted soils. I also develop tools to help citizens to raise their awareness on the soil quality and its unknown biodiversity.

ÜBERSETZER

JONATHAN VON OPPEN



FINANZIERUNG (ÜBERSETZUNG)

Das Team *Translating Soil Biodiversity* bedankt sich für die Unterstützung des Deutschen Zentrums für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig, gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG FZT 118, 202548816).