

## DIE FASZINIERENDE WELT DER UNTERIRDISCHEN KOMMUNIKATION

**Cristiana Ariotti<sup>1</sup>, Elena Giuliano<sup>1</sup>, Paolina Garbeva<sup>2</sup> and Gianpiero Vigani<sup>1,2\*</sup>**

<sup>1</sup> Plant Physiology Unit, Department of Life Sciences and Systems Biology, University of Turin, Turin, Italy

<sup>2</sup> Department of Microbial Ecology, Netherlands Institute of Ecology (NIOO-KNAW), Wageningen, Netherlands

### YOUNG REVIEWER



**SHASHI  
PREETHAM**  
ALTER: 13

Wenn du eine Mikrobe im Boden bist, wie sagst du dann etwas zu deinen Nachbarn? Also, Englisch, Französisch oder Italienisch zu sprechen, wird dir unter der Erde nichts nützen. Stattdessen müsstest du Moleküle als Worte benutzen! Bodenmikroben kommunizieren untereinander und mit anderen Organismen, wie Tieren oder Pflanzen, indem sie verschiedene Arten von Molekülen produzieren. Viele Organismen benutzen diese Moleküle als chemische Wörter. Diese Moleküle können flüchtig sein und sich wie Gase, z.B. Luft, verhalten. Dabei können sie leicht durch die kleinen Luftlöcher im Boden, den so genannten Luftporen, wandern und dabei auch sehr weit reisen. Es ist wie eine Kommunikation über große Entfernungen. Andere Moleküle sind wasserlöslich, was die Kommunikation zwischen Organismen die nah nebeneinander sind ermöglicht. Die Organismen, welche diese Kommunikation empfangen, können auf verschiedene Weise reagieren, indem sie zum Beispiel schneller wachsen oder andere Moleküle produzieren. In diesem Artikel werden wir die aufregende und geheimnisvolle Welt der chemischen Kommunikation

unter der Erde und ihre Rolle bei den Wechselwirkungen zwischen Mikroben und Pflanzen erkunden.

## LEBEN IM BODEN

Der Boden ist eines der faszinierendsten und komplexesten **Ökosysteme** der Erde. Er ist nicht nur die äußere Oberfläche unseres Planeten, auf der Pflanzen wachsen, sondern er ist auch eine spektakuläre und verborgene Welt, in der viele Arten von Organismen leben. Der Boden besteht aus unregelmäßigen Gesteinsbrocken, kleinen Luftporen und organischer Materie (tote Pflanzen und Tiere). Diese Umgebung ist ein wunderbarer Lebensraum für Mikroben, Insekten und Pflanzen. Kannst du dir vorstellen, dass der Boden voller so viel Leben ist? Je nach den Bodeneigenschaften (Größe der Felsen, der Art der Nahrung, der Wassermenge usw.) können verschiedene Organismen darin leben. Diese verschiedenen Organismen bilden eine spezifische Gemeinschaft, d. h. eine einzigartige Gruppe verschiedener Organismen, die zusammen leben.

Weißt du, was Bodenmikroben sind? Es sind sehr kleine Organismen, die an Bodenpartikeln oder anderen Lebewesen angeheftet sind. Es gibt Pilze, die eine Form haben, die sehr dünnen Wurzeln ähnelt, so dass sie einander berühren und Informationen mit ihren Nachbarn austauschen können. Es gibt auch Bakterien, das sind Organismen die aus einer einzigen Zelle bestehen und die man normalerweise nur mit einem Mikroskop sehen kann. Wenn diese Organismen in der **Rhizosphäre** (dem Teil des Bodens, der die Pflanzenwurzeln umgibt) leben, nennt man sie rhizosphärische Mikroben. Sie können auch auf der Wurzeloberfläche oder im Inneren der Wurzeln leben [1]. In der Rhizosphäre findet man nützliche (gute) Mikroben, die den Pflanzen helfen zu überleben und zu wachsen, oder schädliche (schlechte) Mikroben, welche Pflanzen angreifen und sie krank machen.

## WIE KOMMUNIZIEREN BODENMIKROBEN UND PFLANZEN?

Besonders spannend ist die Fähigkeit der Bodenmikroben, sowohl untereinander als auch mit anderen Organismen, einschließlich Pflanzen und Tieren, zu kommunizieren. Die Kommunikation zwischen Mikroben und Pflanzen ist von vielen Wissenschaftlern untersucht worden. Diese Kommunikation basiert auf der Verwendung von Molekülen als Worte und wird als **chemische Kommunikation** bezeichnet. Du kannst dir ein Molekül als eine Gruppe von vielen kleinen Kugeln (die wir Atome nennen) vorstellen, die miteinander verbunden sind. Diese Atome sind wichtige chemische Bausteine, wie Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O) und Stickstoff (N), die sich (wie ein Puzzle) zu Moleküle wie Wasser (H<sub>2</sub>O) oder Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) zusammenfügen. Durch die spezifische Kombination der Atome entstehen Moleküle, welche unterschiedliche Eigenschaften haben.

Bodenmikroben können viele Arten von Molekülen produzieren, die in zwei Hauptkategorien unterteilt werden können: **Lösliche** Moleküle und **flüchtige** Moleküle. Lösliche Moleküle lösen sich in Wasser auf, wie ein Würfelzucker in

### ÖKOLOGISCHES SYSTEM

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

### RHIZOSPHERE

Der Teil des Bodens, der die Wurzeln umgibt und in dem Pflanzen und Mikroben über Moleküle miteinander kommunizieren.

### CHEMISCHE KOMMUNIKATION

Die Kommunikation, die zwischen zwei oder mehr verschiedenen Organismen (Pflanzen, Tiere und Mikroben) mit Hilfe von Molekülen stattfindet.

### LÖSLICH

Ein Stoff, der sich in Wasser auflöst, wie Salz und Zucker.

### FLÜCHTIG

Ein Stoff, der sich leicht in Gas verwandelt und sich in der Luft verbreitet, wie der Duft einer Blume.

## VOCs

Die flüchtigen organischen Verbindungen, die von verschiedenen Organismen, wie Pflanzen und Mikroben, produziert werden, um über die Entfernung miteinander zu kommunizieren.

## Abbildung 1

Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Mikroben in der Rhizosphäre. Die Abbildung zeigt 3 Arten von Interaktionen: **(A)** Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Mikroben, die auf der Wurzeloberfläche oder in der Nähe der Wurzeln leben, mit Hilfe von löslichen Molekülen; **(B)** Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Mikroben, die weit von den Wurzeln entfernt leben, mit Hilfe flüchtiger Moleküle; und **(C)** Wechselwirkungen mit Mikroben, die im Inneren der Wurzeln leben, direkt in Kontakt mit den Wurzelzellen. Diese Wechselwirkungen finden im Boden statt, der sich zusammensetzt aus Gesteinen, Luftporen und organischem Material.

Tee, und sie können vom Wasser im Boden transportiert werden. Sie werden verwendet, um mit Pflanzen zu kommunizieren, die in der Nähe der Mikroben wachsen. Flüchtige Moleküle, auch flüchtige organische Verbindungen (**VOCs**) genannt, werden verwendet, um über große Entfernungen zu kommunizieren (Abbildung 1). Diese flüchtigen Verbindungen sind Gase, die sich leicht durch die Luftporen des Bodens transportieren lassen. Pflanzenwurzeln können diese Gase riechen, so wie unsere Nase eine Blume oder frisch gebackenes Brot riechen kann [1]. Die chemische Kommunikation findet nicht nur in eine Richtung statt (von den Mikroben zu den Pflanzen), sondern in zwei Richtungen - Pflanzen produzieren auch Moleküle, die von Mikroben verstanden werden können.

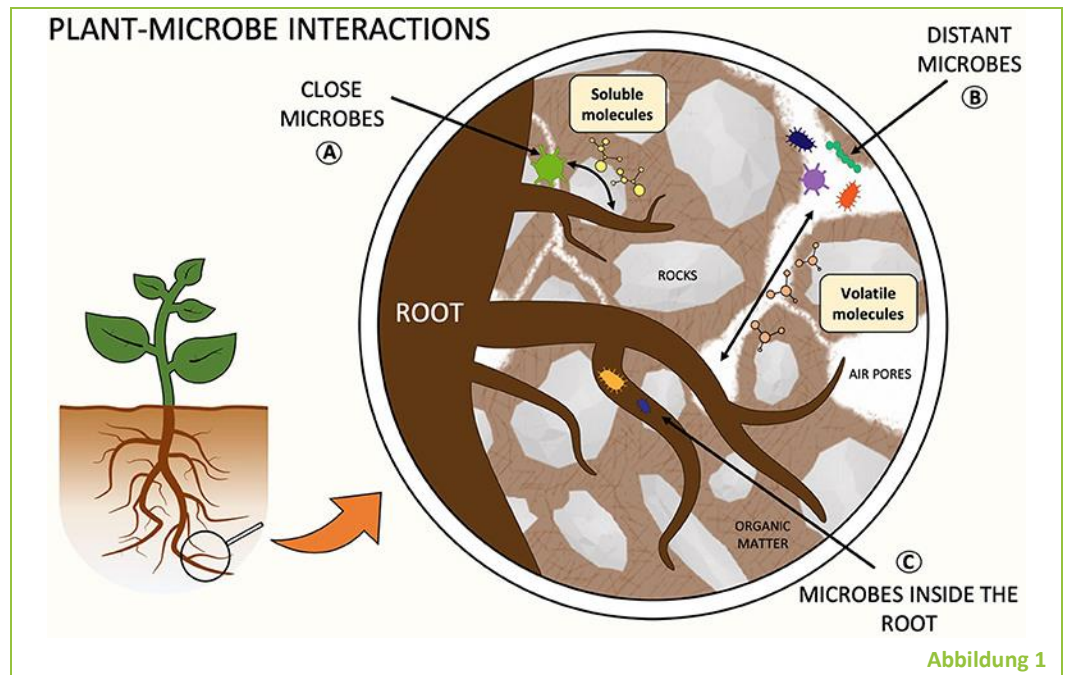


Abbildung 1

## WELCHE AUSWIRKUNGEN HABEN DIE KOMMUNIKATIONSMOLEKÜLE?

Hier sind einige Beispiele dafür, was zwischen Mikroben und Pflanzen passiert, wenn sie anfangen, miteinander zu reden.

### Pflanzen und Mikroben helfen sich gegenseitig bei der Nahrungsbeschaffung

Viele Bodenmikroben können das Wachstum von Pflanzen fördern, weil die Mikroben den Pflanzen die notwendigen Nährstoffe für die Pflanzen verfügbar machen. Zum Beispiel kann ein Bakterium namens *Rhizobium* den Stickstoff in der Luft ( $N_2$ ) in ein anderes Molekül umwandeln: Ammoniak ( $NH_3$ ). Diese Umwandlung wird Stickstofffixierung genannt und sie findet im Boden statt. Die Stickstofffixierung ist für Pflanzen enorm wichtig, denn sie benötigen Stickstoff um zu wachsen, aber sie können  $NH_3$  nur aus dem Boden beziehen. Indem es  $N_2$  in  $NH_3$  umwandelt, hilft das *Rhizobium* Pflanzen zu wachsen und macht sie stärker!

Noch interessanter ist, dass das *Rhizobium* mit einer bestimmten Gruppe von Pflanzen kommunizieren kann, darunter sind Bohnen und Erbsen. Aber wie

## Abbildung 2

Die Auswirkungen der Wechselwirkungen zwischen Pflanze und *Rhizobium* auf die Wurzelstruktur. **(A)** Normale Wurzelstruktur und der Beginn der chemischen Kommunikation. Zunächst produziert die Pflanze Isoflavone (1), dann antwortet *Rhizobium* mit der Produktion von Nod-Faktoren (2). **(B)** Das *Rhizobium* geht zur Wurzel und haftet an einem Wurzelhaar, das dann seine Form verändert, um das Bakterium zu umarmen, so dass die Bakterien in die Wurzel eindringen können. **(C)** Bildung des Wurzelknöllchens, des Raums, in dem sich die Bakterien vermehren und Zucker und Stickstoff austauschen.

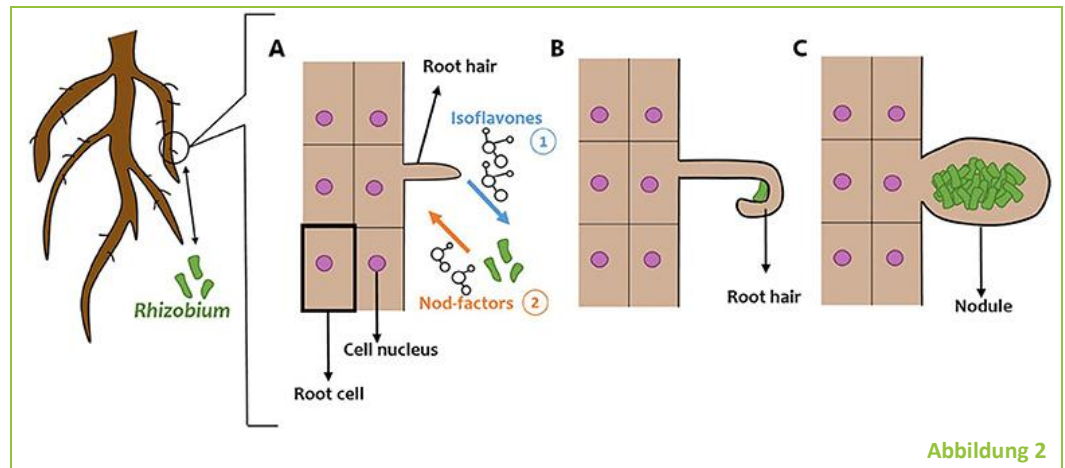


Abbildung 2

funktioniert dieser Dialog? Zunächst setzt die Pflanze Moleküle namens Isoflavone in der Rhizosphäre frei, die Rhizobien anlocken können. Die Bakterien 'hören' die Pflanze 'sprechen' und gehen auf sie zu. Auf ihrem Weg zur Pflanze beginnen die Rhizobien, weitere Moleküle zu produzieren, die der Pflanze sagen, dass sie in den Wurzeln einen Raum schaffen soll, der als Wurzelknöllchen bezeichnet wird und in dem das *Rhizobium* leben kann. Im Austausch für einen Lebensraum und Nahrung (Zucker) von der Pflanze, gibt das *Rhizobium* der Pflanze eine Menge  $\text{NH}_3$  (Abbildung 2). Infolgedessen wachsen Pflanzen, die *Rhizobium* erlauben, mit ihnen zu leben, viel mehr. Sowohl für die Pflanze als auch für das *Rhizobium* ist das Zusammenleben von Vorteil, denn beide Organismen haben mehr Nahrung zur Verfügung, als wenn sie allein leben, und können daher besser wachsen [2].

## Mikroben können helfen, Pflanzen vor Krankheitserregern und Schädlingen zu schützen

**Biotische Faktoren** sind die lebenden Teile einer Umwelt, wie Pflanzen, Tiere und Mikroben (Abbildung 3). Biotischer Stress ist Stress, den ein Organismus, wie eine Pflanze, empfindet, die durch biotische Faktoren wie schlechte Mikroben, genannt Krankheitserreger, oder durch schädliche Insekten, genannt Schädlinge, geschädigt wird. Gute Mikroben können den Pflanzen bei der Bekämpfung gegen Krankheitserreger und Schädlinge auf zwei Arten. Erstens können die Mikroben den Erreger/Schädling vertreiben oder abtöten. Einige gute Mikroben produzieren beispielsweise flüchtige organische Verbindungen (VOC), die das Wachstum von Krankheitserregern oder den Angriff von Schädlingen auf die Pflanze stoppen können. Die zweite Möglichkeit, wie gute Mikroben Pflanzen bei der Bekämpfung von Krankheitserregern helfen können, besteht darin, dass sie der Pflanze sagen, sie solle sich auf den Kampf vorbereiten, indem sie ihre Abwehrkräfte erhöht. Wahrscheinlich sagt dir auch deine Mutter im Winter, dass du Orangen essen sollst, weil sie ein wichtiges Molekül, das Vitamin C, enthalten, das die Immunabwehr stärken und dich vor Krankheiten schützen kann. Der Mechanismus ist derselbe für Mikroben und Pflanzen! Die Moleküle, die von dem Bakterium *Pseudomonas fluorescens* produziert werden, ermöglichen es den Pflanzen, sich besser gegen den Angriff von Krankheitserregern zu wehren [3].

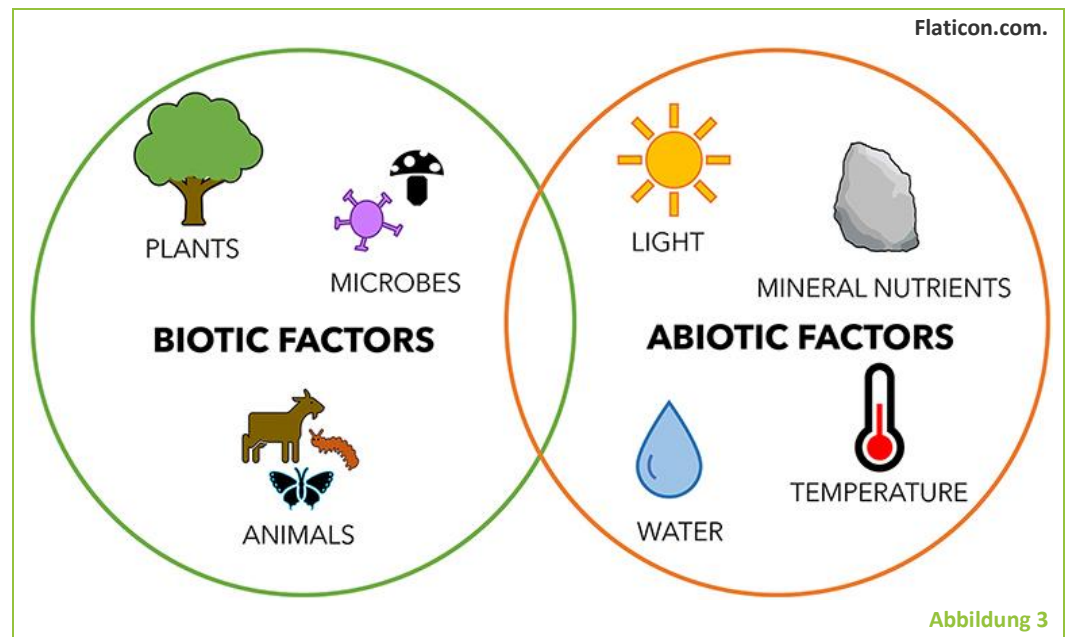
## BIOTISCHE FAKTOREN

Die lebenden Bestandteile einer Umwelt, wie Pflanzen, Tiere und Mikroben.

Figure 3

### Abbildung 3

Wichtige biotische und abiotische Faktoren, die mit der Umwelt wechselwirken. Sie haben Einfluss auf das Pflanzenwachstum und können die chemische Kommunikation zwischen Pflanzen und Mikroben im Boden beeinflussen. Das Pilz-Icon kommt von Flaticon.com.



### ABIOTISCHE FAKTOREN

Die nicht lebenden Bestandteile einer Umwelt, wie Gestein, Sonnenlicht und Wasser.

#### Mikroben können Pflanzen helfen, in schwierigen Gebieten zu überleben

**Abiotische Faktoren** sind die nicht lebenden Teile einer Umgebung, zu denen Sonnenlicht, Temperatur und Wasser (Abbildung 3) gehören. Abiotischer Stress ist die negative Auswirkung solcher Faktoren auf einen lebenden Organismus. Beispiele für abiotischen Stress, welcher Pflanzen schwächt, sind geringe Wasserverfügbarkeit und hohe Salzkonzentrationen. Gute Mikroben können Pflanzen helfen, in schwierigen Gebieten mit schlechten Lebensbedingungen zu überleben. Zum Beispiel ermöglicht das Bakterium *Pseudomonas chlororaphis* O6 einigen Pflanzen zu überleben, wenn nicht genügend Wasser vorhanden ist [4]. Andere Mikroben, wie das Bakterium *Bacillus subtilis*, helfen Pflanzen, in Böden mit hoher Salzkonzentration zu überleben, indem sie die Salzmenge, die in die Pflanzenwurzeln gelangt, reduzieren [5].

### WARUM IST ES WICHTIG, DIE CHEMISCHE KOMMUNIKATION ZU VERSTEHEN?

Die chemische Kommunikation zwischen Mikroben und anderen Organismen hat sich bereits vor Millionen von Jahren entwickelt. Vor 450 Millionen Jahren verließen die Pflanzen das Meer und begannen, auf dem Land zu leben. Wissenschaftler gehen davon aus, dass Bodenpilze den Pflanzen bei dieser Übersiedlung auf das Land zuerst geholfen haben. Die Pilze halfen den Pflanzen dabei wichtige Nährstoffe zu nutzen, damit die Pflanzen überleben konnten [6]. Seit Millionen von Jahren ist also die chemische Kommunikation zwischen den Bodenorganismen wichtig für das Wohlbefinden und das Wachstum der Pflanzen. In diesem Artikel haben wir erklärt, wie Interaktionen zwischen Pflanzen und Mikroben einer Pflanze mehr Nahrung geben oder ihr helfen können, gegen Krankheitserreger zu kämpfen oder in schwierigen Gebieten zu leben. Leider sind diese Wechselwirkungen in Gefahr! Der hohe Einsatz von Antibiotika, Pestiziden und Düngemitteln in der Landwirtschaft kann den Boden verändern und damit auch die Bodengemeinschaft, so dass einige Bodenorganismen absterben und andere wachsen. Veränderungen in der mikrobiellen Gemeinschaft können schreckliche Auswirkungen auf die Pflanzen

haben; zum Beispiel könnten die Mikroben, welche wachsen können, Krankheitserreger sein! Die menschliche Bevölkerung wächst nach wie vor und da die Menschen Nahrung zum Überleben brauchen, müssen neue Methoden zur Steigerung des Pflanzenwachstums und der Nahrungsmittelproduktion gefunden werden [2]. Mikroben werden zunehmend als natürliche Helfer zur Verbesserung des Pflanzenwachstums und der Nahrungsmittelproduktion eingesetzt. Die Erforschung der Mikroben-Pflanzen Kommunikation ist notwendig, um zu verstehen, welche Mikroben für das Pflanzenwachstum eingesetzt werden können. Wir müssen genau aufpassen, um die richtigen Mikroben auszuwählen! Man könnte zum Beispiel denken, dass die Verwendung des Pilz *Fusarium culmorum* eine gute Idee wäre, weil er bestimmten Pflanzen hilft, in schwierigen Gebieten mit hohem Salzgehalt zu wachsen. *Fusarium culmorum* ist jedoch ein schlechter Organismus für Mais - er ist ein Krankheitserreger! Aus diesen Gründen wollen die Forscher so viel wie möglich über die chemische Kommunikation verstehen, um unser Wissen über Bodenökosysteme zu erweitern, um zu verstehen, wie Organismen in diesen Ökosystemen interagieren, und um uns zu helfen, die Interaktionen zwischen Pflanzen und Mikroben zu nutzen, um das Pflanzenwachstum für die Ernährung zu steigern und gleichzeitig die Bodenökosysteme zu schützen.

## QUELLENANGABEN

- [1] van Dam, N. M., Weinhold, A., and Garbeva, P. 2016. Calling in the dark: the role of volatiles for communication in the rhizosphere. *ISME J.* 12:1252–62. doi: 10.1007/978-3-319-33498-1\_8
- [2] Tomer, S., Suyal, D. C., and Goel, R. 2016. “Biofertilizers: a timely approach for sustainable agriculture,” in *Plant-Microbe Interaction: An Approach to Sustainable Agriculture*, eds D. Choudhary, A. Varma, and N. Tuteja (Singapore: Springer). p. 375–95. doi: 10.1007/978-981-10-2854-0\_17
- [3] Van Wees, S. C. M., Van der Ent, S., and Pieterse, C. M. J. 2008. Plant immune responses triggered by beneficial microbes. *Curr. Opin. Plant Biol.* 11:443–8. doi: 10.1016/j.pbi.2008.05.005
- [4] Garbeva, P., and Weiskopf, L. 2020. Airborne medicine: bacterial volatiles and their influence on plant health. *New Phytol.* 226:32–43. doi: 10.1111/nph.16282
- [5] Ortíz-Castro, R., Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., and López-Bucio, J. 2009. The role of microbial signals in plant growth and development. *Plant Signal. Behav.* 4:701–12. doi: 10.4161/psb.4.8.9047
- [6] Field, K. J., Pressel, S., Duckett, J. G., Rimington, W. R., and Bidartondo, M. I. 2015. Symbiotic options for the conquest of land. *Trends Ecol. Evol.* 30:477–86. doi: 10.1016/j.tree.2015.05.007

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

**QUELLE:** Ariotti C, Giuliano E, Garbeva P and Vigani G (2020) The Fascinating World of Belowground Communication. *Front. Young Minds* 8:547590. doi: 10.3389/frym.2020.547590

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

**COPYRIGHT** © 2020 Ariotti, Giuliano, Garbeva and Vigani. 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



### SHASHI PREETHAM, ALTER: 13

Hallo, mein Name ist Shashi. Ich bin 13 Jahre alt und gehe auf die Penglais Schule. Ich spiele gerne Fußball und Basketball. Meine Lieblingsfächer sind Mathe und Informatik. Ich bin jetzt in der 8. Klasse. Ich bin vierfacher Guinness Weltrekordhalter in einem Spiel namens Rocket League und mein Name steht in der Guinness World Record Gamers Edition von 2018.

## AUTORINNEN UND AUTOREN



### CHRISTIANA ARIOTTI

Ich habe vor kurzem mein Studium der Umweltbiologie an der Universität von Turin mit einem Diplom abgeschlossen. Jetzt bin ich Doktorandin an der Universität Turin und untersuche die Kommunikation zwischen Pflanzen und Bodenmikroben, die unter eisenarmen Bedingungen wachsen. In meiner Freizeit liebe ich Bergsteigen (ich lebe in der Nähe der Alpen!) und Singen in Chören.



### ELENA GIULIANO

Ich habe kürzlich meinen Abschluss in Umweltbiologie an der Universität Turin gemacht. Ich möchte mich für einen Ph.D. in Pflanzenwissenschaften bewerben. Ich interessiere mich für die Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Mikroben und den Schutz vor biotischem und abiotischem Stress. Ich tausche gerne Wissen und Ideen mit Menschen aus und liebe es, Wissen und Ideen mit Menschen aus verschiedenen Kulturen auszutauschen. In meiner Freizeit lese und fotografiere ich gerne.

**PAOLINA GARBEVA**

Ich bin Gruppenleiterin in der Abteilung für mikrobielle Ökologie am NIOO in Wageningen. Der Schwerpunkt meiner derzeitigen Forschung liegt auf dem Verständnis der grundlegenden Mechanismen mikrobieller chemischer Interaktionen und Kommunikation zu verstehen.

**GIANPIERO VIGANI**

Ich bin Forscher an der Universität von Turin (Italien). Der Schwerpunkt meiner Forschung liegt darin wie Pflanzen Nährstoffe und Wasser aus dem Boden aufnehmen und wie die Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Mikroben unter der Erde stattfinden.

**ÜBERSETZER****KEVIN HÖRMLE**