

MERLIN SHELDRAKE



VERWOBENES
LEBEN

WIE PILZE

UNSERE WELT FORMEN

UND UNSERE ZUKUNFT BEEINFLUSSEN

Das Buch

Sie sind in der Erde, in der Luft, in unserem Körper. Pilze sind überall, aber man übersieht sie leicht. Sie halten uns am Leben, bauen Schadstoffe in der Atmosphäre ab und verändern das Verhalten von Tieren. Sie beeinflussen, wie wir Menschen fühlen und denken, und sind für alle Lebensformen unverzichtbar. Sie existieren an der Grenze zwischen Leben und Tod. Der größte bekannte Pilz umfasst etwa die Größe von Zypern, wiegt 35.000 Tonnen und ist 2.000 Jahre alt. Pilze verfügen über eine eigene Intelligenz ohne zentrales Gehirn und können ihre Umwelt manipulieren.

Mit wahrem Forschergeist dringt der renommierte Wissenschaftler Merlin Sheldrake ein in das verborgene Netzwerk der Pilze.

Der Autor

Der preisgekrönte Wissenschaftler MERLIN SHELDRAKE, Jahrgang 1987, ist studierter Biologe, lehrte aber auch Geschichte und Wissenschaftsphilosophie in Cambridge.

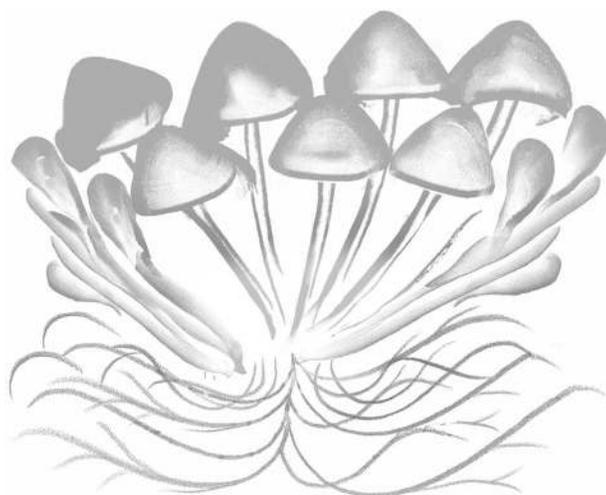
Er schrieb seine Dissertation über das Netzwerk der Pilze in Panama und präsentierte seine Ergebnisse u.a. in Cambridge, Marburg und der FU Berlin. Merlin Sheldrake forscht mit Leidenschaft und schreckt vor Selbstversuchen mit Pilzen nicht zurück.

MERLIN SHELDRAKE

VERWOBENES LEBEN

WIE PILZE UNSERE WELT FORMEN
UND UNSERE ZUKUNFT BEEINFLUSSEN

AUS DEM ENGLISCHEN VON
SEBASTIAN VOGEL



ULLSTEIN

Die Originalausgabe erschien 2020 unter dem Titel
Entangled Life bei Bodley Head, Penguin, London.

Besuchen Sie uns im Internet:

www.ullstein-buchverlage.de



Wir wählen unsere Bücher sorgfältig aus, lektorieren sie gründlich mit Autoren und Übersetzern und produzieren sie in bester Qualität.

Hinweis zu Urheberrechten

Sämtliche Inhalte dieses E-Books sind urheberrechtlich geschützt. Der Käufer erwirbt lediglich eine Lizenz für den persönlichen Gebrauch auf eigenen Endgeräten.

Urheberrechtsverstöße schaden den Autoren und ihren Werken, deshalb ist die Weiterverbreitung, Vervielfältigung oder öffentliche Wiedergabe ausdrücklich untersagt und kann zivil- und/oder strafrechtliche Folgen haben.

In diesem E-Book befinden sich Verlinkungen zu Webseiten Dritter. Bitte haben Sie Verständnis dafür, dass sich die Ullstein Buchverlage GmbH die Inhalte Dritter nicht zu eigen macht, für die Inhalte nicht verantwortlich ist und keine Haftung übernimmt.

ISBN: 978-3-8437-2426-6

© 2020 Merlin Sheldrake

© der deutschen Ausgabe

Ullstein Buchverlage GmbH, Berlin 2020

Covermotiv: © Penguin Random House UK

Umschlaggestaltung: zero-media.net, München, nach einer Vorlage von Penguin Random House UK

Satz: Red Cape Production, Berlin

E-Book: LVD GmbH, Berlin

Alle Rechte vorbehalten.

INHALTSVERZEICHNIS

[Über das Buch / Über die Autorin](#)

[Titel](#)

[Impressum](#)

[Widmung](#)

[PROLOG](#)

[EINLEITUNG: WIE FÜHLT MAN SICH ALS PILZ?](#)

[KAPITEL 1: EINE VERLOCKUNG](#)

[KAPITEL 2: LEBENDE LABYRINTHE](#)

[KAPITEL 3: DIE INTIMITÄT VON FREMDEN](#)

[KAPITEL 4: GEIST IM GEFLECHT](#)

[KAPITEL 5: VOR DEN WURZELN](#)

[Bildteil](#)

[KAPITEL 6: WOOD WIDE WEBS](#)

[KAPITEL 7: RADIKALE PILZFORSCHUNG](#)

[KAPITEL 8: PILZE VERSTEHEN](#)

[EPILOG: DIESER KOMPOST](#)

[DANKSAGUNGEN](#)

[ANMERKUNGEN](#)

[BIBLIOGRAFIE](#)

[Feedback an den Verlag](#)

[Empfehlungen](#)

*Gewidmet voller Dankbarkeit
den Pilzen, von denen
ich so vieles gelernt habe.*

PROLOG

ICH BLICKTE DEN BAUM HINAUF. Aus seinem Stamm sprossen Farne und Orchideen, die sich in der Krone zwischen den verworrenen Lianen verloren. Hoch über mir erhob sich ein Tukan flatternd und krächzend von seinem Ausguck, und ein Trupp Brüllaffen steigerte sich in ein tiefes Heulen. Es hatte gerade aufgehört zu regnen; die Blätter über mir ließen schwere Tropfen in plötzlichen Schauern auf mich herabregnen. Tief über dem Boden hing der Nebel.

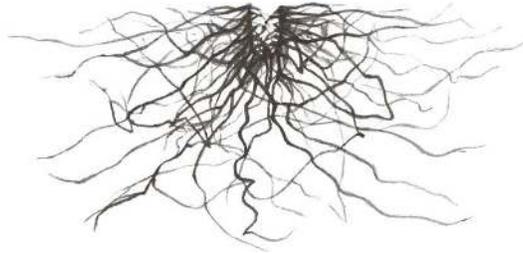
Die Wurzeln des Baumes schlängelten sich vom Stamm aus in alle Richtungen und verschwanden schon bald in der dicken Schicht aus herabgefallenen Blättern, die den Urwaldboden bedeckte. Mit einem Stock klopfte ich auf den Boden, um Schlangen aufzuschrecken. Eine Tarantel lief davon. Ich kniete mich hin und tastete mich vom Stamm an einer Wurzel entlang bis zu einer schwammartigen Masse. Hier mündeten die feineren Wurzeln in ein dichtes, rot-braunes Geflecht. Ein üppiger Duft wallte auf. Termiten kletterten durch das Labyrinth, ein Tausendfüßer rollte sich zusammen und stellte sich tot. Meine Wurzel verschwand im Boden. Mit einer Schaufel räumte ich den Bereich rund um die Stelle frei. Schließlich lockerte ich mit bloßen Händen und einem Löffel die oberste Erdschicht und grub, so vorsichtig ich konnte;

langsam legte ich es frei: Ausgehend vom Baum lag es gewunden unmittelbar unter der Bodenoberfläche.

Nach einer Stunde war ich ungefähr einen Meter vorangekommen. Meine Wurzel war jetzt dünner als ein Seil und hatte sich stark verzweigt. Sie weiterzuverfolgen war schwierig, denn sie war mit ihren Nachbarn verknotet. Also legte ich mich auf den Bauch und senkte das Gesicht in den schmalen Graben, den ich ausgehoben hatte. Manche Wurzeln riechen scharf und nussig, andere bitter und nach Holz, aber wenn ich mit dem Fingernagel in die Wurzeln meines Baumes ritzte, strömten sie einen würzig-harzigen Duft aus. Mehrere Stunden kroch ich über den Boden, kratzte und schnupperte alle paar Zentimeter und vergewisserte mich, dass ich den Faden nicht verloren hatte.

Im Lauf des Tages fand ich weitere Fasern, die aus der ausgegrabenen Wurzel entsprangen. Einige von ihnen verfolgte ich bis zu ihren Spitzen, mit denen sie sich zwischen Fetzen aus verrottenden Blättern oder Zweigen vergraben hatten. Ich tauchte die Enden in ein Gefäß mit Wasser, um den Schmutz abzuwaschen, und betrachtete sie unter einer Lupe. Die Würzelchen zweigten von ihnen ab wie von einem kleinen Baum, und ihre Oberfläche war von einer Art Film bedeckt, der frisch und klebrig wirkte. Diese empfindlichen Strukturen wollte ich genauer untersuchen. Von den Wurzeln verzweigte sich ein Pilz-Netzwerk im Boden und um die Wurzeln benachbarter Bäume. Ohne dieses Netz aus Pilzen könnte mein Baum nicht existieren. Und ohne ähnliche Netze aus Pilzen könnte keine Pflanze irgendwo existieren. Alles Leben an Land, auch mein

eigenes, ist auf solche Netzwerke angewiesen. Ich zog ein wenig an meiner Wurzel und spürte, wie der Boden sich bewegte.



EINLEITUNG

WIE FÜHLT MAN SICH ALS PILZ?

In der feuchten Liebe gibt es Augenblicke, da beneidet uns der Himmel um das, was wir auf der Erde können.

— HAFIS¹

PILZE SIND ÜBERALL, aber man übersieht sie leicht. Sie sind in uns und um uns herum. Sie sorgen für uns und für alles, worauf wir angewiesen sind. Während Sie diese Worte lesen, verändern Pilze den Ablauf des Lebens, wie sie es schon seit über einer Milliarde Jahren tun. Sie fressen Gestein, produzieren Erde, verdauen Umweltgifte, ernähren und töten Pflanzen, überleben im Weltraum, erzeugen Visionen, produzieren Nahrung, stellen Medikamente her, manipulieren das Verhalten von Tieren und haben Einfluss auf die Zusammensetzung der Erdatmosphäre. Pilze eröffnen uns entscheidende Einblicke in den Planeten, auf dem wir leben, und in unser Denken, Fühlen und Verhalten. Und doch führen sie ihr Leben weitgehend im Verborgenen - über 90 Prozent aller Pilzarten sind noch nicht dokumentiert. Je mehr wir über sie erfahren, desto weniger verbleibt, was ohne sie Sinn ergibt.

Pilze bilden ein eigenes Organismenreich, eine ebenso weit gefasste, belebte Kategorie wie »Tiere« oder »Pflanzen«. Die mikroskopisch kleinen Hefezellen sind ebenso Pilze wie die riesigen Netzwerke der Honigpilze oder *Armillaria*, die zu den größten Lebewesen der Welt gehören. Der derzeitige Rekordhalter lebt in Oregon, wiegt Hunderte von Tonnen, verteilt sich über zehn Quadratkilometer und ist zwischen 2000 und 8000 Jahre alt. Vermutlich gibt es viele noch größere und ältere Exemplare, die bisher nicht entdeckt wurden.²

Viele dramatische Ereignisse auf der Erde resultierten – und resultieren bis heute – aus der Tätigkeit von Pilzen. Pflanzen konnten vor rund 500 Millionen Jahren nur deshalb den Übergang vom Wasser zum Land vollziehen, weil sie mit Pilzen zusammenwirkten, die ihnen für Dutzende von Jahrmillionen als Wurzelsysteme dienten, bevor die Evolution sie mit eigenen Wurzeln ausstattete. Heute sind mehr als 90 Prozent der Pflanzen auf Mykorrhiza angewiesen (von den griechischen Begriffen *mykes* für Pilz und *rhiza* für Wurzel), Pilze, die Bäume zu gemeinsamen Netzwerken verbinden und manchmal als »Wood Wide Web« bezeichnet werden. Diese uralte Verbindung brachte alle sichtbaren Landlebewesen hervor, und ihre Zukunft hängt davon ab, dass Pflanzen und Pilze weiterhin eine gesunde Beziehung eingehen können.

Pflanzen haben unseren Planeten grün gemacht, aber wenn wir den Blick zurück in die Devonzeit vor 400 Millionen Jahren richten könnten, würde uns eine andere Lebensform auffallen: *Prototaxites*. Diese lebenden Turmspitzen verteilten sich über die Landschaft. Viele von

ihnen waren größer als ein zweistöckiges Haus. Nichts anderes kam ihrer Größe auch nur nahe: Pflanzen gab es zwar schon, aber sie waren nicht höher als einen Meter, und Tiere mit einer Wirbelsäule hatten das Wasser noch nicht verlassen. In den riesigen Stämmen ließen sich kleine Insekten nieder, die sich Zimmer und Korridore aushöhlten. Die Lebewesen aus der rätselhaften Gruppe der *Prototaxites* – nach heutiger Kenntnis riesengroße Pilze – waren für mindestens 40 Millionen Jahre die größten lebenden Gebilde auf dem trockenen Land, was dem Zwanzigfachen der Zeit entspricht, in der es die Gattung *Homo* gibt.³

Bis heute werden neue Ökosysteme an Land von Pilzen begründet. Wenn Vulkaninseln entstehen oder Gletscher sich zurückziehen und nacktes Gestein freilegen, sind Flechten – eine Verbindung aus Pilzen und Algen oder Bakterien – die ersten Lebewesen, die sich ansiedeln. Sie bereiten den Boden, auf dem Pflanzen später Wurzeln schlagen können. In gut entwickelten Ökosystemen würde der Boden schnell vom Regen weggespült, gäbe es nicht das dichte Geflecht von Pilzgewebe, das ihn zusammenhält. An kaum einer Stelle auf der Erde findet man keine Pilze; es gibt sie von den Sedimenten am Boden der Tiefsee über die Oberfläche von Wüsten und die gefrorenen Täler der Antarktis bis hin zu unseren Verdauungsorganen und Körperöffnungen. In den Blättern und Stängeln einer einzigen Pflanze können Dutzende oder auch Hunderte von Arten existieren. Pilze schlängeln sich durch die Lücken zwischen den Pflanzenzellen, bilden mit diesen ein dichtes Gewebe und schützen die Pflanzen vor Krankheiten. Noch

nie hat man eine unter natürlichen Bedingungen gewachsene Pflanze ohne solche Pilze gefunden; sie gehören ebenso zum Wesen der Pflanzen wie Blätter oder Wurzeln.⁴

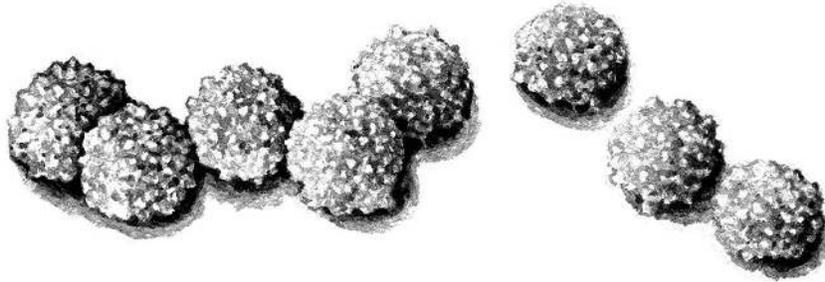
Dass Pilze in derart vielfältigen Lebensräumen gedeihen können, verdanken sie ihren vielseitigen Stoffwechselfähigkeiten. Stoffwechsel ist die Kunst der chemischen Umsetzung. Pilze sind Stoffwechselzauberer: Sie können Nahrung auf geniale Weise finden, einsammeln und verwerten. Nur Bakterien können mit ihren Fähigkeiten konkurrieren. Mit Cocktails aus hochwirksamen Enzymen und Säuren können Pilze einige der hartnäckigsten Substanzen auf der Erde abbauen, vom härtesten Bestandteil des Holzes, dem Lignin, bis hin zu Gestein, Rohöl, dem Kunststoff Polyurethan und dem Sprengstoff TNT. Kaum eine Umwelt ist ihnen zu extrem. Eine Pilz-Spezies, die man aus dem Abraum im Bergbau gewonnen hat, ist eines der strahlungsresistentesten Lebewesen, das jemals entdeckt wurde, und könnte helfen, Atommüll zu beseitigen. Der explodierte Kernreaktor in Tschernobyl ist die Heimat einer großen Population solcher Pilze. Mehrere derart strahlungstolerante Arten wachsen in Richtung radioaktiver Teilchen und sind offenbar in der Lage, die Strahlung als Energiequelle zu nutzen, wie Pflanzen es mit der Sonnenenergie tun.⁵

WENN WIR VON PILZEN SPRECHEN, stellen wir uns meist Speise- oder Giftpilze vor, aber genau wie die Früchte von Pflanzen, die nur ein Teil einer viel größeren Struktur mit Zweigen und Wurzeln sind, sind auch die Speise- und

Giftpilze nur die Fruchtkörper von Pilzen, das heißt der Ort, an dem die Sporen produziert werden. Sporen erfüllen bei Pilzen den gleichen Zweck wie die Samen bei Pflanzen: Sie dienen der Verbreitung. Die sichtbaren »Pilze« sind die Methode der Pilze, sich der Außenwelt vom Wind bis zum Eichhörnchen aufzudrängen, damit diese ihnen bei der Verbreitung ihrer Sporen helfen oder ihnen dabei zumindest nicht in die Quere kommen. Es sind die sichtbaren Teile der Pilze - duftend, begehrenswert, köstlich oder auch giftig. Solche Fruchtkörper sind aber nur eines von vielen Hilfsmitteln: Die überwältigende Mehrzahl aller Pilzarten setzt ihre Sporen frei, ohne überhaupt »Pilze« zu produzieren.

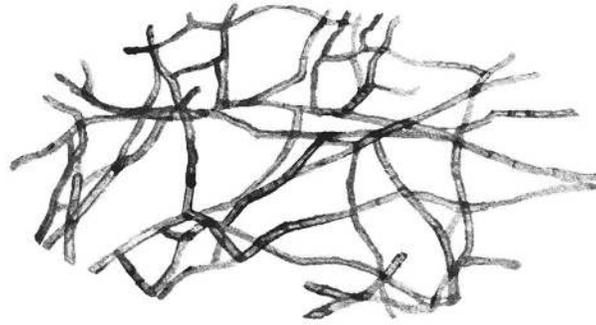
Wir alle leben mit Pilzen und atmen sie ein. Das verdanken wir den vielfältigen Fähigkeiten ihrer Fruchtkörper, die Sporen zu verbreiten. Manche Arten tun es explosiv und beschleunigen ihre Sporen zehntausendmal stärker als ein Space Shuttle unmittelbar nach dem Start, wobei sie eine Geschwindigkeit von bis zu 100 Stundenkilometern erreichen - eine der schnellsten Bewegungen, zu denen irgendein Lebewesen in der Lage ist. Andere Pilzarten schaffen ihr eigenes Mikroklima: Die Sporen werden durch eine Luftströmung in die Höhe getragen, die der Pilz selbst erzeugt, indem er Wasser aus seinen Öffnungen verdunsten lässt. Pilze produzieren jedes Jahr ungefähr 50 Millionen Tonnen Sporen - das entspricht dem Gewicht von 500.000 Blauwalen. Damit sind sie die größte Quelle für lebende Teilchen in der Luft. Pilzsporen gelangen in die Wolken und beeinflussen das Wetter: Sie sorgen dafür, dass sich Wassertropfen bilden, die als Regen

herabfallen, oder dass Eiskristalle zu Schnee, Schneeregen und Hagel werden.⁶



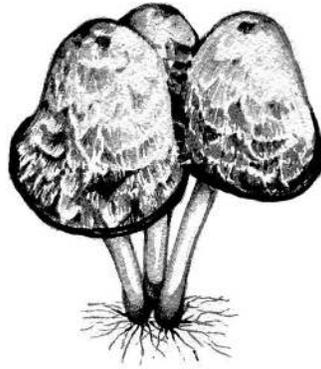
Sporen

Manche Pilze, beispielsweise die Hefe, die den Zucker zu Alkohol vergärt und das Brot aufgehen lässt, bestehen aus einzelnen Zellen, die sich durch Zweiteilung vermehren. Die meisten Pilze bilden jedoch Netzwerke aus vielen Zellen, auch Hyphen genannt. Diese Strukturen aus dünnen Röhren verzweigen sich, verschmelzen und verflechten sich zum anarchisch-filigranen Mycel. Das Mycel ist die am weitesten verbreitete Lebensform der Pilze; man stellt es sich besser nicht als Gegenstand vor, sondern als Prozess - als unregelmäßige, auf Erkundung ausgerichtete Neigung. Wasser und Nährstoffe fließen innerhalb der Mycel-Netzwerke durch die Ökosysteme. Das Mycel mancher Pilzarten lässt sich elektrisch anregen und leitet die elektrische Aktivität wellenförmig durch die Hyphen - ganz ähnlich, wie elektrische Impulse durch die Nervenzellen von Tieren fließen.⁷



Ein Mycel

Die Hyphen bilden nicht nur das Mycel, sondern auch stärker spezialisierte Strukturen. Fruchtkörper wie die Speisepilze entstehen aus verfilzten Hyphen-Fäden. Diese Organe können nicht nur Sporen ausstoßen, sondern auch viele andere Leistungen vollbringen. Manche, beispielsweise die Trüffel, produzieren so besondere Aromen, dass sie zu den teuersten Lebensmitteln der Welt gehören. Andere, darunter die Schopf-Tintlinge (*Coprinus comatus*), bahnen sich sogar den Weg durch Asphalt und heben schwere Pflastersteine an, obwohl sie selbst nicht aus widerstandsfähigem Material bestehen. Man kann einen Schopf-Tintling abpflücken, braten und essen. Lässt man ihn in einem Gefäß liegen, verflüssigt sich sein leuchtend weißes Fruchtfleisch im Laufe einiger Tage zu pechschwarzer Tinte (die Abbildungen in diesem Buch wurden mit Coprinus-Tinte gezeichnet).⁸



Schopf-Tintlinge (*Coprinus comatus*), gezeichnet mit Tinte aus Schopf-Tintlingen

Mit ihrem genialen Stoffwechsel können Pilze ein breites Spektrum verschiedener Beziehungen eingehen. Ob in Wurzeln oder Schößlingen – seit es sie gibt, sind Pflanzen für Nahrung und Abwehr auf Pilze angewiesen. Auch Tiere sind von Pilzen abhängig. Die Blattschneiderameisen bilden neben den Menschen die größten und komplexesten Gesellschaften der Erde. Ihre Kolonien können mehr als acht Millionen Individuen umfassen, und ihre unterirdischen Nester erreichen einen Durchmesser von über 30 Metern. Das Leben der Blattschneiderameisen dreht sich um einen Pilz, den sie in höhlenartigen Kammern züchten und mit Blattstückchen füttern.⁹

Nicht weniger sind auch die Gesellschaften der Menschen mit Pilzen verflochten. Pilzkrankungen verursachen Milliardenverluste – der Reisbrandpilz vernichtet Reis jedes Jahr in einer Menge, die mehr als 60 Millionen Menschen ernähren könnte. Pilzkrankungen von Bäumen, vom Ulmensterben bis zum Kastanienrindenkrebs, verändern Wälder und Landschaften. Die Römer beteten zu Robigus, dem Gott des Mehltaus, damit er Pilzkrankheiten abwende – und doch konnten sie nicht die Hungersnöte verhindern, die zum

Niedergang des Römischen Reiches beitragen. Die Auswirkungen von Pilzkrankheiten nehmen auf der ganzen Welt zu: Durch nicht nachhaltige landwirtschaftliche Methoden sind die Pflanzen weniger in der Lage, Beziehungen zu den nützlichen Pilzen einzugehen, auf die sie angewiesen sind. Die verbreitete Anwendung pilzhemmender Chemikalien hat zu einem beispiellosen Aufschwung neuer Pilz-Supererreger geführt, welche die Gesundheit von Menschen und Pflanzen gleichermaßen gefährden. Wenn Menschen krankheitsverursachende Pilze verbreiten, schaffen sie neue Möglichkeiten für deren Evolution. Die tödlichste jemals beschriebene Krankheit – ein Pilz, der Amphibien infiziert – hat sich im Laufe der letzten 50 Jahre durch die Handelsbeziehungen der Menschen auf der ganzen Welt verbreitet. Sie hat 90 Amphibienarten ausgerottet, mehr als 100 weitere sind bedroht. Die Cavendish, eine Bananensorte, die 99 Prozent aller weltweit exportierten Bananen ausmacht, wird durch eine Pilzkrankheit dezimiert und in den kommenden Jahrzehnten möglicherweise ausgerottet.¹⁰

Wie die Blattschneiderameisen haben auch wir Menschen herausgefunden, wie wir Pilze nutzen können, um eine ganze Reihe drängender Probleme zu lösen. Vermutlich haben unsere Vorfahren solche pilzbasierten Lösungen schon zu einer Zeit gekannt bevor sie *Homo sapiens* waren. Im Jahr 2017 rekonstruierten Wissenschaftler die Ernährung der Neandertaler, jener Vetter des heutigen Menschen, die vor rund 50.000 Jahren gestorben sind. Dabei stellte sich heraus, dass ein Individuum mit einem Zahnabszess eine bestimmte Pilzart

- eine Penicillin produzierende Schimmelsorte - gegessen hatte, was darauf schließen ließ, dass man seine antibiotischen Eigenschaften bereits kannte. Es gibt auch jüngere Beispiele wie beispielsweise den Ötzi, eine ausgezeichnet erhaltene Leiche aus der Jungsteinzeit, die ungefähr 5000 Jahre alt ist und im Gletschereis gefunden wurde. Eine Tasche, die der »Mann aus dem Eis« am Tag seines Todes bei sich hatte, war mit Bündeln des Zunderschwammes (*Fomes fomentarius*) gefüllt, die mit ziemlicher Sicherheit zum Feuermachen dienten; außerdem fanden sich dort sorgfältig zubereitete Bruchstücke des Birkenporlings (*Fomitopsis betulina*), die vermutlich als Arznei verwendet wurden.¹¹

Die indigenen Völker Australiens behandelten Wunden mit Schimmelpilzen, die sie an der sonnenabgewandten Seite von Eukalyptusbäumen geerntet hatten. Im jüdischen Talmud kommt die »Chamka« vor, eine Heilungsmethode mit Schimmelpilzen, für die verschimmeltes Getreide mit Dattelwein getränkt wird. Altägyptische Papyri aus der Zeit um 1500 v. u. Z. behandeln die Heilwirkungen von Schimmel, und 1640 beschrieb John Parkinson, der königliche Apotheker in London, die Anwendung von Schimmelpilzen zur Behandlung von Verletzungen. Aber erst 1928 entdeckte Alexander Fleming, dass ein Schimmelpilz die bakterientötende Substanz Penicillin produziert. Das Penicillin wurde zum ersten modernen Antibiotikum und hat seither unzählige Menschenleben gerettet. Flemings Entdeckung wird häufig als einer der entscheidenden Augenblicke der modernen Medizin genannt, und man kann mit Fug und Recht behaupten, dass

sie dazu beitrug, das Machtgleichgewicht im Zweiten Weltkrieg zu verschieben.¹²

Penicillin ist eine Substanz, die Pilze gegen Bakterieninfektionen verteidigt, und wie sich herausstellte, schützt sie auch Menschen. Das ist nichts Ungewöhnliches: Zwar wurden Pilze lange mit Pflanzen in einen Topf geworfen, in Wirklichkeit sind sie aber enger mit Tieren verwandt – ein Beispiel für einen Kategorienfehler, wie Wissenschaftler ihn in ihren Bestrebungen, das Leben von Pilzen zu verstehen, regelmäßig begehen. Auf molekularer Ebene sind sich Pilze und Menschen so ähnlich, dass sie in vielen Fällen von den gleichen biochemischen Innovationen profitieren können. Wenn wir Arzneimittel anwenden, die von Pilzen produziert wurden, übernehmen wir häufig eine Lösung, auf die Pilze gestoßen sind, und nutzen sie für unsere eigenen Körper. Pilze sind pharmazeutisch sehr produktiv, und heute sind wir auf sie nicht nur wegen des Penicillins, sondern auch wegen vieler anderer Chemikalien angewiesen: Cyclosporin ist ein Immunsuppressivum, das Organtransplantationen möglich macht, Statine senken den Cholesterinspiegel, zahlreiche Verbindungen (unter ihnen das Milliarden Dollar schwere Medikament Taxol, das ursprünglich aus den Pilzen gewonnen wurde, die in Eiben leben) wirken gegen Viren oder Krebs, ganz zu schweigen vom Alkohol (der von Hefe durch Gärung erzeugt wird) und Psilocybin (der aktive Bestandteil in den psychedelischen Pilzen, die, wie kürzlich in klinischen Studien nachgewiesen wurde, schwere Depressionen und Angstzustände lindern können). Auch 60 Prozent der industriell verwendeten Enzyme werden von Pilzen

erzeugt, und 15 Prozent aller Impfstoffe sind Produkte gentechnisch veränderter Hefestämme. Von Pilzen erzeugte Zitronensäure ist Bestandteil aller Sprudelgetränke. Der Weltmarkt für Speisepilze erlebt einen Boom und soll den Berechnungen zufolge von 42 Milliarden Dollar im Jahr 2018 auf 69 Milliarden Dollar im Jahr 2024 wachsen. Auch der Umsatz mit medizinisch verwendeten Pilzen steigt von Jahr zu Jahr.¹³

Nicht nur für die Gesundheit der Menschen haben Pilze Lösungen gefunden. Eine radikale, auf Pilzen basierende Technologie kann uns auch helfen, mit einigen der vielen Probleme fertig zu werden, die sich durch die fortgesetzte Umweltzerstörung ergeben: Virushemmende Substanzen, die von Pilz-Mycelien produziert werden, vermindern das Bienensterben. Den gierigen Appetit der Pilze kann man nutzen, um Umweltgifte wie beispielsweise das Öl nach einer Ölpest abzubauen, ein Vorgang, den man als Mykoremediation bezeichnet. Bei der Mykofiltration lässt man verunreinigtes Wasser durch Matten aus Mycel laufen, die dann Schwermetalle ausfiltern und Giftstoffe abbauen. Mykofabrikation ist die Herstellung von Baumaterial und Textilien aus Mycel als Ersatz für Kunststoff und Leder in vielen Anwendungsbereichen. Pilzmelanine, die Pigmente, die von strahlenunempfindlichen Pilzen produziert werden, bilden eine vielversprechende neue Quelle für strahlungsresistente biologische Materialien.¹⁴

In der Gesellschaft der Menschen spielte der reichhaltige Stoffwechsel von Pilzen immer eine wichtige Rolle. Die vollständige Liste aller chemischen Leistungen von Pilzen herunterzurattern würde Monate dauern. Aber

trotz ihres großen Potenzials und ihrer zentralen Rolle für viele uralte Tätigkeiten der Menschen haben Pilze nur einen winzigen Bruchteil der Aufmerksamkeit auf sich gezogen, die Tieren und Pflanzen zuteilwurde. Nach den besten Schätzungen gibt es auf der Welt zwischen 2,2 und 3,8 Millionen Pilzarten, das Sechs- bis Zehnfache der geschätzten Zahl der Pflanzenarten; demnach sind erst sechs Prozent aller Pilzarten beschrieben. Mit unseren Kenntnissen über die Verwicklungen und die Raffinesse des Lebens von Pilzen stehen wir noch ganz am Anfang.¹⁵

Soweit ich zurückdenken kann, haben mich Pilze und die von ihnen herbeigeführten Verwandlungen fasziniert. Ein harter Holzbalken wird zu Erde, ein Teigklumpen geht auf und wird zu Brot, ein Speisepilz bricht über Nacht aus dem Boden – aber wie? Als Teenager verarbeitete ich mein Erstaunen, indem ich Wege suchte, um mich mit Pilzen zu beschäftigen. Ich pflückte Pilze und züchtete sie in meinem Zimmer. Später braute ich Alkohol in der Hoffnung, dabei mehr über Hefe und ihren Einfluss auf mich in Erfahrung zu bringen. Ich staunte darüber, wie Honig sich in Met und Fruchtsaft sich in Wein verwandelt – und wie die Produkte dieser Umwandlungen meine eigenen Sinne und die meiner Freunde verändern konnten.

Als ich offiziell mit dem Studium der Pilze begann und Studienanfänger am Institut für Pflanzenforschung der Universität Cambridge wurde – ein Institut für Pilzforschung gibt es nicht –, war ich vor allem von Symbiosen fasziniert, jenen engen Beziehungen, die sich zwischen nicht miteinander verwandten Organismen ausbilden. Wie sich herausstellte, ist die Geschichte des

Lebendigen voll von derart enger Zusammenarbeit. Ich lernte, dass die meisten Pflanzen auf Pilze angewiesen sind, die sie mit Nährstoffen aus dem Boden wie Phosphor oder Stickstoff versorgen, und dass sie im Gegenzug energiereiche Zucker und Lipide liefern, die sie durch Fotosynthese produziert haben - den Prozess, bei dem die Pflanzen das Licht und das Kohlendioxid aus der Luft aufnehmen. Die Beziehung zwischen Pflanzen und Pilzen brachte die Biosphäre in ihrer heutigen Form hervor und ist bis heute für das Leben an Land unentbehrlich. Und doch schien es mir, als wüssten wir nur sehr wenig. Wie entstehen solche Beziehungen? Wie kommunizieren Pflanzen und Pilze miteinander? Wie konnte ich mehr über das Leben dieser Organismen lernen?

Ich nahm das Angebot einer Doktorandenstelle an, die es mir ermöglichte, in den tropischen Wäldern Panamas die Beziehungen der Mykorrhiza zu erforschen. Wenig später reiste ich zu einer Freilandstation auf einer Insel, die vom Institut für Tropenforschung der Smithsonian Institution betrieben wurde. Die Insel und die umgebenden Halbinseln gehörten zu einem Naturschutzgebiet und waren vollständig mit Wald bedeckt; auf einer kleinen Lichtung standen unsere Unterkünfte, eine Kantine und Laborgebäude. Außerdem gab es Gewächshäuser zur Pflanzenzucht, Trockengestelle voller Beutel mit Laub, einen Raum mit vielen Mikroskopen und einen begehbaren Gefrierschrank gefüllt mit Probenmaterial: Flaschen mit Baumsaft, tote Fledermäuse, Röhrchen mit Zecken, die man aus dem Rücken durrer Ratten und aus *Boa constrictors* gezogen hatte. Aushänge am schwarzen Brett

boten finanzielle Belohnungen für jeden, der frische Ozelotexkreme aus dem Wald besorgen konnte.

In dem Dschungel wimmelte es von Leben. Es gab Faultiere, Pumas, Schlangen und Krokodile; Basiliskenechsen liefen über das Wasser, ohne unterzugehen. Auf wenigen Hektar lebten mehr holzige Pflanzenarten als in ganz Europa. Die Vielfalt des Waldes spiegelte sich auch in den vielen Interessen der Freilandbiologen wider, die hierherkamen, um ihn zu studieren. Manche kletterten auf Bäume und beobachteten Ameisen. Andere machten sich jeden Tag in der Morgendämmerung auf die Spur der Affen, und wieder andere beobachteten die Blitze, die bei tropischen Unwettern in die Bäume einschlugen. Manche hingen den ganzen Tag an einem Kran und maßen die Ozonkonzentration im Kronendach des Waldes. Manche erhitzten den Boden mit elektrischen Heizelementen, um herauszufinden, wie Bakterien auf die globale Erwärmung reagieren. Manche gingen der Frage nach, wie Käfer sich an den Sternen orientieren. Hummeln, Orchideen, Schmetterlinge – es schien, als gäbe es keinen Aspekt in der Lebenswelt des Waldes, den nicht irgendjemand beobachtete.

Ich war hingerissen von der Kreativität und dem Humor dieser Wissenschaftlergemeinschaft. Laborbiologen beschäftigen sich einen Großteil ihrer Zeit mit den Stückchen des Lebendigen, die sie untersuchen. Ihr eigenes Leben findet dann jenseits der Reagenzgläser statt, die ihren Forschungsgegenstand enthalten. Freilandbiologen sind nur in den seltensten Fällen derart

Herr der Lage. Ihr Reagenzglas ist die ganze Welt, und sie sind mittendrin. In der freien Natur herrscht ein anderes Machtgleichgewicht. Unwetter spülen die Fähnchen weg, mit denen sie ihre Experimente markiert haben. Bäume stürzen auf ihre Versuchsfelder. An der Stelle, an der sie den Nährstoffgehalt des Bodens messen wollten, stirbt ein Faultier. Pistolenameisen stechen sie, während sie vorüberhasten. Der Wald und seine Bewohner nehmen ihnen jede Illusion, dass sie als Wissenschaftler das Sagen haben. Sehr schnell stellt sich Demut ein.

Die Beziehungen zwischen Pflanzen und Pilz-Mykorrhiza sind von entscheidender Bedeutung, wenn man verstehen will, wie Ökosysteme funktionieren. Ich wollte mehr darüber wissen, wie Nährstoffe durch die Netzwerke der Pilze fließen, aber wenn ich daran dachte, was sich unter der Erde alles abspielt, wurde mir schwindlig. Pflanzen und Pilz-Mykorrhiza sind promiskuitiv: In den Wurzeln einer einzigen Pflanze können viele Pilze leben, und viele Pflanzen können sich mit einem einzigen Pilz-Netzwerk verbinden. Auf diese Weise können die verschiedensten Substanzen, von Nährstoffen bis zu Signalstoffen, auf dem Weg über die Pilze zwischen den Pflanzen ausgetauscht werden. Einfach gesagt, bilden Pilze das soziale Netzwerk der Pflanzen. Das meinen wir mit dem »Wood Wide Web«. In den tropischen Wäldern, in denen ich arbeitete, gab es Hunderte von Pflanzen- und Pilzarten. Ihre Netzwerke sind unglaublich kompliziert, und daraus lassen sich gewaltige Schlussfolgerungen ableiten, die wir noch kaum durchschauen. Man stelle sich das Erstaunen eines außerirdischen Anthropologen vor, der die moderne

Menschheit jahrzehntelang studiert und irgendwann feststellt, dass wir so etwas wie das Internet haben. In einer ähnlichen Situation sind die heutigen Ökologen.

Im Rahmen meiner Forschungsarbeiten an den Netzwerken der Mykorrhiza-Pilze, die sich durch den Boden ziehen, sammelte ich Tausende von Bodenproben und Baumwurzelabschnitten. Ich zerkleinerte sie dann, verarbeitete sie zu einer Paste und isolierte ihre Fette oder DNA. Hunderte von Pflanzen züchtete ich in Blumentöpfen mit verschiedenen Gemeinschaften von Mykorrhiza-Pilzen, und ich beobachtete, wie groß ihre Blätter wurden. Ich streute schwarzen Pfeffer in breiten Streifen rund um die Gewächshäuser, damit sich keine Katzen hineinschlichen und vagabundierende Pilzgemeinschaften von draußen mitbrachten. Ich fütterte die Pflanzen mit markierten chemischen Substanzen und verfolgte sie durch die Wurzeln bis in den Boden, sodass ich messen konnte, welcher Anteil von ihnen ihre Pilzgefährten durchlaufen haben musste – was weiteres Zerkleinern und immer mehr Pasten mit sich brachte. Ich tuckerte mit einem kleinen Motorboot, das häufig defekt war, rund um die bewaldeten Halbinseln, kletterte an Wasserfällen hoch, um nach seltenen Pflanzen zu suchen, wanderte meilenweit über schlammige Pfade, wobei ich einen Rucksack voll wassergetränkter Erde mitschleppte, und fuhr mit Lastwagen durch dicken roten Urwaldschlamm.

Unter den vielen Lebewesen im Regenwald begeisterte mich besonders eine Spezies kleiner Blumen, die am Waldboden wuchsen. Diese Pflanzen waren so hoch wie eine Kaffeetasse, und ihre dünnen, blassweißen Stängel

balancierten an ihrem oberen Ende eine einzige leuchtend blaue Blüte. Es war eine Spezies der Dschungelentzian-Gattung *Voyria*. Diese Blumen sind schon seit langer Zeit nicht mehr zur Fotosynthese in der Lage. Dabei haben sie auch das Chlorophyll verloren, jenes Pigment, das die Fotosynthese möglich macht und den Pflanzen ihre grüne Farbe verleiht. Ich war von *Voyria* fasziniert. Die Fotosynthese gehört zu den Eigenschaften, die Pflanzen erst zu Pflanzen machen. Wie konnte diese Spezies ohne sie überleben?

Ich hatte den Verdacht, dass *Voyria* eine ungewöhnliche Beziehung zu Pilzen eingeht, und fragte mich, ob ich von diesen Blumen etwas über die Vorgänge unter der Bodenoberfläche lernen konnte. Viele Wochen brachte ich damit zu, im Dschungel nach *Voyria* zu suchen. Manche Blumen wuchsen auf offenen Waldlichtungen und waren leicht auszumachen. Andere versteckten sich hinter den Brettwurzeln der Bäume. Oft standen Hunderte von Blumen auf einer Fläche von einem Viertel eines Fußballfeldes, und ich musste sie alle zählen. Der Wald war nur in den seltensten Fällen offen oder flach, das heißt, ich musste umherkriechen und abwärts steigen. Eigentlich musste ich mich auf nahezu jede Weise fortbewegen, außer im aufrechten Gang. Jeden Abend kehrte ich dreckig und erschöpft in die Biologische Station zurück. Beim Abendessen machten meine Ökologenfreunde aus den Niederlanden ihre Witze über meine hübschen Blüten mit dem dünnen Stängel. Sie gingen der Frage nach, wie tropische Wälder den Kohlenstoff speichern. Während ich mich damit abmühte, auf der Suche nach winzigen Blüten

am Boden entlangzukriechen, vermaßen sie den Umfang von Bäumen. Für das Kohlenstoffbudget des Waldes spielt *Voyria* keine Rolle. Sie neckten mich wegen meiner kleinen Ökologie und meiner niedlichen Vorliebe. Ich neckte sie mit ihrer brutalen Ökologie und ihrem Macho-Gehabe. Am nächsten Tag machte ich mich im Morgengrauen erneut auf den Weg und suchte den Waldboden ab in der Hoffnung, dass diese seltsamen Pflanzen mir helfen würden, den Weg unter die Erde und in die verborgene, wimmelnde Welt des Bodens zu finden.

OB IM WALD, im Labor oder in der Küche: Pilze haben meine Vorstellung vom Ablauf des Lebens verändert. Diese Organismen stellen unsere Kategorien infrage, und wenn man genauer über sie nachdenkt, beginnt die Welt anders auszusehen. Meine wachsende Begeisterung dafür, dass sie eine solche Wirkung haben können, war für mich der Anlass, dieses Buch zu schreiben. Ich habe mich um Wege bemüht, auf denen ich Spaß an den von Pilzen ausgehenden Zweideutigkeiten finden kann, aber sich in dem Freiraum wohlfühlen, den offene Fragen schaffen, ist nicht immer einfach. Hier kann eine Furcht vor dem weiten Raum einsetzen. Man ist leicht versucht, sich in kleinen Zimmern zu verstecken, die aus schnellen Antworten gebaut sind. Ich habe mir alle Mühe gegeben, das nicht zu tun.

Einer meiner Freunde, der Philosoph und Zauberkünstler David Abram, war früher der Hausmagier in »Alice's Restaurant« in Massachusetts (das durch den