

## WIE VERTEIDIGEN SICH PFLANZEN GEGEN WURZELFRESSENDE TIERE?

**Axel J. Touw<sup>1, 2\*</sup>, Nicole M. van Dam<sup>1, 2</sup>**

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

<sup>2</sup>Friedrich Schiller Universität Jena, Deutschland

### YOUNG REVIEWERS:



**AVANI**

AGE: 10



**CATHERINE**

AGE: 15



**HARRISON**

AGE: 11

In der unterirdischen Welt wimmelt es von Lebewesen, die auf Pflanzen als Nahrungsquelle angewiesen sind. Unterirdische Pflanzenfresser, oder Herbivoren, ernähren sich von Wurzeln und können Pflanzen damit beträchtlich schaden. Wurzeln sind jedoch extrem wichtig, da sie den Pflanzen helfen, Wasser und Nährstoffe aus dem Boden zu gewinnen. Diese sind für Pflanzen lebenswichtige Quellen für ihr Wachstum. Um ihre Wurzeln zu schützen, produzieren Pflanzen eine chemische Abwehr. Die Herstellung dieser Abwehr ist aufwändig, denn Nährstoffe und Energie, die für die Abwehr aufgewendet werden, können wiederum nicht für das Sprießen von Blüten und Samen genutzt werden. Demzufolge müssen Pflanzen ihre Abwehr wirkungsvoll einsetzen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben ein großes Interesse daran, zu verstehen, wie Pflanzen sich selbst wirkungsvoll verteidigen, da dies uns helfen kann, Obst und Gemüse umweltfreundlicher anzubauen. In

diesem Artikel erklären wir, wie sich Pflanzen wirkungsvoll verteidigen und wie sich diese Abwehr auf Herbivoren im Boden auswirkt.

### Abbildung 1

Beispiele von über- und unterirdischen Herbivoren. **(A)** Kohlblattläuse; **(B)** Raupe der Zuckerrübeneule; **(C)** ein pflanzenfressender Nematode; und **(D)** Larven der Kleinen Kohlflye. (Bildrechte: Axel Touw)

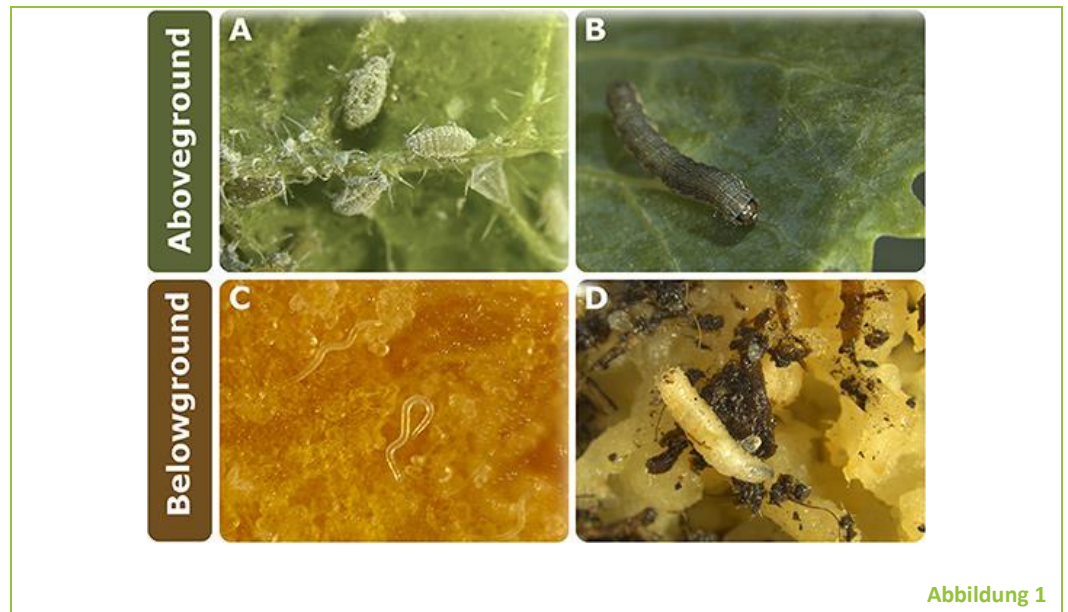


Abbildung 1

## PFLANZEN. DAS ÜBERLEBEN IN EINER GEFÄHRLICHEN WELT

### HERBIVOREN

Ein Tier, das sich von Pflanzen ernährt.

### NEMATODEN

Winzige, wurmähnliche Tierchen, die hauptsächlich im Boden vorkommen. Ebenso tauchen sie im Meer und in Seen auf oder in den Eingeweiden von Tieren oder sogar den Mägen von Insekten.

Pflanzen sind eine grundlegende Nahrungsquelle für eine Vielzahl an Lebewesen, so wie etwa die Menschen. Pflanzenfresser, oder **Herbivoren**, können große Säugetiere wie Kühe, Schafe oder Pferde sein, aber die meisten von ihnen sind deutlich kleiner, zum Beispiel Raupen und Blattläuse (Abbildung 1). Da diese winzigen Herbivoren normalerweise in großer Menge auftauchen, können sie beträchtlichen Schaden anrichten. Insekten, zum Beispiel, sind die artenreichste Klasse der Tiere auf der ganzen Welt. Es gibt ungefähr 1 Million bekannter Insektenarten, von denen rund die Hälfte Herbivoren sind. Zum Vergleich: es gibt nur ungefähr 5,500 Säugetierarten auf der Welt. Es leben nicht nur viele große und kleine Herbivoren überirdisch, sondern eine Vielzahl der Pflanzenfresser lebt auch unter der Erde. Im Boden tummeln sich verschiedenste Arten von Herbivoren, die sich von den Wurzeln der Pflanzen ernähren. Unter ihnen sind Insektenlarven und Würmchen, die Fadenwürmer oder auch **Nematoden** genannt werden und ebenso spinnenähnliche Tierchen, die **Milben** heißen (Abbildung 1). Es befindet sich eine große Anzahl an Herbivoren in der Erde, als auch über der Erde. Zum Beispiel wurden bis jetzt 30,000 Arten Nematoden entdeckt, von denen circa 10% Pflanzenfresser sind. Ein einzelner weiblicher Nematode kann bis zu 200 Eier produzieren. Dementsprechend wird eine einzelne Pflanze danach von Tausenden Nematoden gleichzeitig angegriffen. Beißende Insekten stellen ebenso eine Gefahr dar. Sie können das Wassertransportsystem der Wurzeln zerbeißen, was dazu führen kann, dass die Pflanze ihre Blätter hängen lässt und schließlich aufgrund des Wassermangels eingeht.

## PFLANZENABWEHR

Eigenschaften einer Pflanze, die Einfluss auf das Verhalten, die Verbreitung und das Überleben von Herbivoren haben.

## SENFÖLGLYCOSIDE

Abwehrstoffe, die für den scharfen und bitteren Geschmack von Senf und Wasabi sorgen. Auch wenn viele Menschen deren Geschmack mögen, sind sie für die meisten Insekten, Nematoden und Bakterien giftig.

## WIE VERTEIDIGT SICH DIE PFLANZE?

Mit so vielen Angreifern kann man sich vorstellen, dass das Überleben für Pflanzen nicht leicht ist. Da Pflanzen nicht vor ihren Angreifern flüchten können, mussten sie andere Arten der Verteidigung ausbilden. Pflanzen haben verschiedene Abwehrmethoden gegen Herbivoren entwickelt [1]. Die **Abwehr einiger Pflanzen** ist auf den ersten Blick erkennbar, zum Beispiel die Dornen von Rosen, die Härchen auf einem Brennnesselblatt oder die dicke Haut der roten Beete. Andere Abwehrmethoden, so wie die chemische Abwehr, sind weniger gut sichtbar. Jede Pflanze stellt tausende unterschiedliche chemische Stoffe her, die alle ihre Rolle in lebenswichtigen Abläufen spielen. Einige chemische Stoffe, zum Beispiel Zucker, liefern der Pflanze Energie. Andere Gruppen der chemischen Stoffe helfen dabei, die Pflanzen gegen Angreifer zu verteidigen. Diese chemische Abwehr kann sich unangenehm auf den Geschmack der Pflanze auswirken, was Herbivoren davon abhält das Pflanzengewebe zu fressen. In einigen Fällen können diese chemischen Stoffe sogar giftig sein. Die chemische Abwehr kann auch Auswirkungen auf Menschen haben. Es gibt viele Pflanzen, die krank machen, wenn man davon isst, so wie die Beeren des Schwarzen Nachtschatten. Andere Pflanzen wiederum, wie der Giftefeu oder der Bärenklau, können beim bloßen Anfassen einen Hautausschlag oder sogar Entzündungen verursachen. Die meisten chemischen Abwehrmethoden sind jedoch nicht so aggressiv. Tatsächlich ist es wahrscheinlich, dass du schon das eine oder andere Mal der chemischen Abwehr einer Pflanze ausgesetzt warst.

Wir alle haben uns an den Geschmack einiger chemischer Stoffe gewöhnt, die von Pflanzen produziert werden. Hast du schon mal einen Hotdog oder eine Bratwurst mit Senf gegessen oder hast du ein leckeres indisches Curry mit Senfkörnern genossen? Der scharf-bittere Geschmack von Senf wird durch Abwehrstoffe, sogenannte **Senfölglycoside**, verursacht. In der freien Natur helfen die Senfölglycoside den Pflanzen bei der Verteidigung gegen Insekten, Pilze und Bakterien. Das Koffein im Kaffee, welches vielen Leuten beim Wachwerden hilft, wird tatsächlich nicht vom Kaffeebaum hergestellt, um den Menschen zu helfen. In Wahrheit stellen Kaffeebäume Koffein her, um ihre Samen—die Kaffeebohnen—vor Insektenangriffen zu schützen. Koffein gibt den Kaffeebohnen nicht nur ihren bitteren Geschmack, sondern kann auch Insekten, die versuchen die Bohnen zu fressen, lähmen oder töten.

Diese Beispiele machen deutlich, dass die chemische Abwehr eine wirkungsvolle Methode für Pflanzen ist, um sich vor Herbivoren in ihrem Umfeld zu schützen. Trotzdem sind die meisten Pflanzen nicht komplett durch diese chemischen Stoffe geschützt. Wenn du dir die Pflanzen in deiner Nähe genau anschaust, wird dir auffallen, dass die meisten Pflanzen kleine Schäden aufweisen, wie zum Beispiel kleine Löcher in den Blättern. Der Grund dafür ist, dass die Herstellung der chemischen Abwehr kräftezehrend ist. Pflanzen müssen sich nicht nur um ihre Verteidigung sorgen, sondern sie müssen ihre Energie auch in das Wachstum, das Blühen und die Herstellung von Samen stecken. Deswegen ist die Energie, die die Pflanzen für ihre Abwehr

verwenden können, begrenzt. Sie müssen ihre begrenzte Energie bedacht einsetzen.

## WIE VERTEIDIGEN SICH DIE PFLANZEN EFFIZIENT?

Fossilien von Blättern, die von Herbivoren beschädigt wurden, zeigen uns, dass Pflanzen und Herbivoren schon seit mehr als 400 Millionen Jahren zusammen auf der Erde leben. In dieser langen Zeit haben Pflanzen verschiedene Wege gefunden, um sich kräfteschonend zu verteidigen. Eine Möglichkeit ist es, die Abwehr nur herzustellen, wenn es nötig ist. Wenn etwa Insekten anfangen die Pflanze zu fressen [2]. Dadurch, dass die Abwehr nur im Angriffsfall hergestellt wird, schonen die Pflanzen ihre Energiereserven, wenn sie nicht in einer Gefahrensituation sind. Der Nachteil dieser Strategie liegt daran, dass die Herstellung der Abwehr erst angekurbelt wird, nachdem der Herbivore angefangen hat zu fressen. Da die Herstellung dessen einige Zeit dauert, kann die Pflanze schon ziemlich beschädigt sein, bevor der Herbivore verschwindet oder stirbt.

Eine andere Strategie besteht darin, die Abwehr jederzeit in begrenzten Mengen bereit zu halten. In diesem Fall verlegt die Pflanze die meiste Abwehr in jene Pflanzenteile, die am wichtigsten für das Überleben sind und am ehesten den Angriffen durch Herbivoren ausgesetzt sind [3]. Man kann das mit einer Festung vergleichen, die mit den Soldaten verteidigt wird, die auf der Außenmauer stehen. Das ist dort wo ein Angriff beginnen würde und damit das Schloss am schwächsten ist. Natürlich muss auch die Schatzkammer mit den wertvollsten Stücken geschützt werden. Überirdisch sind diese wertvollen Stücke der Pflanze die jungen Blätter, die Blüten und die Samen, die entweder wichtig sind für die Herstellung von Energie oder für das Sichern der kommenden Generation. Auch unter der Erde haben die Teile des Wurzelwerks verschiedene Wertigkeiten. Die Wurzelwerke von Pflanzen wie Tomate oder Kohl bestehen aus drei Teilen: der **Pfahlwurzel**, den Seitenwurzeln und den Feinwurzeln (Abbildung 2). Die Seiten- und Feinwurzeln helfen der Pflanze bei der Aufnahme von wertvollen Nährstoffen und Wasser aus dem Boden. Die Pfahlwurzel, die Hauptwurzel, sammelt das ganze Wasser und die Nährstoffe, die von den Seiten- und Feinwurzeln aufgenommen wurden und verteilt diese wiederum an die überirdischen Pflanzenteile. Gleichzeitig werden Zucker und andere Stoffe, die in den Blättern hergestellt werden durch die Pfahlwurzel in die entgegengesetzte Richtung geleitet. Die wichtige Aufgabe der Pfahlwurzel beim Transport von Wasser und Nährstoffen macht sie unersetzbar für das Wurzelwerk. Wenn die Pfahlwurzel durch Herbivoren beschädigt wird, werden die lebenswichtigen Transportwege unterbrochen und die Pflanze stirbt. Bei Pflanzen wie Rüben speichert die Pfahlwurzel die Energie in der Form von Zucker. Das lässt sich mit dem Schatz im Schloss vergleichen. Deshalb ist Pfahlwurzel der wertvollste Teil des Wurzelwerks und wird am stärksten verteidigt, gefolgt von den Seiten- und Feinwurzeln [4] (Abbildung 2).

### PFÄHLWURZEL

Hauptwurzel, von der die Seitenwurzeln abgehen. Sie sammelt das Wasser und die Nährstoffe vom Rest des Wurzelwerks und verteilt diese überirdisch. Bei Möhren und Roter Bete speichert sie Stärke und Nährstoffe.

## WIE WIRKT SICH DIE ABBWEHR AUF DIE HERBIVOREN IM BODEN AUS?

Je nach Verteidigung und Nährwert entscheiden sich die Herbivoren für einen Teil der Wurzeln, den sie fressen wollen [5]. Die meisten Herbivoren würden die Pfahlwurzeln bevorzugen, da sie der nährstoffreichste Teil ist. Jedoch ist die Pfahlwurzel, wie schon beschrieben, auch der am besten geschützte Teil. Nicht alle Herbivoren können diese chemische Abwehr überwinden. Einige von ihnen jedoch, so wie die Larven der Kleinen Kohlflye, können die chemische Abwehr unschädlich machen und die Pfahlwurzel trotzdem fressen [4]. Andere Herbivoren, so wie die Larven des Junikäfers, können die starke Abwehr der Pfahlwurzel nicht überwinden und fressen stattdessen von den Seiten- und Feinwurzeln (Abbildung 2). Die Verteilung der chemischen Abwehr im Wurzelsystem und die dementsprechende Fähigkeit der Herbivoren, diese Abwehr zu überwinden, hat einen starken Einfluss auf die Verbreitung der Herbivoren im Boden.

### Abbildung 2

Die Verteilung der chemischen Abwehr auf das Wurzelwerk und wie sich diese auf unterirdische Herbivoren auswirkt. Rot zeigt die höchste Stufe der Verteidigung an und gelb die niedrigste. Die chemische Abwehr ist in der Pfahlwurzel am stärksten (rot), gefolgt von den Seitenwurzeln (orange) und den Feinwurzeln (gelb). Einige pflanzenfressende Insekten, so wie die Kleine Kohlflye, können die chemische Abwehr einer Pflanze unschädlich machen und an der Pfahlwurzel fressen, dort wo die Verteidigung am stärksten ist. Andere Herbivoren, so wie der Junikäfer, können dies nicht und fressen aus diesem Grund die Feinwurzeln, deren Verteidigung schwächer ist. (Bildrechte: Jennifer Gabriel).

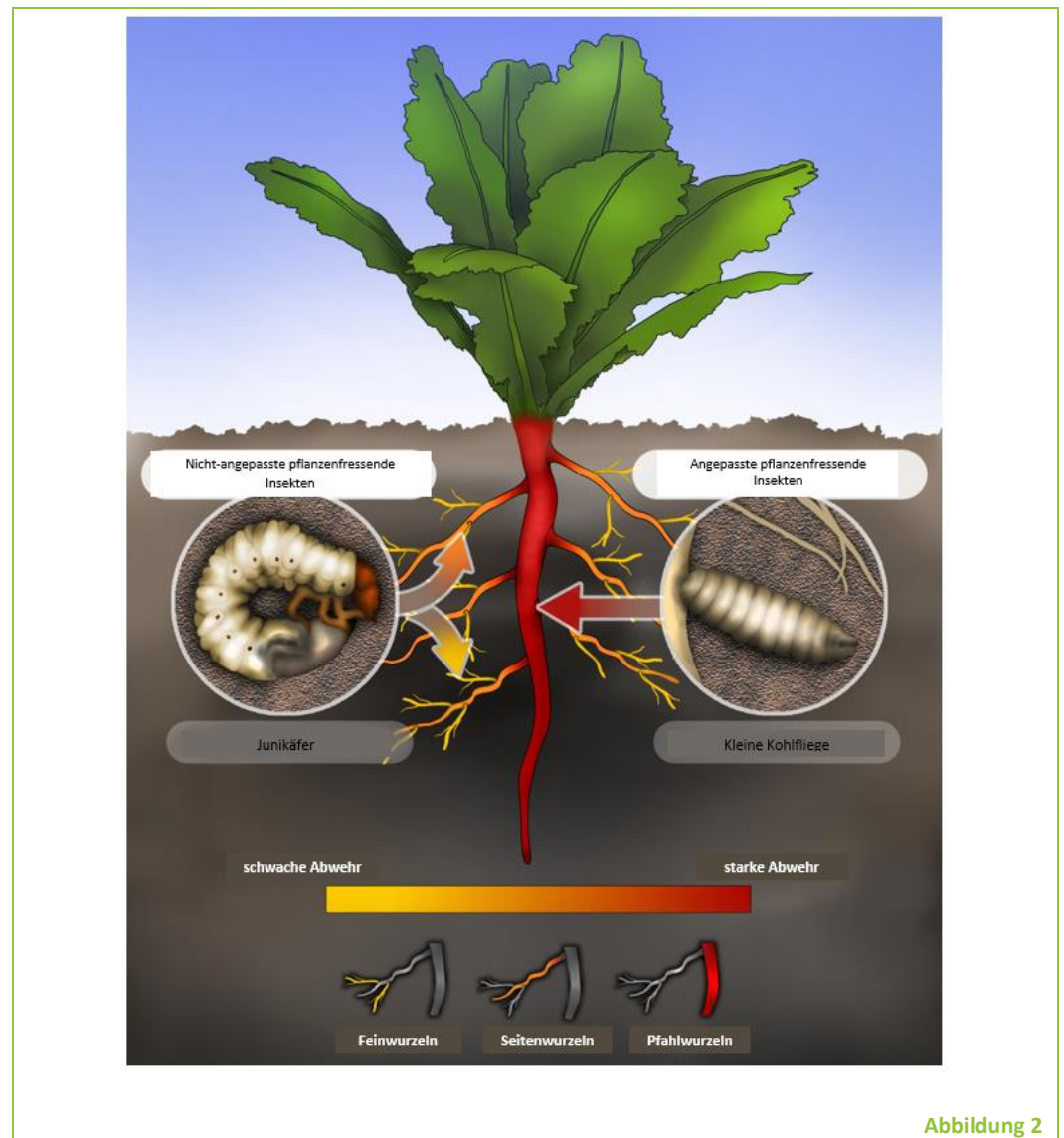


Abbildung 2

## WIE KANN DIE WISSENSCHAFT DIESE ERKENNTNISSE NUTZEN?

Die gewonnenen Erkenntnisse bei der Untersuchung von Abwehrmethoden helfen uns zu verstehen, wie Pflanzen mit Herbivoren und anderen Tieren in ihrem Umfeld umgehen. Darüber hinaus hilft uns das Wissen über die Pflanzenabwehr uns dabei, umweltfreundlichere Methoden des Kulturpflanzenanbaus zu entwickeln. Durch **Pflanzenzüchtung** werden neue Varianten von Kulturpflanzen geschaffen, solche mit schöneren Farben, besserem Geschmack oder größeren Früchten. Ebenso können Pflanzen so gezüchtet werden, dass sie sich besser gegen Angreifer wehren können. Dafür müssen Leute, die Pflanzen züchten, genau wissen, wie die Abwehr hergestellt und gegen welche Angreifer diese Abwehr wirkungsvoll ist. Solche Information werden von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern durch Laborexperimente und Feldforschungen gewonnen. Die daraus entstehenden Pflanzen mit verbesserter Abwehr ermöglichen Landwirtinnen und Landwirten einen verringerten Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln. Dies ist sowohl dem Wohlbefinden der Menschen als auch der Umwelt förderlich.

## DANKSAGUNG

Wir bedanken uns bei Jennifer Gabriel (iDiv, Leipzig) für ihre große Hilfe bei den Abbildungen. Wir sind sehr dankbar für die Unterstützung während des Schreibprozesses von den Redakteurinnen und Redakteure der Artikelsammlung zur Bodenbiodiversität und für die freundlichen Anmerkungen der jungen Menschen und ihrer Mentorinnen und Mentoren, die den Artikel überprüft haben und deren Ratschläge unabdingbar für die Fertigstellung dieses Aufsatzes waren. Zum Schluss bedanken wir uns bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Finanzierung unserer Forschung über die Kleinen Kohlfiegen am iDiv (DFG-FZT 118, 202548816), in Zusammenarbeit mit ChemBioSys (SFB 1127, 239748522).

## QUELLENANGABEN

[1] Ehrlich, P. R., and Raven, P. H. 1964. Butterflies and plants—a study in coevolution. *Evolution*. 18:586–608.

[2] Karban, R. 2020. The ecology and evolution of induced responses to herbivory and how plants perceive risk. *Ecol. Entomol.* 45:1–9. doi: 10.1111/een.12771

[3] Meldau, S., Erb, M., and Baldwin, I. T. 2012. Defence on demand: mechanisms behind optimal defence patterns. *Ann. Bot.* 110:1503–14. doi: 10.1093/aob/mcs212

[4] Tsunoda, T., Grosser, K., and van Dam, N. M. 2018. Locally and systemically induced glucosinolates follow optimal defence allocation theory upon root herbivory. *Funct. Ecol.* 32:2127–37. doi: 10.1111/1365-2435.13147

### PFLANZENZÜCHTUNG

Die Wissenschaft Kulturpflanzen nach wünschenswerten Eigenschaften zu verändern, wie Geschmack, Geruch, Farbe oder eine bessere Widerstandsfähigkeit gegen Herbivoren oder Umwelteinflüsse wie Dürre.

[5] Tsunoda, T., and van Dam, N. M. 2017. Root chemical traits and their roles in belowground biotic interactions. *Pedobiologia (Jena)*. 65:58–67. doi: 10.1016/j.pedobi.2017.05.007

**BEARBEITET DURCH:** Helen Philips, Saint Mary's University, Canada

**QUELLE:** Touw AJ and Van Dam NM (2022) How Do Plants Defend Themselves From Root-Eating Creatures?. *Front. Young Minds*. 10:660701. doi: 10.3389/frym.2022.660701

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

**COPYRIGHT** © 2022 Touw and Van Dam. 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 REVIEWERS



### HARRISON, ALTER: 11

Ich liebe es Hockey zu spielen oder rennen zu gehen und dabei meinem Hund hinterherzulaufen. Ich mag es außerdem, neue Dinge zu entdecken, allerdings kein neues Essen. Weil ich zurzeit zur Grundschule gehe, freue ich mich schon in die höheren Klassenstufen zu kommen und dort viele neue Schulfächer kennenzulernen. Mein Lieblingsfach ist momentan Mathe.



### AVANI, ALTER: 10

Hallo, ich bin Avani. Ich mag es laufen oder schwimmen zu gehen. Außerdem bin ich Tänzerin. Ich liebe es Spaziergänge mit meinem Hund zu machen oder Steine zu sammeln. Ich spiele gern Videospiele und telefoniere mit meinen Freunden. Ich liebe die Natur und kaltes, windiges Wetter.



### CATHERINE, ALTER: 15

Ich liebe Musik und Gesang. Ich spiele Geige und Gitarre und schreibe gern. Ich bin Mitglied in einer Highland-Tanzgruppe und helfe freiwillig Kindern in lokalen Kinderclubs und bei Führungen. Ich mag es an Jugendevents meiner Kirche teilzunehmen oder Sport zu machen. Ich hoffe, dass ich durch das reviewen dieser Artikel neue interessante Dinge lernen kann.

## AUTORINNEN UND AUTOREN



### AXEL TOUW

Axel war schon von klein auf fasziniert von der Natur. Zu der Zeit lagen seine Hauptinteressen bei Dinosauriern, Katzen, Hunden, Eidechsen und ganz besonders Vögeln. Das erste Motiv, das er zeichnete war eine Eule (mit einiger Fantasie). Während er Biologie studierte, entwickelte er ein Interesse daran, wie Pflanzen kommunizieren können, besonders mit Insekten. Heutzutage forscht Axel daran, wie sich Pflanzen selbst gegen Mikroben, Nematoden und Insekten verteidigen können. Seine Freizeit verbringt er gerne an der frischen Luft, spielt Fußball, oder liest und kocht. Er versucht immer wieder seine Forschungsergebnisse im eigenen Garten anzuwenden, jedoch mit wechselndem Erfolg. \*axel.touw@idiv.de



### NICOLE M. VAN DAM

Nicole ist in den Niederlanden geboren und dort mit ihren Eltern und zwei jüngeren Schwestern aufgewachsen. Als Kind hat sie gerne Experimente mit Insekten durchgeführt. Zum Beispiel wollte sie prüfen, ob Ameisen schwimmen können und hat sie dafür in Pfützen gesetzt (falls du dich fragst, sie können es sogar ganz gut). Sie hat in Wageningen, Niederlande Biologie studiert. Dort begann ihr Interesse an der Pflanzenabwehr und wie Landwirtinnen und Landwirten dieses Wissen einsetzen können, um die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln zu verringern. Nachdem sie viele weitere Experimente mit Pflanzen und Insekten auf der ganzen Welt durchgeführt hatte, wurde sie Professorin. In ihrer Freizeit macht sie gerne Yoga und schaut sich Filme mit ihren beiden Söhnen an (19 und 21). Zusammen mit ihrem Ehemann, baut sie Bio-Obst und Gemüse in ihrem Garten an. Dort findet sie auch immer Inspiration für neue Forschungsprojekte.

## ÜBERSETZERIN

### TABEA HOPPE