



DER BODENPILZ: EIN LEBENSNETZWERK, DAS BÄUME SCHÜTZT UND DEN KLIMAWANDEL BEKÄMPFT

Olivia Azevedo ^{1*} und Frank Ashwood ²

¹ Biological and Environmental Sciences, University of Stirling, Stirling, Vereinigtes Königreich

² Forest Research, Northern Research Station, Roslin, Vereinigtes Königreich

JUNGE GUTACHTER:



ANNA

Alter: 16 Jahre



CATHERINE

Alter: 15 Jahre

Ektomykorrhizapilze sind eine Art von Pilzen, die eine gegenseitig vorteilhafte Beziehung zu Pflanzenwurzeln entwickeln. Diese Pilze bilden seit Urzeiten äußerst erfolgreiche Beziehungen mit Waldbäumen weltweit. Die Bäume und ihre zugehörigen Pilze haben eine Handelspartnerschaft entwickelt: Die Pilze helfen den Pflanzen, an schwer zugängliche Nährstoffe zu gelangen, und im Gegenzug erhalten die Pilze konstanten und ununterbrochenen Zugang zu Kohlenhydraten (wie Zucker) von der Pflanze. Diese weitgehend unsichtbare Interaktion beeinflusst die Speicherung und den Kreislauf von Kohlenstoff im Boden und fördert die Gesundheit und Ernährung der Pflanzen. Ektomykorrhizapilze sind auch wichtig für den Abbau abgestorbener Pflanzen und Tiere. Diese Pilze tragen zur Bodenbiodiversität bei und können uns helfen,

ZERSETZER

Sie sind Bakterien, Pilze oder wirbellose Tiere, die tote Pflanzen und Tiere abbauen und dabei Nährstoffe wieder in den Boden freisetzen. Ohne sie würden sich tote Organismen und Abfälle nur anhäufen und Pflanzen könnten keine lebenswichtigen Nährstoffe erhalten.

ORGANISCHE SUBSTANZ

Jedes Material, das ursprünglich von lebenden Organismen wie Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen produziert wurde und wieder in den Boden zurückgeführt wird und weiter abgebaut werden kann (zersetzt). Organische Substanz ist kohlenstoffreich.

SYMBIOSE

Jede Art von engem, langfristigen, biologischem Zusammenspiel zwischen zwei verschiedenen Organismen.

MUTUALISMUS

Eine Beziehung zwischen zwei oder mehreren Arten, bei der alle profitieren.

MYKORRHIZAPILZE

Pilze, die eine mutualistische Beziehung mit den Wurzeln von Pflanzen eingehen. Die Pflanzen erhalten Nährstoffe und Schutz von den Pilzen, wohingegen die Pilze Zucker von den Pflanzen erhalten.

unsere Wälder angesichts von Umweltbelastungen wie Klimawandel und übermäßiger Landnutzung zu schützen.

PILZE UND IHRE ROLLE IN WALDÖKOSYSTEMEN

Wir hören oft, dass Vielfalt die Würze des Lebens ist. Diese Aussage kann leicht auf die vielen Interaktionen in der Natur angewendet werden, wie sie in Waldökosystemen stattfinden. Um lange und gesunde Leben zu führen, sind nahezu alle Pflanzen in der Wildnis auf ein komplexes und vielfältiges Netzwerk von Bodenorganismen angewiesen, die sich gegenseitig ernähren. Dieses größtenteils unsichtbare unterirdische Netzwerk besteht aus winzigen Bakterien, Archaeen, Pilzen und vielen anderen mikroskopischen Organismen.

In Waldböden ist die Rolle der Pilze ein entscheidender Bestandteil des breiteren ökologischen Netzwerks. Pilze haben viele ökologische Funktionen, aber zwei davon sind besonders wichtig. Erstens spielen Pilze eine wichtige Rolle als **Zersetzer**. Pilze sind besonders gut darin, abgestorbene Pflanzenmaterialien (genannt **organische Substanz**) abzubauen, da sie besser als andere Organismen sind, um die besonders harten Materialien in den Zellen von Holzpflanzen vollständig abzubauen [1]. Ausgestattet mit einer breiten Palette von Enzymen, die spezielle Proteine sind, die bei der Produktion und Beschleunigung chemischer Reaktionen helfen, können Pilze organische Substanz abbauen und schwer zugängliche Nährstoffe freisetzen, wodurch diese Nährstoffe für Pflanzen und andere Bodenbewohner verfügbar werden. Während des Zersetzungsprozesses setzen Pilze jedoch CO₂-Gas als Abfallprodukt frei, was zu einer Bewegung von Kohlenstoff aus dem Boden in die Atmosphäre führt. Pilze sind so gute Zersetzer, dass die Pilzzersetzung eine der größten globalen Quellen für Kohlenstoffemissionen ist und jedes Jahr 85 Gigatonnen Kohlenstoff (eine Gigatonne entspricht 1 Milliarde Tonnen) in die Atmosphäre freisetzt. Zum Vergleich: Im Jahr 2018 produzierte die Verbrennung fossiler Brennstoffe etwa 10 Gigatonnen [2].

In diesem Artikel werden wir uns auf eine andere wichtige Rolle konzentrieren, die von Pilzen ebenfalls gespielt wird: ihre **symbiotische** Beziehung zu Bäumen und anderen Pflanzen. Eine symbiotische Beziehung, bei der beide Arten profitieren, wird als **Mutualismus** bezeichnet. Pilze, die mutualistische Beziehungen mit Pflanzen eingehen, werden als **Mykorrhizapilze** bezeichnet, von "myco," was "auf Pilze bezogen" bedeutet und "rhizal," was "Wurzeln" bedeutet. Mykorrhizapilze bilden alte, mutualistische Beziehungen mit den Wurzeln von rund 80% aller terrestrischen Pflanzenarten [1]. Selbst das scheinbar öde Antarktika hat einen fossilen Nachweis von Mykorrhiza-Gemeinschaften. Studien zeigen, dass diese Zusammenarbeit seit 400 Millionen Jahren besteht, seitdem Pflanzen begannen, Land zu besiedeln [3]. Wie alle Pilze können auch Mykorrhizapilze keine eigene Nahrung herstellen, daher erhalten sie Zucker von ihren Pflanzenwirten und bieten im Austausch den Pflanzen Wasser und Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor aus dem Boden an.

Trotz der wichtigen Rollen, die Pilze in Waldökosystemen spielen, wird die Pilzvielfalt bei Entscheidungen zum Waldmanagement oft übersehen. Menschliche Eingriffe wie Abholzung oder der ungehemmte Einsatz von Düngemitteln können das unterirdische Netzwerk verändern und das Gleichgewicht des gesamten Ökosystems stören. Wie jedes andere Netzwerk kann auch hier das Fehlen oder die Schwächung nur eines Verbindungsglieds die gesamte Struktur beeinträchtigen.

DIE PILZKUGEL

Es gibt zwei Haupttypen von Mykorrhizapilzen. Ein Typ, genannt Endomykorrhiza, lebt innerhalb von Pflanzenzellen. Obwohl wir uns in diesem Artikel nicht darauf konzentrieren werden, sind sie interessant, weil sie unglaubliche Experten in der Anpassung an viele verschiedene Umgebungen sind. Zu den Endomykorrhizapilzen gehören arbuskuläre, Ericoid- und Orchideen-Mykorrhizen. Der Hauptfokus unseres Artikels liegt jedoch auf **Ektomykorrhiza** (Mehrzahl: Ektomykorrhizen), die außerhalb der Zellwände von Pflanzen leben. Während mehrere Mykorrhiza-Typen in einem Ökosystem koexistieren können, sind Ektomykorrhizen in gemäßigten und borealen Wäldern dominant, mit etwa 6.000 Pilzarten, die symbiotische Beziehungen mit vielen Bäumen und Holzpflanzen eingehen.

Ektomykorrhizen bestehen aus zwei wichtigen Strukturen: **Fruchtkörpern** und **Hyphen**. Fruchtkörper sind Strukturen, die Sporen enthalten, die von Ektomykorrhizen verwendet werden, um sich zu vermehren. Etwa 4.500 Arten von Ektomykorrhizen haben oberirdische Fruchtkörper (Pilze), während bis zu einem Viertel unterirdische Fruchtkörper haben (zum Beispiel Trüffel). Ektomykorrhizen haben auch Hyphen (aus dem Griechischen für "Gewebe"), welche lange Fäden oder röhrenförmige Strukturen sind, die von den Pilzen verwendet werden, um Nährstoffe aufzunehmen und zu transportieren. Hyphen bilden ein Geflecht aus Pilzgewebe um Pflanzenwurzeln, das die Wurzeln wie ein Gipsverband umschließt (Abbildung 1). Pilzhyphen wachsen auch nach außen wie Venen, drängen sich zwischen Bodenpartikeln, Wurzeln und Steinen hindurch, um Nährstoffe zu erfassen, die außerhalb der normalen Reichweite von Pflanzenwurzeln liegen. Die ektomykorrhizale Assoziation produziert außerdem Antibiotika, Hormone und Vitamine, die für die Pflanze nützlich sind, und schützt die Pflanzenwurzeln vor schädlichen Bedingungen im Boden wie niedrigen Nährstoffgehalten, krankheitserregenden Organismen und giftigen Substanzen. Im Gegenzug erhalten die Pilze einen konstanten und direkten Zugang zu Kohlenhydraten (wie Zucker), die ihre Pflanzenwirte während der Photosynthese produzieren.

EKTOMYKORRHIZA

Die Beziehung zwischen einem Pilz und den Wurzeln bestimmter Pflanzen.

FRUCHTKÖRPER

Strukturen, die von Pilzen gebildet werden, damit sie sich vermehren können. Ein Pilz ist ein häufiger Typ von Fruchtkörper.

HYPHEN

Lange, verzweigte Strukturen eines Pilzes, die sich durch den Boden ausbreiten, um Nährstoffe aufzunehmen und zu transportieren (Einzahl: Hypha).

Abbildung 1

Der Ektomykorrhizapilz *Lactarius camphoratus*, bildet eine weiße Hülle um die Wurzeln einer Eiche (Fotokredit: Laura Martinez-Suz)



Abbildung 1

EKTOMYKORRHIZEN UND WÄLDER: TEAMWORK VOM FEINSTEN

Ektomykorrhizen bevorzugen holzige Pflanzenarten wie Bäume und Sträucher als ihre Partner. Gelegentlich können sie exklusive Beziehungen eingehen, bei denen nur eine Pilzart mit einer bestimmten Baumart zusammenarbeitet. Typischerweise gehen Ektomykorrhizen jedoch mit einer Vielzahl von Baumarten eine Partnerschaft ein. Es ist üblich, mehrere verschiedene Mykorrhizen auf dem Wurzelsystem eines einzelnen Baumes zu finden oder eine Pilzart, die mit mehreren verschiedenen Baumarten in Verbindung steht. Zum Beispiel kann die Fichte über 100 verschiedene Pilzarten symbiotische Beziehungen eingehen. Der bekannte giftige Fliegenpilz kann die Wurzeln mehrerer Baumarten besiedeln, darunter Kiefern, Birken, Fichten und Eukalyptus (Abbildung 2).

Die Anzahl der von Ektomykorrhizen kolonisierten Pflanzenarten ist relativ gering - nur etwa 2% der Pflanzen weltweit. Die Pflanzen, mit denen Ektomykorrhizen zusammenarbeiten, bedecken jedoch große Landflächen und haben einen hohen wirtschaftlichen Wert, beispielsweise als Holzlieferanten. In den nördlichen gemäßigten Regionen zeigen Kiefern, Pappeln, Fichten, Tannen, Weiden, Buchen, Birken und Eichen alle ektomykorrhizale Assoziationen, während Eukalyptus und südliche Buchen im südlichen Hemisphäre häufiger mit Ektomykorrhizen in Verbindung gebracht werden.

Ektomykorrhizen verleihen Bäumen und Wäldern die Fähigkeit, sich an saisonale und landschaftliche Veränderungen anzupassen, beispielsweise durch Bereitstellung angemessener Wassermengen während des Jahres und

Unterstützung bei der Etablierung in neuen Böden. Die Pilze schützen die Pflanzen auch vor Bodendegradation, Verschmutzung und sich ändernden klimatischen Bedingungen. Wissenschaftler haben einen direkten Zusammenhang zwischen dem Rückgang der ektomykorrhizalen Pilze und der Abnahme der Baumgesundheit beobachtet. Da jeder Typ von ektomykorrhizalem Pilz seinen eigenen einzigartigen Satz von Eigenschaften hat, ist jede Art notwendig und unersetzlich. Zum Beispiel bevorzugen bestimmte Arten kühle oder feuchte Bedingungen; andere funktionieren besser während warmer oder trockener Jahreszeiten; einige sind Experten darin, Phosphor und Stickstoff aus dem Boden zu erhalten; und wieder andere sind effektiver darin, diese Nährstoffe aus zersetzender organischer Substanz zu bekommen.

Ektomykorrhizapilze sind auch ein äußerst wichtiger Link zwischen Pflanzen und dem Bodennahrungsnetzwerk, das die komplexe Gemeinschaft von Organismen im Boden darstellt. Diese Pilze liefern wichtige Nährstoffe an Organismen, die im Boden um Pflanzenwurzeln leben, wie andere winzige Pilze, Bakterien, Protozoen und Wirbellose. Die Pilze produzieren auch Fruchtkörper, die für die Tierwelt in Waldökosystemen eine wichtige Nahrungsquelle darstellen. Zum Beispiel sind viele Nagetiere wie das nordamerikanische Gleithörnchen und die westliche Rötelmaus auf Trüffel als ihre Hauptnahrungsquelle angewiesen. Viele andere Säugetiere fressen Pilze, darunter Bären, Hirsche und Mäuse. Menschen bewundern die komplexen und oft hübschen Strukturen von Pilzen, haben große Freude daran, sie zu identifizieren und ihre Ökologie zu studieren, und genießen sie als kulinarische Delikatessen. Wildpilze werden auch zu medizinischen Zwecken verwendet, und die pharmazeutische Industrie untersucht häufig die antibakteriellen Eigenschaften von ektomykorrhizalen Pilzen.

Abbildung 2

Der bekannte giftige Pilz namens Fliegenpilz (*Amanita muscaria*), kann eine Mykorrhiza-Verbindung mit verschiedenen Baumarten eingehen, einschließlich Kiefern, wie hier gezeigt. (Fotokredit: Angela Mele)



Abbildung 2

SCHUTZ UNSERER WÄLDER UND PILZE

Trotz der Bedeutung der Mykorrhiza-Symbiose in Wäldern weltweit werden der Schutz von ektomykorrhizalen Pilzen und ihre Überwachung zur Beurteilung der Waldgesundheit selten bei Entscheidungen zum Waldmanagement berücksichtigt. Die Funktionen und Dienstleistungen, die Wälder bereitstellen, sind von der Bodenbiodiversität abhängig. Pilze sind ein wichtiger Bestandteil dieser Biodiversität, was sie zu einem wichtigen Partner macht, um die globalen Herausforderungen zu bewältigen, mit denen wir derzeit konfrontiert sind. Pilze könnten zur langfristigen Entfernung von Kohlenstoff aus der Atmosphäre beitragen, was uns helfen könnte, die Auswirkungen des Klimawandels zu bekämpfen. Durch die Umwandlung lebenswichtiger Nährstoffe könnten Pilze auch dazu beitragen, die Degradation von Böden zu verhindern, damit das Land weiterhin Nahrung produzieren und das Leben erhalten kann. Wissenschaftler und Landmanager müssen weiterhin ektomykorrhizale Pilze studieren und schützen, damit diese wichtigen Organismen ihre entscheidende Rolle im Netz des Lebens auf unserem Planeten beibehalten können.

REFERENZEN

1. van der Heijden, M. G. A., Martin, F. M., Selosse, M. A., and Sanders, I. R. 2015. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytol.* 205:1406–23. doi: 10.1111/nph.13288
2. Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'sullivan, M., Andrew, R. M., Hauck, J., Peters, G. P., et al. 2019. Global carbon budget 2019. *Earth Syst. Sci. Data.* 11:1783–838. doi: 10.5194/essd-11-1783-2019
3. Brundrett, M. C. 2002. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytol.* 154:275–304. doi: 10.1046/j.1469-8137.2002.00397.x
4. Frey, S. D. 2019. Mycorrhizal fungi as mediators of soil organic matter dynamics. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 50:237–59. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-110617-062331
5. Amaranthus, M. P. 1998. The Importance and Conservation of Ectomycorrhizal Fungal Diversity in Forest Ecosystems : Lessons From Europe and the Pacific Northwest. Portland, OR. doi: 10.2737/PNW-GTR-431

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

QUELLE: Azevedo O and Ashwood F (2022) The Soil Fungi: A Web of Life That Protects Trees and Fight Climate Change. *Front. Young Minds* 10:652660. doi: 10.3389/frym.2022.652660

INTERESSENKONFLIKT: Die Autoren erklären, dass die Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Beziehungen durchgeführt wurde, die als potenzieller Interessenkonflikt interpretiert werden könnten.

COPYRIGHT © 2022 Azevedo and Ashwood. 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.

JUNGE REZENSENTEN



ANNA, 16 Jahre

Ich wollte für Frontiers for Young Minds arbeiten, weil ich dachte, dass es eine großartige Gelegenheit sein würde, mehr über die Welt um mich herum zu lernen! Ich liebe die Wissenschaften, insbesondere Biologie und Physik. Nach der Schule würde ich gerne etwas mit diesen Fächern machen.



CATHERINE, 15 Jahre

Ich liebe Musik und Singen, ich spiele Violine und Gitarre und ich genieße es auch zu schreiben! Ich bin Teil einer Highland-Tanzgruppe und arbeite ehrenamtlich mit Kindern in örtlichen Kinderclubs und Pfadfindern. Ich besuche gerne Jugendveranstaltungen in meiner Kirche und mache Fitness. Ich hoffte, dass ich durch die Überprüfung dieser Artikel neue und interessante Dinge lernen könnte!

AUTORINNEN UND AUTOREN



OLIVIA AZEVEDO

Ich bin eine ehemalige Journalistin, die beschlossen hat, Bodenwissenschaftlerin zu werden. Ich bin von Portugal nach Schottland gezogen, wo ich derzeit Doktorandin an der University of Stirling bin. Meine Forschung beinhaltet viel Graben in Waldböden in der Hoffnung, Antworten auf eine wichtige Frage zu finden: Was passiert mit Böden und den darin lebenden Organismen, wenn man Bäume pflanzt? Meine Forschungsinteressen umfassen unter anderem die folgenden Bereiche: Bodenbiodiversität, Nährstoffkreisläufe, mutualistische Beziehungen zwischen den ober- und unterirdischen Komponenten terrestrischer Ökosysteme, Bodendegradation und -management sowie historische Bodenlandschaften.
*olivia.azevedo@stir.ac.uk

**FRANK ASHWOOD**

Eine Leidenschaft für die Natur hat mich dazu ermutigt, Biologie an der Universität zu studieren, wo ich mich an Forschungsprojekten zur Ökologie von Wirbellosen in Schottland und Mexiko beteiligte. Nachdem ich einige Jahre als Umweltberater gearbeitet hatte, kehrte ich zur Universität zurück und promovierte über Regenwürmer auf rekultivierten Mülldeponien. Jetzt habe ich einen tollen Job als Bodenökologe bei Forest Research, wo ich die Bodenbiodiversität in britischen Wäldern studiere. In meiner Freizeit bin ich Bodenbiologie-Tutor und betreibe Makrophotographie (Fotografieren winziger Tiere im Boden).

ÜBERSETZUNG**SAGAR KUMAR**

Bildung hat mich schon immer fasziniert, einen Beruf zu wählen, weil es eine einfache Möglichkeit ist, das Wissen an die zukünftigen Generationen zu verbreiten. Ich verfolge MA-I Deutsch. Ich bin auch der Empfänger des DAAD-Stipendiums, um verschiedene Aspekte und Methoden des Deutschunterrichts als Zweitsprache zu studieren. Jenseits der Sprache bin ich leidenschaftlich für Naturschutz und Ökologie. Ich glaube, es ist entscheidend, junge Menschen über die Umwelt zu informieren und sie für die Zukunft zu schützen. Aufregende Zeiten stehen bevor, wenn ich diese Reise des Lernens und Unterrichtens fortsetze!

