


MERLIN SHELDRAKE



VERWOBENES  
LEBEN

WIE PILZE

UNSERE WELT FORMEN

UND UNSERE ZUKUNFT BEEINFLUSSEN



ulstein

Pilze zählen zu den wichtigsten Organismen unseres Planeten und sind doch kaum erforscht. Sie können unseren Geist verändern, unsere Körper heilen und Umweltkatastrophen beseitigen. Je mehr wir über sie lernen, desto mehr fordern sie uns heraus, unsere Annahmen über das Leben auf unserem Planeten zu überdenken.

Merlin Sheldrake eröffnet uns die Welt aus der Pilz-Perspektive: von den wertvollen Trüffeln über Psychedelika und Pilze, die kilometerweite unterirdische Netze spannen und so Wälder mit Nährstoffen versorgen, zu jenen »Zombiepilzen«, die zu Fortpflanzungszwecken von Insektenkörpern Besitz ergreifen.

»Ein spektakuläres und erhellendes Buch. Ständig musste ich innehalten, fasziniert von der Welt der Pilze und von Sheldrakes bahnbrechenden Erkenntnissen.«

*Robert Macfarlane*

## PROLOG

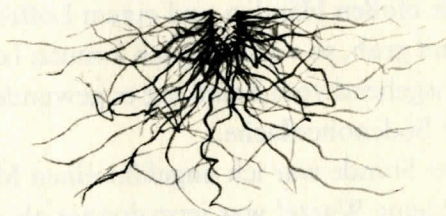
**I**CH BLICKTE DEN BAUM HINAUF. Aus seinem Stamm sprossen Farne und Orchideen, die sich in der Krone zwischen den verworrenen Lianen verloren. Hoch über mir erhob sich ein Tukan flatternd und krächzend von seinem Ausguck, und ein Trupp Brüllaffen steigerte sich in ein tiefes Heulen. Es hatte gerade 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  
benedet uns der Himmel um das, was wir auf  
der Erde können.*

— HAFIS<sup>1</sup>



**P**ILZE 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.<sup>2</sup>

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.<sup>3</sup>

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.<sup>4</sup>

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.<sup>5</sup>

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.

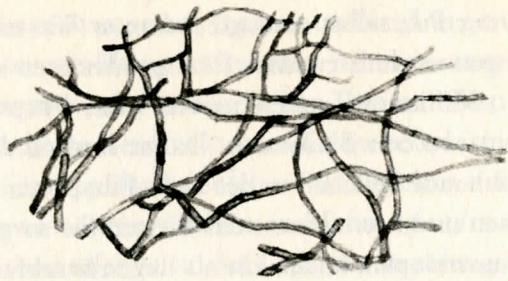
Wir alle leben mit Pilzen und atmen sie ein. Das verdanken wir den vielfältigen Fähigkeiten ihrer Fruchtkörper, die Sporen zu verbreiten. Manche Arten tun es explosiv und beschleunigen ihre Sporen zehntausendmal stärker als ein Space Shuttle unmittelbar nach dem Start, wobei sie eine Geschwindigkeit 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, Schneereggen und Hagel werden.<sup>6</sup>



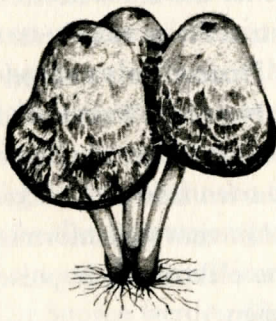
Sporen

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.<sup>7</sup>



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).<sup>8</sup>



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.<sup>9</sup>

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 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.<sup>10</sup>

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 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.<sup>11</sup>

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.<sup>12</sup>

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.<sup>13</sup>

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.<sup>14</sup>

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.<sup>15</sup>

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 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 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 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 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.<sup>16</sup>

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.«<sup>17</sup>

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.<sup>18</sup>

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.<sup>19</sup>

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.<sup>20</sup>

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.<sup>21</sup>

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« potenzielle 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.<sup>22</sup>

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. Monatlang 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 Spannungsmusik 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 Krankenhauszimmer 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 herumschlugen. 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«?

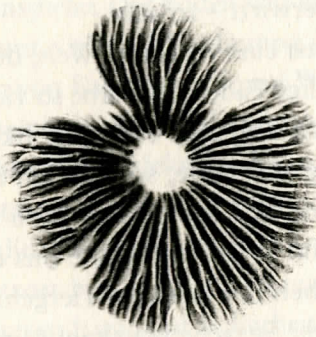
Ich lag mit geschlossenen Augen in meinem Krankenhausbett und fragte mich, wie man sich wohl als Pilz fühlt. Ich befand mich unter der Erde, umgeben von wachsenden Spitzen, die sich übereinanderschoben. Schwärme kugelförmiger Tiere weideten an den Pflanzenwurzeln und ihren Anhängen – der Wilde Westen des Bodens, lauter Banditen, Straßenräuber, Eigenbrötler, Hüchenspieler. 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

jetzt anders betrachtete. Ich wollte Pilze verstehen, und zwar nicht, indem ich sie zu tickenden, rotierenden, piepsenden Mechanismen herabwürdigte, wie wir es so häufig tun. Vielmehr wollte ich, dass diese Organismen mich aus meinen eingefahrenen Denkmustern herauslockten, wollte mir vorstellen, welchen Möglichkeiten sie gegenüberstehen, wollte sie gegen die Grenzen meines Wissens anrennen lassen, wollte mir selbst die Erlaubnis erteilen, angesichts ihres verworrenen Lebens verblüfft – und verwirrt – zu sein.

Pilze bewohnen eine vernetzte Welt; durch ihre Labyrinth führen unzählige Fäden. Ich habe so viele davon verfolgt, wie es mir möglich war, aber es gibt Winkel, in die ich mich nicht hineindrängen konnte, so sehr ich mich auch darum bemühte. Pilze sind uns so nah und doch so rätselhaft, ihre Möglichkeiten sind so anders. Sollte uns das ängstigen? Ist es für uns Menschen mit unserem Tiergehirn, unserem Tierkörper und unserer Sprache überhaupt möglich, diese ganz andersartigen Lebewesen zu verstehen? Wie verändern wir uns selbst dabei? In optimistischer Stimmung habe ich mir ausgemalt, das vorliegende Buch könne ein Porträt dieses wenig beachteten Zweigs im Stammbaum des Lebens sein, aber die Sache ist verworrener. Mein Bericht handelt sowohl von dem Weg, auf dem ich das Leben von Pilzen besser verstanden habe, als auch von den Spuren, die das Leben der Pilze bei mir und den vielen anderen hinterlassen hat – Menschen und sonstigen Lebewesen –, die ich unterwegs kennengelernt habe. »Was soll ich tun mit Nacht und Tag, mit diesem Leben und diesem Tod?«, schreibt der Dichter Robert Brinhurst. »Jeder Schritt, jeder Atemzug rollt wie ein Ei zum Rande dieser Frage.« Pilze lassen uns zu den Randbereichen vieler Fragen rollen. Dieses Buch erwächst aus meinen Erfahrungen, über einige dieser Ränder hinwegzublicken. Meine Entdeckungsreisen in der Welt der Pilze haben mich dazu veranlasst, vieles,

was ich wusste, neu zu überdenken. Evolution, Ökosysteme, Individualität, Intelligenz, Leben – nichts ist mehr ganz das, wofür ich es früher hielt. Ich habe die Hoffnung, dass das Buch auch einige Ihrer Gewissheiten ins Wanken bringt, so wie Pilze die meinen ins Wanken gebracht haben.



## KAPITEL 1

### EINE VERLOCKUNG

*Who's pimping who?*

— PRINCE<sup>1</sup>

AUF EINEM KARIERTEN TUCH auf der Waage lag ein Haufen Weißer Piemont-Trüffel (*Tuber magnatum*). Sie sahen aus wie kleine, schmutzige Steine; unregelmäßig geformt wie Kartoffeln und mit Löchern wie Totenschädel. Zwei Kilo zu 12.000 Euro. Ihr süßlicher Geruch zog durch den Raum – das Aroma machte ihren Wert aus. Der durchdringende Duft ähnelte keinem anderen: eine Verlockung, so intensiv und verwirrend, dass man sich darin verlieren konnte.

Es war Anfang November, der Höhepunkt der Trüffelsaison. Ich war nach Italien gereist, um mich zwei Trüffelsuchern anzuschließen, die in den Hügeln rund um Bologna tätig waren. Und ich hatte Glück. Ein Freund eines Freundes kannte einen Mann, der mit Trüffeln handelte. Der Händler hatte sich einverstanden erklärt, mich mit zwei seiner besten Jäger bekannt zu machen, und die wiederum hatten zugestimmt, mich auf die Jagd mitzunehmen. Trüffelsucher sind berühmte Geheimnistuer. Diese Pilze wurden nie domestiziert, sondern sind nur in freier Wildbahn zu finden.

terschiedliche Elemente aus den Aromen der Frucht bevorzugt erhalten bleiben und umgewandelt werden. Wie bei allen Gärungsvorgängen ist auch dies eine Gratwanderung. Setzen sich wilde Hefezellen oder Bakterien durch, verdirbt der Saft. Wenn man Cider mit einem einzigen kultivierten Hefestamm aus einer Packung ansetzt, ist die Gefahr des Verderbens geringer, aber dann sind auch die eigenen Hefekulturen des Apfels nicht repräsentiert. Für mich war es keine Frage, dass die wilden Hefestämme die Aufgabe erledigen sollten. Newtons Äpfel waren bereits mit Newtons Hefe bestreut. Welche Hefestämme im Einzelnen am Ende die Gärung vollzogen, konnte ich nicht wissen, aber so war es während des größten Teils der Menschheitsgeschichte gewesen.

Nach rund zwei Wochen war der Saft vergoren. Das Ergebnis war eine trübe, stechend riechende Flüssigkeit, die ich in Flaschen füllte. Einige Tage später, nachdem sie zur Ruhe gekommen war, schenkte ich mir ein Glas ein. Zu meinem Erstaunen schmeckte er köstlich. Die Bitterkeit und Säure der Äpfel hatten sich verwandelt. Das Ganze schmeckte blumig und delikates, trocken mit einem leichten Sprudeln. In größeren Mengen genossen, rief das Gebräu ein Hochgefühl und leichte Euphorie hervor. Das Durcheinander der Gefühle, das ich sonst manchmal nach dem Genuss von Cider erlebt hatte, stellte sich nicht ein. Ich fühlte mich auch nicht schläfrig, obwohl die Hefe mich mit ziemlicher Sicherheit um den Verstand gebracht hatte. Ich war von einer Geschichte berauscht, wurde von ihr getröstet und zurückgehalten, ich hatte mich in ihr aufgelöst, hatte den Verstand verloren und mich von ihr beherrschen lassen. Ich bezeichnete den Cider als Gravitation; schwer und taumelnd lag ich unter dem Einfluss des üppigen Stoffwechsels der Hefe.

## EPILOG

### DIESER KOMPOST

*Unsere Hände trinken wie Wurzeln,  
Also lege ich sie auf alles, was schön ist in dieser Welt.*

— FRANZ VON ASSISI<sup>1</sup>

**A**LS KIND LIEBTE ICH den Herbst. Die Blätter fielen von einem großen Kastanienbaum und bildeten im Garten verwehte Haufen. Ich harkte sie zu einem großen Haufen zusammen, kümmerte mich gewissenhaft um sie und fügte im Laufe der Wochen immer wieder ein Armvoll hinzu. Es dauerte nicht lange, da waren die Haufen so groß, dass sie mehrere Badewannen gefüllt hätten.

Immer und immer wieder sprang ich von den niedrigen Ästen des Baumes in die Blätterberge. Dort angekommen, wühlte ich so lange, bis ich vollkommen darin verschwunden und im raschelnden Laub begraben war, hingerissen von den seltsamen Düften.

Mein Vater ermunterte mich immer wieder dazu, mich kopfüber in die Welt zu stürzen. Oft trug er mich auf den Schultern herum und steckte mein Gesicht in Blüten, als wäre ich eine Biene. Wir müssen unzählige Blüten bestäubt haben, als wir von Pflanze zu Pflanze gingen. Meine Wangen waren gelb und orange verschmiert, und ich verzog das Gesicht zu immer neuen Formen, die besser in die von den Blütenblättern

gebildeten Zelte passten; beide waren wir begeistert von den Farben, den Düften und dem Durcheinander.

Meine Blätterhaufen waren versteckt und unbekannte Welt zugleich. Aber als die Monate verstrichen, wurden die Haufen kleiner. Es wurde schwieriger, darin unterzutauchen. Ich stellte Untersuchungen an, grub mich in die tiefsten Regionen des Haufens hinab, holte immer wieder eine Handvoll des feuchten Materials heraus, das immer weniger wie Blätter und immer mehr wie Erde aussah. Die ersten Würmer tauchten auf. Trugen sie die Erde nach oben in den Haufen oder die Blätter hinunter in den Boden? Da war ich mir nicht so sicher. Nach meinem Eindruck sank der Blätterhaufen in die Tiefe, aber wenn er sank, wohin dann? Wie tief war der Boden? Was hielt die Welt an der Oberfläche dieses festen Meeres?

Ich fragte meinen Vater. Er gab mir eine Antwort. Ich antwortete mit einem weiteren »warum«. Ganz gleich, wie oft ich »warum« sagte, immer hatte er eine Antwort. Das Warum-Spiel setzte sich fort, bis ich erschöpft war. Bei einer solchen Frageorgie erfuhr ich zum ersten Mal etwas über Zersetzung. Nur mit Mühe konnte ich mir vorstellen, wie unsichtbare Lebewesen die ganzen Blätter aßen und wie solche kleinen Geschöpfe einen so gewaltigen Appetit haben konnten. Mit Mühe malte ich mir aus, wie sie meine Blätterhaufen verzehrten, während ich darin begraben war. Warum konnte ich nicht sehen, wie es geschah? Wenn sie so einen gierigen Hunger hatten, müsste ich sie doch in flagranti ertappen können, wenn ich mich in den Blätterhaufen vergrub und still genug liegen blieb. Aber sie entgingen mir immer.

Mein Vater schlug mir ein Experiment vor. Wir wollten die Spitze einer durchsichtigen Plastikflasche abschneiden. In die Flasche legten wir abwechselnd Schichten aus Erde, Sand, abgestorbenen Blättern und schließlich eine Handvoll Regenwürmer. Im Lauf der nächsten Tage sah ich zu, wie die Wür-

mer sich ihren Weg durch die Schichten bahnten. Sie mischten und rührten. Nichts blieb, wie es war. Sand sickerte in die Erde ein und Blätter sickerten in den Sand. Die Schichten verloren ihre klaren Grenzen und begannen, ineinander überzugehen. Die Würmer, so erklärte mein Vater, könne man zwar sehen, es gebe aber auch viele andere Lebewesen, die sich ähnlich verhalten und unsichtbar bleiben. Winzige Würmer. Und Geschöpfe, die noch kleiner sind als winzige Würmer. Und Geschöpfe, die noch kleiner sind und nicht wie Würmer aussehen, aber ebenso wie die Würmer alles vermischen, verrühren und auflösen. Komponisten stellen Musikstücke zusammen. Das hier waren umgekehrte Komponisten, und sie nahmen Stücke des Lebendigen auseinander. Nichts geschah ohne sie.

Das war eine ungeheuer nützliche Vorstellung. Es war, als hätte er mir gezeigt, wie man Dinge umkehrt, wie man rückwärts denkt. Jetzt gab es Pfeile, die gleichzeitig in beide Richtungen wiesen. Komponisten machen etwas; Destruenten zersetzen es. Und wenn die Destruenten es nicht zersetzen, haben die Komponisten nichts, was sie zum Aufbau verwenden könnten. Der Gedanke veränderte mein Verständnis für die Welt. Und ausgehend von diesem Gedanken, von der Faszination für zersetzende Lebewesen, wuchs mein Interesse an den Pilzen.

Aus dem Komposthaufen der Fragen und der Faszination hat sich dieses Buch herauskristallisiert. Es gab so viele Fragen und so wenige Antworten – das war spannend. Zweideutigkeit ist nicht mehr so beunruhigend wie früher; heute fällt es mir leichter, der Versuchung zu widerstehen, jede Ungewissheit direkt durch Gewissheit zu lindern. In meinen Gesprächen mit Wissenschaftlern und begeisterten Amateuren verhielt ich mich selbst unwissentlich als Mittelsmann: Ich beantwortete Fragen danach, was Menschen in ganz unterschiedlichen, weit voneinander entfernten Gebieten der Pilzforschung tun, und

trug dabei manchmal einige Sandkörner in die Erde, manchmal auch einige Erdklumpen in den Sand. Auf meinem Gesicht ist heute mehr Pollen als am Anfang. Neue Fragen nach dem Warum wurden auf die alten gehäuft. Der Haufen, in den man hineinspringen kann, ist größer und riecht immer noch so geheimnisvoll wie am Anfang. Aber dort ist jetzt mehr Feuchtigkeit, mehr Raum, um mich zu vergraben, und mehr, was ich erforschen kann.

Kleine Pilze mögen große Pilze hervorbringen, aber zuerst müssen sie etwas anderes zerlegen. Jetzt, da dieses Buch fertig ist, kann ich es den Pilzen übergeben, damit sie es auseinandernehmen. Ich werde ein Exemplar anfeuchten und *Pleurotus*-Mycel hineinsäen. Wenn es sich durch die Wörter, durch die Seiten und Buchdeckel gefressen hat und Austernpilze auf dem Umschlag wachsen, werde ich sie essen. Aus einem anderen Exemplar werde ich die Seiten entfernen, einstampfen und die Cellulose des Papiers mit schwacher Säure zu Zucker abbauen. Der Zuckerlösung setze ich dann Hefe zu. Nachdem sie zu Bier vergoren ist, werde ich es trinken und damit den Kreis schließen.

Pilze schaffen Welten; und sie bauen Welten ab. Man kann sie auf vielerlei Weise in flagranti ertappen: wenn wir Pilzsuppe kochen oder auch nur essen; wenn wir Pilze sammeln gehen oder Pilze kaufen; wenn wir Alkohol vergären, eine Pflanze in den Boden setzen oder einfach nur die Hände im Boden vergraben. Und wenn wir einen Pilz in unseren Kopf einlassen oder darüber staunen, wie er in einen anderen Kopf vordringt; wenn wir von einem Pilz geheilt werden oder zusehen, wie er jemand anderen heilt; wenn wir unser Haus aus Pilzen bauen oder Pilze in unserem Haus anbauen, immer werden die Pilze uns in flagranti ertappen. Wenn wir leben, haben sie es bereits getan.

## DANKSAGUNGEN

**O**HNE DIE ANLEITUNG, Unterweisung und geduldige Unterstützung durch viele Fachleute, Wissenschaftlerinnen und begeisterte Amateure wäre dieses Buch undenkbar gewesen. Insbesondere danke ich Ralph Abraham, Andrew Adamatzky, Phil Ayres, Albert-László Barabási, Eben Bayer, Kevin Beiler, Luis Beltran, Michael Beug, Martin Bidartondo, Lynne Boddy, Ulf Büntgen, Duncan Cameron, Keith Clay, Yves Couder, Bryn Dentinger, Julie Deslippe, Katie Field, Emmanuel Fort, Mark Fricker, Maria Giovanna Galliani, Lucy Gilbert, Rufino Gonzales, Trevor Goward, Christian Gronau, Allen Herre, Omar Hernandez, David Hibbett, Stephan Imhof, David Johnson, Toby Kiers, Callum Kingwell, Natuschka Lee, Charles Lefevre, Egbert Leigh, David Luke, Scott Mangan, Michael Marder, Peter McCoy, Dennis McKenna, Stefan Olsson, Pål Axel Olsson, Magnus Rath, Alan Rayner, David Read, Dan Revillini, Marcus Roper, Jan Sapp, Carolina Sarmiento, Justin Schaffer, Jason Scott, Marc-André Selosse, Jason Slot, Sameh Soliman, Toby Spribille, Paul Stamets, Michael Stusser, Anna Tsing, Raskal Turbeville, Ben Turner, Milton Wainwright, Håkan Wallander, Joe Wright und Camilo Zalamea.

Meine Agentin Jessica Woollard sowie meine Lektoren Will Hammond bei Bodley Head und Hilary Redmon bei Random House unterstützten mich mit stetiger Ermutigung, klaren Vorstellungen und klugen Ratschlägen; dafür bin ich ihnen ungeheuer dankbar. Bei Bodley Head/Vintage hatte

Philosophy of Science, wo ich mehrere spannende Jahre verbrachte; dem Smithsonian Tropical Research Institute für die Unterstützung während meines Aufenthalts in Panama und für die ständige Fürsorge für das the Barro Colorado Nature Monument; und Hollyhock, British Columbia, wo mir während des Winters ein wunderschöner Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt wurde.

Unzählige Stunden mit Musik haben mir geholfen, mit Denken und Fühlen den Weg durch dieses Buch zu finden. Von besonderer Bedeutung waren für mich die Klänge des Aka-Volkes, Johann Sebastian Bach, William Byrd, Miles Davis, João Gilberto, Billie Holiday, Charles Mingus, Thelonius Monk, Moondog, Bud Powell, Thomas Tallis, Fats Waller und Teddy Wilson. Die beiden Orte, die mir während der Entstehung dieses Buches am meisten zur Seite gestanden haben, waren Hampstead Heath und Cortes Island. Diesen Orten und allen, die sie bewohnen und beschützen, verdanke ich mehr, als ich ausdrücken kann. Vor allem aber danke ich für Inspiration, Liebe, Scharfsinn, Klugheit, Großzügigkeit und endlose Geduld Erin Robinsong, Cosmo Sheldrake und meinen Eltern Jill Purce und Rupert Sheldrake.

## ANMERKUNGEN

### EINLEITUNG: WIE FÜHLT MAN SICH ALS PILZ?

1. Hafis (1315–1390), in Ladinsky (2010).
2. Ferguson et al. (2003). Auch zahlreiche weitere Berichte sprechen von riesigen *Armillaria*-Netzwerken. Anderson et al. (2018) untersuchten in einer Studie ein Mycel-Netzwerk in Michigan mit einem Alter von schätzungsweise 2500 Jahren und einem Gewicht von mindestens 400 Tonnen, das sich über eine Fläche von 75 Hektar erstreckte. Nach den Feststellungen der Wissenschaftler war die genetische Mutationsrate bei dem Pilz äußerst niedrig, was darauf schließen ließ, dass er sich auf irgendeine Weise gegen Schädigungen seiner DNA schützen kann. Wie es dem Pilz gelingt, ein so stabiles Genom aufrechtzuerhalten, ist nicht im Einzelnen bekannt, aber es erklärt wahrscheinlich zumindest teilweise, warum er so alt werden konnte. Neben *Armillaria* gehören als Klone wachsende Seegräser zu den größten Lebewesen (Arnaud-Haond et al. [2012]).
3. Moore et al. (2011), Kap. 2.7; Honegger et al. (2018). Fossile Überreste von *Prototaxites* wurden in Nordamerika, Europa, Afrika, Asien und Australien gefunden. Für die Biologen war *Prototaxites* schon seit Mitte des 19. Jahrhunderts ein Rätsel. Zuerst hielt man ihn für einen verrotteten Baum. Wenig später wurde er in den Stand einer riesigen Meeresalge erhoben, obwohl überwältigende Belege darauf hindeuteten, dass er an Land gedieh. Im Jahr 2001, nach jahrzehntelangen Diskussionen, vertrat man die Ansicht, *Prototaxites* seien in Wirklichkeit aus den Fruchtkörpern eines Pilzes zusammengesetzt. Das Argument ist überzeugend: *Prototaxites* bestehen aus dicht verwobenen Filamenten, die Pilz-Hyphen stärker ähneln als irgendetwas anderem. Die Analyse der Kohlenstoffisotope deutet darauf hin, dass sie nicht von Fotosynthese gelebt haben, sondern von Material aus ihrer Umgebung. In jüngerer Zeit hielt Selseo (2002) es für plausibler, dass es sich bei *Prototaxites* um riesige flechtenähnliche Strukturen handelt, die durch die Verbindung von Pilzen und fotosynthetisch aktiven Algen entstanden sind. Er vertritt die Ansicht, *Prototaxites* seien zu groß, als dass sie sich ausschließlich durch die Zersetzung von Pflanzen ernähren konnten. Wären sie teilweise fotosynthetische Organismen, könnten sie ihre Ernährung aus abgestorbenen Pflanzen durch die Energie aus der Fotosynthese ergänzt haben. Dann hätten sie sowohl die Mittel als auch den Anreiz gehabt, zu Strukturen heranzuwachsen, die größer waren als alles andere in ihrer Umgebung. Außerdem enthielten *Prototaxites* auch widerstandsfähige Polymere, wie man sie in Algen aus der gleichen Zeit findet; deshalb liegt die Vermutung nahe, dass zwischen den Pilz-Hyphen auch eingeflochtene Algenzellen lebten. Die Hypothese, es sei eine Flechte, erklärt auch, warum sie ausstarb. Nachdem *Prototaxites* 40 Millionen Jahre lang weltweit dominiert hatten, verschwanden



- sie auf rätselhafte Weise, und das gerade zu einer Zeit, als die Pflanzen sich zu Bäumen und Sträuchern entwickelten. Diese Beobachtung passt zu der Vorstellung, *Prototaxites* seien flechtenähnliche Organismen gewesen, denn mehr Pflanzen waren gleichbedeutend mit weniger Licht.
4. Eine ausführliche Erörterung der Vielgestaltigkeit und Verbreitung von Pilzen findet sich in Peay (2016); zu Meeresspilzen siehe Bass et al. (2007); Pilz-Endophyten werden beschrieben in Mejía et al. (2014), Arnold et al. (2003) und Rodriguez et al. (2009). Ein Bericht über spezialisierte Pilze, die sich in Schnapsbrennereien finden und dort von den Alkoholdämpfen aus den Fässern mit alterndem Whisky leben, findet sich in Alpert (2011).
  5. Zu Pilzen, die Gestein abbauen, siehe Burford et al. (2003) und Quirk et al. (2014); zu Kunststoff und TNT siehe Peay et al. (2016), Harms et al. (2011), Stamets (2011) und Khan et al. (2017); strahlungsresistente Pilze werden beschrieben in Tkavc et al. (2018); Näheres zu radiografischen Pilzen in Dadačova und Casadevall (2008) und Casadevall et al. (2017).
  6. Zur Freisetzung von Sporen siehe Money (1998), Money (2016) und Dressaire et al. (2016). Näheres zur Masse der Sporen und ihrem Einfluss auf das Wetter bei Fröhlich-Nowoisky et al. (2009). Einen Überblick über die vielen farbenfrohen Lösungen, die sich in der Evolution der Pilze als Reaktion auf die Probleme bei der Sporenverbreitung entwickelt haben, geben Roper et al. (2010) und Roper und Seminara (2017).
  7. Näheres zu den Strömungen bei Roper und Seminara (2017); zu elektrischen Impulsen siehe Harold et al. (1985) und Olsson und Hansson (1995). Hefen machen ungefähr ein Prozent des Organismenreiches der Pilze aus und vermehren sich durch »Knospung« oder Zweiteilung. Manche Hefearten bilden unter bestimmten Bedingungen hyphenähnliche Strukturen (Sudbery et al. [2004]).
  8. Berichte darüber, wie Pilze durch Asphalt stoßen und Pflastersteine in die Höhe heben, finden sich bei Moore (2013b), Kap. 3.
  9. Blattschneiderameisen füttern und beherbergen ihre Pilze nicht nur, sondern sie verabreichen ihnen auch Arzneien. Die Pilzgärten der Blattschneiderameisen sind Monokulturen: Sie bestehen nur aus einer einzigen Pilzart. Und wie die Monokulturen der Menschen sind die Pilze empfindlich. Eine besondere Gefahr geht von einem spezialisierten parasitischen Pilz aus, der die Pilzgärten zerstören kann. Die Blattschneiderameisen tragen in raffinierten Kammern in ihrer Außenhaut bestimmte Bakterien, die von besonderen Drüsen gefüttert werden. Jedes Nest züchtet seinen eigenen Bakterienstamm: Dieser wird gegenüber anderen – auch eng verwandten – Stämmen bevorzugt. Die domestizierten Bakterien produzieren Antibiotika, die den parasitischen Pilz wirksam hemmen und das Wachstum der angebauten Pilze begünstigen. Ohne die Pilze könnten die Kolonien der Blattschneiderameisen nicht zu so gewaltiger Größe heranwachsen. Siehe Currie et al. (1999), Currie et al. (2006), und Zhang et al. (2007).
  10. Über den römischen Gott Robigus berichten Money (2007), Kap. 6, und Kavalier (1967), Kap. 1. Zu Pilz-Supererregern siehe Fisher et al. (2012, 2018), Casadevall et al. (2019) und Engelthaler et al. (2019); über Pilzkrankheiten von Amphibien berichtet Yong (2019); Näheres über die Bananenkrankheit findet sich bei Maxman (2019). Für Tiere sind Krankheiten, die von Bakterien verursacht werden, eine größere Gefahr als Pilzkrankungen. Bei Pflanzen dagegen ist die Bedrohung durch Pilzkrankheiten größer. Die Gesetzmäßigkeit gilt für Krankheit und Gesundheit: Im Mikrobiom von Tieren spielen meist Bakterien

- die dominierende Rolle, pflanzliche Mikrobiome dagegen werden von Pilzen beherrscht. Das heißt aber nicht, dass Tiere überhaupt nicht an Pilzkrankheiten leiden könnten. Nach einer Hypothese von Casadevall (2012) hatten der Aufstieg der Säugetiere und der Niedergang der Reptilien nach dem Aussterbeereignis, das Dinosaurier auslöschte – dem Massensterben an der Grenze von der Kreidezeit zum Tertiär (K-T) –, ihre Ursache darin, dass Säugetiere die Pilzkrankheiten besser bekämpfen konnten. Im Vergleich zu Reptilien haben Säugetiere eine Reihe von Nachteilen: Warmblütigkeit ist energieaufwendig, und das gilt noch mehr für die Milchproduktion und eine intensive Brutpflege. Vielleicht waren die Säugetiere aber gerade aufgrund ihrer erhöhten Körpertemperatur in der Lage, die Reptilien als vorherrschende Landbewohner abzulösen. Die Körpertemperatur konnte das Wachstum pathogener Pilze verhindern, die sich den Hypothesen zufolge nach dem globalen Waldsterben während des K-T-Massensterbens in dem »globalen Komposthaufen« vermehrten. Säugetiere sind bis heute gegen verbreitete Pilzkrankheiten widerstandsfähiger als Reptilien oder Amphibien.
11. Eine Studie an Neandertalern liefert Weyrich et al. (2017); über den »Ötzi« berichten Peintner et al. (1998). Wie der Mann aus dem Eis den Birken-Baum-schwamm (*Fomitopsis betulina*) nutzte, lässt sich nicht mit Sicherheit feststellen, aber die Pilze sind bitter und mit ihrer korkartigen Beschaffenheit ungenießbar; sie hatten also keinen »Nährwert« im herkömmlichen Sinn des Wortes. Dass der Ötzi diese Pilze sorgfältig verarbeitete – sie waren wie Schlüsselringe an Lederstreifen befestigt –, lässt auf ein gut entwickeltes Wissen über ihren Wert und ihre Anwendungsmöglichkeiten schließen.
  12. Über die Heilung mit Schimmelpilzen berichtet Wainwright (1989a und 1989b). In den Knochen menschlicher Überreste aus archäologischen Fundstätten in Ägypten, im Sudan und in Jordanien, die ungefähr auf das Jahr 400 n. Chr. datiert wurden, hat man große Mengen des Antibiotikums Tetracyclin gefunden; dies deutet auf eine langfristige, dauerhafte Einnahme hin, die wahrscheinlich im therapeutischen Zusammenhang stattfand. Tetracyclin wird nicht von einem Pilz, sondern von einem Bakterium produziert, aber die Quelle war vermutlich verschimmelter Getreide, aus dem ein medizinisch verwendetes Bier hergestellt wurde (Bassett et al. [1980], Nelson et al. [2010]). Von Flemings erster Beobachtung bis zum Auftritt des Penicillins auf der Weltbühne verlief der Weg nicht geradlinig, sondern erforderte große Anstrengungen: Experimente, industrielles Know-how, Investitionen und politische Unterstützung. Fleming war nach den Worten des Mikrobiologen und Wissenschaftshistorikers Milton Wainwright ein Exzentriker und »Schwadronneur«. »Er stand in dem Ruf, ein wenig verrückt zu sein und alberne Sachen zu machen, beispielsweise wenn er auf einer Petrischale mit verschiedenen Bakterienkulturen ein Bild der Königin zeichnete.« Der dramatische Beweis für den therapeutischen Wert des Penicillins wurde erst zwölf Jahre nach Flemings ersten Beobachtungen geführt. In den 1930er-Jahren entwickelte eine Wissenschaftlergruppe in Oxford eine Methode, um das Penicillin zu gewinnen und zu reinigen, und 1940 wurde die erstaunliche infektionshemmende Eigenschaft des Wirkstoffs nachgewiesen. Die Produktion von Penicillin blieb aber schwierig. Da das Produkt nicht allgemein verfügbar war, erschienen in der medizinischen Fachpresse Anweisungen zur Züchtung des Pilzes. Manche Ärzte behandelten Infektionen mit »Mycel-Kissen«, Vorrichtungen mit groben Extrakten aus der »Küchenspüle«, zerkleinertem Mycel

- und chirurgischer Gaze, aber die Behandlung erwies sich als bemerkenswert wirksam (Wainwright [1989a und 1989b]). Industriell wurde Penicillin erstmals in den Vereinigten Staaten produziert. Dort verfügte man über hochentwickelte Methoden zur Zucht von Pilzen in Industrief fermentern, außerdem wurden ertragreichere Stämme des *Penicillium*-Pilzes entdeckt und durch mehrfache Mutation weiter verbessert. Die industrielle Herstellung des Penicillins führte zu umfangreichen Bestrebungen, weitere Antibiotika zu finden; zu diesem Zweck wurden Tausende von Pilz- und Bakterienarten durchmustert.
13. Näheres zu Medikamenten bei Linnakoski et al. (2018), Aly et al. (2011) und Gond et al. (2014). Zu Psilocybin siehe Carhart-Harris et al. (2016a), Griffiths et al. (2016) und Ross et al. (2016). Zu Impfstoffen und Zitronensäure siehe *State of the World's Fungi* (2018). Eine Übersicht über die Märkte für Speise- und Arzneipilze findet sich unter [www.knowledge-sourcing.com/report/global-edible-mushrooms-market](http://www.knowledge-sourcing.com/report/global-edible-mushrooms-market) [abgerufen am 29. Oktober 2019]. Im Jahr 1993 berichtete eine Studie in der Fachzeitschrift *Science*, dass Paclitaxel (Markenname Taxol) von einem endophytischen Pilz produziert wird, den man von der Rinde der Pazifischen Eibe isoliert hatte (Stierle et al., [1993]). Später stellte sich heraus, dass Paclitaxel von Pilzen in viel größerem Umfang produziert wird als von Pflanzen – es ist ein Produkt von rund 200 endophytischen Pilzen, die sich auf verschiedene Pilzfamilien verteilen (Kusari et al. [2014]). Es ist ein wirksamer pilzhemmender Wirkstoff und hat eine wichtige Abwehrfunktion: Pilze, die Paclitaxel produzieren können, wehren andere Pilze ab. Es wirkt gegen Pilze auf dem gleichen Weg wie gegen Krebs: Es beeinträchtigt die Zellteilung. Paclitaxel-produzierende Pilze sind immun gegen die Wirkung, und Gleiches gilt auch für andere Pilz-Endophyten von Eiben (Soliman et al. [2015]). Mittlerweile haben mehrere andere aus Pilzen stammende krebshemmende Wirkstoffe den Weg in die schulmedizinische Praxis gefunden. Lentinan, ein Polysaccharid aus Shiitake-Pilzen, verbessert die Fähigkeit des Immunsystems, Krebs zu bekämpfen, und ist in Japan für die Behandlung von Magen- und Brustkrebs zugelassen (Rogers [2012]). Die Verbindung PSK aus der Schmetterlingstramete verlängert die Überlebenszeit bei Patienten, die an einer Reihe verschiedener Krebserkrankungen leiden, und wird in China und Japan als Ergänzung zur konventionellen Krebstherapie eingesetzt (Powell [2014]).
  14. Zu Pilz-Melaninen siehe Cordero (2017).
  15. Schätzungen zur Zahl der Pilzarten finden sich in Hawksworth (2001) und Hawksworth und Lücking (2017).
  16. Die Auswirkung unserer Erwartungen auf die Wahrnehmung wird unter Neurowissenschaftlerin als Top-Down-Einfluss oder (nach dem Mathematiker Thomas Bayes, der einen grundlegenden Beitrag zur Wahrscheinlichkeitsrechnung oder »Lehre von den Chancen« leistete) manchmal auch als Bayes-Vermutung bezeichnet. Siehe Gilbert und Sigman (2007) und Mazzucato et al. (2019).
  17. Adamatzky (2016), Latty und Beekman (2011), Nakagaki et al. (2000), Bonifaci et al. (2012), Tero et al. (2010) und Oettmeier et al. (2017). In *Advances in Physarum Machines* (Adamatzky [2016]) schildern die Wissenschaftler detailliert viele überraschende Eigenschaften von Schleimpilzen. Manche Autoren nutzen Schleimpilze zur Herstellung von Entscheidungsgattern und Oszillatoren, andere simulieren Wanderungsbewegungen aus der Menschheitsgeschichte und modellieren mögliche zukünftige Gesetzmäßigkeiten für Wanderungen auf dem Mond. Zu den mathematischen Modellen, die ihre Anregung von Schleimpilzen beziehen, gehören eine nicht-quantenmechanische Umsetzung des Shor-Algorithmus, die Berechnung der kürzesten Pfade und die Gestaltung von Liefernetzwerken. Oettmeier et al. (2017) weisen darauf hin, dass Hirohito, japanischer Kaiser von 1926 bis 1989, von Schleimpilzen fasziniert war und 1935 ein Buch zu dem Thema veröffentlichte. Seither waren Schleimpilze in Japan immer ein hoch angesehenes Forschungsobjekt.
  18. Das Klassifikationsschema, das Linné entwickelte und 1735 in seinem *Systema naturae* erstmals veröffentlichte, ist in abgewandelter Form bis heute in Gebrauch. Es weitete die Hierarchie auch auf die Menschenrassen aus. Ganz oben in der Tabelle der Menschenliga standen die Europäer: »sehr klug, erfindungsreich. Von enger Kleidung bedeckt. Von Gesetzen beherrscht.« Dann folgten die Amerikaner: »Von Sitten beherrscht.« Dann die Asiaten: »von Meinungen beherrscht.« Dann die Afrikaner: »Träge, faul ... listig, langsam, achtlos. Von Schmiere bedeckt. Von Launen beherrscht.« (Kendi [2017]) Erweitert man das Prinzip, kann man die Anordnung verschiedener biologischer Arten in einem hierarchischen Klassifikationssystem auch als Arten-Rassismus bezeichnen.
  19. Über die verschiedenen Mikrobengemeinschaften in unseren Körperteilen berichten Costello et al. (2009) und Ross et al. (2018). Den Vergleich mit den Sternen in der Galaxis zieht Yong (2016), Kap. 1. W. H. Auden opfert in seinem »Neujahrsgruß« die Ökosysteme seines Körpers ihren mikroskopisch kleinen Bewohnern: »Wesen eurer Größe haben/freie Wohnungswahl bei mir,/lasst euch in der Zone nieder/die euch am meisten zusagt:/in den Teichen meiner Poren/im Dschungel von Achsel und/Beuge, der Unterarmwüste,/im kühlen Wald der Kopfhaut.« (Üb. v. J. W. Paul; in *Kichtstettner Gedichte 1958–1973*; St. Pölten-Wien 1983)
  20. Zu Organtransplantationen und Kulturen menschlicher Zellen siehe Ball (2019). Eine Schätzung für die Größe unseres Mikrobioms findet sich in Bordenstein und Theis (2015). Über Viren in Viren berichten Stough et al. (2019). Eine allgemeine Einführung in das Mikrobiom geben Yong (2016) und eine Sonderausgabe der Fachzeitschrift *Nature* über das Mikrobiom des Menschen (Mai 2019): [www.nature.com/collections/fiabfcjbfj](http://www.nature.com/collections/fiabfcjbfj) [abgerufen am 29. Oktober 2019].
  21. In einem gewissen Sinn sind heute alle Biologen auch Ökologen – aber die Vertreter des Fachgebiets der Ökologie hatten einen Vorsprung, und mittlerweile sickern ihre Methoden auch in neue Bereiche ein: Etliche Fachleute fordern, ökologische Methoden auch auf einstmalig nichtökologische Teilgebiete der Biologie anzuwenden. Siehe Gilbert und Lynch (2019) und Venner et al. (2009). Für die Verstärkerwirkung der in Pilzen lebenden Mikroorganismen gibt es eine Reihe von Beispielen. Eine 2007 in *Science* veröffentlichte Studie von Marquez et al. (2007) beschreibt »ein Virus in einem Pilz in einer Pflanze«. Die Pflanze, eine tropische Grasart, wächst in der Natur bei hohen Bodentemperaturen. Aber ohne einen assoziierten Pilz, der in seinen Blättern gedeiht, kann das Gras bei hohen Temperaturen nicht überleben. Züchtet man den Pilz allein und ohne die Pflanze, ergeht es ihm kaum besser: Auch er überlebt nicht. Wie sich aber herausgestellt hat, sorgt letztlich nicht der Pilz für die Lebensfähigkeit bei hohen Temperaturen, sondern ein Virus, das in dem Pilz zu Hause ist und die Hitzetoleranz vermittelt. Ohne das Virus überleben weder der Pilz noch die Pflanze bei Hitze. Mit anderen Worten: Das Mikrobiom des Pilzes bestimmt darüber, welche Rolle der Pilz im Mikrobiom der Pflanze spielt. Das Ergebnis ist eindeutig: Leben oder Tod. Eines der auffälligsten Beispiele für Mikroorganismen, die in Mikroorganismen leben, ist der berühmte Schimmelpilz *Rhizopus mi-*

*crosporus*. Die wichtigsten von ihm genutzten Giftstoffe werden von Bakterien produziert, die in seinen Hyphen leben. Hier zeigt sich auf dramatische Weise, wie das Schicksal mancher Pilze und ihrer assoziierten Bakterien verflochten ist: *Rhizopus* braucht die Bakterien nicht nur, um die Krankheit zu verursachen, sondern auch um sich fortzupflanzen. »Heilt« man *Rhizopus* im Experiment von den bakteriellen Bewohnern, ist seine Fähigkeit, Sporen zu produzieren, beeinträchtigt. Das Bakterium ist also für die wichtigsten Aspekte der Lebensweise von *Rhizopus* verantwortlich, von der Ernährung bis zu seinen Sexualgewohnheiten. Siehe Araldi-Brondolo et al. (2017), Mondo et al. (2017) und Deveau et al. (2018).

22. Bemerkungen über den Verlust der Selbstidentität finden sich bei Relman (2008). Die Frage, ob Menschen im Singular oder im Plural existieren, ist nicht neu. In der Physiologie des 19. Jahrhunderts hielt man den Körper vielzelliger Lebewesen für eine Zellgemeinschaft, in der jede Zelle analog zu den einzelnen Menschen in einem Nationalstaat ein eigenständiges Individuum ist. Die Fragen wurden durch die Entwicklung der Mikrobiologie komplizierter, denn die vielen Zellen in unserem Organismus – beispielsweise eine durchschnittliche Leberzelle und eine durchschnittliche Nierenzelle – sind im strengen Sinn nicht miteinander verwandt. Siehe Ball (2019), Kap. 1.

## KAPITEL 1: EINE VERLOCKUNG

1. Prince, »Illusion, Coma, Pimp & Circumstance«, *Musicology* (2004).
2. Psychoaktive »Trüffel«, wie sie in Amsterdam verkauft werden, sind, anders als ihr Name vermuten lässt, keine Fruchtkörper. Es handelt sich vielmehr um Speicherorgane, die als »Sklerotien« bezeichnet werden; Trüffel nennt man sie nur wegen der oberflächlichen Ähnlichkeit.
3. Über die Billionen Düfte berichten Bushdis et al. (2014); zur olfaktorischen Orientierung siehe Jacobs et al. (2015); Näheres über olfaktorische Erinnerungen und eine allgemeine Darstellung der olfaktorischen Fähigkeiten von Menschen finden sich in McGann (2017). Manche Menschen werden als »Superriecher« oder Hyperosmiker bezeichnet. Nach einer Studie von Trivedi et al. (2019) war ein Superriecher in der Lage, die Parkinson-Krankheit allein mit dem Geruchssinn festzustellen.
4. Eine Erörterung des Geruchs verschiedener chemischer Bindungen findet sich in Burr (2012), Kap. 2.
5. Diese Rezeptoren gehören zur großen Familie der G-Protein-gekoppelten Rezeptoren oder GPCRs. Eine Studie zur olfaktorischen Empfindlichkeit von Menschen ist Sarrafi et al. (2013); dort wird berichtet, Menschen könnten manche Gerüche schon bei Konzentrationen von 0,001 Teilen je Billion wahrnehmen.
6. Zu *turmas de tierra* siehe Ott (2002). Trüffel waren für Aristoteles »Früchte, welche der Aphrodite geweiht sind«. Angeblich wurden sie von Napoleon und dem Marquis de Sade als Aphrodisiakum verwendet, und George Sand bezeichnete sie als den »schwarzen Zauberpfeil der Liebe«. Der französische Gastronom Jean Anthelme Brillat-Savarin hielt fest, Trüffel »leisteten dem erotischen Vergnügen Vorschub«. In den 1820er-Jahren wollte er diese allgemein verbreitete Ansicht genauer untersuchen; dazu befragte er eine Reihe von Damen (»alle Antworten, die ich erhielt, waren entweder ironisch oder ausweichend«) und

Männern (»die aufgrund ihres Berufes besonderes Vertrauen verdienten«). Er gelangte zu dem Schluss, der Trüffel sei »zwar kein echtes Aphrodisiakum, kann aber Frauen unter bestimmten Umständen leidenschaftlicher und Männer aufmerksamer machen« (Hall et al. [2007], S. 33).

7. Zu Laurent Rambaud siehe Chrisafis (2010). Der Journalist Ryan Jacobs dokumentierte, welche Betrügereien entlang der gesamten Lieferketten für Trüffel stattfinden. Manche Giftmischer versetzen Fleischbällchen mit Strychnin, andere vergiften Wassertümpel im Wald, sodass Hunde sich auch mit einem Maulkorb noch vergiften können, manche mischen Glasscherben unter das Fleisch, andere verwenden Rattengift oder Frostschutzmittel. Nach den Berichten von Tierärzten müssen in jeder Trüffelsaison Hunderte von vergifteten Hunden behandelt werden. Die Behörden sind dazu übergegangen, bestimmte Waldstücke mit Giftspürhunden zu überwachen (Jacobs [2019], S. 130–34). Im Jahr 2003 berichtete der *Guardian*, man habe dem französischen Trüfflexperten Michel Tournayre seinen Trüffelhund gestohlen. Tournayre hatte den Verdacht, dass die Diebe den Hund nicht verkauft hatten, sondern ihn benutzten, um Trüffel von fremden Ländereien zu stehlen (Hall et al. [2007], S. 209). Wie kann man Trüffel besser stehlen als mit einem gestohlenen Hund?
8. Über Elche mit blutiger Nase berichtet Tsing (2015), »Interlude. Smelling«; zu Orchideen, die von Fliegen bestäubt werden, siehe Policha et al. (2016); Näheres über Bienen, die an Orchideen komplexe aromatische Verbindungen sammeln, findet sich bei Vetter und Roberts (2007); die Ähnlichkeit mit Verbindungen, die von Pilzen produziert werden, wird beschrieben in de Jong et al. (1994). Orchideenbienen scheiden eine Fettsubstanz aus und applizieren sie auf den duftenden Gegenstand. Wenn der Duft aufgenommen wurde, kratzen sie das Fett wieder ab und bewahren es in Taschen an ihren Hinterbeinen auf. Es ist das gleiche Prinzip wie bei der Enfleurage, der Methode, mit der Menschen schon seit Jahrhunderten Düfte wie Jasmin einfangen, die so empfindlich sind, dass man sie mit Wärme nicht extrahieren kann (Eltz et al. [2007]).
9. Naef (2011).
10. Zu Bordeu siehe Corbin (1986), S. 35.
11. Der Rekordtrüffel wird beschrieben in [news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/7123414.stm](https://news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/7123414.stm) [abgerufen am 29. Oktober 2019].
12. Das Mikrobiom der Trüffel und seine Bedeutung für die Duftproduktion werden erörtert in Vahdatzadeh et al. (2015). Als ich mit Daniele und Paride unterwegs war, fiel mir auf, dass ein Trüffel, den sie aus dem Schlickboden nicht weit von einem Fluss ausgegraben hatten, anders roch als einer aus dem eher schweren Tonboden weiter oben im Tal. Solche Unterschiede spielen für eine hungrige Spitzmaus wahrscheinlich keine große Rolle. Aber ein in Alba gefundener weißer Trüffel bringt den vierfachen Betrag eines weißen Trüffels aus der Nähe von Bologna (obwohl manche Trüffelhändler regelmäßig Bologneser Trüffel als solche aus Alba ausgeben, was darauf schließen lässt, dass nicht jeder den Unterschied erkennt). Regionale Unterschiede in der Zusammensetzung der flüchtigen Inhaltsstoffe von Trüffeln wurden auch in seriösen Studien bestätigt (Vita et al. [2015]).
13. Über die ursprüngliche Studie, wonach Trüffel Androstenol produzieren, berichteten Claus et al. (1981); die neun Jahre später veröffentlichte Nachfolgestudie ist Talou et al. (1990).
14. Die Zahl der flüchtigen Verbindungen, deren Produktion durch eine einzige Trüffelart nachgewiesen wurde, ist im Laufe der Jahre mit der wachsenden



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.

Umschlaggestaltung: zero-media.net, München,  
nach einer Vorlage von Penguin Random House UK  
Umschlagmotiv: © Penguin Random House UK  
Autorenfoto: © Hanna-Katrina Jedrosz  
[www.ullstein.de](http://www.ullstein.de)

# EINE VÖLLIG NEUE SICHT AUF DAS LEBEN AUF UNSEREM PLANETEN

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 zehn Quadratkilometer, wiegt mehrere Hundert Tonnen und ist zwischen 2.000 und 8.000 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.

»Buchstäblich bewusstseinsweiternd« DIE ZEIT



**Klimaneutrales Produkt**  
ullstein.de/nachhaltigkeit

978-3-548-06531-1

2



€ [D] 16,99  
[A] 17,50

www.ullstein.de