

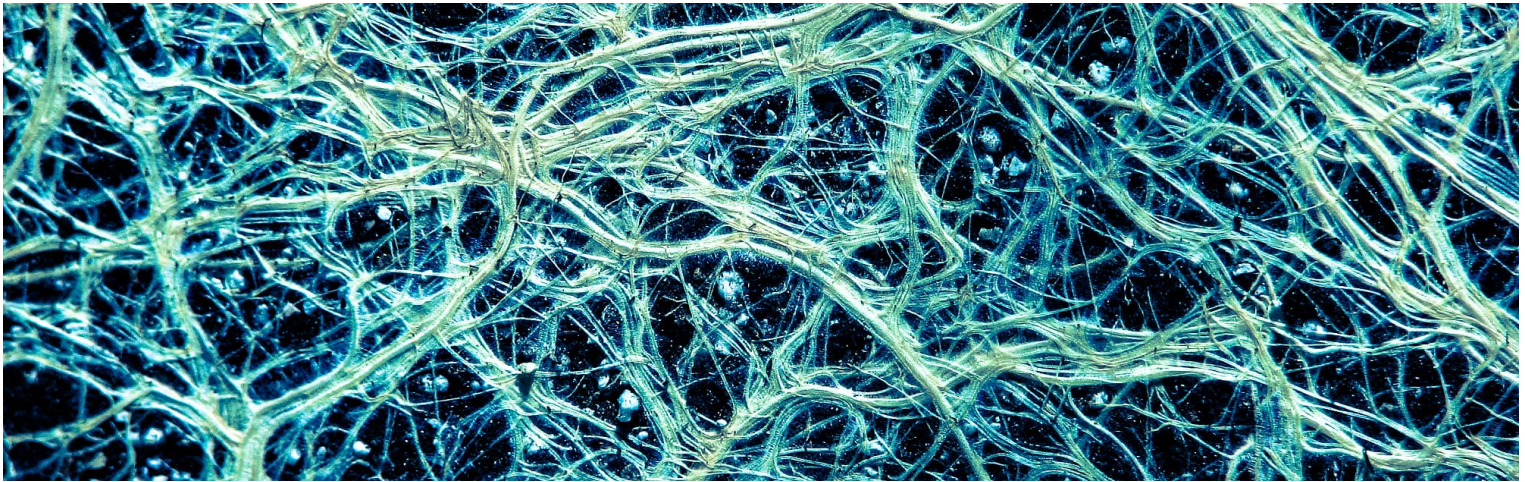
03.11.2018

UNTERSCHÄTZTE BOTANIK

## Die vernetzte Welt der Pflanzen

Der Großteil der Landpflanzen ist unterirdisch über hauchdünne Pilzfäden mit benachbarten Pflanzen verknüpft. In diesem Netzwerk findet ein reger Handel mit Nährstoffen statt. Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass Pflanzen mittels des Pilzgeflechts auch kommunizieren – und einzelne Wissenschaftler ziehen bereits Parallelen zu neuronalen Netzwerken.

von Janosch Deeg



© ODDONATTA / GETTY IMAGES / ISTOCK (AUSSCHNITT)

Hörst du, wie die Bäume flüstern? Insbesondere der Wald beflügelt die Fantasie von Märchenerzählern. Die Realität ist von ihren Geschichten allerdings weit entfernt. Oder doch nicht? Zumindest finden Wissenschaftler immer mehr Beweise dafür, dass Bäume – und Pflanzen im Allgemeinen – in einem ständigen Austausch miteinander stehen. Manche Pflanzen warnen sich etwa gegenseitig mit Duftstoffen vor Schädlingen, andere senden Botenstoffe über die Wurzeln aus, und fast alle tauschen Nährstoffe über ein riesiges, unterirdisches Pilzgeflecht. Speziell im Wald hat sich für dieses Netzwerk, das aus hauchdünnen Pilzfäden besteht, bereits der Name »Wood Wide Web« etabliert. Die Ausmaße sind beeindruckend: Ein einziger Pilz kann sich über eine Fläche von mehreren hundert Quadratmetern ausbreiten und zahlreiche Bäume und andere Pflanzen miteinander verknüpfen. In einem Hektar Waldboden befinden sich bis zu sechs Tonnen Pilzfäden, die es zusammen auf eine unglaubliche Länge von mehr als 100 Milliarden Metern bringen können. Unter einem Quadratzentimeter liegen also Fäden, die aufsummiert mehr als 1000 Meter lang sind. Von diesem gigantischen Pilzgeflecht bekommt ein Spaziergänger im Wald in der Regel jedoch nur die oberirdischen Fruchtkörper zu Gesicht – jene vertrauten Teile, die mitunter auch zum Verzehr geeignet sind.

Die feinen Fäden der Pilze, die Hyphen, weben sich in die Spitzen der Pflanzenwurzeln ein und schließen sich zu einer so genannten Mykorrhiza zusammen. Das Wort ist ebenfalls ein Zusammenschluss, nämlich aus den beiden griechischen Wörtern für Pilz (mykes) und Wurzel (rhíza). Bei Mykorrhiza handelt es sich in der Regel um einen so genannten Mutualismus – eine spezielle Form zwischenartlicher Kooperation, von der beide Partner profitieren, bei der sie aber doch weitgehend getrennt voneinander leben. Im Fall der Mykorrhiza tauschen die beiden Nährstoffe aus: Die Pilze erhalten leicht verwertbaren Zucker, den die Pflanzen mittels Fotosynthese produzieren. Darauf sind die Pilze angewiesen, weil sie nicht die nötigen Enzyme mitbringen, um komplexe Kohlenhydratspeichermoleküle abzubauen. Die Pflanzen bekommen im Gegenzug Phosphor und Stickstoff geliefert, die die Pilze effektiv aus dem Boden holen können. Zudem schützt der Pilz die empfindliche Wurzelspitze etwa vor Schädlingen: So wird der Zusammenschluss zur Win-win-Situation. Mykorrhiza ist seit vielen Jahrzehnten bekannt – und weit verbreitet: Forscher schätzen, dass bis zu 90 Prozent aller Landpflanzen in Symbiose mit solchen Pilzen leben, zumindest aber die Voraussetzungen dafür erfüllen. Das Eingehen dieser Partnerschaft hängt dann letztlich auch von der Situation ab: Pflanzen in ungünstigen Umweltbedingungen streben eher nach Kooperation als solche, die gut versorgt sind.

## Für schlechte Zeiten vorsorgen

Genauer über den Zusammenhang von Kooperation und Umweltbedingungen hat die Botanikerin Rodica Pena von der Georg-August-Universität Göttingen erforscht: Gemeinsam mit ihren Kollegen konnte sie zeigen, dass Pflanzenwurzeln unter normalen Umständen Stickstoff auch ohne Mykorrhizapilze genauso gut aufnehmen wie in Symbiose. Herrscht jedoch Wassermangel, so helfen die Pilze den Wurzeln, den Stickstoff besonders effizient weiterzuleiten. Und bekommt die Pflanze kaum Licht ab, unterstützen die Pilze sie dabei, die Zuckerversorgung aufrechtzuerhalten. Demnach sichert sich die Pflanze gewissermaßen in guten Zeiten ab, indem sie die Pilze aushält, ohne dafür etwas zu verlangen. In schlechten Zeiten zahlt sich das dann aus.

Die Wissenschaftler konnten zudem demonstrieren, dass in diesem System nicht nur eine einzige Pilzart eine Rolle spielt: »Früher hat man oft alle Pilze in einen Topf geworfen. Wir konnten zeigen, dass unterschiedliche Pilzarten unterschiedliche Beiträge leisten«, erzählt Pena. Dazu kultivierten die Forscher ihre Versuchspflanzen jeweils mit anderen Pilzarten und entdeckten signifikante Unterschiede in der Funktion und Effizienz. Deshalb könne laut Pena nur eine hohe Pilzdiversität die Nährstoffversorgung auch unter schwankenden Umweltbedingungen sichern. Die Forscherin gibt

jedoch zu bedenken, dass man schlichtweg noch nicht genug über die Symbiose wisse. Zum Beispiel spielt in dieser Partnerschaft noch ein dritter Akteur mit: Bakterien. »Offenbar sind bestimmte Bakterienkulturen assoziiert mit bestimmten Pilzarten«, so Pena. Die unterschiedlichen Funktionen der Pilze könnten also direkt mit Bakterien zusammenhängen – zumindest, da ist sich Pena ziemlich sicher, übernehmen sie eine wichtige Rolle.

## Fürsorgliche Bäume

Aber nicht nur Pilze und Pflanzen interagieren intensiv, sondern auch benachbarte Pflanzen. Eine Forschergruppe um Suzanne Simard, Professorin für Waldökologie an der University of British Columbia, hat bereits vor der Jahrtausendwende gezeigt, dass große, alte Bäume, so genannte Mutterbäume, die jungen Schösslinge über das Pilznetzwerk mit Kohlenstoff versorgen. Interessanterweise fand dieses Verhalten sogar zwischen unterschiedlichen Baumarten statt. In weiteren Studien konnten Simard und Kollegen zeigen, dass diese Versorgungsstrategie von jungen Bäumen für ihre Entwicklung und ihr Überleben elementar ist.

Das Geben und Nehmen beschränkt sich nicht allein auf Kohlenstoff, wie man heute weiß: Viele weitere Nährstoffe sowie Wasser werden von unterschiedlichen Pflanzen geliefert oder eingetauscht. So können etwa Klee und andere Leguminosen Stickstoff an das Mykorrhiza-Netz abgeben, während Sträucher und Bäume Wasser beitragen, an das sie mit ihren langen Wurzeln besser herankommen als kleinere Pflanzen. Wieder andere steuern zum Beispiel Phosphor oder Zuckerverbindungen bei. Und in der Regel bekommt jeder für seinen Beitrag etwas zurück – das, was er eben braucht oder an was er nur schwer herankommt. Es herrscht also ein geschäftiges Treiben auf dem Basar der Pflanzen.

Was Forscher dabei auf diesem Marktplatz beobachteten, erinnert sie an ein »soziales Verhalten«. Bäume, die gerade viele Nährstoffe haben, geben diese etwa an kranke Bäume weiter, oder sterbende Bäume spenden Nährstoffe an umliegende Artgenossen. Andere Pflanzen profitieren wiederum von bestimmten Nachbarn, wie der Botanikprofessor Andreas Wiemken von der Universität Basel zusammen mit Kollegen entdeckte: Flachspflanzen etwa geraten mehr als doppelt so groß, wenn sie neben Hirsepflanzen wachsen und mit diesen durch Mykorrhizapilze unterirdisch verbunden sind. Kurz: »Die Hirse füttert den Flachs«, wie Wiemken im Buch »Mozart und die List der Hirse« zitiert wird.

## Giftanschläge unter Pflanzen

So betrachtet lässt sich die Welt der Pflanzen leicht als harmonischer Ort idealisieren, in dem Organismen sich stets gegenseitig unterstützen. Der Molekularbiologe und Botaniker František Baluška von der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn weist jedoch darauf hin, dass unter Pflanzen mitnichten immer alles friedlich abläuft: Es wird ausgebeutet, betrogen und sogar getötet; ein Kampf um Ressourcen, vor allem um limitierte. In diesem Kampf kann auch das Mykorrhiza-Netzwerk zur Waffe werden: Baluška nennt als Beispiel giftige Moleküle, die Pflanzen über die Pilzfäden an andere Pflanzen senden, um deren Wachstum zu bremsen. Wenn Stickstoff Mangelware ist, beginnt die Kooperation zwischen Pilzen und Pflanzen rasch zu bröckeln – falls denn beide Seiten vorher überhaupt profitiert haben. Denn tatsächlich beginnen manche Pilze oder Pflanzen eine »Partnerschaft« von vornherein nur, um sie auszunutzen: Die Beziehungen decken von Mutualismus bis hin zu explizitem Parasitismus die ganze Bandbreite der Möglichkeiten ab.

Auch die Biologin Pena betont, das Verhalten der Pflanzen sei nicht »weiß oder schwarz«, es könne beides sein. Und für Baluška zeigt genau diese Vielschichtigkeit, dass Pflanzen in gewisser Weise »soziale Lebewesen« sind. Ihm zufolge habe man schlichtweg lange ihre Fähigkeiten unterschätzt und tue das noch immer. Mittlerweile verdichten sich beispielsweise die Hinweise darauf, dass Pflanzen über das Pilznetzwerk auch Informationen austauschen. Bisher dachte man, es gebe lediglich ein eher unspezifisches Senden von Informationen in dem Sinne, dass Pflanzen Duftstoffe in die Luft entlassen oder bestimmte Signalmoleküle in den Boden absondern, die dann andere Pflanze eher durch Zufall detektieren. Mittels der Pilzfäden wäre jedoch die Weitergabe der Informationen zielgerichtet, effizienter und könnte in beide Richtungen geschehen. Und tatsächlich fanden Forscher bereits heraus, dass von Blattläusen befallene Ackerbohnen offenbar ihre Nachbarn über das Pilznetzwerk informieren. Gleiches beobachteten die Wissenschaftler bei schädlichem Pilzbefall der Blätter. Ähnlich wie mit Duftmolekülen werden so umstehende Pflanzen vor einer drohenden Gefahr gewarnt.

Ein vergleichbares Verhalten zeigen Tomaten, die von den Erregern der Dürrfleckenkrankheit, der Kartoffelfäule oder anderen Pflanzenpathogenen attackiert werden, wie chinesische Wissenschaftler zeigen konnten. Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass über das Pilznetzwerk eine Kommunikation stattfindet, schreiben sie in ihrer Veröffentlichung. Bewiesen ist das noch nicht: Um das aber wirklich sicherzustellen, müsse ausgeschlossen werden, dass die warnenden Botenstoffe nicht in die Erde abgegeben werden, um von den Pilzen daraus aufgenommen zu werden, gibt die Botanikerin Pena zu bedenken.

# Ein Gehirn in den Wurzeln?

Die Biologin Simard geht hier einige Schritte weiter. Im Buch »Memory and Learning in Plants« schreibt sie: »Diese Verhaltensweisen der Bäume haben kognitive Qualitäten und umfassen Fähigkeiten wie Wahrnehmung, Lernen und Gedächtnis (...)« Sie ist gar der Meinung, dass die Topologie von Mykorrhiza-Netzwerken denen neuronaler Netzwerke ähnelt. Mehr noch: Es gebe bestimmte Muster und Eigenschaften in diesen Strukturen, die auch für Intelligenz wichtig sind. Man erkenne zunehmend an, schreibt die Forscherin sinngemäß, dass Pflanzen Entscheidungen treffen und Handlungen ausführen und so Eigenschaften von Intelligenz aufweisen, wie es normalerweise nur Menschen oder vielleicht Tieren zugeschrieben wird.

Dass eine solche Sichtweise nicht abwegig ist, glaubt auch Baluška. Der Molekularbiologe erforscht die Wurzelspitzen von Pflanzen. Für ihn ist das der essenzielle Teil in diesem gesamten unterirdischen Netzwerk. Bereits Ende des 19. Jahrhunderts hat Charles Darwin vorgeschlagen, dass die Wurzelspitze wie ein Gehirn eines niederen Lebewesens funktioniere. Und tatsächlich konnte Baluška gemeinsam mit Kollegen zeigen, dass sich in den Wurzeln eine neuronale Zone befindet, die ähnlich wie auch die Nervenzellen im Gehirn Signale verarbeitet und weiterleitet: die Wurzelspitzenzellen kommunizieren – wie ein neuronales Netzwerk von Tier und Mensch – über eine Art Aktionspotenzial miteinander. Manche Neurone oszillieren auf eine Art und Weise, wie man es auch im Gehirn des Menschen beobachtet hat.

Insgesamt sei das Prinzip der Funktionsweise natürlich trotzdem anders, betont Baluška – was unter anderem mit den Anforderungen zusammenhängt, denen die Wurzeln gerecht werden müssen: Ihre »offensichtliche Aufgabe ist es, Wasser und Nährstoffe zu finden«, sagt der Biologe. Zu diesem Zweck messen bestimmte Zellen in der Wurzelspitze ständig mindestens 20 verschiedene Parameter in der Umgebung, darunter Feuchtigkeit, Lichtstärke oder Sauerstoffgehalt. Und diese große Menge an sensorischen Informationen der Wurzelkappe müssen zum einen verarbeitet und gespeichert werden, damit die Pflanze reagieren kann, also zum Beispiel in eine geeignete Richtung wachsen. Daneben deute jedoch vieles darauf hin, so Baluška, dass die Wurzelspitze, insbesondere die neuronale Zone, für die zielführende Invasion der Pilze wichtig ist. Auch für die anschließende Wechselwirkung und Interaktion mit den Pilzen seien vermutlich diese Strukturen ausschlaggebend.

Baluška reichen die Erkenntnisse der letzten 20 Jahren, um mit gutem Grund sagen zu können, dass die Wurzelspitzen eine Struktur beheimaten, die einem Gehirn zumindest in manchen Punkten ähnelt und es den Pflanzen ermöglicht, aktiv zu agieren. Innerhalb der Wissenschaftsgemeinde stoßen

solche Gedanke größtenteils noch auf Ablehnung. Baluška bedauert diesen Umstand. Das Wurzel-Pilz-Netzwerk würden die meisten weiterhin in erster Linie bezüglich des Austauschs von Nährstoffen erforschen. An seiner Meinung ändert das nichts: Der Molekularbiologe ist sich sicher, dass die Pflanzen darüber auch Informationen weitergeben. Bäume sprechen vielleicht nicht wie im Märchen – sie kommunizieren aber womöglich tiefgründiger, als wir zu wissen glaubten.

### **Janosch Deeg**

Janosch Deeg ist promovierter Physiker und Wissenschaftsjournalist in Heidelberg.



Dieser Artikel ist enthalten in **Spektrum - Die Woche, 45/2018**

- Jetzt informieren!
- Ausgabe als PDF-Download (EUR 1,99)
- Die Woche-Archiv