

INHOUD

Voorwoord

9

Inleiding: hoe is het
om een schimmel te zijn?

11

1 Lokaas

35

2 Levende labirinten

58

3 Intimiteit tussen
onbekenden

85

4 Myceliumhersenen

111

5 Voordat er plantenwortels
bestonden

143

6 Wood wide webs

171

7 Radicale mycologie

200

8 Betekenis toekennen aan schimmels

231

Epiloog: deze compost

254

Dankwoord

258

Noten

261

Bibliografie

318

Register

366

VOORWOORD

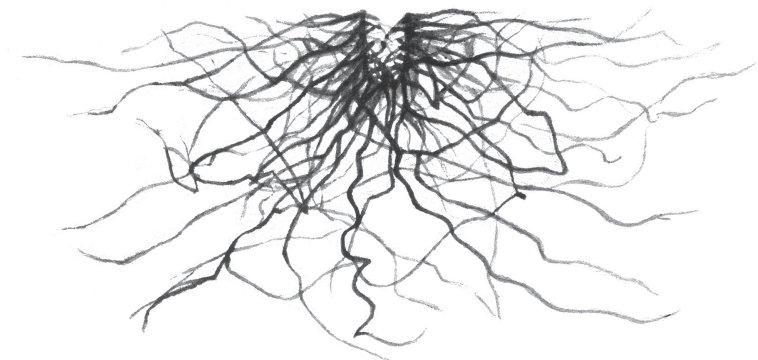
IK KEEK OMHOOG NAAR DE TOP VAN DE BOOM. VARENS en orchideeën groeiden op de stam, die in een wirwar van lianen in het bladerdek verdween. Hoog boven me wikte een toekan er vanaf een tak vandoor, een groep brulapen hief langzaam een collectieve roep aan. Het was nog maar net opgehouden met regenen en vanaf de bladeren boven me viel soms zomaar een buitje van dikke waterdruppels. Dicht boven de grond hing mist.

De boomwortels draaiden vanaf de onderkant van de stam naar buiten toe weg en verdwenen al snel in de dikke hopen bladeren die de bodem van het oerwoud bedekten. Met een stok tikte ik op de grond om slangen te verjagen. Een tarantula scharrelde ervandoor, waarna ik neerknielde om langs de stam en een wortel omlaag in een massa sponzig afval te tasten, daar waar kleinere wortels zich ineenvlochten tot een dikke, roodbruine wirwar. Er steeg een intense geur op. Termieten krioelden door het labrynt en een duizendpoot rolde zich op om te

doen alsof hij dood was. De wortel verdween in de bodem en met een troffel maakte ik het stuk grond eromheen vrij. Met mijn handen en een lepel maakte ik de bovenste laag aarde los, waarna ik zo voorzichtig mogelijk begon te graven, zodat ik de wortel blootlegde, die van de boom vandaan liep en vlak onder het bosoppervlak door kronkelde.

Na een uur was ik ongeveer een meter opgeschoten. De wortel was inmiddels dunner dan touw en was zich woest gaan vertakken. Je kon hem moeilijk volgen, want hij raakte verstrengeld in naastgelegen wortels. Daarom ging ik op mijn buik liggen en liet mijn gezicht in de ondiepe greppel zakken die ik had gegraven. Sommige wortels hebben een scherpe, nootachtige geur, andere ruiken houtig en bitter, maar de wortels van deze boom roken pittig en harschtig toen ik er met een nagel aan krabde. Een paar uur lang groef ik stukje bij beetje verder en krabde en rook ik om de paar centimeter aan de wortel om er zeker van te zijn dat ik nog goed zat.

Naarmate de dag verstreek zag ik nog meer vezels ontspringen aan de wortel die ik had blootgelegd. Sommige volgde ik helemaal tot aan de punt, waar ze zich in stukjes rottende bladeren of takjes boorden. Ik stopte de uiteinden in een flesje water om de modder eraf te spoelen en bekeek ze door een loep. De piepkleine wortels vertakten zich als een boom en het oppervlak was bedekt met een dun laagje vers, plakkerig spul. Om dat tere materiaal was het me te doen, dat wilde ik bestuderen. Vanaf die wortels verspreidde een schimmelnetwerk zich door de bodem, rondom de wortels van de nabijgelegen bomen. Zonder dat schimmelweb zou mijn boom niet bestaan. Zonder vergelijkbare schimmelnetwerken zou nergens ook maar een plant bestaan. Al het leven op het land, ook het mijne, was ervan afhankelijk. Ik trok voorzichtig aan de wortel en voelde de grond bewegen.



INLEIDING:
HOE IS HET OM
EEN SCHIMMEL TE ZIJN?

Op sommige momenten van vochtige liefde is de
hemel jaloers op wat we op aarde kunnen.¹

— HAFEZ

SCHIMMELS ZIJN OVERAL, MAAR JE ZIET ZE GEMAKKELIJK over het hoofd. Ze zitten in je en zijn overal om je heen. Ze houden jou en alles waarvan je afhankelijk bent gaande. Op het moment waarop je deze woorden leest, veranderen schimmels de manier waarop het leven zich voltrekt, zoals ze dat al langer dan een miljard jaar doen. Ze eten gesteenten, brengen de bodem voort, verteren milieuverontreinigende stoffen, voeden én doden planten, kunnen in de ruimte leven, veroorzaken visioenen, produceren voedsel en medicijnen, manipuleren het gedrag van dieren en beïnvloeden de samenstelling van de atmosfeer. Schimmels zijn een sleutel om de aarde waarop we leven te begrijpen, en ook de manieren waarop we denken, voelen en ons gedragen. Toch speelt hun leven zich grotendeels buiten ons blikveld af en is meer dan negentig procent van alle schimmelsoorten niet op naam gebracht. Hoe meer we over schimmels te weten komen, des te duidelijker de dingen worden.

Schimmels vormen een van de rijken binnen alles wat leeft, even uitgestrekt en drukbevolkt als het ‘dierenrijk’ en het ‘plantenrijk’. Microscopisch kleine gistsoorten zijn schimmels, evenals de uitgebreide netwerken van honingzwammen, oftewel *Armillaria*, die tot de grootste organismen ter wereld behoren. De huidige recordhouder, in Oregon, weegt honderden tonnen, spreidt zich uit over tien vierkante kilometer en is ergens tussen de twee- en achtduizend jaar oud. Waarschijnlijk zijn er nog veel grotere en oudere exemplaren, maar die zijn nog niet ontdekt.²

Veel van de ingrijpendste gebeurtenissen op aarde zijn het resultaat van de activiteit van schimmels, en dat zal zo blijven. Planten verlieten zo’n vijfhonderd miljoen jaar geleden pas het water toen ze gingen samenwerken met schimmels, die tientallen miljoenen jaren hun wortelstelsel waren, totdat de planten er zelf een ontwikkelden. Tegenwoordig is meer dan negentig procent van de planten afhankelijk van mycorrhiza – van de Griekse woorden voor ‘schimmel’ (*mykes*) en ‘wortel’ (*rhiza*) – die bomen met elkaar verbinden tot netwerken die wel het *wood wide web* worden genoemd. Dat oeroude verbond was het begin van al het herkenbare leven op het land, en de toekomst daarvan hangt af van het blijvende vermogen van planten en schimmels om vruchtbare relaties met elkaar aan te gaan.

De aarde mag dan groen zijn geworden dankzij de planten, als we zouden kunnen terugkijken naar het devoon, vierhonderd miljoen jaar geleden, dan zou ons een andere levensvorm opvallen: *Prototaxites*. Dat waren een soort levende zuilen die verspreid in het landschap stonden. De meeste waren hoger dan een gebouw van twee verdiepingen. De rest viel erbij in het niet. Er bestonden al planten, maar die werden niet hoger dan een meter. Niet één gewervelde diersoort had het water al vervuild voor het land. Piepkleine insecten bouwden een onderkomen in de gigantische stammen van *Prototaxites*, waar ze holttes en gangen in knaagden. Die raadselachtige organismen – waarvan men denkt dat het enorme schimmels waren – waren minstens veertig miljoen jaar lang de grootste op land levende levensvormen, twintig keer zo lang als het genus *Homo* bestaat.³

Tot op de dag van vandaag ontstaan dankzij schimmels nieuwe ecosystemen op het land. Zodra een vulkanisch eiland zich vormt

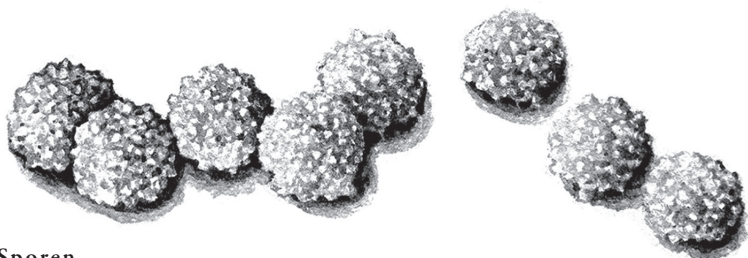
of een gletsjer zich terugtrekt, zijn korstmossen of lichens – een symbiotische levensvorm van schimmels en algen of bacteriën – de eerste organismen die zich er vestigen en de bodem vormen waar planten vervolgens wortel in kunnen schieten. De bodem van een goed ontwikkeld ecosysteem zou door regen worden weggespoeld als hij niet werd bijeengehouden door een dicht netwerk van schimmelweefsel. Er zijn maar weinig plaatsen op de wereld waar geen schimmels voorkomen; je vindt ze van sediment diep op de zeebodem en in woestijnen tot in bevroren dalen op Antarctica en onze ingewanden en lichaamsopeningen. Er kunnen tienduizenden soorten voorkomen in de bladeren en de stengel van één plant.⁴ Ze vlechten zich in de ruimte tussen de cellen van een plant ineen tot een soort fijnmazig brokaat en helpen de plant zich tegen ziekten te verweren. Er is geen plant die onder natuurlijke omstandigheden is gegroeid waar ze niet op worden aangetroffen; ze zijn evenzeer onderdeel van een plant als de bladeren en de wortels.

Dat schimmels zo goed in zoveel verschillende leefomgevingen gedijen, komt door hun variabele metabolische vermogen. Metabolisme of spijsvertering is de kunst van chemische transformatie. Schimmels zijn metabolische tovenaars die op ingenieuze wijze kunnen experimenteren, aas kunnen eten en kunnen hergebruiken. In dat opzicht doen alleen bacteriën niet voor ze onder. Met hun cocktails van krachtige enzymen en zuren kunnen ze enkele van de weerbarstigste stoffen op aarde afbreken, van lignine (ook wel houtstof, het hardste bestanddeel van hout), gesteente en ruwe olie tot kunststoffen van polyurethaan en de springstof TNT. Er zijn maar weinig omgevingen die te extreem voor ze zijn. Een soort die werd geïsoleerd uit mijnafval is voor zover bekend een van de stralingsbestendigste organismen, die zou kunnen helpen kernafvaldepots op te ruimen. In de ontplofte kernreactor in Tsjernobyl komt de grootste populatie van zulke schimmels voor. Sommige van deze straling-minnende soorten groeien zelfs naar de radioactief 'hete' deeltjes toe en lijken de straling als energiebron te gebruiken, zoals planten de energie in zonlicht.⁵

Als het over schimmels gaat, prikkelen vooral paddenstoelen de verbeelding. Maar zoals fruit aan struiken en bomen slechts een

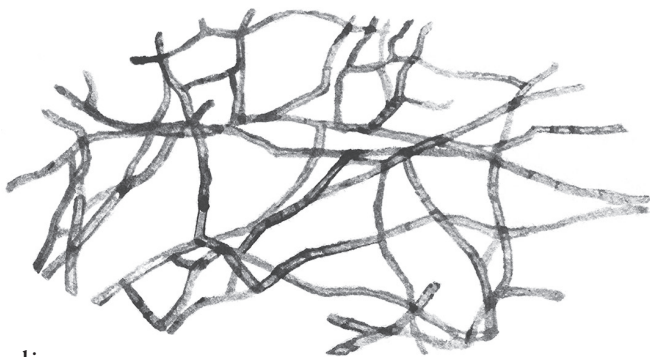
deel is van een veel groter geheel dat uit takken en wortels bestaat, zo zijn paddenstoelen niet veel meer dan de vruchtlichamen van schimmels, het deel dat de sporen voortbrengt. Schimmels gebruiken sporen zoals planten zaad gebruiken: om zichzelf te verspreiden. Paddenstoelen zijn het middel waarmee een schimmel zich in de buitenschimmelijke wereld waagt, van wind tot eekhoorn, om de verspreiding van sporen te bevorderen of om te voorkomen dat die wereld zich met dat proces bemoeit. Ze zijn het zichtbare, onwelriekende, verlokkelijke én giftige deel van de schimmel. Maar paddenstoelen zijn slechts één van vele middelen: de overgrote meerderheid van de schimmels verspreidt sporen zonder paddenstoelen te produceren.

Allemaal ademen we de sporen in die we met ons meedragen dankzij het spectaculaire vermogen van schimmelvruchtlichamen om die sporen te verspreiden. Sommige soorten vuren ze met explosieve kracht af, waardoor ze tienduizend keer sneller accelereren dan een Spaceshuttle direct na de lancering en snelheden bereiken van maar liefst honderdduizend kilometer per uur, een van de snelste verplaatsingen van levende organismen. Andere soorten scheppen hun eigen microklimaat: sporen worden opgestuwd door een windvlaag die de paddenstoelen zelf opwekken door water uit hun plaatjes of lamellen te laten verdampen. Schimmels produceren elk jaar ongeveer vijftig megaton sporen, een gewicht dat gelijkstaat aan dat van een half miljoen blauwe vinvissen, wat ze tot de grootste bron maakt van levende deeltjes die door de lucht zweven. Er zijn sporen in wolken aangetroffen die het weer beïnvloeden doordat ze ervoor zorgen dat zich waterdruppeltjes vormen waaruit regen ontstaat en ijskristallen waaruit sneeuw, natte sneeuw en hagel ontstaan.⁶



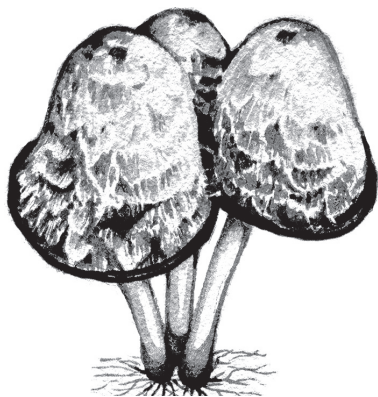
Sporen

Sommige schimmels, zoals de gistsoorten die suiker omzetten in alcohol en ervoor zorgen dat brooddeeg rijst, zijn eencelligen die zich door deling vermenigvuldigen. Maar de meeste schimmels vormen netwerken van vele cellen die bekendstaan als hyfen of schimmeldraden: tere, piepkleine buisjes die zich vertakken, samengaan en verstrengelen tot het anarchistische filigreïn dat mycelium of zwamvlok heet. Mycelium beschikt over de meest voorkomende van alle schimmeleigenschappen en kan beter niet als ding maar als proces worden opgevat: een verkennend-onderzoekende, grillige geneigdheid. Water en voedingsstoffen gaan via myceliumnetwerken door ecosystemen. Het mycelium van sommige schimmelsoorten kan elektrisch worden geprikkeld en geleidt elektriciteitsgolven door de hyfen, zoals elektrische impulsen door dierlijke zenuwcellen gaan.⁷



Mycelium

De hyfen vormen het mycelium, maar ook de basis van veel specialistischer weefsel. Vruchtlichamen, zoals paddenstoelen, ontstaan door een soort vervilting van hyfenstrengen. Zulke organen zijn tot veel meer in staat dan het uitstoten van sporen alleen. Sommige, zoals truffels, mogen zich dankzij hun aroma tot het duurste voedsel ter wereld rekenen. Andere, zoals de geschubde inktzwam (*Coprinus comatus*), kunnen door asfalt heen dringen en zware straatkeien optillen, hoewel ze zelf niet eens uit stevig materiaal bestaan. Pluk er een en je kunt hem bakken in een pan. Stop hem in een pot en het helderwitte vlees verandert binnen een paar dagen in pikzwarte inkt (de illustraties in dit boek zijn gemaakt met *Coprinus*-inkt).⁸



Geschubde inktzwam,
Coprinus comatus, getekend
met inkt die uit die soort is
vervaardigd

Dankzij hun metabolische vernuft kunnen schimmels uiteenlopende banden smeden. Sinds er planten bestaan, zijn die voor hun voedsel en verdediging afhankelijk van de schimmels in hun wortels en stengels. Ook dieren kunnen er niet buiten. Na mensen vormen bladsnijdersmieren de grootste en meest complexe gemeenschappen op aarde. Sommige kolonies, met nesten van ruim dertig meter doorsnee, tellen wel acht miljoen mieren. Hun leven draait om een schimmel die ze in spelonkachtige ruimten bewaren en voeren met stukjes blad.⁹

Menselijke samenlevingen zijn niet minder nauw verweven met schimmels. Door schimmels veroorzaakte ziekten leiden tot miljardenschades; de schimmel *Magnaporthe grisea* verwoest elk jaar een hoeveelheid rijst die genoeg is om ruim zestig miljoen monden te voeden. Door schimmels veroorzaakte boomziekten, van de iepenziekte tot kastanjekanker, transformeren hele bossen en landschappen. De Romeinen baden tot de god van de meeldauw, Robigus, om schimmelziekten af te wenden, maar konden daarmee niet de hongersnood voorkomen die tot de ondergang van het Romeinse Rijk leidde. De gevolgen van schimmelziekten zijn over de hele wereld steeds ingrijpender: als gevolg van niet-duurzame landbouwpraktijken vermindert het vermogen van planten om relaties aan te gaan met goedaardige schimmels waarvan ze afhankelijk zijn. Het wijdverbreide gebruik van schimmelbestrijdingsmiddelen heeft geleid tot een ongekende toename van nieuwe superschimmels, die de gezondheid van mens en plant bedreigen. Doordat wij mensen