

# DAS WUNDERREICH DER PILZE

Ein Bericht von Rebecca Hahn

**OB ALS NÄHRSTOFFLIEFERANTEN, BODENVERBESSERER ODER GAR ALS SCHADSTOFFPUFFER: PILZE SIND WAHRE ALLESKÖNNER. UND AUCH FÜR DAS KLIMA WIRKEN SIE IM VERBORGENEN.**

Mitte der 1980er-Jahre sah François Buscot die geheime Welt der Pilze erstmals mit eigenen Augen: Für seine Promotion forschte der Bodenbiologe zu Speisemorcheln, als er eines Tages einfach anfang, vorsichtig unter den Pilzen zu buddeln. Dort stieß er auf das Myzel, ein wurzelartiges Geflecht aus Zellfäden. Buscot grub weiter und verfolgte, wie sich die Stränge durch den Boden wanden – direkt bis zu den Wurzeln der umliegenden Bäume. «Da habe ich angefangen, mich für die Wechselwirkungen zwischen Pilzen und Pflanzen zu interessieren», erzählt der Ökologe, der heute das Department Bodenökologie am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) in Halle an der Saale leitet.

Das unterirdische Netzwerk der Pilze liegt normalerweise im Verborgenen. Sichtbar sind lediglich ihre Fruchtkörper, die bei günstiger Witterung aus dem Boden schießen. Fliegenpilze, Champignons und Pfifferlinge bilden jedoch nur die Spitze des Eisbergs: In Wirklichkeit durchziehen Pilze mit ihren Zellfäden, den sogenannten Hyphen, jeden Winkel des Erdreichs.

Was Buscot an jenem Tag freilegte, war eine sogenannte Mykorrhiza – eine symbiotische Verbindung aus Pflanzenwurzeln und Hyphen, die für den Nährstoffaustausch von Pflanzen und Pilzen sorgt. Auch darüber hinaus spielen Pilze eine tragende Rolle im Ökosystem: Als «Müllabfuhr des Waldes» sorgen sie dafür, dass abgestorbene Pflanzenreste abgebaut werden können. Außerdem helfen sie dabei, mehr Kohlenstoff im Boden einzulagern und Pflanzen bei Dürre und anderen Extrembedingungen widerstandsfähiger zu machen. Nicht zuletzt im Kampf gegen den Klimawandel und seine Folgen könnte Pilzen deshalb noch eine Schlüsselrolle zukommen.

Schon vor über vierhundert Millionen Jahren halfen Pilze den ersten Landpflanzen dabei, die Kontinente zu besiedeln. Im Ozean hatten die Pflanzen zuvor in einer Nährlösung gebadet, aus der sie mühelos Nährstoffe aufnehmen konnten. An Land waren die nötigen Mineralien für die Pflanzen allerdings kaum zu erreichen, steckten sie doch im Gestein fest. Pilze kamen hier als hilfreiche Partner ins Spiel: Denn nur sie können mit ihren hauchfeinen Zellfäden auch in

winzigste Gesteinsporen vordringen und die Nährstoffe darin aufnehmen. Über die Mykorrhiza gaben die Pilze schließlich die Mineralien an die Pflanzen ab. Die wiederum versorgten die Pilze im Gegenzug mit Zucker, den diese nicht selbst herstellen können – weil Pilze, anders als Pflanzen, keine Photosynthese betreiben.

Neben Pflanzen und Tieren sind Pilze die dritte tragende Säule jedes Ökosystems. Lange wurden sie zu den Pflanzen gezählt, dabei bilden sie in der Systematik der Lebewesen eine eigene Gruppe. Anders als Pflanzen können Pilze keine Photosynthese betreiben und müssen deshalb – wie Tiere – organische Nährstoffe aufnehmen. Von Tieren unterscheiden sich Pilze wiederum dadurch, dass sie kein Zellgewebe, sondern ein Geflecht aus dünnen Zellfäden ausbilden.

Bis heute ist es bei dieser Arbeitsteilung geblieben: Schätzungsweise 80 bis 90 Prozent aller bekannten Pflanzenarten sind nach wie vor auf die Zusammenarbeit mit Pilzen angewiesen, weil sie selbst nicht dazu imstande sind, mit ihren Wurzeln in die feinen Bodenporen vorzudringen. Stattdessen verbinden sie sich mit den Pilzhyphen, wodurch sie indirekt die Oberfläche ihrer Wurzeln vergrößern und so mehr Wasser und Nährstoffe – insbesondere Phosphat und Stickstoff – aufnehmen können. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Pflanzen durch die Mykorrhiza vor Schadstoffen geschützt werden. Die Pilze nehmen zum Beispiel Schwermetalle auf, die ansonsten die Pflanzen schädigen würden. Auch gegen Krankheitserreger und Frost sind Pflanzen dank der Symbiose mit den Pilzen besser gewappnet.

Das schützende Netzwerk aus Pilzfäden ist dicht gespannt: Insgesamt ziehen sich unter einem Quadratmeter Boden mehrere Tausend Kilometer Hyphen entlang. Besonders reich an Pilzen ist der Waldboden, was sich auch positiv auf das Wachstum der Bäume auszuwirken scheint: Wie ein Team deutscher und kanadischer Biologen zeigte, tragen Mykorrhiza-Pilze dazu bei, dass Bäume zügiger Biomasse aufbauen können. Je dichter das Pilzgeflecht an ihren Wurzeln ist, umso schneller wachsen die Bäume und umso widerstandsfähiger sind sie zum Beispiel gegen Trockenheit. Das Mykorrhiza-Netzwerk unter Wäldern könnte auf diese Weise die Auswirkungen des Klimawandels abfedern, vermuten die Forscher.

Sicher ist, dass Pilze dabei helfen, mehr Kohlenstoff im Boden zu speichern. «Sowohl Bakterien als auch Pilze sind für die Humusbildung wichtig, aber den Pilzen kommt dabei eine Schlüsselrolle zu», sagt François Buscot. Versuche würden zeigen, wie Pilze Kohlenstoff in ihre Biomasse einbauen und dabei in tiefere Bodenschichten einlagern. Vor allem in Wäldern, wo das Bodenleben von Pilzen dominiert werde, würde das Erdreich viel mehr Kohlenstoff speichern als in anderen Ökosystemen, so Buscot. «Deshalb sind Waldböden auch immer

wieder ein Thema, wenn es darum geht, wie dem Klimawandel entgegengewirkt und langfristig Kohlenstoff gespeichert werden kann.» Eine Studie in Schweden ergab, dass fünfzig bis siebzig Prozent des im Boden gespeicherten Kohlenstoffs nicht durch herabfallendes Laub und andere tote Pflanzenreste, sondern direkt über die Wurzeln und die damit verbundenen Mykorrhiza-Pilze in das Erdreich gelangen.

Das Pilzgeflecht im Waldboden ist auch deshalb von Bedeutung, weil der Wald sonst früher oder später an sich selbst ersticken würde. Denn nicht alle Pilze leben in Symbiose mit den Bäumen. Manche machen sich stattdessen über das abgestorbene Holz her. Ohne diese sogenannten Saprobionten würden tote Bäume einfach liegen bleiben, ohne sich zu zersetzen. «Pilze sind eigentlich die einzigen Organismen, die Holz effizient abbauen können», sagt Marco Thines, Präsident der «Deutschen Gesellschaft für Mykologie». Nur mit einem Cocktail verschiedener Enzyme gelingt es Pilzen, das Lignin – also den Stoff, der Holz seine Festigkeit verleiht – zu zersetzen. Damit würden sie auch Lebensräume für viele Tierarten wie Juchtenkäfer, Hirschkäfer oder Fledermäuse schaffen, so Thines.

**«PILZE KÖNNEN BAUMARTEN ERKENNEN UND AUSWÄHLEN.»**  
PROF. FRANÇOIS BUSCOT, ÖKOLOGE AM HELMHOLTZ-ZENTRUM FÜR  
UMWELTFORSCHUNG IN HALLE AN DER SAALE

Die verschiedenen Pilzarten, die Totholz zersetzen, scheinen offenbar zu wissen, ob sie es mit einer abgestorbenen Buche, Kiefer oder Eiche zu tun haben. «Vor Kurzem haben wir herausgefunden, dass diese Pilze eine sehr hohe Artspezifität haben», erzählt François -Buscot. «Sie sind also in der Lage, die jeweilige Baumart zu er--kennen und spezifisch auszuwählen.»

Neben den Pilzarten, die mit Pflanzen in Symbiose leben, und jenen Arten, die sich von abgestorbenen Pflanzenresten ernähren, gibt es noch eine dritte Gruppe: die Pflanzenparasiten. «Parasitäre Pilze greifen vor allem Pflanzen an, die zu dominant werden», erklärt Buscot. Das liegt daran, dass die Pilze sich leichter verbreiten können, wenn viele Pflanzen derselben Art auf engem Raum vorkommen. Auf diese Weise sorgen die Pilze dafür, dass in naturnahen Ökosystemen eine höhere Pflanzenvielfalt erhalten bleibt. Auf Äckern und Feldern jedoch können parasitäre Pilze große Schäden anrichten, weshalb häufig Pestizide gegen sie eingesetzt werden. Im Gegensatz zu Insektiziden gebe es bei diesen Mitteln allerdings keinerlei Verträglichkeitsprüfungen, sagt Marco Thines. Stattdessen würden meistens Breitbandfungizide verwendet, die

fast alle Pilzarten, darunter auch die unschädlichen, vernichteten. Und auch zu hohe Düngereinträge können empfindlichen Pilzarten schaden: In Studien wurde nachgewiesen, dass eine zu starke Düngung mit Stickstoff die Menge der Mykorrhiza-Pilze deutlich zurückgehen lässt.

Doch auch die Pilze des Waldes sind durch die starke forstliche Bewirtschaftung gefährdet. «Wenn alles Totholz aus den Wäldern entfernt wird, kann das den Pilzgemeinschaften gefährlich werden», warnt Thines. Denn dadurch fehle vielen Pilzen die Lebensgrundlage.

Welche Folgen die intensive und hauptsächlich auf Monokulturen setzende Land- und Forstwirtschaft auf die dort verbreiteten Pilze hat, lässt sich kaum abschätzen – auch deshalb, weil die allermeisten Pilzarten noch gar nicht bekannt und beschrieben sind. «Wenn ich zwei Löffel Matsch aus dem Straßengraben nehme und untersuche, finde ich mit Sicherheit zwei neue Pilzarten darin», sagt Marco Thines.

Bekannt sind heute etwa 140.000 Pilzarten – und damit nur ein Bruchteil aller Arten: Weltweit existieren schätzungsweise 3,2 Millionen verschiedene Pilze, vermuten Forscher aufgrund von Boden- und Wasserproben, in denen mithilfe von DNA-Analysen alle darin vorhandenen Organismen erfasst werden können. Auch zeigen Studien, bei denen alle Pflanzen und Pilze in bestimmten Gebieten systematisch erfasst wurden, dass die Zahl der Pilze die der Pflanzen um das Neun- bis Zehnfache übersteigt.

**«TATSÄCHLICH IST DIE PILZFORSCHUNG ZUM GROSSEN TEIL NOCH  
GRUNDLAGENFORSCHUNG.»**

PROF. MARCO THINES, MYKOLOGE AN DER GOETHE-UNIVERSITÄT  
FRANKFURT AM MAIN

Selbst in den abgelegensten Regionen der Erde kommen Pilze vor: In den Alpen fanden Forscher in Höhenlagen von bis zu 3.000 Metern noch Mykorrhiza-Pilze im Boden, auch unter arktischen Gletschern wurden schon winzige Pilze entdeckt, sogar im Meer und im Grundwasser existieren sie.

Die enorme Vielzahl der noch unbeschriebenen Pilze stellt Mykologen vor eine Herausforderung. «Tatsächlich ist die Pilzforschung zum großen Teil noch Grundlagenforschung», erzählt Thines. «Wir können noch gar keine Forschungsfragen entwickeln, weil unbekannt ist, was es an Pilzen überhaupt

gibt.» Konservativen Schätzungen zufolge haben Pilzforscher noch mindestens 200 Jahre damit zu tun, die Artenvielfalt der Pilze überhaupt zu beschreiben.

Eine Forscherin, die dazu beiträgt, ist Meike Piepenbring. Die Biologin arbeitet an der Goethe-Universität Frankfurt am Main und forscht seit ihrer Promotionszeit vor knapp dreißig Jahren zu Pilzen. «Damals war ich das erste Mal in den Tropen», erzählt Piepenbring. In Panama und Ecuador, ebenso wie vor ihrer Haustür in Hessen, erforscht sie seither die Vielfalt der Pilze.

Das ist häufig eine mühevolle Aufgabe: «Wenn wir einen neuen Pilz entdecken, müssen wir zuerst herausfinden, zu welcher Gruppe er gehört», sagt sie. Dazu ist es erforderlich, die Pilze im frischen Zustand zu beschreiben, zu fotografieren und zu analysieren. Anschließend würden die Pilze getrocknet und aufbewahrt, damit sie bei Bedarf auch später noch mit anderen Funden verglichen werden können. «Wir untersuchen die Pilze mit dem Lichtmikroskop», erzählt Piepenbring. «Dabei vermessen wir zum Beispiel die Sporen und andere mikroskopische Merkmale.»

Ebenfalls wichtig sei es, die Pilze auch zu zeichnen. Die Fotoqualität habe sich zwar verbessert, aber das wissenschaftliche Zeichnen sei gerade in Bezug auf die zellulären Strukturen von Pilzen unverzichtbar. «Zu den strukturellen Merkmalen des Pilzes kommen die molekularen Sequenzdaten», erklärt die Mykologin. «Wir sequenzieren ausgewählte Regionen des Genoms, die mit Vergleichsdaten aus der entsprechenden Pilzgruppe abgeglichen werden.» Erst wenn weder in der Literatur noch bei den in Herbarien aufbewahrten Pilzbelegen dieselbe Art auftaucht, können Piepenbring und ihr Team den Fund schließlich als neue Art beschreiben.

**«PILZE SIND DIE ALLERBESTEN CHEMIKER DER NATUR.»**  
PROF. MARCO THINES, MYKOLOGE AN DER GOETHE-UNIVERSITÄT  
FRANKFURT AM MAIN

So viele unerforschte Pilzarten es noch zu entdecken gilt, so viele Möglichkeiten gibt es auch für deren Anwendung, vermuten Pilzforscher. «Pilze sind biotechnologische Toporganismen», schwärmt Marco Thines. Allein mit Hefepilzen – winzig kleine Pilze, die nur aus einer einzelnen Zelle bestehen – würden in Deutschland jedes Jahr Hunderte von Millionen Euro erwirtschaftet, etwa in Form von Brot oder Alkohol.

Außerdem gingen laut Thines gut 30 Prozent der bisher entwickelten Antibiotika auf die Stoffwechselprodukte von Pilzen zurück. «Es ist unglaublich, was für komplexe Naturstoffe sie herstellen können und wie wenige davon bisher genutzt werden. Wir schöpfen im Moment nicht mal ein Promille der Möglichkeiten aus.» In Zukunft könnten zum Beispiel auch sogenannte endophytische Pilze noch stärker in den Fokus geraten. Sie finden sich – ähnlich wie parasitäre Pilze – in lebenden Pflanzen, allerdings ohne diese zu schädigen. «Endophytische Pilze kommen in den Blättern, den Wurzeln und im Holz von Pflanzen vor», erzählt François Buscot. «Sie bilden im Grunde eine mikrobielle Gemeinschaft – ähnlich, wie wir es vom Mikrobiom in unserem Darmtrakt kennen.»

Faszinierend sei, dass sich die Pilze in den unterschiedlichen Teilen der Pflanzen sehr spezifisch ausbilden: «In der Wurzel eines Baums finden wir eine andere Pilzgemeinschaft als in seinen Blättern», erklärt Buscot. Noch ist nicht klar, wie die endophytischen Pilze überhaupt in das Pflanzengewebe gelangen. Studien zeigen aber, dass sie Stoffe produzieren, um die Pflanzen gegen Fressfeinde, Bakterien und parasitäre Pilze zu schützen. Auch helfen die Pilze ihren Wirten dabei, sich an extreme Habitats anzupassen. Zukünftig könnten diese Wechselbeziehungen dazu genutzt werden, um Pflanzen zu züchten, die zum Beispiel besser gegen Trockenheit und hohe Salzgehalte im Boden gewappnet sind.

Es wäre nur eine von vielen Nutzungsmöglichkeiten für den Menschen: In der Vergangenheit wurden etwa Zunderschwämme verwendet, um Glut zu entfachen und zu halten. In Zukunft ließen sich ganze Häuser aus Pilzmaterial bauen. Und auch in der menschlichen Ernährung könnten Pilze generell eine noch größere Rolle spielen als bislang, meint Meike Piepenbring – gerade im Hinblick auf den Ressourcenverbrauch und die Klimaemissionen durch die Viehwirtschaft. «Speisepilze bilden eine spannende Alternative zu Fleisch: Sie sind eiweißreich und enthalten viele gesunde Vitamine und Mineralien. Gleichzeitig können sie umweltschonend gezüchtet werden, weil sie totes organisches Material für ihre Entwicklung nutzen.» Man könne Pilze zum Beispiel mit Resten aus der Landwirtschaft füttern.

Auch abseits gezielter Pilzzuchten gilt es, Pilze zu hegen und zu schützen. «Wenn die Bodenorganismen verschwinden, werden die Ökosysteme schon bald an Leistung einbüßen», warnen nämlich Buscot und seine Kollegen in der Fachzeitschrift «Science». Gemeinsam mit einer internationalen Forschergemeinschaft möchte der Ökologe dazu beitragen, das zu verhindern – und zwar mithilfe von «Soil BON», einem 2021 ins Leben gerufenen Monitoring- und Indikatorensystem, das durch einheitliche globale Standards die systematische Beobachtung der Artenvielfalt ermöglichen soll. «Wir wollen die Biodiversität in Böden in den Fokus der Schutzbemühungen rücken. Dazu müssen wir den politischen Entscheidungsträgern die notwendigen Informationen

zur Verfügung stellen», so Nico Eisenhauer, Forschungsgruppenleiter am Deutschen Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung Halle-Jena-Leipzig.

Es ist zu hoffen, dass diese Bemühungen Früchte tragen. Denn schließlich helfen Pilze nicht nur dabei, Pflanzen zu ernähren und zu schützen, Kohlenstoff in Böden zu speichern, die Artenvielfalt zu erhalten und die Naturkreisläufe zu stabilisieren: Sie sind auch von unermesslichem Nutzen für unsere Ernährung und die Medizin. In den knapp 40 Jahren, seit François Buscot im Zuge seiner Promotion erstmals die Funktionsweise des Myzels zu erkunden begann, ist das Wissen um die Vielfalt und die zahlreichen Wechselwirkungen des Pilzreichs mit anderen Organismen zwar rapide gewachsen – doch unser Kenntnisstand darüber, wie dieses Reich zu schützen und zu erhalten sei, ist noch ganz am Anfang.

Der Umwelt zuliebe wurde auf die Wiedergabe von Fotos in der Druckversion verzichtet.  
Nachdruck, Aufnahme in Online-Dienste sowie die Vervielfältigung auf Datenträgern nur nach Genehmigung des Herausgebers.