

MERLIN SHELDRAKE

VERWOBENES
LEBEN

WIE PILZE

UNSERE WELT FORMEN
UND UNSERE ZUKUNFT BEEINFLUSSEN



ullstein

MERLIN SHELDRAKE

VERWOBENES LEBEN

WIE PILZE UNSERE WELT FORMEN
UND UNSERE ZUKUNFT BEEINFLUSSEN

AUS DEM ENGLISCHEN VON
SEBASTIAN VOGEL



ULLSTEIN

Besuchen Sie uns im Internet:
www.ullstein.de

Wir verpflichten uns zu Nachhaltigkeit



- Klimaneutrales Produkt
- Papiere aus nachhaltiger Waldwirtschaft und anderen kontrollierten Quellen
- ullstein.de/nachhaltigkeit



Ungekürzte Ausgabe im Ullstein Taschenbuch

1. Auflage September 2021

© für die deutsche Ausgabe Ullstein Buchverlage GmbH, Berlin 2020

© 2020 by Merlin Sheldrake

Titel der englischen Originalausgabe *Entangled Life: How Fungi Make Our Worlds, Change Our Minds and Shape Our Futures* (Bodley Head, Penguin, London)

Illustrationen im Innenteil: © Merlin Sheldrake

Satz: Red Cape Production, Berlin

Gesetzt aus der Sabon LT und Futura LT

Druck und Bindearbeiten: CPI books GmbH, Leck

ISBN 978-3-548-06531-1

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

INHALT

PROLOG 9

EINLEITUNG

WIE FÜHLT MAN SICH ALS PILZ? 13

KAPITEL 1

EINE VERLOCKUNG 43

KAPITEL 2

LEBENDE LABYRINTHE 73

KAPITEL 3

DIE INTIMITÄT VON FREMDEN 109

KAPITEL 4

GEIST IM GEFLECHT 145

KAPITEL 5

VOR DEN WURZELN 187

KAPITEL 6

WOOD WIDE WEBS 225

KAPITEL 7

RADIKALE PILZFORSCHUNG 263

KAPITEL 8

PILZE VERSTEHEN 303

EPILOG

DIESER KOMPOST 333

DANKSAGUNGEN 337

ANMERKUNGEN 341

REGISTER 393

BIBLIOGRAFIE 404

PROLOG

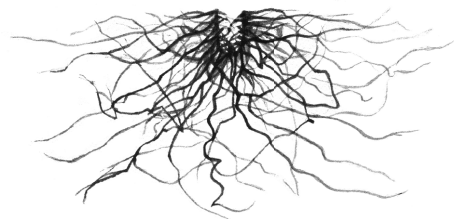
ICH BLICKTE DEN BAUM HINAUF. Aus seinem Stamm sprossen Farne und Orchideen, die sich in der Krone zwischen den verworrenen Lianen verloren. Hoch über mir erhob sich ein Tukan flatternd und krächzend von seinem Ausguck, und ein Trupp Brüllaffen steigerte sich in ein tiefes Heulen. Es hatte gerade aufgehört 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

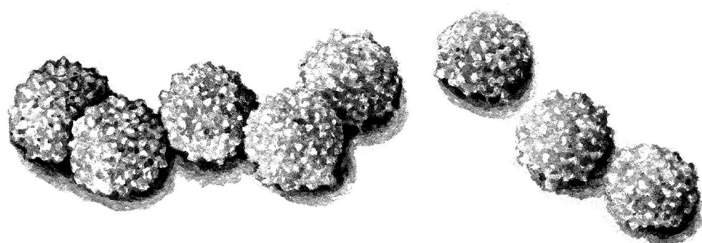
Dass Pilze in derart vielfältigen Lebensräumen gedeihen können, verdanken sie ihren vielseitigen Stoffwechselfähigkeiten. Stoffwechsel ist die Kunst der chemischen Umsetzung. Pilze sind Stoffwechselzauberer: Sie können Nahrung auf geniale Weise finden, einsammeln und verwerten. Nur Bakterien können mit 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, Atom Müll 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 ge-

tragen, 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



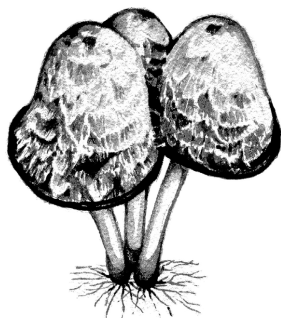
Sporen

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 an-archisch-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. Pilzerkrankungen verursachen Milliardenverluste – der Reisbrandpilz vernichtet Reis jedes Jahr in einer Menge, die mehr als 60 Millionen Menschen ernähren könnte. Pilzerkrankungen 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 beitrugen. 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 Vettern des heutigen Menschen, die vor rund 50.000 Jahren ausgestorben 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 verschimmelter Getreide mit Dattelwein getränkt wird. Altägyptische Papyri aus der Zeit um 1500 v.u.Z. behandeln die Heilwirkungen von Schimmel, und 1640 be-

schrieb 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 Stu-

dien 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 herunterzurattnen 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 Photosynthese 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 dürrer Ratten und aus *Boa constrictors* gezogen hatte. Aushänge am schwarzen Brett boten finanzielle Belohnungen für jeden, der frische Ozelotexkremente 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 erhitzen 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 Dschungelzian-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 Song von Arlo Guthrie berühmt wurde). Jeden Abend lief er zwischen den Tischen herum; Münzen wanderten durch seine Finger, kamen genau da wieder zum Vorschein, wo man sie nicht erwartete, verschwanden erneut, zerteilten sich, lösten sich in Luft auf.

Eines Abends kamen zwei Gäste, die das Restaurant kurz zuvor verlassen hatten, zurück und nahmen David beiseite. Sie sahen besorgt aus. Als sie wieder gingen, sagten sie, der Himmel habe erschreckend blau ausgesehen und die Wolken hätten groß und lebendig gewirkt. Ob er ihnen etwas in ihre Getränke geschüttet habe? Im Laufe der folgenden Wochen geschah es immer wieder – Kunden kamen zurück und erklärten, der Verkehr habe lauter gewirkt als früher, die Straßenlampen heller, das Muster des Pflasters auf dem Bürgersteig interessanter, der Regen erfrischender. Durch die Zaubertricks veränderte sich die Art, wie Menschen die Welt erlebten.

David erklärte mir, wie er sich das Phänomen erklärte. Unsere Wahrnehmung wird zu großen Teilen durch Erwartungen bestimmt. In der Welt einen Sinn zu finden, indem man bereits vorhandene Bilder verwendet und sie nur mit wenigen neuen Sinnesinformationen aktualisiert, erfordert weniger kognitive Anstrengung als wenn man ständig aus dem Nichts vollkommen neue Wahrnehmungen erzeugt. Unsere Erwartungen schaffen die blinden Flecken, in denen Zauberkünstler tätig werden. Münztricks lockern durch Ablenkung die Strenge unserer Erwartungen, was die Funktionsweise von Händen und Münzen angeht. Und irgendwann lockern sie ganz allgemein den Einfluss unserer Erwartungen auf unsere Wahrnehmung. Wenn Menschen das Restaurant verlassen, sieht der Himmel für sie anders aus, weil sie den Himmel sehen, wie er in diesem Augenblick wirklich ist, und nicht so, wie sie ihn erwartet haben. Wenn wir durch einen Trick aus unseren Erwartungen gerissen werden, sind wir wieder auf unsere Sinne angewiesen. Erstaunlich ist nur die große Kluft zwischen dem, womit wir rechnen, und dem, was wir finden, wenn wir tatsächlich hinsehen.¹⁶

Auch Pilze reißen uns aus unseren vorgefassten Erwartungen. Ihr Leben und ihr Verhalten sind verblüffend. Je länger ich mich mit Pilzen beschäftige, desto mehr lösen sich meine

Erwartungen auf, und desto überraschender erscheinen mir einstmals vertraute Begriffe. Zwei schnell wachsende Teilgebiete der biologischen Forschung haben einerseits dazu beigetragen, dass ich mit diesen Zuständen der Überraschung zurechtkam, und mir andererseits einen Rahmen geliefert, der für meine Streifzüge durch die Welt der Pilze zum Leitfaden wurde.

Erstens wächst das Bewusstsein dafür, wie viele komplizierte Problemlösungsstrategien sich in der Evolution gehirnloser Organismen außerhalb des Tierreichs entwickelt haben. Das bekannteste Beispiel sind die Schleimpilze, auch *Physarum polycephalum* genannt (die allerdings keine Pilze, sondern Amöben sind). Wie wir noch genauer erfahren werden, haben die Schleimpilze kein Monopol auf hirnlose Problemlösung, aber man kann sie leicht untersuchen, und sie sind zu Vorzeigeorganismen geworden, die uns neue Forschungsrichtungen eröffnet haben. *Physarum* bilden Erkundungsnetzwerke aus tentakelähnlichen Adern, aber ein Zentralnervensystem gibt es nicht – und auch nichts anderes, was ihm ähnlich wäre. Dennoch können die Schleimpilze »Entscheidungen treffen«, indem sie ein Spektrum verschiedener Handlungsweisen vergleichen und in einem Labyrinth den kürzesten Weg zwischen zwei Punkten finden. Japanische Wissenschaftler setzten Schleimpilze in Petrischalen, die dem Ballungsraum Tokio nachgebildet waren. Haferflocken kennzeichneten größere Verkehrsknotenpunkte, und helle Lichter stellten Berge und andere Hindernisse dar – Schleimpilze mögen kein Licht. Nach einem Tag hatte der Schleimpilz die effizienteste Route zwischen den Haferflocken gefunden und sich zu einem Netzwerk entwickelt, das fast genau dem tatsächlichen Eisenbahnnetz von Tokio glich. In ähnlichen Experimenten bildeten Schleimpilze das Autobahnnetz der Vereinigten Staaten und das Netz der römischen Straßen in

Mitteleuropa nach. Ein begeisterter Schleimpilzforscher erzählte mir von einem Test, den er durchgeführt hatte. Er verlief sich häufig in Ikea-Filialen und brauchte dann viele Minuten, bis er den Ausgang gefunden hatte. Also entschloss er sich, seine Schleimpilze vor das gleiche Problem zu stellen: Er baute ein Labyrinth nach dem Grundriss seiner lokalen Ikea-Niederlassung. Und tatsächlich fanden die Schleimpilze ohne Wegweiser oder Hinweise von Angestellten sehr schnell den kürzesten Weg zum Ausgang. »Sie sehen«, sagte er mit einem Lachen, »die sind schlauer als ich.«¹⁷

Ob man Schleimpilze, Pilze und Pflanzen als »intelligent« bezeichnet, hängt von der eigenen Sichtweise ab. Klassische wissenschaftliche Definitionen für Intelligenz ziehen den Menschen als Maßstab heran und messen alle anderen Arten an ihm. Nach solchen anthropozentrischen Definitionen stehen Menschen immer an der Spitze der Intelligenz-Rangfolge; dann folgen Tiere, die aussehen wie wir (Schimpansen, Bonobos und so weiter), anschließend andere »höhere« Tiere und danach geht es in der Ligatabelle abwärts – eine große Kette der Intelligenz, die schon von den alten Griechen aufgezeichnet wurde und sich in dieser oder jener Form bis heute erhalten hat. Da solche Organismen nicht aussehen wie wir und sich nach außen hin auch nicht so verhalten – oder auch nur ein Gehirn besitzen –, wurde ihnen traditionell eine Stellung irgendwo am unteren Ende der Skala zugewiesen. Nur allzu oft gelten sie als träger Hintergrund für das Leben der Tiere. In Wirklichkeit sind aber viele von ihnen zu hochentwickelten Verhaltensweisen in der Lage, die uns dazu veranlassen, neu darüber nachzudenken, was es für Lebewesen heißt, wenn sie »Probleme lösen«, »kommunizieren«, »Entscheidungen treffen«, »lernen« und »sich erinnern«. Wenn wir das tun, weichen manche festgefügt Hierarchien, auf denen unser modernes Denken basiert, ein wenig auf. Und damit ändert

sich möglicherweise auch unsere zerstörerische Einstellung gegenüber der Welt, die nicht nur aus Menschen besteht.¹⁸

In dem zweiten Forschungsgebiet, das mir als Inspiration für meine Untersuchungen diente, geht es um unsere Vorstellungen von mikroskopisch kleinen Lebewesen, den Mikroben, die jeden Zentimeter der Erde bedecken. In den letzten vierzig Jahren haben uns neue technische Verfahren einen beispiellosen Zugang zum Leben der Mikroorganismen verschafft. Und das Ergebnis? Für unsere körpereigene Mikrobengemeinschaft – unser »Mikrobiom« – ist der Körper ein ganzer Planet. Manche Bewohner bevorzugen den gemäßigten Wald der Kopfhaut, andere die trockenen Ebenen des Unterarmes, manche den tropischen Wald von Schamgegend oder Achselhöhle. In unserem Darm (der ausgebreitet eine Fläche von 32 Quadratmetern einnehmen würde), aber auch in Ohren, Zehen, Mund und Augen sowie auf der Haut und allen Oberflächen, in all unseren Durchgängen und Körperhöhlen wimmelt es von Bakterien und Pilzen. Die Zahl der Mikroben, die wir mit uns herumtragen, ist größer als die unserer »eigenen« Zellen. In unserem Darm sind mehr Bakterien zu Hause als Sterne in unserer Galaxis.¹⁹

Wenn es um Menschen geht, denken wir über die Frage, wo ein Individuum zu Ende ist und ein anderes beginnt, im Allgemeinen nicht nach. Es ist für uns – zumindest in der modernen Industriegesellschaft – in der Regel selbstverständlich, dass wir da anfangen, wo unser Körper beginnt, und da aufhören, wo unser Körper zu Ende ist. Die Entwicklungen der modernen Medizin, beispielsweise Organtransplantationen, verwischen solche Abgrenzungen; aber die Entwicklungen der Mikrobiologie erschüttern sie in ihren Grundfesten. Jeder von uns ist ein Ökosystem – jeder wird von Mikroorganismen aufgebaut und auch zersetzt; welche Bedeutung das hat, kommt erst allmählich ans Licht. Mithilfe der rund 40 Billionen Mi-

kroorganismen, die in und auf unserem Körper leben, können wir Nahrung verdauen und wichtige Mineralstoffe herstellen, die uns ernähren. Wie die Pilze, die in Pflanzen leben, schützen sie uns vor Krankheiten. Sie dirigieren die Entwicklung unseres Körpers und Immunsystems, und sie haben Einfluss auf unser Verhalten. Halten wir sie nicht in Schach, können sie Krankheiten verursachen und uns sogar umbringen. Wir sind da kein Sonderfall. Selbst Bakterien tragen Viren in sich (ein Nanobiom?). Und selbst Viren können kleinere Viren enthalten (ein Picobiom?). Symbiose ist ein allgegenwärtiger Aspekt des Lebendigen.²⁰

In Panama nahm ich an einer Tagung über tropische Mikroorganismen teil, und an diesen drei Tagen erging es mir wie vielen anderen Wissenschaftlern: Ich war zunehmend verblüfft darüber, welche Auswirkungen sich aus diesem Forschungsbereich für unsere Forschung ergaben. Ein Teilnehmer hielt einen Vortrag über eine Gruppe von Pflanzen, die in ihren Blättern eine bestimmte Familie chemischer Substanzen produzieren. Diese Verbindungen galten bis dahin als definierendes Merkmal der ganzen Pflanzengruppe. Wie sich aber herausgestellt hatte, werden sie in Wirklichkeit von Pilzen produziert, die in den Blättern der Pflanze leben. Damit mussten wir unser Bild von der Pflanze neu zeichnen. Ein anderer Wissenschaftler hatte Zweifel: Er äußerte die Vermutung, die Substanz würde nicht von den Pilzen produziert, die im Inneren des Blattes leben, sondern von Bakterien, die im Inneren des Pilzes leben. Und so ging es weiter. Nach zwei Tagen hatte sich die Vorstellung vom Individuum vertieft und bis zur Unkenntlichkeit erweitert. Von Individuen zu sprechen hat keinen Sinn mehr. Die Biologie – die Erforschung der Lebewesen – hat sich in Ökologie verwandelt, die Erforschung der Beziehungen zwischen Lebewesen. Noch komplizierter ist das alles, weil wir bisher sehr wenig wissen. In Grafiken

von Mikroorganismenpopulationen, die an die Wand projiziert wurden, waren große Abschnitte als »unbekannt« gekennzeichnet. Das alles erinnerte mich daran, wie moderne Physiker das Universum beschreiben: Auch dort werden mehr als 95 Prozent des Ganzen als »dunkle Materie« und »dunkle Energie« bezeichnet. Dunkel sind Materie und Energie, weil wir nichts darüber wissen. Das hier war biologische dunkle Materie oder dunkles Leben.²¹

Für viele wissenschaftliche Konzepte, von der Zeit über chemische Bindungen bis zu Genen und biologischen Arten, gibt es keine stabilen Definitionen, und dennoch sind sie hilfreiche Denkkategorien. In gewisser Weise ist es auch mit dem Begriff »Individuum« nicht anders: Er ist nur eine Kategorie, die für das Denken und Verhalten von Menschen als Leitfaden dienen kann. Andererseits hängt im täglichen Leben und Erleben – ganz zu schweigen von unseren philosophischen, politischen und wirtschaftlichen Systemen – jedoch so viel von Individuen ab, dass man es nur schwerlich ertragen kann, dabei zuzusehen, wie das Konzept sich in Luft auflöst. Wo bleiben dann »wir«? Wie steht es mit »ihnen«? »Ich«? »Mein«? »Alle«? »Jeder«? »Irgendjemand«? Meine Reaktion auf die Diskussionen bei der Tagung war nicht nur intellektueller Natur. Wie ein Gast in »Alice's Restaurant« hatte ich einen anderen Eindruck: Das Vertraute war nicht mehr vertraut. Wie ein großer alter Mann aus dem Fachgebiet der Mikrobiomforschung feststellte, sind »der Verlust eines eigenen Identitätsgefühls, Wahnvorstellungen von eigener Identität und Erlebnisse einer ›Fremdbestimmung« potentielle Anzeichen für eine Geisteskrankheit. Mir schwirrte der Kopf, als ich daran dachte, wie viele Ideen wir neu formulieren mussten, darunter nicht zuletzt unsere kulturell hochgeschätzten Vorstellungen von Identität, Selbstbestimmung und Unabhängigkeit. Dieses beunruhigende Gefühl ist einer der Gründe,

warum die Fortschritte der Mikrobiologie so spannend sind. Unsere Beziehung zu Mikroorganismen könnte nicht enger sein. Wenn wir mehr über solche Verbindungen in Erfahrung bringen, verändert sich auch unser Erleben des eigenen Körpers und unseres Platzes in der Welt. »Wir« sind Ökosysteme, die Grenzen überspringen und über Kategorien hinausgehen. Unser Ich erwächst aus einem komplizierten Beziehungsgeflecht, das wir erst jetzt allmählich kennenlernen.²²

DIE ERFORSCHUNG solcher Beziehungen kann zu Verwirrung führen. Fast immer sind sie zweideutig. Haben die Blattschneiderameisen den Pilz domestiziert, auf den sie angewiesen sind, oder hat der Pilz die Ameisen domestiziert? Züchten Pflanzen die Mykorrhiza-Pilze, mit denen sie leben, oder züchten Pilze die Pflanzen? In welche Richtung zeigt der Pfeil? Diese Unsicherheit ist gesund.

Einer meiner Professoren war Oliver Rackham. Als Ökologe und Historiker beschäftigte er sich mit der Frage, wie Ökosysteme seit Jahrtausenden die Kultur der Menschen prägen und von ihr geprägt wurden. Dazu nahm er uns mit in die Wälder der Umgebung, erzählte uns etwas über die Vergangenheit dieser Orte und ihrer Bewohner, betrachtete die Windungen und Gabelungen der Äste alter Eichen, beobachtete, wo Nesseln gediehen, und achtete darauf, welche Pflanzen in einer Hecke wuchsen oder nicht wuchsen. Unter Rackhams Einfluss begann die saubere Linie, die »Natur« und »Kultur« in meiner Vorstellung voneinander abgrenzte, zu verschwimmen.

Später, bei meiner Freilandarbeit in Panama, begegneten mir viele komplizierte Beziehungen zwischen Freilandbiologen und den von ihnen untersuchten Lebewesen. Mit den Fledermausforschern witzelte ich, sie würden die Lebensgewohnheiten von Fledermäusen annehmen, wenn sie die ganze

Nacht wach waren und den ganzen Tag schliefen. Sie fragten ihrerseits, wie die Pilze sich auf mich auswirkten. Da bin ich mir bis heute nicht sicher. Ich frage mich allerdings nach wie vor, ob wir angesichts unserer völligen Abhängigkeit von Pilzen – die mit Regeneration, Recycling und Netzbildung die Welt zusammenhalten – nicht öfter nach ihrer Pfeife tanzen, als uns klar ist.

Wenn es so ist, vergisst man es nur allzu leicht. Nur allzu oft werde ich kaltschnäuzig und betrachte den Boden als abstraktes Gebilde, als unbestimmten Schauplatz schematischer Wechselbeziehungen. Meine Kollegen und ich sagen beispielsweise: »Der und der hat berichtet, der Kohlenstoffgehalt des Bodens habe von einer Trockenzeit bis zur nächsten Regenzeit um 25 Prozent zugenommen.« Wie sollen wir es auch anders machen? Wir haben nicht die Möglichkeit, die Wildnis des Bodens und die unzähligen Lebensformen, die darin wimmeln, unmittelbar zu erleben.

Ich habe es mit den vorhandenen Hilfsmitteln versucht. Tausende meiner Bodenproben sind durch teure Maschinen gelaufen, die den Inhalt meiner Probenröhrchen zerlegt, bestrahlt und in Zahlenreihen verwandelt haben. Monatelang habe ich durch Mikroskope geblickt, bin in Wurzellandschaften eingetaucht, in denen gewundene Hyphen in zweideutigen Akten mit Pflanzenzellen eingefroren waren. Aber die Pilze, die ich dabei sah, waren tot, einbalsamiert und in falschen Farben dargestellt. Ich fühlte mich wie ein schwerfälliger Spürhund. Während ich wochenlang herumkroch und Schlamm in kleine Röhrchen füllte, krächzten die Tukane, die Brüllaffen jaulten, die Lianen verflochten sich und die Ameisenfresser leckten. Das Leben von Mikroorganismen, insbesondere wenn sie im Boden vergraben sind, ist nicht so leicht zugänglich wie die überbordende, charismatische oberirdische Welt der großen Lebewesen. Um meine Erkenntnisse lebendig

zu machen, um die Möglichkeit zu schaffen, dass sie allgemeine Kenntnisse aufbauen und ergänzen konnten, brauchte ich Fantasie. Einen anderen Weg gab es nicht.

Die Fantasie trägt in Wissenschaftlerkreisen häufig den Namen »Spekulation« und wird mit einem gewissen Misstrauen betrachtet; in Veröffentlichungen wird sie in der Regel mit einer obligatorischen Warnung versehen. Wissenschaftliche Befunde aufzuschreiben bedeutet auch, sie gründlich von den Höhenflügen der Fantasie, der Eitelkeit und den vielen Irrwegen zu bereinigen, die noch dem kleinsten Befund vorausgehen. Nicht jeder, der eine Studie liest, möchte sich den Weg durch die vielen Komplikationen bahnen. Außerdem müssen Wissenschaftler glaubwürdig erscheinen. Schleicht man sich hinter die Kulissen, so findet man womöglich Menschen, die gerade nicht in Bestform sind. Aber selbst dann, selbst in den nächtlichen Grübeleien, in die ich mich mit Kollegen vertiefte, sprachen wir in der Regel nicht im Einzelnen darüber, wie wir uns – zufällig oder gezielt – die Organismen vorstellten, mit denen wir uns beschäftigten, seien es nun Fische, Bromelien, Lianen, Pilze oder Bakterien. Zuzugeben, dass das Gewirr unserer unbegründeten Vermutungen, Fantasien und Metaphern unsere Forschungsarbeiten prägen könnte, hatte etwas Peinliches. In Wirklichkeit aber ist Fantasie ein Teil der alltäglichen Forschungstätigkeit. Wissenschaft ist keine Übung in leidenschaftsloser Rationalität. Wissenschaftler sind – und waren immer – emotionale, kreative, intuitive Menschen, und sie stellen Fragen nach einer Welt, die nie nur dazu da war, katalogisiert und systematisiert zu werden. Immer wenn ich fragte, was die Pilze eigentlich tun, und wenn ich Studien plante, um ihr Verhalten möglichst genau zu verstehen, musste ich sie mir zwangsläufig in meiner Fantasie ausmalen.

Ein Experiment zwang mich, tieferen Einblick in die verborgenen Winkel meiner wissenschaftlichen Fantasie zu neh-

men. Ich erklärte mich zur Teilnahme an einer klinischen Studie bereit, in der es um die Auswirkungen von LSD auf die Problemlösungsfähigkeit von Wissenschaftlern, Ingenieuren und Mathematikern ging. Das Projekt war Teil der verbreiteten Wiederbelebung des wissenschaftlichen und medizinischen Interesses an dem ungenutzten Potenzial psychedelischer Drogen. Die Studienleiter wollten wissen, ob LSD den Wissenschaftlern einen Zugang zu ihrem beruflichen Unbewussten verschafft und ihnen hilft, vertraute Probleme aus neuen Blickwinkeln anzugehen. Im Mittelpunkt stand also unsere Fantasie, die normalerweise beiseitegewischt wird – hier sollten ihre Phänomene beobachtet und möglicherweise sogar vermessen werden. Man hatte eine erlesene Gruppe junger Wissenschaftler ausgewählt, die man durch Aushänge in wissenschaftlichen Instituten überall im Land rekrutiert hatte (»Haben Sie ein bedeutendes Problem, das einer Lösung bedarf?«). Es war eine kühne Studie. Kreative Durchbrüche zu erleichtern fällt überall schwer, und besonders schwierig ist es in einer Krankenhausabteilung zur klinischen Medikamentenprobung.

Die Wissenschaftler, die das Experiment leiteten, hatten psychedelische Bilder an die Wände gehängt, ein Audiosystem installiert, um Musik zu spielen, und den Raum mit farbigem »Stimmungslicht« beleuchtet. Ihre Bemühungen, das Umfeld so wenig klinisch wie möglich zu gestalten, machten es nur umso künstlicher: Sie räumten damit ein, dass sie – die Wissenschaftler – Einfluss auf ihren Forschungsgegenstand haben konnten. Das ganze Arrangement offenbarte viele gesunde Zweideutigkeiten, denen Wissenschaftler täglich gegenüberstehen. Würde man den Objekten aller biologischen Experimente die Entsprechungen von Stimmungslicht und Entspannungsmusik zur Verfügung stellen, sie würden sich möglicherweise ganz anders verhalten.

Die Krankenschwestern achteten darauf, dass ich das LSD genau um neun Uhr morgens zu mir nahm. Sie beobachteten mich genau, bis ich die gesamte Flüssigkeit, die in ein kleines Weinglas mit Wasser gemischt war, getrunken hatte. Ich legte mich in meinem Krankenzimmer ins Bett, und die Schwestern entnahmen durch die Kanüle in meinem Unterarm eine Blutprobe. Drei Stunden später, als ich die »Reiseflughöhe« erreicht hatte, wurde ich von meinem Assistenten vorsichtig aufgefordert, über mein »berufliches Problem« nachzudenken. Im Rahmen der vielen psychometrischen Tests und Persönlichkeitsbeurteilungen, die wir vor dem Trip absolviert hatten, mussten wir auch unser Problem so detailliert wie möglich beschreiben – die Knoten in den Bestrebungen, mit denen wir uns herumschlügen. Die Knoten mit LSD zu tränken konnte möglicherweise helfen, sie aufzulösen. Meine wissenschaftlichen Fragen drehten sich ausnahmslos um Pilze, und dabei tröstete mich das Wissen, dass auch LSD ursprünglich aus einem Pilz gewonnen wurde, der in Getreidepflanzen lebt; ein Pilz als Lösung für meine Probleme mit Pilzen. Was würde geschehen?

Ich wollte die LSD-Erprobung nutzen, um ausgiebiger über das Leben der blauen Blume *Voyria* und ihr Verhältnis zu Pilzen nachzudenken. Wie lebten sie ohne Fotosynthese? Fast alle Pflanzen bestreiten ihren Lebensunterhalt, indem sie Mineralstoffe aus den Mykorrhiza-Netzwerken der Pilze im Boden beziehen; so macht es auch *Voyria*, jedenfalls wenn man nach der verworrenen Pilzmasse urteilt, die ihre Wurzeln umgibt. Aber ohne Fotosynthese hat *Voyria* keine Möglichkeit, die energiereichen Zuckerverbindungen und Flüssigkeiten herzustellen, die sie zum Wachsen braucht. Woher bekommt *Voyria* ihre Energie? Konnten diese Pflanzen manche Substanzen über die Pilz-Netzwerke von anderen, grünen Pflanzen beziehen? Und wenn ja: Gibt *Voyria* ihren Pilzpart-

nern im Gegenzug etwas zurück, oder ist sie nur ein Parasit, ein Hacker im »Wood Wide Web«?

Ich lag mit geschlossenen Augen in meinem Krankenhausbett und fragte mich, wie man sich wohl als Pilz fühlt. Ich befand mich unter der Erde, umgeben von wachsenden Spitzen, die sich übereinanderschoben. Schwärme kugelförmiger Tiere weideten an den Pflanzenwurzeln und ihren Anhängen – der Wilde Westen des Bodens, lauter Banditen, Straßenräuber, Eigenbrötler, Hütchenspieler. Der Boden war ein außenliegender Darm ohne Horizont – überall Verdauung und Nahrungsgewinnung – Wolken von Bakterien, die auf Wellen elektrischer Ladung ritten – chemische Wetterphänomene – unterirdische Autobahnen – schleimige, infektiöse Umschlingung – wimmelnder Intimkontakt auf allen Seiten. Als ich einer Pilzhyphe in eine höhlenähnliche Wurzel folgte, fiel mir auf, was diese für einen Zufluchtsort bot. Hier waren nur sehr wenige andere Pilztypen anwesend; und mit Sicherheit gab es hier weder Würmer noch Insekten. Hier war weniger Rummel und Betriebsamkeit. Es war ein sicherer Hafen, und ich konnte mir gut vorstellen, dafür zu bezahlen. Vielleicht war es das, was die blauen Blumen den Pilzen als Gegenleistung für die Nährstoffversorgung boten? Obdach vor dem Sturm?

Über den Wahrheitsgehalt solcher Visionen stelle ich keine Behauptungen auf. Sie sind im besten Fall plausibel und im schlimmsten Fall delirierender Unsinn. Nicht einmal falsch. Dennoch lernte ich daraus etwas Wertvolles. Die Denkweise, an die ich mich im Zusammenhang mit Pilzen gewöhnt hatte, umfasste abstrakte »Wechselbeziehungen« zwischen Lebewesen, die aussahen wie die Schemazeichnungen eines Lehrers an der Wandtafel: halb automatische Gebilde, die sich nach der Logik eines Gameboy aus den frühen Neunzigerjahren verhalten. Unter der Wirkung des LSD hatte ich jedoch einräumen müssen, dass ich eine Fantasie besaß und die Pilze