

## BODEMECOLOGEN ZIJN DETECTIVES EN ONTDEKKEN WIE-WIE OF WAT EET IN DE BODEM

**Amandine Erktan<sup>1\*</sup>, Melanie M. Pollierer<sup>1</sup> and Stefan Scheu<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>J.F. Blumenbach Institute of Zoology and Anthropology, University of Göttingen, Göttingen, Germany

<sup>2</sup>Centre of Biodiversity and Sustainable Land Use, University of Göttingen, Göttingen, Germany

### JONGE RECENSENTEN:



**CECÍLIA**

LEEFTIJD: 9



**NYNKE**

LEEFTIJD: 12

Heb je ooit gemerkt dat dode bladeren zich nooit ophopen in het bos, maar langzaam verdwijnen? Die opruimdienst hebben we te danken aan een team van kleine organismen die in de bodem leven. Deze vuilnismannen van de bodem ruimen dode bladeren en andere resten op door ze op te eten. Als we willen snappen hoe deze recyclingdienst werkt dan is het belangrijk om te weten wie wat eet. Maar dat is moeilijk omdat de meeste bodemdieren heel klein zijn; ze zitten verstopt en kunnen ons niet zeggen wat ze gegeten hebben. Om die problemen te omzeilen hebben bodemecologen speciale methoden ontwikkeld. Ze kunnen specifieke merktekens van bacteriën, schimmels en planten volgen in de vetten van bodemdieren. Zo komen bodemecologen er achter wat die dieren hebben gegeten. Sommige bodemdieren eten veel verschillende soorten voedsel, anderen zijn kieskeuriger. Het is opvallend dat veel dieren bijzondere strategieën hebben ontwikkeld om in de bodem te eten; het is namelijk best lastig om in een pikdonker doolhof je eten te vinden.

## WAAROM IS HET BELANGRIJK TE BEGRIJPEN WIE WIE OF WAT EET IN DE BODEM?

Heb je ooit gemerkt dat we geen gigantische bergen dode bladeren in het bos zien? Je komt ook maar zelden dode dieren tegen. Hoe komt het eigenlijk dat het bos schoon blijft, en wie ruimt het afval van de natuur op? In steden ruimen de mensen van de vuilnisdienst alles op. In het bos worden die taken uitgevoerd door een team van kleine organismen die in de bodem leven. Afgevallen bladeren, dode dieren en plantenresten worden door deze bodemdieren opgegeten en zo blijft het bos opgeruimd. Wanneer de bodemdieren het natuurlijke afval hebben verteerd en de resten uitpoepen dan komen er voedingsstoffen vrij. Dat gebeurt ook als grote bodemdieren kleine bodemorganismen opeten. Bodemdieren zijn dus niet alleen verantwoordelijk voor het opruimen van natuurlijk afval, maar ook voor het kunnen hergebruiken van de voedingsstoffen die daarin zitten. Op hun beurt worden die voedingsstoffen gebruikt door planten om goed te groeien. En dat is dan weer belangrijk voor mensen, omdat planten van alles maken wat wij gebruiken: groenten, granen, fruit en ook hout om meubels en huizen mee te bouwen. Het is belangrijk om te weten wie-wie of wie-wat eet in de bodem, omdat het een belangrijk onderdeel is van de afvalverwerking en recycling in de natuur.

## WAT VOOR SOORT VOEDSEL ZIT ER IN DE BODEM, EN WAT IS EEN BODEMVOEDSELWEB?

Wat voor soort voedsel zit er in de bodem? Als je in het bos gaat graven, vind je er niet zomaar een bord spaghetti met bolognesesaus! We hebben het hier natuurlijk over een heel ander soort voedsel. In de bodem zijn de resten van planten en dieren een belangrijke voedselbron, bijvoorbeeld: dode takken, wortels en bladeren, en dode dieren in alle soorten en maten (Figuur 1A). Dit type voedsel wordt hoofdzakelijk gegeten door bacteriën en schimmels, die worden **primaire consumenten** genoemd. De bacteriën en schimmels zelf zijn een voedselbron voor grotere organismen (ongeveer 0.1 tot 2 mm groot), zoals protisten, aaltjes, springstaarten en bodemmijten (Figuur 1). Deze organismen worden dan weer gegeten door grotere predatoren (bodemroofdieren, vaak een paar millimeters groot of groter), zoals duizendpoten en spinnen (Figuur 1B). Regenwormen eten ook bacteriën en schimmels, maar dan op een bijzondere manier. Ze eten ze op door grote happen grond door te slikken. Dat is alsof jij de spaghetti samen met je bord op zou eten!

Hoewel sommige bodemdieren bijvoorbeeld springstaarten en aaltjes vooral kleine levende organismen eten, namelijk bacteriën en schimmels, eten ze ook plantenwortels en het vochtige laagje rondom de wortel. Alles bij elkaar zijn er heel veel verschillende voedselbronnen in de bodem: dode resten van planten en dieren, en ook levende organismen. De meeste bodemorganismen eten verschillende soorten voedsel. Alle verbindingen tussen wie-wie en wie-wat eet wordt het **bodemvoedselweb** genoemd (Figuur 1A).

### PRIMAIRE CONSUMENTEN

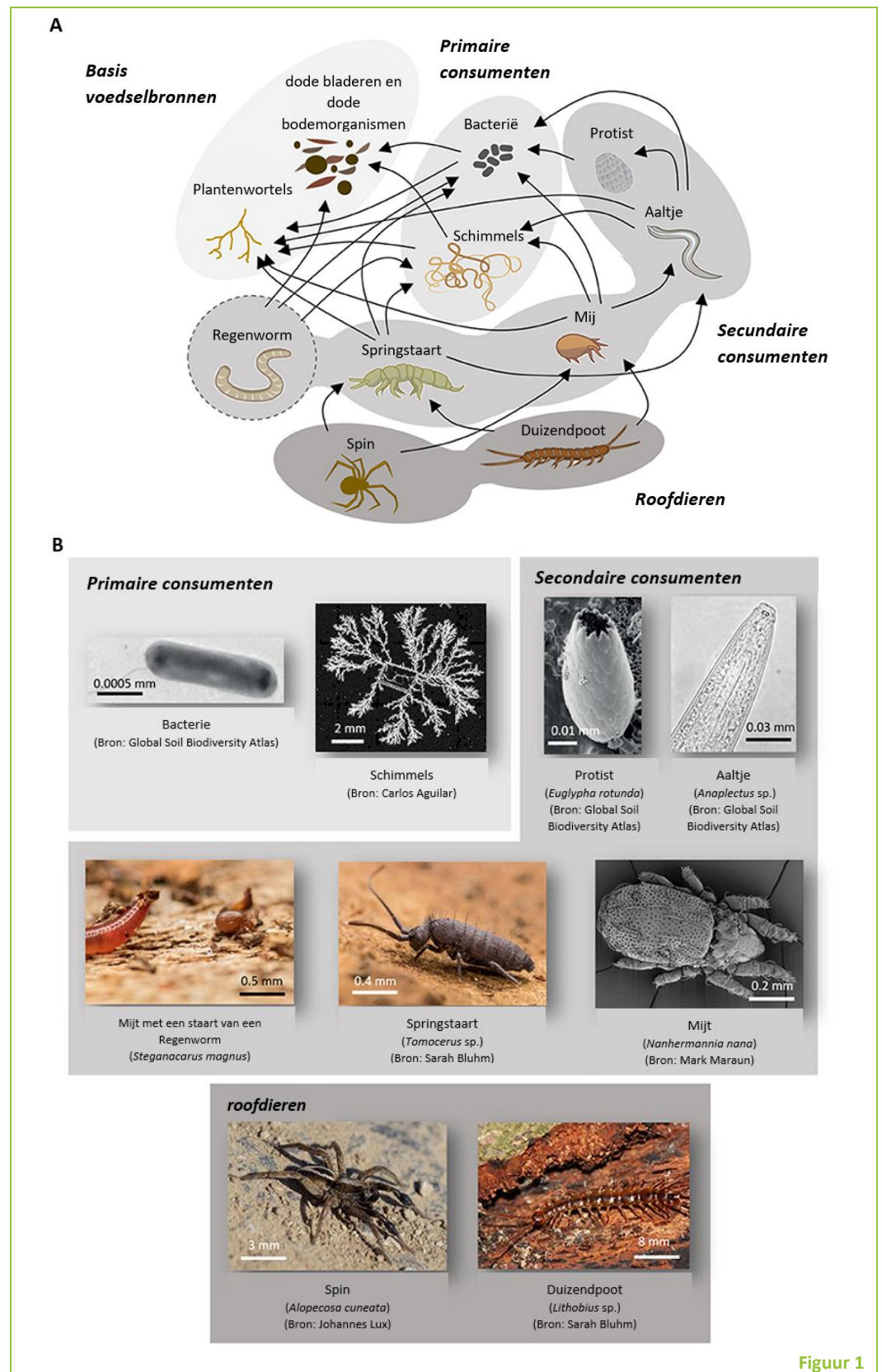
Organismen die dood plantenmateriaal eten.

### BODEMVOEDSELWEB

Alle voedselrelaties die aangeven wie-wie of wat eet in de bodem eet in de bodem.

## Figuur 1

Organismen in een bodemvoedselweb. **(A)** Een voedselweb bevat verschillende soorten voedsel, zoals plantenwortels en dode organismen, en ook primaire en secundaire consumenten en roofdieren (predatoren). De pijlen geven aan wie wat of wie eet. Merk op dat primaire consumenten voedsel zijn voor secundaire consumenten. **(B)** Hier zie je voorbeelden van primaire en secundaire consumenten in de bodem, en ook de bodem-roofdieren.



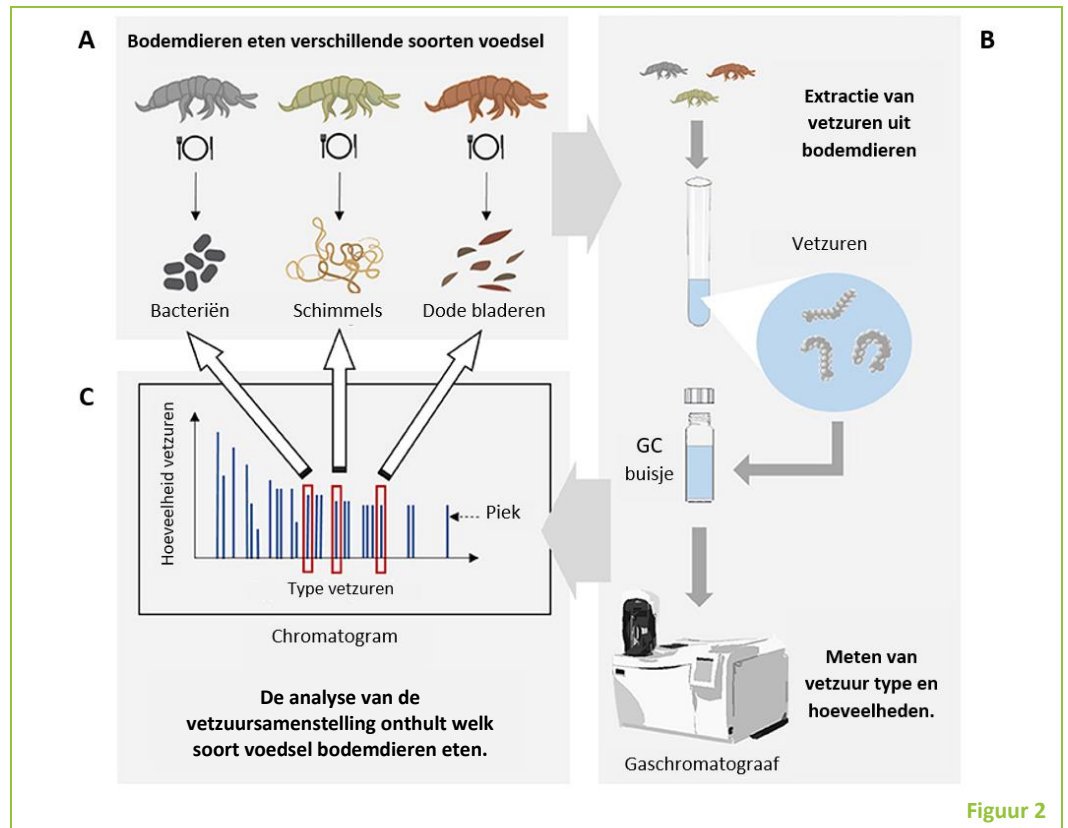
Figuur 1

## HOE ONDERZOEKEN WE BODEMVOEDSELWEBBEN?

Ondanks al het onderzoek van de laatste jaren begrijpen onderzoekers nog maar weinig over wie wie of wat eet in de bodem. Het gebrek aan kennis komt omdat de bodemdieren zo klein zijn; ze zitten verstopt in de bodem en kunnen ons niet zeggen wat ze hebben gegeten. Om de voedselrelaties in de bodem te

## Figuur 2

Bepalen wat bodemorganismen eten door vetzuur-markers te bestuderen. **(A)** Bodemdieren hebben verschillende typen vetzuren in hun lijf afhankelijk van het soort voedsel dat ze eten, zoals bacteriën, schimmels of dode bladeren. **(B)** De vetzuren kunnen uit bodemdieren worden geëxtraheerd (eruit gehaald). **(C)** De geëxtraheerde vetzuren kunnen dan worden geanalyseerd met een speciale machine, een gaschromatograaf (GC). Hiermee kunnen onderzoekers bepalen welk voedsel de bodemdieren hebben gegeten.



Figuur 2

snappen, moeten onderzoekers als detectives te werk gaan. Daarom ontwikkelden ze een interessante onderzoeksmethode: ze bestuderen het vet van bodemdieren (Figuur 2). Wanneer jij iets eet gebruik je lijf het eten als energie, zo kun je groeien en bewegen. Maar je lijf kan niet al die energie in één keer gebruiken, dus slaat je lijf het op voor later. Hoe wordt die energie opgeslagen? Wanneer we eten wordt de energie die we niet meteen nodig hebben opgeslagen als vet. Dat vet kan later worden gebruikt (verbrand) wanneer we energie nodig hebben. Voor mensen en ook dieren is het makkelijker om de vetten die al in het voedsel zitten op te slaan, dan om nieuw vet te maken. De truc is dat niet al het vet hetzelfde is. Bacteriën, schimmels en planten bevatten verschillende typen vet, opgebouwd uit verschillende vetzuren. Onderzoekers onderzoeken de vetzuren in de bodemdieren en gebruiken de **vetzuur-markers** om te bepalen wat ze precies hebben gegeten [1]. Op die manier weten we of het vet in bodemdieren afkomstig is van de bacteriën, schimmels of planten, en zo ontdekken we dus wat die bodemdieren hebben gegeten.

## VOEDSELGENERALISTEN OF VOEDSELSPECIALISTEN

Door het vet van bodemdieren te onderzoeken hebben onderzoekers ontdekt dat veel springstaarten het liefst schimmels eten, en soms ook bacteriën en planten. Dieren die verschillende soorten voedsel eten noemen we **voedselgeneralisten** [2]. Dat betekent dat ze snel tevreden zijn als je ze voor een etentje uitnodigt. Andere dieren zijn juist **voedselspecialisten**; ze zijn kieskeurig en eten maar één ding. Sommige soorten aaltjes, bijvoorbeeld, eten alleen bacteriën, andere soorten alleen schimmels. Er zijn zelfs roofaaltjes die

### VETZUUR-MARKERS

Vetmoleculen die afkomstig zijn uit een specifieke voedselbron, namelijk bacteriën of schimmels.

### VOEDSELGENERALIST

Bodemorganismen die veel verschillende soorten voedsel eten.

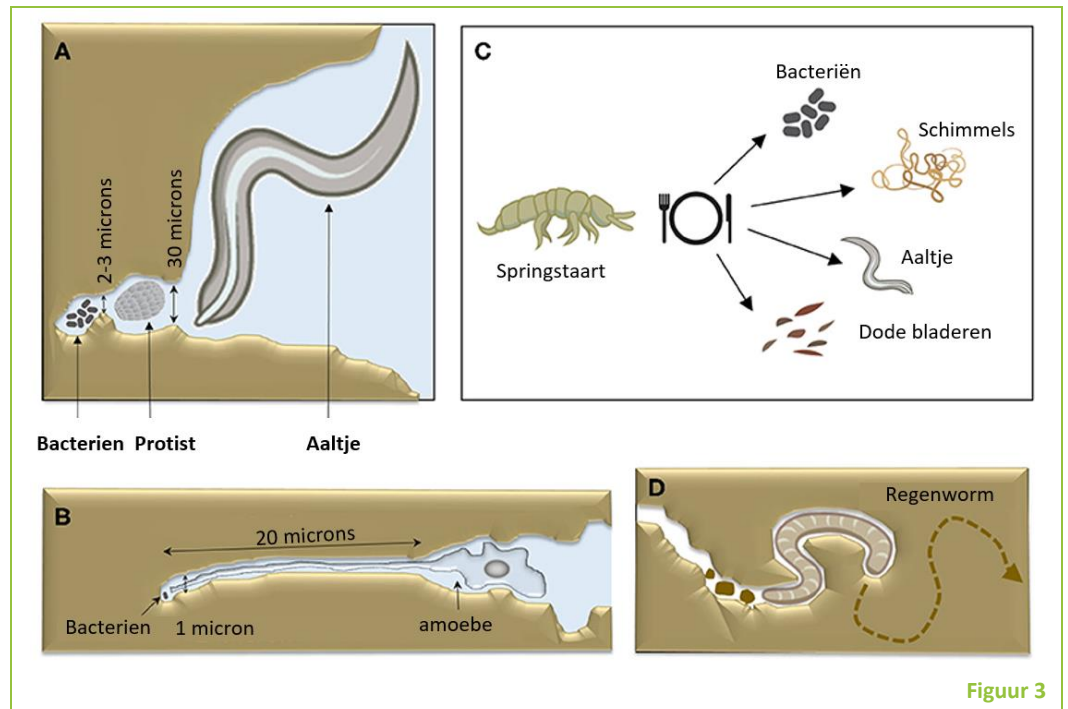
### VOEDSELSPECIALISTS

Bodemorganismen die slechts enkelen soorten voedsel eten en dus kieskeurig zijn.



### Figuur 3

Dieren hebben oplossingen ontwikkeld om om te gaan met de moeilijkheden van eten in de donkere bodem. **(A)** Kleine holten in de bodem dienen als schuilplaats voor kleine bodemdieren (aaltjes, protisten en bacteriën) om zich te verstoppen voor de bodemdieren die op ze jagen. **(B)** Om bij zijn prooi te komen verandert een amoëbe (een soort protist) van vorm en strekt een arm uit van 20 micron lang en 1 micron dun. Zo vangt de amoëbe bacteriën die verstop zitten in kleine holten. **(C)** Springstaarten zijn voedselgeneralisten, ze zijn niet kieskeurig in hun voedselvoorkeur, zo hebben ze elke dag wat te eten. **(D)** Regenwormen eten hele hapjes bodem, en eten zo de bacteriën en schimmels op die in de grond verstopt zitten. Op deze manier graven ze gangen, wat het makkelijker maakt om zich in de bodem te verplaatsen. Onthoud dat 1 micron 1000 keer kleiner is dan 1 mm.



Figuur 3

andere aaltjes opeten! De mond van elk van deze groepen aaltjes heeft een andere vorm die is aangepast aan het soort voedsel dat ze eten.

### WAT IS ER ZO BIJZONDER AAN ETEN ONDER DE GROND?

De bodem is donker. Heb je ooit geprobeerd je avondeten in het donker op te eten? Het is niet makkelijk om je eten te vinden. Bodemdieren hebben hetzelfde probleem. Ogen werken niet in de bodem, dus veel bodemdieren hebben zelfs geen ogen. De meeste bodemdieren hebben daarentegen goede neuzen. Aaltjes, springstaarten en regenwormen kunnen hun voedsel heel goed ruiken. Door te ruiken weten ze in welke richting ze eten kunnen vinden. Aaltjes ruiken bacteriën van 50 cm afstand, al duurt het vervolgens wel twee weken voordat ze die bacteriën hebben bereikt [3]. Dat is een flinke afstand voor ze, want deze kleine wormpjes zijn slechts een paar honderd microns lang (1 micron = 0.001 mm; ter vergelijking, een mensenhaar heeft een dikte van 100 micron). Vijftig centimeter voor een aaltje is alsof een mens in Rotterdam een bord spaghetti bolognese in Amsterdam kan ruiken, 70 km verderop!

De bodem is niet alleen donker, het is ook een doolhof waarin bodemdieren zich niet makkelijk kunnen bewegen. Net als een spons heeft de bodem kleine en grote gaten. De kleinste organismen, zoals bacteriën, zijn niet groter dan 1 of 2 micron en verstoppen zich in de kleinste gaten. We weten, bijvoorbeeld, dat protisten (Figuur 1) niet op bacteriën kunnen jagen die verstop zitten in holten kleiner dan 2-3 micron [4] (Figuur 3A). Hetzelfde geldt voor aaltjes, die kunnen niet bij bacteriën in holten kleiner dan 30 micron [4] (Figuur 3A). Hoe kleiner de holten in de bodem, hoe meer bacteriën zich er kunnen verstoppen en voorkomen dat ze opgegeten worden. Maar de bodemroofdieren hebben strategieën ontwikkeld zodat ze toch bij dit verstopte voedsel kunnen komen. Amoeben zijn bijvoorbeeld protisten met zachte, flexibele lijven die van vorm kunnen veranderen. Amoeben kunnen een hele lange, dunne arm maken om zo in de kleine openingen bacteriën te pakken die zich daar verstoppen [5].

Springstaarten hebben een andere strategie: die zijn niet kieskeurig met wat ze eten, ze zijn voedselgeneralisten. Ze eten bacteriën en schimmels, maar ook dode bladeren en aaltjes (figuur 3C). Afhankelijk van wat er in de holtes zit waar springstaarten doorheen kruipen eten ze het een of het ander. Deze flexibele strategie betekent dat ze altijd wel wat te eten hebben. Regenwormen hebben minder last van het verstoppertje spelen. Regenwormen slikken gewoon de bodem zelf door, met alles wat erin zit. Op die manier kunnen ze makkelijk voedsel vinden in de bodem-doolhof. Hun lijf is in staat zowel de bacteriën, schimmels als dood plantenmateriaal te verteren, wat in de grond zit die ze hebben ingeslikt. Regenwormenpoep bestaat daarom meestal uit onverteerde bodem in de vorm van balletjes.

## EEN NIEUWE KIJK OP ETEN IN EEN DONKER DOOLHOF

Eten onder de grond is net zo iets als voedsel vinden in een donker doolhof. Om te begrijpen wie-wie eet in de donkere bodem onder onze voeten, moeten bodemecologen te werk gaan als echte detectives en allerlei ingewikkelde opsporingstechnieken gebruiken, zowel in het bos als in het laboratorium. Nu jij weet hoe het is om onder de grond te eten zullen bodemorganismen nooit meer hetzelfde voor je zijn!

## DANKWOORD

Dit werk werd gefinancierd door het “Horizon 2020 research and innovation” programma van de Europese Unie, via de Marie Skłodowska-Curie beurs (Nr 750249). Wij bedanken Audrey Marville voor de tekeningen van bodemdieren

## BRONVERMELDING

- [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., Hiltpold, 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

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

**CITATION:** 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

**VERKLARING BELANGENVERSTRENGELING:** De auteurs verklaren dat het onderzoek werd uitgevoerd zonder enig commercieel of financieel belang wat kan worden opgevat als potentiële belangenverstremgeling.

**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.

## JONGE RECENSENTEN



### **CECÍLIA, LEEFTIJD: 9**

Cecília is een slimme jongedame die het heel leuk vindt om te schaken. Ze is erg nieuwsgierig. Ze wil graag weten hoe alles werkt en zou later graag willen laten zien welke feitjes haar hersenen hebben verzameld.



### **NYNKE, LEEFTIJD: 12**

Hallo, mijn naam is Nynke!

## BIOGRAFIEËN VAN DE AUTEURS

### **AMANDINE ERKTAN**

Ik ben een postdoc onderzoeker aan de Universiteit van Göttingen in Duitsland. Ik ben geïnteresseerd in hoe bodemorganismen de structuur van de bodem veranderen en omgekeerd. Eerst bestudeerde ik hoe plantenwortels de bodemstructuur veranderen. Al snel ontdekte ik dat plantenwortels niet de enige ingenieurs zijn in de bodem. Er zijn ontelbare microben en bodemdieren onder de grond en die spelen allemaal een rol in de bodemstructuur. Ik leer nu nieuwe vaardigheden om bodemdieren te bestuderen en ik hoop antwoorden te vinden op de vraag hoe plantenwortels, microben en bodemdieren in verband staan met de bodem.





### MELANIE M. POLLIERER

Ik ben een postdoc onderzoeker aan de Universiteit van Göttingen, Duitsland. Ik ben het meest geïnteresseerd in het bodemvoedselweb. Omdat het zo ingewikkeld is om te zien wat bodemdieren echt eten, gebruik ik indirecte methoden. In mijn promotieonderzoek analyseerde ik vetzuren in bodemdieren. Zo kon ik de koolstof volgen van plantenresten naar bodemdieren. Nu gebruik ik een andere manier: ik analyseer de stabiele vormen van koolstof en stikstof in de aminozuren (bouwstenen van eitwitten). Die methode geeft nog meer details over het dieet van consumenten.



### STEFAN SCHEU

Toen ik biologie studeerde in Tübingen en Göttingen (Duitsland) tussen 1979 en 1986 raakte ik gefascineerd door de enorme diversiteit van en de belangrijke rol die ongewervelde bodemdieren spelen in de bodem. Sindsdien onderzoek ik de structuur en functioneren van gemeenschappen van bodemdieren; eerst tijdens mijn promotieonderzoek aan de Universiteit van Göttingen en later als postdoc in Calgary (Canada) en Göttingen. In 1997 ben ik mijn eigen onderzoeksgroep gestart als Professor in Zoölogie en Ecologie aan Darmstadt Technische Universiteit. In 2008 verhuisde ik terug naar de Universiteit van Göttingen als leider van de onderzoeksgroep Dierecologie. Daar onderzoeken we de structuur, functie en evolutie van bodemdieren en hun gemeenschappen.

## VERTALER



### JANNA M. BAREL

Janna is bodemecoloog en doet onderzoek naar interacties tussen planten en het bodemleven in veengebieden. Ze werkt als postdoc onderzoeker bij de onderzoeksgroep Aquatische Ecologie & Omgevingsbiologie, Radboud Universiteit Nijmegen.

## AANPASSING FIGUREN



### ELISABETH BÖNISCH

Elisabeth is een PhD-student aan Duitse centrum voor integratief biodiversiteits onderzoek (iDiv) in Halle-Jena-Leipzig.