



## EIN DOPPELSCHLAG FÜR DIE LEBEWESEN IM BODEN? DIE AUSWIRKUNGEN VON DÜRRE UND DÜNGUNG

**Marie Sünemann<sup>1,2</sup>, Julia Siebert<sup>1,2</sup> and Nico Eisenhauer<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Experimentelle Interaktionsökologie, Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig, Leipzig, Deutschland

<sup>2</sup> Institut für Biologie, Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland

### YOUNG REVIEWER:



**JEDIHA**

AGE: 14

In den letzten zwei Jahrhunderten hat der Mensch die Erde durch seine Lebensweise stark verändert. Unser Handeln verursacht nicht nur den Klimawandel und führt zu längeren Dürreperioden, sondern auch zu einer übermäßigen Anhäufung von Nährstoffen in den Böden durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe und Überdüngung landwirtschaftlicher Felder. Beides bedroht die Welt zu unseren Füßen: die Böden. Sie sind zwar erst einmal unscheinbar, sind aber Heimat unzähliger Organismen - von winzigen Bakterien über flinke Tausendfüßler bis hin zu schleimigen Regenwürmern -, die alle zu Prozessen beitragen, die für das Leben auf der Erde unverzichtbar sind. Die Aktivität dieser Organismen fördert zum Beispiel die Zersetzung von Pflanzenmaterial, was dafür sorgt, dass die Böden, auf denen wir unsere Nahrung anbauen, fruchtbar bleiben. Da fast alle Bodenorganismen sehr empfindlich auf Veränderungen in ihrer Umgebung reagieren, wollten wir wissen, was passiert, wenn Dürre und Überdüngung zusammen auftreten.

## MENSCHLICHE AKTIVITÄTEN VERÄNDERN ÖKOSYSTEME

In den letzten 200 Jahren hat sich die Welt durch menschliche Aktivitäten enorm verändert. Der vom Menschen verursachte Klimawandel führt zu einer Erwärmung des Planeten, die in einigen Regionen mit immer längeren Dürreperioden (längerer Zeitraum in dem kein Regen fällt) einhergeht. Gleichzeitig hat sich die Bewirtschaftung von Feldern und Wiesen in den letzten Jahrzehnten drastisch verändert. Die Weltbevölkerung wächst stetig, und diese vielen Menschen brauchen etwas zu essen. Deshalb werden heute große Mengen an Düngemitteln auf landwirtschaftliche Felder ausgebracht, was zu wesentlich höheren Ernten führt [1]. Diese Praktiken können zwar genügend Nahrung für mehrere Milliarden Menschen liefern, haben aber auch einen entscheidenden Nachteil: Ähnlich wie bei einer Dürre beeinträchtigt eine übermäßige Düngung nicht nur die oberirdisch sichtbaren Pflanzen, sondern auch das komplexe **Ökosystem** unter der Erde - den Boden und den darin lebenden Organismen.

### ÖKOSYSTEM

Eine Gemeinschaft von Pflanzen, Bakterien, Tieren und Pilzen an einem bestimmten Ort, zusammen mit den nicht lebenden Bestandteilen dieser Umgebung.

### WIRBELLOSE TIERE

Tiere ohne eine Wirbelsäule, wie z. B. Tausendfüßler, Asseln und Regenwürmer.

### FUNKTIONEN DES ÖKOSYSTEMS

Natürliche Prozesse, die in einem Ökosystem ablaufen.

### ZERSETZUNG

Nach dem Tod werden lebende Organismen in immer kleinere Teile zerlegt. Dadurch werden Nährstoffe freigesetzt, die wiederum für das Pflanzenwachstum benötigt werden.

## DIE BEDEUTUNG DES ÖKOSYSTEMS BODEN

Böden sind ein wichtiger Teil der Landökosysteme auf unserem Planeten. Obwohl wir uns dessen oft nicht bewusst sind, wimmelt es im Boden nur so von Lebewesen. Es gibt Mikroorganismen wie Bakterien und Pilze, die so winzig sind, dass sie mit dem bloßen Auge nicht sichtbar sind. Was ihnen an Größe fehlt, machen sie durch ihre Anzahl wieder wett: Ein einziger Teelöffel Boden kann mehrere Millionen Bodenmikroorganismen enthalten. Selbst viele der etwas größeren Lebewesen, wie Milben und Springschwänze, sind nur mit einer Lupe zu erkennen. Zu den größten Bodentieren gehören Asseln, Tausendfüßler und Regenwürmer. Alle etwas größeren Bodentiere eint die Tatsache, dass sie kein Rückgrat haben, weshalb man sie als **wirbellose Tiere** (Invertebraten) bezeichnet. Diese Lebewesen leben gemeinsam im Boden und interagieren auf unterschiedliche Weise: Einige fressen sich gegenseitig, während andere sich unterstützen.

Die wirbellosen Bodenlebewesen erfüllen zahlreiche Aufgaben, die für unsere Existenz notwendig sind. Eine der wichtigsten dieser **Ökosystemfunktionen** ist die **Zersetzung**. Nach dem Tod werden lebende Organismen in immer kleinere Teile zerlegt. Dadurch werden Nährstoffe freigesetzt, die wiederum für das Pflanzenwachstum benötigt werden, was die Zusammenarbeit einer Vielzahl von Lebewesen erfordert. Bodenorganismen sind für den Abbau von abgestorbenem Pflanzenmaterial verantwortlich. Verwelkte Blätter, tote Wurzeln und Samen sind ihre Nahrungsgrundlage. Sie zerlegen diese abgestorbenen Pflanzenmaterialien in immer kleinere Teile. Die dabei entstehenden winzigen Verbindungen stellen wiederum eine hervorragende Nahrungsquelle für Bodenmikroorganismen wie Bakterien und Pilze dar. Schließlich werden diese Ressourcen wieder in eine Form umgewandelt, die die Pflanzen für ihr Wachstum nutzen können, nämlich CO<sub>2</sub> und Nährstoffe.

All diese Bodenlebewesen sind, wie fast alles Leben auf der Erde, in hohem Maße auf Wasser angewiesen, sei es zum Trinken, zum Atmen oder sogar als

## PH-WERT

Eine Skala, die angibt, ob eine Lösung einen sauren oder basischen Charakter hat. Je niedriger der Wert ist, desto saurer ist die Lösung.

## Abbildung 1

Foto des Experiments, das die Dächer zur Simulation von Trockenheit zeigt.  
© Julia Siebert

Transportmittel. Immer längere und häufigere Dürreperioden sind daher für viele kleine Organismen ein Problem. Und noch schlimmer: Was passiert, wenn gleichzeitig andere schädliche Faktoren auftreten? Ein übermäßiger Einsatz von Düngemitteln zum Beispiel kann für Bodenorganismen schädlich sein, weil er den **pH-Wert** verändert und die Böden saurer macht. Viele Bodenorganismen vertragen keine sauren Bodenbedingungen. Könnte Düngung einen weiteren Stressfaktor darstellen, der es den Bodenorganismen noch schwerer macht, Trockenheit zu ertragen? Und wie genau können wir herausfinden, ob Trockenheit und Düngung für Bodenorganismen schädlich sind und ihre Funktionen beeinträchtigen?



Abbildung 1

## WIE HABEN WIR DIE MIKROORGANISMEN IM BODEN UNTERSUCHT?

Um die Auswirkungen von Trockenheit und Düngung auf die Bodenorganismen zu verstehen, haben wir ein Experiment durchgeführt, bei dem diese beiden Faktoren, simuliert wurden [2]. Dazu haben wir eine Wiese in Mitteldeutschland ausgewählt, auf der wir kleine Flächen, die so genannten Versuchspartellen, angelegt und auf unterschiedliche Weise behandelt haben. Ein Viertel der Versuchsfelder wurde mittels Dächern (die den Regen abhalten) starker Trockenheit ausgesetzt (Abbildung 1), ein weiteres Viertel wurde mit Dünger behandelt, und ein weiteres Viertel wurde mit einer Kombination aus Trockenheit und Dünger behandelt. Das letzte Viertel wurde überhaupt nicht behandelt, es diente als Kontrollfläche. Kontrollpartellen sind wichtig, weil sie es uns ermöglichen, die Behandlungsmethoden mit normalen Bedingungen zu vergleichen.

Um zu verstehen, wie sich Trockenheit und Düngung auf die Bodenorganismen auswirken, untersuchten wir die wirbellosen Tiere im Boden und die Mikroorganismen im Boden getrennt. Wir untersuchten die Aktivität der wirbellosen Bodenlebewesen in jeder unserer Partellen. Dazu verwendeten wir

schmale Plastikstreifen mit mehreren kleinen Löchern, so genannte Köderlamellenteststreifen. Jedes Loch war mit einer Ködermischung gefüllt, die wirbellose Bodenlebewesen gerne fressen – am besten stellt ihr euch ein Wirbellosen-Müsli vor. Wir steckten diese Köderlamellen-Teststreifen vollständig in den Boden unserer Versuchspartzellen (Abbildung 2). Nach 3 Wochen untersuchten wir, wie viel des Köders von den Bodentieren gefressen worden war. Bodenökologinnen verwenden diese Methode, um zu beurteilen, wie viel wirbellose Bodentiere fressen, was ein sehr guter Anhaltspunkt für ihre Aktivität im Allgemeinen ist.

### Abbildung 2

Wie haben wir die Aktivität der Wirbellosen untersucht? Der Köderstreifen wurde vollständig in den Boden gesteckt, damit sich die wirbellosen Bodenbewohner davon fressen konnten. Nach drei Wochen haben wir überprüft, wie viele der kleinen Löcher mit dem Köder (eine Art "Wirbellosen-Müsli") voll, leer oder halbleer waren. Je aktiver und hungrier die Tierchen waren, desto mehr von dem Köder wurde gefressen.

© Gottschall/Siebert



Abbildung 2

Um die Mikroorganismen im Boden genauer zu untersuchen, nahmen wir von jedem unserer Versuchspartzellen eine kleine Menge Erde mit ins Labor. Wir bestimmten die mikrobielle Aktivität in diesen Proben, indem wir ihre Atmung maßen. Genau wie Menschen atmen Bodenorganismen Sauerstoff ( $O_2$ ) ein und Kohlendioxid ( $CO_2$ ) aus. Je mehr in einer Probe geatmet wird, desto aktiver sind die Mikroorganismen (stellt euch vor ihr macht Sport). Um die mikrobielle Atmung zu messen, verwendeten wir ein Gerät mit einem speziellen Sensor, der die von den Mikroorganismen verbrauchte Sauerstoffmenge messen kann. Dadurch dass wir wussten wie aktiv die Bodenmikroorganismen waren, konnten wir dann ihre **Biomasse** berechnen, die ein Maß für die Menge aller Mikroben ist, die in einer bestimmten Menge Boden leben.

## TROCKENHEIT UND DÜNGUNG WIRKEN SICH AUF WIRBELLOSE BODENBEWOHNER AUS

Wir haben unsere Daten mit statistischen Tests untersucht, um herauszufinden, wie die mikrobiellen und wirbellosen Bodengemeinschaften auf Trockenheit und Düngung reagierten. Wir fanden heraus, dass sowohl Trockenheit als auch Düngung die Aktivität der wirbellosen Bodenlebewesen

### BIOMASSE

Maß für die Menge aller Mikroben, die in einer bestimmten Menge Boden leben.

stark beeinträchtigen. Obwohl beide Faktoren für sich genommen starke negative Auswirkungen hatten, führte ihre Kombination zu keiner weiteren Verringerung der Wirbellosenaktivität (Abbildung 3A). Die Mikroben im Boden reagierten völlig anders. Die Trockenheit konnte ihnen nichts anhaben, und eine zusätzliche Düngung erhöhte sogar ihre Biomasse (Abbildung 3B).

### Abbildung 3

Was haben wir gefunden?

**(A)** Trockenheit, Düngung und beides zusammen verringerten die Fressaktivität der wirbellosen Bodenlebewesen stark.

**(B)** Die Mikroorganismen im Boden wurden durch die Dürrebehandlung nicht beeinträchtigt. Die Düngung führte sogar zu einem Anstieg der mikrobiellen Biomasse im Boden.

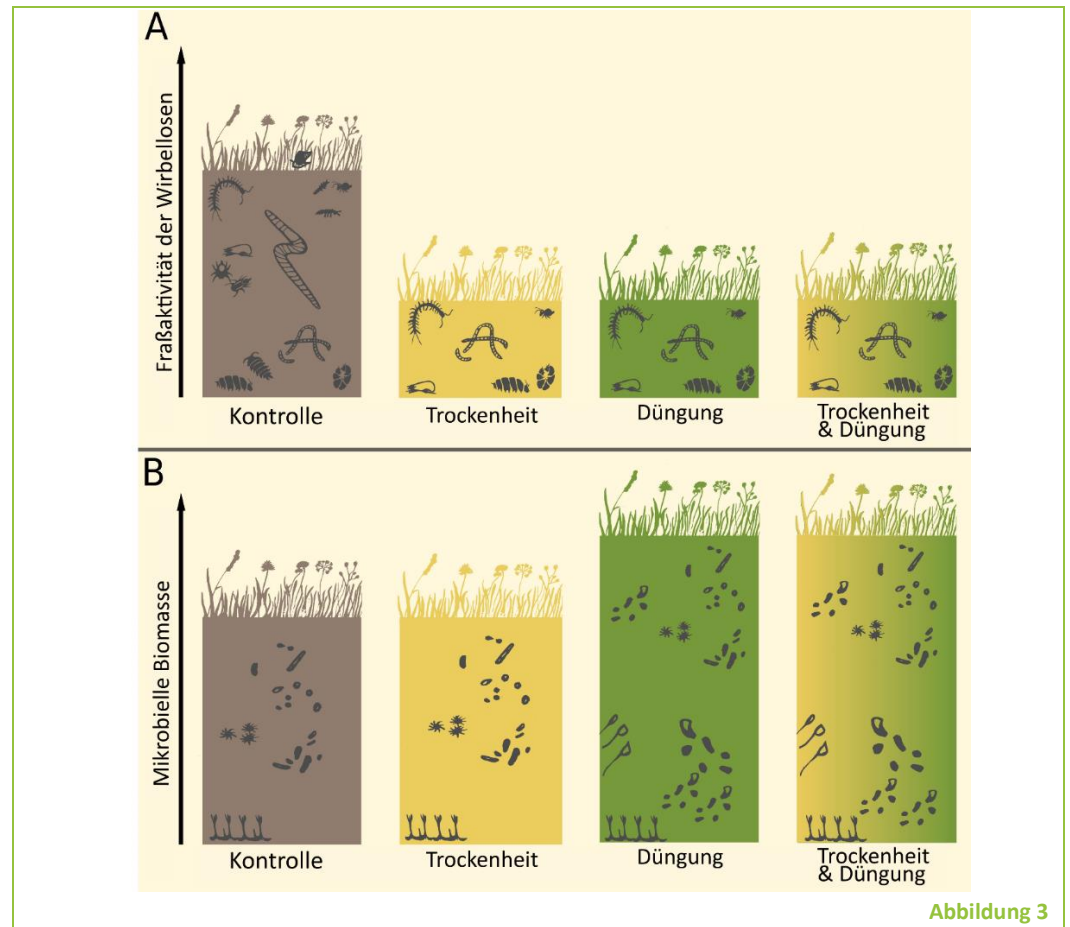


Abbildung 3

Warum schaden Trockenheit und Düngung wirbellosen Tieren viel mehr als Mikroorganismen? In der Regel sind beide Gruppen in hohem Maße von der Bodenfeuchtigkeit abhängig und kommen mit Trockenheit nur schwer zurecht. Unter anderem wird ihre Nahrung so trocken, dass sie sie nur noch schwer verdauen können [3]. Stellt euch vor, ihr esst den ganzen Tag lang altes Toastbrot ohne Marmelade und trinkt dabei auch nichts. Um der Trockenheit zu entkommen, wandern die Bodentiere möglicherweise in tiefere, feuchtere Bodenschichten, die wir mit unseren Köderstreifen nicht erreicht haben. Aber warum hat auch die Düngung ihre Aktivität verringert? Der Grund dafür ist, dass Dünger zu einer Versauerung der Böden führt, was bedeutet, dass der pH-Wert unter fünf sinkt. Regenwürmer und viele andere wirbellose Bodentiere leben nicht gern bei niedrigem pH-Wert, da er ihre empfindliche Haut schädigen kann. Eine Zitrone zum Beispiel hat einen pH-Wert von 2. Habt ihr euch schon mal in den Finger geschnitten und dann Zitronensaft darauf bekommen? Nicht sehr angenehm.

Im Gegensatz zu den Wirbellosen hat die Trockenheit den Mikroorganismen im Boden nicht geschadet. Das hat uns überrascht, denn unsere Behandlung hat die jährlichen Niederschläge um die Hälfte reduziert, was natürlich zu extrem

trockenen Böden geführt hat. Wir halten es jedoch für möglich, dass die Bakterien und Pilze, die normalerweise in der oberen Bodenschicht leben, ständig den Temperatur- und Feuchtigkeitszyklen der Jahreszeiten ausgesetzt sind. Aus diesem Grund müssen sie in der Lage sein, auch die trockensten Perioden zu überleben [4]. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, besteht darin, dass sie eine zuckerhaltige Schutzhülle bilden, die ihre Oberfläche vor dem Austrocknen schützt. Alternativ dazu können sie eine sehr widerstandsfähige Form bilden, die ihnen das Überleben ermöglicht, die so genannte Spore. Sporen befinden sich in einem ruhenden Zustand und können extreme Hitze und Trockenheit bis zu 1.000 Jahre überleben. Deshalb glauben wir, dass die Trockenheit den Mikroorganismen nichts anhaben könnte, sie waren einfach schon sehr gut dagegen gerüstet. Es ist aber auch möglich, dass unser Versuch zu kurz war, um negative Auswirkungen der Trockenheit zu erkennen.

Die Düngung hingegen wirkte sich sogar positiv auf die Mikroorganismen aus. Denn die zusätzlichen Nährstoffe aus dem Dünger förderten das Pflanzenwachstum stark. Die Pflanzen reagieren darauf nicht nur mit längeren Trieben, größeren Blüten und viel mehr Blättern, sondern auch indem sie über ihre Wurzeln mehr Ressourcen in den Boden abgeben, und die Mikroorganismen konnten sich von diesen zusätzlichen Nahrungsquellen ernähren.

Erfreulicherweise konnten wir feststellen, dass Trockenheit und Dünger ihre Wirkung nicht gegenseitig verstärken, was bedeutet, dass beide Faktoren zusammen nicht mehr Schaden anrichten als jeder für sich allein. Dies könnte bedeuten, dass die Ökosysteme über einige ausgezeichnete Bewältigungsmechanismen verfügen, die sie gegen schädliche Umwelteinflüsse einsetzen können. In dieser Studie haben wir die Aktivität der Bodenorganismen jedoch nach nur einem trockenen Jahr gemessen. Gut wäre es, den Boden noch einmal zu untersuchen, wenn er Trockenheit und Düngung viele Jahre ausgesetzt war, um zu sehen, ob die Ergebnisse immer noch dieselben sind.

## WAS BEDEUTET DAS FÜR DIE ZUKUNFT UNSERER BÖDEN?

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass größere wirbellose Bodenlebewesen anscheinend viel weniger gut auf künftige Umweltveränderungen vorbereitet sind als Mikroorganismen. Was bedeutet das für unsere Böden in der Zukunft? Der Rückgang der Aktivität von Bodentieren hat mehrere Konsequenzen für die Ökosysteme und damit auch für den Menschen. Wie wir bereits gelernt haben, sind alle Organismen im Boden notwendig, um den Zersetzungsprozess in Gang zu halten. Der Zersetzungsprozess ist in mehrere Schritte unterteilt, die sich gegenseitig bedingen. Während wirbellose Tiere vor allem für die Zersetzung größerer Teile, toter Tiere und Pflanzen zuständig sind, verdauen Mikroorganismen im nächsten Schritt die kleineren Teile und setzen eine Reihe von Nährstoffen frei. Zusammen bilden die Bodenorganismen eine große Nahrungsgemeinschaft, in der jede Art ihren eigenen Platz hat und ihre spezifischen Aufgaben erfüllt. Wenn jedoch ein Glied in dieser Kette fehlt, gerät

das gesamte System aus dem Gleichgewicht [5]. Das könnte bedeuten, dass die Böden auf Dauer ihre Fruchtbarkeit verlieren. Die Folge wäre, dass nicht nur die Gräser, sondern auch der Weizen und der Mais auf unseren Feldern nicht mehr so üppig wachsen würden und wir irgendwann Probleme bekämen, alle Menschen auf der Erde zu ernähren. Wir sind also auf das Wohlergehen aller Bodenlebewesen angewiesen und sollten ihre Bedeutung bei zukünftigen Entscheidungen, die unsere Böden betreffen könnten, im Auge behalten.

## DANKSAGUNGEN

Wir danken den Mitarbeitern der Versuchsanstalt Bad Lauchstädt für ihre Hilfe bei der Pflege des Versuchsgeländes und Alla Kavtea, Tom Künne und Ulrich Pruschitzki für ihre Unterstützung bei Labor- und Feldarbeiten. Außerdem danken wir der Koordination des International Drought-Net Experiment für die Bereitstellung von Protokollen und Unterstützung. Wir danken Susan Debad für die redaktionelle Unterstützung.

## QUELLENANGABEN

- [1] Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erisman, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R., et al. 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science* 320:889–92. doi: 10.1126/science.1136674
- [2] Siebert, J., Sünnemann, M., Auge, H., Berger, S., Cesarz, S., Ciobanu, M., et al. 2019. The effects of drought and nutrient addition on soil organisms vary across taxonomic groups, but are constant across seasons. *Sci. Rep.* 9:639. doi: 10.1038/s41598-018-36777-3
- [3] Thakur, M. P., Reich, P. B., Hobbie, S. E., Stefanski, A., Rich, R., Rice, K. E., et al. 2018. Reduced feeding activity of soil detritivores under warmer and drier conditions. *Nat. Clim. Change* 8:75–8. doi: 10.1038/s41558-017-0032-6
- [4] Tonkin, J. D., Bogan, M. T., Bonada, N., Rios-Touma, B., and Lytle, D. A. 2017. Seasonality and predictability shape temporal species diversity. *Ecology* 98:1201–16. doi: 10.1002/ecy.1761
- [5] Simpson, J. E., Slade, E., Riutta, T., and Taylor, M. E. 2012. Factors affecting soil fauna feeding activity in a fragmented lowland temperate deciduous woodland. *PLoS ONE* 7:e29616. doi: 10.1371/journal.pone.0029616
- BEARBEITET DURCH:** Helen Phillips, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany
- QUELLE:** Siebert, J., Sünnemann, M., Auge, H., Berger, S., Cesarz, S., Ciobanu, M., et al. 2019. The effects of drought and nutrient addition on soil organisms vary across taxonomic groups, but are constant across seasons. *Sci. Rep.* 9:639. doi: 10.1038/s41598-018-36777-3

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

**COPYRIGHT** © 2020 Sünnemann, Siebert and Eisenhauer. 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



### **JEDIDIAH, AGE: 14**

Jedidiah interessiert sich für Naturwissenschaften und Mathematik, insbesondere dafür, wie die Umwelt sein tägliches Leben beeinflusst. Er verbringt viel Zeit damit im Garten seiner Familie zu helfen und verdient sich Taschengeld indem er Eier und Gemüse verkauft, an deren Produktion er selbst beteiligt ist. In seiner Freizeit spielt Jed gerne Baseball oder Videospiele.

## AUTORINNEN UND AUTOREN



### **MARIE SÜNNEMANN**

Als Marie 6 Jahre alt war forderte ihre beste Freundin sie heraus einen Regenwurm zu essen. Obwohl sie das heute nicht mehr machen würde, hat ihre Neugierde auf alles was unter der Erde kreucht und fleucht nicht abgenommen. Heute, untersucht sie als Doktorandin wie Bodenorganismen auf den Klimawandel im Grünland und auf landwirtschaftlichen Flächen reagieren. In ihrer Freizeit macht sie gerne Sport und liebt es an der frischen Luft zu sein.  
\*marie.suennemann@idiv.de



### **JULIA SIEBERT**

Julia war schon in ihrer Kindheit von der Natur beeindruckt. Sie verbrachte so viel Zeit draußen wie nur möglich, baute Mooshäuschen im Wald oder begab sich auf die Suche nach vielen verschiedenen Tieren. Dieser Leidenschaft folgend studierte sie Biologie und Kommunikationswissenschaften und war immer begeistert davon Wege zu finden um Wissen den verschiedensten Zielgruppen zu vermitteln. Der Fokus ihrer wissenschaftlichen Arbeiten lag darin, die Frage zu beantworten, wie veränderte Klimabedingungen Bodenlebewesen und die Ökosystemfunktionen, die sie steuern, beeinflussen. Außerdem hat sie Wege erkundet um es Schülern zu ermöglichen sich an Biodiversitätsforschung zu beteiligen. In ihrer Freizeit geht Julia gerne reiten, reist, beobachtet Vögel, fährt Mountainbike oder macht Sport.



**NICO EISENHAUER**

Nico ist seit seiner frühesten Kindheit an der Natur interessiert. Er hat nach Regenwürmern gegraben, Frösche und Fische gefangen, und Eidechsen geholfen im Winter zu überleben. Er war schon immer von der Schönheit der Natur fasziniert und wurde von der Frage angetrieben, warum eine bestimmte Pflanzen- oder Tierart an einem Ort wächst, während sie an dem anderen nicht vorkommt. Während seines Biologie-Studiums hat er sein Interesse für Regenwürmer und deren bedeutenden Aktivitäten, die wichtig für das Funktionieren von Ökosystemen sind, entdeckt. Wenn er nicht arbeitet, dann spielt Nico gerne Fußball oder Badminton, joggt oder verbringt Zeit mit seiner Familie.

**ÜBERSETZERIN**

**MARIE SÜNNEMANN** (siehe Autorinnen und Autoren)