

ily cere-
cahier

intimiteit tussen
onbekenden
merlin sheldrake

ily cere- cahier 6
a part of:

MERLIN SHELDRAKE

**VERWEVEN
LEVEN**

**DE VERBORGEN WERELD
VAN SCHIMMELS**

**VERTAALD DOOR
NICO GROEN**

**UITGEVERIJ ATLAS CONTACT
AMSTERDAM | ANTWERPEN**

INTIMITEIT TUSSEN ONBEKENDEN

Het probleem was dat we niet wisten over wie we
het hadden toen we 'we' zeiden.¹

— ADRIENNE RICH

OP 18 JUNI 2016 KWAM DE LANDINGSMODULE VAN een Sojoez-ruimtevaartuig neer in een naargeestige steppe in Kazachstan. Drie ruimtevaarders werden na een verblijf in het International Space Station (ISS) veilig uit de geblakerde capsule gehaald. De astronauten waren niet alleen toen ze naar de aarde terugkeerden. Onder hun stoel zaten honderden levende organismen boven op elkaar gestouwd in een kist.

Tot de kweekjes behoorden verschillende soorten korstmossen die anderhalf jaar in de ruimte hadden vertoefd als onderdeel van het Biology and Mars Experiment, BIOMEX. BIOMEX is een internationaal consortium van astrobiologen die een soort ladekast aan de buitenkant van het ISS gebruiken, de EXPOSE, om biologische kweekjes in buitenaardse omstandigheden te maken. 'Laten we hopen dat ze heelhuids terugkeren,' zei Natuschka Lee, lid van het korstmossenteam van BIOMEX, tegen me, een paar dagen voordat

de landing zou plaatsvinden. Ik wist niet precies wie ze met 'ze' bedoelde, maar niet lang daarna belde ze om te zeggen dat alles goed was gegaan. Ze had een mailtje gekregen van een van de onderzoekers van het Aerospace Center in Berlijn. Opgelucht las ze de onderwerpsregel voor: 'EXPOSE-bakken terug op aarde...' Lee: 'Binnenkort hebben we onze kweekjes terug.'²

Verskillende organismen die tegen een stootje kunnen zijn in een baan om de aarde gebracht, van de sporen van bepaalde bacteriesoorten tot vrij levende algen en van schimmels die in gesteente leven tot beerdiertjes, een soort microscopisch kleine organismen. Sommige kunnen overleven zolang ze worden beschermd tegen de schadelijke invloed van zonnestraling. Maar slechts een enkeling, op een handvol korstmossen na, overleeft in de omstandigheden van de ruimte, badend in ongefilterde kosmische straling. De eigenschappen van die korstmossen zijn zo opmerkelijk dat ze de modelorganismen van astrobiologisch onderzoek zijn geworden. Ze zijn ideaal om, zoals een onderzoeker schrijft, 'de grenzen en de beperkingen van het leven op aarde vast te stellen'.³

Het is niet voor het eerst dat korstmossen ons hebben geholpen de grenzen van het leven zoals we dat kennen te overdenken. Korstmossen zijn levende raadsels. Al vanaf de negentiende eeuw zijn ze de inzet van een verhit debat over de vraag wat een autonoom individu is. Hoe beter we korstmossen bestuderen, hoe vreemder ze lijken. Tot op de dag van vandaag schoppen korstmossen onze ideeën over identiteit in de war en dwingen ze ons na te denken over de vraag waar het ene organisme ophoudt en het andere begint.

In zijn weelderig geïllustreerde boek *Kunstformen der Natur* (1904) beeldde bioloog en kunstenaar Ernst Haeckel op levendige wijze verschillende soorten korstmossen uit. Zijn korstmossen groeien en bloeien als een dolle. Dooraderde randen maken plaats voor zachte blaasjes, stelen lopen uit in pieken en schoteltjes. Grillige kustlijnen botsen op onaardse paviljoenen vol hoekjes en gaatjes. Haeckel was degene die in 1866 het woord 'ecologie' had gemunt. Ecologie is de bestudering van de relaties tussen organismen en hun omgeving: zowel de plaats waar ze voorkomen als de kluwen van relaties waarmee ze zichzelf in stand houden. Geïnspireerd door

ideeën van Alexander von Humboldt kreeg Haeckel de ingeving dat de natuur een onderling verbonden geheel is, 'een systeem van actieve krachten'. Organismen kunnen niet in isolement begrepen worden.⁴

Drie jaar later, in 1869, publiceerde de Zwitserse botanicus Simon Schwendener een artikel waarin hij de 'duale hypothese over korstmossen' naar voren bracht. Daarin kwam hij met het radicale idee dat korstmossen geen enkelvoudige organismen waren, zoals lange tijd was gedacht. In plaats daarvan bestonden ze volgens hem uit twee totaal verschillende entiteiten: een schimmel en een alg. Schwendener beweerde dat de schimmelcomponent van het korstmos (tegenwoordig bekend als 'mycobiont') voor fysieke bescherming zorgde en voedingsstoffen voor zichzelf en voor de algencellen opnam. Het algengedeelte (de 'fotobiont', een rol die soms wordt vervuld door fotosynthetische bacteriën) zette licht en kooldioxide om in suikers, die energie leverden. Volgens Schwendener waren de schimmels van het korstmos 'parasieten, zij het zo wijs als staatslieden'. De algen waren 'de slaven [...] die ze hebben uitgekozen en aan dienstbaarheid hebben onderworpen'. Tezamen vormden ze het zichtbare korstmos. Door een relatie aan te gaan, konden ze daar leven waar geen van beide afzonderlijk kon overleven.⁵

Schwendeners hypothese stuitte op fel verzet onder zijn collega's. Het idee dat twee verschillende soorten samenkwamen in één nieuw organisme met een eigen identiteit kwam voor velen als een schok. 'Nuttig, wederzijds bevorderlijk parasitisme?' snoof een van hen. 'Wie heeft er ooit zoiets gehoord?' Anderen verwierpen het idee als 'sensationele romantiek', een 'onnatuurlijk verbond tussen een gevangen jonge algenmaagd en een tirannieke zwammenmeester'. Anderen waren milder. 'U ziet,' schreef de Engelse mycologe Beatrix Potter, die vooral bekend is van haar kinderboeken, 'we geloven niet in Schwendeners theorie.'⁶

Wat taxonomen – die hun best deden het leven in strakke stambomen te dwingen – nog de meeste zorgen baarde was het vooruitzicht dat één enkel organisme een dubbele herkomst kon hebben. In navolging van Charles Darwins theorie over evolutie door natuurlijke selectie, gepubliceerd in 1859, heerste juist het idee dat soorten ontstonden door van elkaar af te wijken. Hun evolutionaire

stamboom vertakte zich, als de takken aan een boom. Aan de stam van de boom groeiden takken, die zich in kleinere takken vertakten, die zich weer splitsten in twijgjes. Soorten waren de bladeren aan de twijgjes van de levensstamboom. De duale hypothese betekende echter dat korstmossen uit organismen met een volledig verschillende herkomst bestonden. In korstmossen deden takken van de levensstamboom die zich honderden miljoenen jaren hadden vertakt iets totaal onverwachts: ze kwamen erin samen.⁷

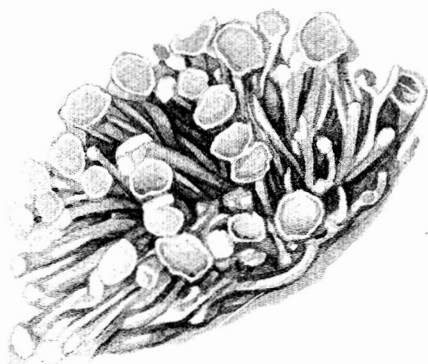
In de decennia daarna hingen steeds meer biologen de duale hypothese aan, maar velen waren het oneens met de manier waarop Schwendener de relatie voorstelde. En dat was niet uit sentimentele overwegingen: de door Schwendener gekozen metafoor stond het algehele probleem dat door de duale hypothese werd opgeworpen in de weg. In 1877 muntte de Duitse botanicus Albert Frank het woord 'symbiose' om het verbond van schimmels en algen te beschrijven. Tijdens zijn onderzoek naar korstmossen was hem duidelijk geworden dat er behoefte was aan een nieuw woord, een waarin geen vooroordeel besloten lag over de relatie die ermee werd beschreven. Niet lang daarna nam bioloog Heinrich Anton de Bary Franks woord over en breidde hij het uit tot het volledige spectrum van interactie tussen alle mogelijke soorten organismen, met parasitisme aan het ene uiteinde en wederzijds bevorderlijke relaties aan het andere.⁸

In de jaren daarna stelden wetenschappers enkele belangrijke nieuwe symbiotische relaties voor. Zo was daar Frank, die tot veler verrassing opperde dat schimmels planten mogelijk hielpen voedingsstoffen uit de grond te halen (1885). Wetenschappers haalden de duale hypothese over korstmossen aan als bewijs voor hun ideeën. Toen algen werden aangetroffen in levend koraal, sponzen en groene zeeslakken, noemde een onderzoeker ze 'dierlijke korstmossen'. Enkele jaren later, toen er voor het eerst virussen in bacteriën werden aangetroffen, noemde hun ontdekker ze 'microkorstmossen'.⁹

Korstmossen werden, kortom, al snel een biologisch begrip. Zij waren het organisme dat de poort opende naar het idee van symbiose, dat indruiste tegen de heersende stroom van het eind-negentiende- en begin-twintigste-eeuwse evolutionaire denken. Thomas Henry Huxley vatte dat denken goed samen in zijn beeld van het

leven als een 'gladiatorenstrijd, waarna de sterkste, snelste en slimste het weer een dag uitzingt'. In het kielzog van de duale hypothese kon evolutie niet langer uitsluitend worden gezien in termen van concurrentie en conflict. Korstmossen waren een mal voor de samenwerking tussen soorten uit verschillende rijken geworden.¹⁰

Korstmos:
Niebla



Korstmossen bedekken maar liefst acht procent van het aardoppervlak, meer dan tropisch regenwoud. Je vindt ze op stenen, bomen, daken, schuttingen, kliffen en in de woestijn. Sommige hebben saaie camouflagekleuren, andere zijn limoengroen of felgeel. Er zijn erbij die op vlekken lijken, op struikjes of op een gewei. Sommige doen denken aan slaphangend leer, als vleermuisvleugels, andere 'hangen als hashtags', zoals dichteres Brenda Hillman schrijft. Sommige komen voor op kevers, die voor hun overleving afhankelijk zijn van de camouflage die ze bieden. Vrij levende korstmossen waaien met de wind mee en leven niet op iets in het bijzonder. Vergeleken met het 'saaie leven' van hun omgeving, schrijft Kerry Knudsen, korstmos-sencurator van het herbarium van de University of California in Riverside, 'lijkt dat van korstmossen wel een sprookje'.¹¹

Ik ben vooral gefascineerd door de korstmossen op de eilanden voor de kust van British Columbia, aan de westkust van Canada. Van bovenaf gezien rafelt de kustlijn de oceaan in. Er is geen harde grens. Het land gaat geleidelijk over in inhammen en baaien, en daarna in engten en zeestraten. Honderden eilanden liggen verspreid voor de kust. Sommige zijn niet groter dan een walvis, maar het grootste, Vancouver Island, is half zo lang als Groot-Brittannië.

De meeste eilanden zijn van keihard graniet; ze zijn de toppen van onderzeese heuvels en dalen die glad zijn gesleten door gletsjers.

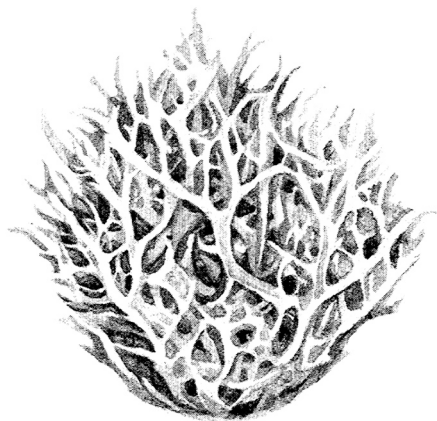
Elk jaar wurmen een handvol vrienden en ik ons in een zeilboot van nog geen negen meter lang en zeilen we een paar dagen rond de eilanden. De boot, de Caper, heeft een donkergroene romp, geen kiel en één rood zeil. Vanaf de Caper aan land gaan is lastig. We peddelen in een wiebelig rubberbootje met riemen die bij elke haal uit de dol glippen. Voet aan land zetten is een kunst. Golven kwakken het bootje tegen de rotsen en trekken het onder onze voeten vandaan zodra we uitstappen. Maar als we eenmaal aan land gaan, beginnen de korstmossen. Ik heb me urenlang ondergedompeld in de werelden die ze scheppen: eilandjes van leven in een zee van gesteente. De korstmossentaal bevat woorden waar je tong van in de knoop raakt en die klinken als ziekten: 'lepreus', 'perithecium', 'pseudocyphellen', 'squamuleus', 'schizidium'. De soortnamen maken duidelijk hoe ze eruitzien: korstvormig, bladvormig, struikvormig, baardmossen. Struikvormige omhullen en vormen bosjes, korstvormige kruipen en sluipen, bladvormige vormen laagjes en bladderen af en schilferen. Sommige prefereren oppervlakken die op het oosten liggen, andere oppervlakken op het westen. Sommige leven het liefst op onbeschutte richels, andere in klamme spleten. Sommige voeren een langzame strijd om hun burens te verdrijven of te verstoren. Er zijn erbij die leven waar andere korstmossen zijn doodgegaan en afgeschilferd. Ze lijken op de archipels en continenten uit een onbekende atlas, waaraan gewoon landkaartmos, *Rhizocarpon geographicum*, zijn naam te danken heeft. De oudste oppervlakken zijn gepokt door eeuwen vol dode en levende korstmossen.

Dat korstmossen zo dol zijn op gesteente heeft het aangezicht van de aarde veranderd, wat ze nog steeds doen. In 2006 werden de gezichten van de Amerikaanse presidenten die zijn uitgehouwen in Mount Rushmore gereinigd met een hogedrukspuit, waardoor ruim zestig jaar korstmossengroei ongedaan werd gemaakt in de hoop de levensduur van het monument te verlengen. De presidenten zijn niet de enigen. 'Elk monument,' schrijft dichter Drew Milne, 'is met korstmossen bekleed.' In 2019 lanceerden de bewoners van Paaseiland een campagne om de korstmossen van de

honderden monumentale stenen hoofden of moai te schrobben. De korstmossen, die door de bewoners 'lepra' worden genoemd, tasten de contour van de beelden aan en verlenen het gesteente een 'kleiachtige' consistentie.¹²

Korstmossen delven mineralen uit gesteente via een tweestaps-proces dat 'verweren' heet. Eerst breken ze het oppervlak af met hun groeikracht. Ten tweede gebruiken ze een arsenaal aan krachtige zuren en chemische verbindingen die mineralen binden om het gesteente op te lossen en te verteren. Het verteringsvermogen van korstmossen maakt ze tot een geologische kracht, maar ze doen meer dan de uiterlijke kenmerken van de wereld laten vervagen. Wanneer korstmossen doodgaan en ontbinden, vormen ze het begin van de eerste bodemlaag van nieuwe ecosystemen. Dankzij korstmossen kan de anorganische, minerale massa in het gesteente worden opgenomen door het spijsverteringsstelsel van het organische leven. Een deel van de mineralen in je lichaam is waarschijnlijk op een gegeven moment door een korstmos gegaan. Of ze nu voorkomen op grafstenen of granietplateaus op Antarctica, korstmossen zijn de verbindende schakel tussen wat leeft en wat niet. Wanneer je vanaf de Caper naar de rotsige Canadese kustlijn kijkt, wordt dat duidelijk. Boven de vloedlijn zie je pas na enkele meters korstmossen en mossen de bomen beginnen, die wortelen in spleten ver buiten het bereik van het water, waar jonge grond kon ontstaan.¹³

Korstmos:
Ramalina



De vraag wat een 'eiland' is en wat niet, is van fundamenteel belang voor de bestudering van de ecologie en de evolutie. Hij is niet minder belangrijk voor astrobiologen, ook die van het BIOMEX-team, van wie velen worstelen met de kwestie 'panspermie', van het Griekse *pan* ('alle') en *sperma* ('zaad'). Panspermie gaat over de vraag of planeten ook eilanden zijn en of leven in de ruimte tussen hemellichamen kan reizen. Dat idee speelt al sinds de Oudheid, maar kreeg pas de vorm van een wetenschappelijke hypothese aan het begin van de twintigste eeuw. Sommige aanhangers van het idee beweren dat het leven zelf van andere planeten afkomstig is. Anderen zeggen juist dat het leven is geëvolueerd op de aarde én elders, maar dat perioden van spectaculaire evolutionaire vernieuwing op aarde in gang werden gezet door de komst van brokjes leven uit de ruimte. Weer anderen pleiten voor een 'zachte panspermie': het leven evolueerde op de aarde, maar de daarvoor benodigde bouwstenen kwamen uit de ruimte. Er zijn allerlei hypothesen over de manier waarop het transport tussen planeten zou hebben plaatsgevonden. De meeste zijn variaties op een thema: organismen komen vast te zitten op asteroïden of ander puin dat vanaf planeten wordt gelanceerd door botsingen met meteorieten en suizen door de ruimte voordat ze op andere planetaire lichamen botsen, waar ze wel of niet kunnen overleven.¹⁴

Aan het einde van de jaren vijftig, toen de Verenigde Staten zich klaarmaakten om raketten de ruimte in te sturen, maakte bioloog Joshua Lederberg zich druk over het vooruitzicht dat we andere hemellichamen zouden besmetten (Lederberg was degene die in 2001 het woord 'microbioom' muntte). De mensheid was in staat om organismen die op aarde leven over het zonnestelsel te verspreiden. Verontrustender was de gedachte dat mensen buitenaardse organismen mee terug konden nemen die voor verstoring van de ecologie konden zorgen, of erger: in de vorm van ziekten vernielingen konden aanrichten. Lederberg schreef brandbrieven aan de National Academy of Sciences om te waarschuwen voor een mogelijke 'kosmische catastrofe'. De Academy luisterde naar hem en liet een officiële verklaring uitgaan waarin ze haar bezorgdheid uitte. Er bestond nog altijd geen woord voor de wetenschap van het buitenaardse leven, en dus muntte Lederberg er zelf een: 'exobio-

logie'. Exobiologie was de oerversie van het onderzoeksterrein dat tegenwoordig bekendstaat als astrobiologie.¹⁵

Lederberg was een wonderkind. Hij begon op zijn vijftiende aan een studie aan Columbia University en deed toen hij begin twintig was een ontdekking die ons idee over de geschiedenis van het leven op zijn kop zette. Hij ontdekte dat bacteriën genen met elkaar konden ruilen. Een bacterie kan 'horizontaal' een eigenschap van een andere bacterie verwerven. Aldus verkregen eigenschappen zijn niet 'verticaal' verkregen via de ouders. Je pikt ze ergens onderweg op. Dat principe is ons zeker niet onbekend. Wanneer we zelf iets leren of iets aan een ander leren, is sprake van een horizontale uitwisseling van informatie. Een groot deel van de menselijke cultuur en menselijk gedrag wordt op die manier doorgegeven. Maar horizontale genenoverdracht zoals bacteriën die kennen, is voor mensen een fantasie, ook al heeft die ooit een keer plaatsgevonden, lang geleden in onze evolutionaire geschiedenis. Horizontale genenoverdracht betekent dat genen – en de eigenschappen die erin besloten liggen – besmettelijk zijn. Het is alsof we een onbekende eigenschap langs de kant van de weg zien liggen, kijken of hij ons past en ineens tot de ontdekking komen dat we kuiltjes in onze wangen hebben. Of het is alsof we iemand op straat tegenkomen met wie we ons eigen steile haar ruilen voor zijn of haar krullen. Of dat we gewoon de kleur van zijn ogen overnemen. Of per ongeluk opbotsen tegen een wolfshond en ineens de neiging hebben urenlang te rennen.¹⁶

Lederberg ontving voor zijn ontdekking de Nobelprijs voor Fysiologie of Geneeskunde, op zijn drieëndertigste. Voordat horizontale genenoverdracht werd ontdekt, dacht men dat bacteriën, net als alle andere organismen, biologische eilanden waren. Genomen waren gesloten systemen. Er bestond, dacht men, geen manier om zomaar ergens in het leven DNA op te pikken, om genen te verwerven die 'elders' waren geëvolueerd. Horizontale genenoverdracht veranderde dat beeld en liet zien dat de genomen van bacteriën kosmopolieten zijn en bestaan uit genen die miljoenen jaren lang onafhankelijk van elkaar zijn geëvolueerd. Horizontale genenoverdracht impliceerde, net als eerder de korstmossen, dat takken van de evolutieboom die lang geleden elk hun weg waren gegaan in één organisme konden samenkomen.

Voor bacteriën is horizontale genenoverdracht de norm: de meeste genen in een bacterie – welke bacterie ook – delen geen evolutionaire geschiedenis, maar zijn stukje bij beetje bijeengescharreld, zoals spullen in een huis. Op die manier kan een bacterie kant-en-klare eigenschappen verwerven, die de snelheid van de evolutie enorm opdrijven. Door DNA uit te wisselen kan een onschadelijke bacterie resistent worden tegen antibiotica en in één keer in een dodelijke superbacterie veranderen. De afgelopen decennia is duidelijk geworden dat bacteriën niet als enige over dat vermogen beschikken, hoewel zij de vaardigste beoefenaren zijn: ze wisselen horizontaal genetisch materiaal tussen alle levensdomeinen uit.¹⁷

De ideeën van Lederberg waren doortrokken van de paranoia van de Koude Oorlog. Door zijn toedoen begon panspermie te lijken op horizontale genenoverdracht van kosmische proporties. Voor het eerst was de mensheid – in theorie – in staat om de aarde en andere planeten te infecteren met organismen die niet ter plekke waren geëvolueerd. Het leven op aarde kon niet langer als een genetisch gesloten systeem worden beschouwd, een planetair eiland in een zee die niet kon worden overgestoken. Zoals bacteriën de evolutie versneld vooruit konden spoelen door horizontaal DNA op te pikken, zo kon de komst van buitenaards DNA het anders zo ‘omslachtige’ proces van de evolutie ‘kortsluiten’, met mogelijk rampzalige gevolgen.¹⁸

Een van de belangrijkste doelstellingen van BIOMEX is erachter komen of levensvormen een ruimtereis inderdaad kunnen doorstaan. De omstandigheden buiten de beschermende schil van de aardatmosfeer zijn vijandig. Tot de vele gevaren behoren enorme doses straling van de zon en andere sterren, een vacuüm dat ervoor zorgt dat biologisch materiaal – inclusief korstmossen – bijna meteen uitdroogt en snelle cycli doorloopt van bevriezen, dooien, opwarmen en andersom, met binnen vierentwintig uur temperatuurschommelingen tussen de -120 en 120 graden Celsius.¹⁹

De eerste poging om korstmossen de ruimte in te sturen liep niet goed af. In 2002 stortte kort na de lancering een onbemande Sojoezraket vol kweekjes neer, die was vertrokken van een Russisch lanceerstation. Maanden na het ongeluk, toen de sneeuw was ge-

smolten, werden de overblijfselen van de lading geborgen. ‘Vreemd genoeg,’ schreven de onderzoeksleiders, ‘was het korstmossenexperiment een van de weinige herkenbare onderdelen in de puinhoop, en we ontdekten dat de korstmossen ondanks de omstandigheden nog steeds biologische activiteit vertoonden.’²⁰

Het vermogen van korstmossen om in de ruimte te overleven is sindsdien in verschillende onderzoeken aangetoond, met telkens grofweg dezelfde resultaten. De taaiste korstmossensoorten kunnen hun stofwisseling volledig herstellen binnen vierentwintig uur nadat ze zijn uitgedroogd en kunnen een groot deel van de schade die ze in de ruimte hebben opgelopen repareren. De overlevingskansen van de taaiste soort – *Circinaria gyrosa* – is zelfs zo groot dat in drie recente onderzoeken besloten werd kweekjes bloot te stellen aan nog hogere doses straling dan ze in de ruimte te verduren krijgen, om zo hun ‘uiterste overlevingslimiet’ te testen.

Reken maar dat een dosis straling korstmossen kan doden, maar de hoeveelheid die nodig is om de cellen van *Circinaria gyrosa* te vernietigen was enorm. Monsters die werden blootgesteld aan zes kilogray gammastraling – zes keer de standaarddosis waarmee voedsel in de Verenigde Staten wordt gesteriliseerd en twaalfduizend keer de voor mensen dodelijke hoeveelheid – bleven volledig ongeschonden. Toen de dosis werd verdubbeld naar twaalf kilogray – tweeënhalf keer de dodelijke dosis voor beerdiertjes – werd het voorplantingsvermogen van de korstmossen aangetast, hoewel ze het overleefden en ogenschijnlijk zonder problemen bleven doorgaan met fotosynthese.²¹

Voor Trevor Goward, curator van de korstmossenverzameling van de University of British Columbia, is de extreme tolerantie van korstmossen een voorbeeld van wat hij het ‘lichenflitseffect’ noemt. Korstmossen leiden tot flitsen van inzicht, of ‘begrip onder hoogspanning’, om het met Goward te zeggen. Het lichenflitseffect beschrijft wat er gebeurt wanneer korstmossen ‘inslaan’ in vertrouwde concepten en ze in nieuwe gedaanten uiteen laat spatten. Het idee van symbiose is zo’n voorbeeld. Overleven in de ruimte is een ander, net als de bedreiging die korstmossen vormden voor biologische classificatiesystemen. ‘Korstmossen vertellen ons dingen over het *leven*,’ riep Goward uit. ‘Ze verschaffen ons informatie.’²²

Goward is niet alleen geobsedeerd door korstmossen (hij heeft dertigduizend specimina aan de universiteitscollectie bijgedragen), hij is ook een korstmossentaxonoom: hij heeft drie geslachten op naam gebracht en zesendertig nieuwe soorten beschreven. Toch kleeft hem iets van een mysticus aan. 'Ik mag graag zeggen dat korstmossen jaren geleden mijn hersenschors hebben gekoloniseerd,' vertelde hij me grinnikend. Hij leeft aan de rand van een groot natuurgebied in British Columbia en heeft een website die *Ways of Enlichenment* heet. Wat Goward betreft verandert diep nadenken over korstmossen de manier waarop we tegen het leven aankijken; het zijn organismen die ons naar nieuwe vragen en nieuwe antwoorden voeren. 'Wat is onze relatie tot de wereld? Wat is onze rol?' De astrobiologie onderzoekt zulke vragen op kosmische schaal. Geen wonder dat korstmossen een belangrijke – of in elk geval kleurrijke – positie in de voorhoede én het centrum van het panspermiedebat innemen.

Maar het is eerder zo dat korstmossen en het symbioseconcept dat ze belichamen tot existentiële vragen hebben geleid. In de loop van de twintigste eeuw heeft het idee van samenwerking tussen de drie biologische domeinen het wetenschappelijk inzicht in de evolutie van complexe levensvormen veranderd. De vragen van Goward komen misschien enigszins theatraal over, korstmossen en hun symbiotische levensstijl hebben er wel degelijk voor gezorgd dat we onze relatie tot de wereld met nieuwe ogen zijn gaan bekijken.

Het leven is opgedeeld in drie domeinen. Bacteriën vormen het ene. Oerbacteriën of archaea – eencellige microben die op bacteriën lijken maar heel andere membranen hebben – vormen een ander. Eukarya vormen het derde domein. Wij zijn eukaryoten, net als alle andere meercellige organismen, of het nu dieren, planten, algen of schimmels zijn. De cellen van eukaryoten zijn groter dan die van bacteriën en oerbacteriën en zijn georganiseerd rond een aantal gespecialiseerde organellen. Een zo'n organel is de celkern, die bijna alle DNA van een cel bevat. Mitochondriën, die energie leveren, zijn een ander. Planten en algen hebben nog een ander organel: chloroplasten of bladgroenkorrels, waar de fotosynthese plaatsvindt.²³

In 1967 werd de visionaire Amerikaanse bioloog Lynn Margulis een uitgesproken aanhanger van een controversiële theorie die

symbiose een centrale rol toekende in de evolutie van het vroegste leven. Margulis beweerde dat sommige belangrijke momenten in de evolutie het gevolg waren van de samenkomst – en het samen *blijven* – van verschillende organismen. Eukaryoten ontstonden toen een eencellig organisme een bacterie opslokte, die er symbiotisch in bleef leven. Mitochondriën zouden de afstammelingen van die bacteriën zijn. Chloroplasten waren afstammelingen van fotosynthetische bacteriën die waren opgeslokt door een vroege eukaryotencel. Elke complexe levensvorm die daarna kwam, waaronder het menselijk leven, was in zekere zin een geschiedenis van de blijvende ‘intimiteit tussen onbekenden.’²⁴

Het idee dat eukaryoten waren ontstaan ‘door middel van fusie en versmelting’ maakte al vanaf het begin van de twintigste eeuw af en toe deel uit van het biologisch denken, maar bleef uiteindelijk in de marge van de ‘weldenkende biologische gemeenschap’. In 1967 was er nog maar weinig veranderd, en het manuscript van Margulis’ artikel werd vijftien keer afgewezen voordat het uiteindelijk werd geaccepteerd. Nadat haar ideeën waren gepubliceerd, ondervonden ze felle weerstand, zoals eerdere, vergelijkbare hypothesen. (In 1970 merkte microbioloog Roger Stanier nijdig op dat Margulis’ ‘gespeculeer over de evolutie [...] moet worden beschouwd als een relatief onschuldige bezigheid, zoals pinda’s eten, tenzij die de vorm van een obsessie aanneemt; dan wordt het een slechte gewoonte.’) Maar in de jaren zeventig werd het gelijk van Margulis bewezen. Met nieuw genetisch instrumentarium werd onthuld dat mitochondriën en chloroplasten inderdaad als vrij levende bacteriën waren begonnen. Sindsdien zijn andere voorbeelden van zogeheten endosymbiose gevonden. In de cellen van sommige insecten komen bijvoorbeeld bacteriën voor die zelf weer bacteriën bevatten.²⁵

Margulis’ idee kwam neer op een duale hypothese van vroeg eukaryotisch leven. Het was daarom niet verwonderlijk dat ze de korstmossen erbij haalde om voor haar standpunt te pleiten; dat hadden de eerste voorstanders van haar idee aan het begin van de twintigste eeuw ook gedaan. De eerste eukaryotische cellen konden als ‘heel goed vergelijkbaar’ met korstmossen worden beschouwd, zo redeneerde ze. In de decennia daarna bleven korstmossen een prominente rol in haar werk spelen. ‘Korstmossen zijn opmerke-

lijke voorbeelden van innovatie die voortkomt uit samenwerking,' schreef ze later. 'Het geheel is veel meer dan de som der delen.'²⁶

Met de endosymbiotische theorie, zoals hij bekend zou komen te staan, werd de geschiedenis van het leven herschreven. Het was een van de spectaculairste omwentelingen in de biologische wetenschap van de twintigste eeuw. Evolutiebioloog Richard Dawkins feliciteerde Margulis omdat ze de theorie 'trouw was gebleven, ook toen die nog onorthodox was'. 'Die is een van de grote wapenfeiten van de twintigste-eeuwse biologie,' ging Dawkins verder, 'en ik heb grote bewondering voor de onverschrokken moed en de vasthoudendheid van Lynn Margulis.' Filosoof Daniel Dennett omschreef de theorie van Margulis als 'een van de mooiste ideeën die hij ooit was tegengekomen' en Margulis als 'een van de helden van de twintigste-eeuwse biologie'.²⁷

Tot de belangrijkste implicaties van de theorie over endosymbiose behoort dat hele reeksen eigenschappen in één keer – in evolutionaire termen – kant-en-klaar kunnen worden overgenomen van organismen die noch de ouders zijn noch tot hetzelfde rijk of zelfs hetzelfde domein behoren. Lederberg toonde aan dat bacteriën horizontaal genen kunnen verwerven. De theorie van de endosymbiose hield in dat eencellige organismen horizontaal hele bacteriën hadden overgenomen. Horizontale genenoverdracht transformeerde het genoom van bacteriën tot 'kosmopolitische' entiteiten, endosymbiose deed hetzelfde met cellen. De voorlopers van alle moderne eukaryoten incorporeerden horizontaal een bacterie met het al bestaande vermogen om energie uit zuurstof te halen. Net zo incorporeerden de voorlopers van alle huidige planten horizontaal bacteriën met het kant-en-klare vermogen tot fotosynthese.

Eigenlijk drukt die formulering het niet helemaal goed uit. De voorlopers van de huidige planten incorporeerden geen bacterie met het vermogen tot fotosynthese, ze ontstonden uit een combinatie van organismen die in staat waren tot fotosynthese met organismen die daar niet toe in staat waren. In de twee miljard jaar waarin ze samenleven, zijn beide steeds afhankelijker van elkaar geworden, zozeer zelfs dat de een tegenwoordig niet zonder de ander kan. Binnen eukaryotische cellen verstrengelen zich takken van het leven die in de verte verwant aan elkaar zijn en smelten ze samen tot

een ondeelbare nieuwe stamboom; ze fuseren, of ‘anastomoseran’, zoals de hyfen van schimmels.²⁸

De manier waarop korstmossen ontstonden is geen exacte herhaling van de manier waarop eukaryotische cellen ontstonden, maar, zoals Goward opmerkt, ze ‘rijmen’ wel degelijk met elkaar. Korstmossen zijn kosmopolitische entiteiten, fysieke locaties waar verschillende levensvormen in samenkomen. Een schimmel heeft van zichzelf geen fotosynthese, maar doordat hij een verbond aangaat met een alg of een fotosynthetische bacterie, kan hij dat vermogen horizontaal verwerven. Op vergelijkbare wijze krijgt een fotosynthetische alg of bacterie die geen beschermende cellaag heeft of geen gesteente kan verteren zomaar ineens toegang tot zulke eigenschappen door met een schimmel samen te werken. Samen kunnen deze taxonomisch sterk van elkaar verschillende organismen samengestelde levensvormen creëren die tot volledig nieuwe mogelijkheden in staat zijn. Vergeleken met plantencellen, die niet van hun bladgroenkorrels gescheiden kunnen worden, houden korstmossen er open relaties op na. Dat maakt ze flexibel. In sommige situaties kunnen ze zich voortplanten zonder hun relatie te verbreken: fragmentjes van een korstmos waar alle symbiotische partners in zitten, kunnen als één geheel naar een nieuwe locatie trekken en daar een nieuw korstmos vormen. In andere gevallen brengt de schimmel van een korstmos sporen voort die zelfstandig hun weg gaan. Wanneer ze ergens aankomen, moet de schimmel op een bijpassende fotobiont stuiten en nieuwe betrekkingen aangaan.²⁹

Door hun krachten te bundelen, zijn de schimmels in het korstmos deels fotobiont geworden en de fotobionten deels schimmel. Maar korstmossen lijken op geen van beide. Zoals de chemische elementen waterstof en zuurstof samen water vormen, een verbinding die in niets lijkt op een van de samenstellende delen, zo zijn korstmossen nieuwe verschijnselen en veel meer dan de som der delen. Zoals Goward zegt: het is zo eenvoudig dat het bijna niet te bevatten is. ‘Ik zeg vaak dat de enigen die een korstmos niet kunnen zien de lichenologen zelf zijn. Dat komt doordat ze alleen de delen zien, want daarin zijn ze getraind. Het probleem is dat je, als je alleen naar de delen kijkt, *het korstmos zelf niet ziet*.’³⁰

Juist die nieuwgevormde gedaante van korstmossen is vanuit astrobiologisch oogpunt interessant. Of, zoals het in één wetenschappelijk artikel wordt geformuleerd: 'Je kunt je moeilijk een biologisch systeem voorstellen dat de eigenschappen van het leven op aarde beter samenvat.' Korstmossen zijn kleine biosferen die zowel organismen met fotosynthese als organismen zonder fotosynthese bevatten, waarmee ze de belangrijkste metabolische processen op aarde combineren. Korstmossen zijn, in zekere zin, microplaneten: werelden in het klein.³¹

Maar wat doen korstmossen precies wanneer ze rondjes om de aarde draaien? Om het probleem te omzeilen dat monsters in de ruimte permanent moeten worden gemonitord, verzamelden de leden van het BIOMEX-team monsters van de taaie soort *Circinaria gyrosa* in het kurkdroge hoogland van Midden-Spanje en brachten ze onder in een proefopstelling waarin de omstandigheden op Mars werden nagebootst. Door de korstmossen op aarde bloot te stellen aan omstandigheden zoals ze in de ruimte zijn, hoopten ze de activiteit te kunnen meten. Het bleek dat er niet veel te meten viel. Binnen een uur nadat Mars 'was aangezet', hadden de korstmossen hun fotosynthetische activiteit naar nagenoeg nul teruggebracht. Ze bleven de rest van de tijd in de simulator in een soort slaaptoestand en begonnen pas weer normaal te functioneren toen ze dertig dagen later werden gerehydrateerd.³²

Het is bekend dat korstmossen extreme omstandigheden kunnen doorstaan doordat ze in een modus gaan waarin ze het leven opschorten; volgens sommige onderzoeken kunnen ze na tien jaar uitdroging weer met succes tot leven worden gewekt. Wanneer ze worden gedroogd, bevroren, ontdooid en weer opgewarmd, ontdekken ze daar weinig hinder van. Uitdroging beschermt ze ook tegen het grootste gevaar van kosmische straling: de zeer reactieve vrije radicalen, die ontstaan wanneer de straling watermoleculen splijt en die de DNA-structuur beschadigen.

Die slaaptoestand blijkt de belangrijkste overlevingsstrategie voor korstmossen te zijn, maar ze beschikken ook nog over andere. De taaiste korstmossensoorten hebben dikke weefsellagen die schadelijke straling blokkeren. Korstmossen maken bovendien meer dan duizend chemische stoffen aan die in geen enkele ande-

re levensvorm worden aangetroffen en waarvan sommige als een soort zonnebrand fungeren. Die chemische stoffen hebben ervoor gezorgd dat korstmossen in de loop der jaren allerlei relaties met mensen zijn aangegaan: als geneesmiddel (antibiotica), als parfum (eikenmos), als kleurstof (voor tweed, Schotse ruit en als lakmoes) en als eten; een korstmos is een van de belangrijkste ingrediënten van het kruidenmengsel garam masala. Veel schimmels die chemische stoffen aanmaken die van belang zijn voor de mens – waaronder de penicillinezwam – maakten eerder in hun evolutionaire geschiedenis deel uit van korstmossen, maar later niet meer. Volgens sommige onderzoekers kunnen enkele van die stoffen, waaronder penicilline, oorspronkelijk zijn geëvolueerd als afweerstrategie in oerkorstmossen en zijn ze de metabolische erfenis van die relatie.³³

Korstmossen zijn ‘extremofielen’: organismen die vanuit ons perspectief bezien in andere werelden kunnen leven. We kunnen niet bevatten wat extremofielen allemaal kunnen verdragen. Wanneer je monsters in vulkanische bronnen verzamelt, of in zeer hete fumarolen een kilometer onder het ijs van Antarctica, dan zie je dat extremofiele microben daar moeiteloos leven. Volgens recente berichten vanuit het Deep Carbon Observatory, een onderzoeksprogramma met als doel de rol van koolstof op aarde te doorgronden, leeft ruim de helft van alle bacteriën en archaea op de wereld – ‘binnenaards leven’ – kilometers onder het aardoppervlak, waar de druk en de hitte immens zijn. Die wereld onder het aardoppervlak is even gevarieerd als het regenwoud van de Amazone en er leven ontelbare tonnen microben met honderden keren het collectieve gewicht van alle mensen op aarde. Sommige zijn duizenden jaren oud.³⁴

Korstmossen zijn al even indrukwekkend. Dat ze verschillende soorten extreme omstandigheden kunnen weerstaan, maakt ze tot ‘polyextremofielen’. In de heetste en droogste delen van woestijnen tieren ze welig als een soort korst op de bloedhete bodem. Ze spelen een belangrijke ecologische rol in die omgeving, want ze stabiliseren de zanderige bodem, waardoor ze stofstormen en verdere verwoestijning tegengaan. Sommige korstmossen groeien in spleten of poriën in vast gesteente. De auteurs van een artikel over de aanwezigheid van korstmossen in brokken graniet erkennen dat

ze geen idee hebben hoe die daar überhaupt terechtgekomen zijn. Verschillende soorten korstmossen doen het goed in de Dry Valleys op Antarctica, waar omstandigheden heersen die lijken op die van Mars. Lange perioden met extreem lage temperaturen, hoge uv-straling en het nagenoeg ontbreken van water lijkt ze niet te deren. Zelfs een bad in vloeibare stikstof van 195 graden onder nul komen ze snel weer te boven. En korstmossen worden veel ouder dan de meeste organismen. Het korstmos dat het record in handen heeft, komt voor in het Zweedse deel van Lapland en is meer dan negenduizend jaar oud.³⁵

In de toch al curieuze wereld van extremofielen zijn korstmossen om twee redenen ongewoon. Ten eerste zijn het complexe meer-cellige organismen, ten tweede zijn ze het resultaat van symbiose. De meeste extremofielen hebben niet zo'n geavanceerde bouw en houden er niet zulke langdurige relaties op na. Dat is een van de redenen waarom korstmossen zo interessant zijn voor astrobiologen. Een korstmos in de ruimte is een compact bundeltje leven: een compleet, reizend ecosysteem. Is er een organisme denkbaar dat beter geschikt is voor interplanetaire reizen?³⁶

Hoewel met verschillende onderzoeken is aangetoond dat korstmossen in de ruimte kunnen overleven en dus tussen planeten kunnen worden vervoerd, zouden ze nog twee extra beproevingen moeten kunnen doorstaan. De eerste is de schok waarmee ze door de inslag van een meteoriet van een planeet worden weggeslingerd. De tweede is de terugkeer in de atmosfeer van een planeet. Dat zijn allebei grote gevaren. Toch wordt de schok van een inslag ze waarschijnlijk niet fataal. In 2007 toonden onderzoekers aan dat korstmossen bestand waren tegen schokgolven van 10 tot 50 gigapascal, honderd tot vijfhonderd keer meer dan de druk op de bodem van de Marianentrog, de diepste plek op aarde. Dat ligt binnen de orde van grootte van de druk die stenen te verduren krijgen wanneer ze met ontsnappingssnelheid worden gelanceerd door een meteorietinslag op Mars.

Terugkeren in de atmosfeer van een planeet lijkt een groter probleem. In 2007 werden gesteentemonsters met bacteriën en korstmossen bevestigd aan het hitteschild van een ruimtecapsule die in de dampkring terugkeerde. Terwijl de capsule de dampkring betrad,

stonden de monsters een halve minuut lang bloot aan temperaturen van meer dan tweeduizend graden. Het gesteente smolt gedeeltelijk en stolde weer in een andere vorm. Toen de overblijfselen werden onderzocht, viel er geen levende cel te bekennen.³⁷

Dat resultaat schrikt astrobiologen niet af. Sommigen denken dat levensvormen die diep in grote meteorieten verborgen zitten tegen zulke extreme omstandigheden bestand zijn. Anderen wijzen erop dat het meeste materiaal dat vanuit de ruimte op aarde terecht komt micrometeorieten zijn, een soort ruimtestof. Zulke kleine deeltjes hebben minder last van wrijving en lage temperaturen wanneer ze de atmosfeer betreden en kunnen waarschijnlijk veiliger dan ruimtecapsules levensvormen de atmosfeer binnen brengen. Zoals sommige onderzoekers opgewekt constateren: de kwestie is onbeslist.³⁸

Niemand weet wanneer de eerste korstmossen ontstonden. De oudste fossielen zijn maar iets meer dan vierhonderd miljoen jaar oud, maar het kan zijn dat er voor die tijd korstmosachtige organismen op aarde voorkwamen. Korstmossen hebben zich sindsdien onafhankelijk van elkaar tussen de negen en twaalf keer ontwikkeld. Tegenwoordig vormt één op de vijf bekende schimmelsoorten korstmossen. Sommige schimmels (zoals *Penicillium*-zwammen) 'korstmosten' ooit, maar doen dat nu niet meer: ze zijn ontkorstmost. Sommige schimmels zijn in de loop van hun evolutionaire geschiedenis op andere soorten fotosynthetische partners overgestapt: ze zijn herkorstmost. Voor sommige schimmels betekent korstmos worden dat ze voor een bepaalde levensstijl kiezen. Ze doen dat wel of niet, afhankelijk van de omstandigheden.³⁹

Het blijkt dat schimmels en algen zich bij het minste geringste verenigen. Kweek allerlei soorten vrij levende schimmels en algen door elkaar en binnen een paar dagen gaan ze een wederzijds bevorderlijke symbiose aan. Het lijkt niet uit te maken welke soorten schimmels en algen het zijn, er ontstaan compleet nieuwe symbiotische relaties binnen de tijd die nodig is om een wondje te laten genezen. Dat opmerkelijke resultaat, een zeldzaam inkijkje in de 'geboorte' van nieuwe symbiotische relaties, werd in 2014 gepubliceerd door onderzoekers van Harvard University. Toen schimmels

en algen samen werden gekweekt, zag het resultaat eruit als zachte groene balletjes. Het waren niet de uitzinnige korstmossen zoals Ernst Haeckel en Beatrix Potter ze tekenden, maar ze hadden dan ook niet miljoenen jaren in elkaars gezelschap doorgebracht.⁴⁰

Toch kan niet elke schimmel met elke alg samengaan. Er moet aan een belangrijke voorwaarde voor een symbiotische relatie worden voldaan: elke partner moet iets kunnen wat de andere niet op eigen kracht kan. De identiteit van de partner doet er minder toe dan zijn ecologische geschiktheid. Om het met evolutietheoreticus W. Ford Doolittle te zeggen: 'niet de zanger, maar het lied' is belangrijk. Dat gegeven werpt licht op het vermogen van korstmossen om extreme omstandigheden te doorstaan. Goward wijst erop dat de korstmossen naar hun aard een 'moetje' zijn, dat zich voordoet wanneer de omstandigheden voor beide partners te zwaar worden. Wanneer de eerste korstmossen ook ontstonden, alleen al het feit dat ze bestaan wijst erop dat het leven voor beide partners zwaar was, dat ze samen een metabolisch 'lied' konden zingen waar ze in hun eentje niet toe in staat waren. Zo beschouwd is de extremofilie van korstmossen, hun vermogen om te leven op het scherp van de snede, zo oud als zijzelf en een rechtstreeks gevolg van hun symbiotische manier van leven.⁴¹

Je hoeft niet naar de Dry Valleys op Antarctica of naar een onderzoeksstation waar de omstandigheden op Mars worden nagebootst om de extremofilie van korstmossen in actie te zien. Je kunt prima met de meeste kustlijnen uit de voeten. Aan de rotskust van British Columbia sprong de taaiheid van korstmossen me het meest in het oog. Op ruim dertig centimeter boven de zeepokken, net boven de lijn van de hoogste waterstand, loopt een soort zwarte smeer in een band van ruim een halve meter hoog over het gesteente. Van dichtbij lijkt hij op droge, gebarsten teer op een kade. De band volgt de hele kustlijn en is belangrijk voor ons wanneer we rond de eilanden varen. We gebruiken hem wanneer we voor anker gaan, om het tij te kunnen inschatten; hij geeft met zekerheid aan hoe hoog het water maximaal komt. Hij markeert het droge land.

De zwarte band is een korstmossensoort, hoewel je niet zou zeggen dat het een levend organisme is. De bouw ervan is allesbehalve complex. Maar langs een groot deel van de noordelijke westkust van

Noord-Amerika is deze soort, *Hydropunctaria maura* of zwarte zee-stippelkorst, het eerste organisme dat leeft buiten het bereik van de golven. Kijk naar hoogtijlijnen overal ter wereld en je ziet iets vergelijkbaars. De meeste kustlijnen met rotsen hebben een rand van korstmoss. De korstmossen beginnen waar het zeewier ophoudt, en sommige lopen het water in. Wanneer er na een vulkaanuitbarsting een nieuw eiland in een oceaan ontstaat, groeien er als eerste korstmossen op het kale gesteente, die als sporen of fragmentjes door de wind of door vogels worden meegevoerd. Hetzelfde gebeurt wanneer een gletsjer zich terugtrekt. Dat korstmossen op zulk maagdelijk gesteente voorkomen is een variatie op het thema van de panspermie. Die kale oppervlakken zijn ongastvrije eilanden, oorden die voor de meeste organismen niet zijn weggelegd. Kaal, geteisterd door intense straling en ten prooi aan zwaar weer en hevige temperatuurschommelingen, hadden het net zo goed andere planeten kunnen zijn.⁴²

In korstmossen lossen organismen op tot een ecosysteem en klonten ecosystemen samen tot organismen. Ze schieten heen en weer tussen 'gehelen' en 'verzamelingen van delen'. Het is verwarrend om tussen die beide perspectieven te wisselen. Het woord 'individueel' komt uit het Latijn en betekent 'ondeelbaar'. Is een korstmoss als geheel een individu? Of zijn de samenstellende delen individuen? Is dat zelfs wel de juiste vraag? Korstmossen zijn niet zozeer een product van de samenstellende delen als wel een uitwisseling tussen die delen. Het zijn stabiele netwerken van relaties; ze houden nooit op korstmoss te worden, en zijn zowel werkwoord als zelfstandig naamwoord.⁴³

Lichenoloog Toby Spribille uit Montana is zo iemand die zich opwindt over zulk hokjesdenken. In 2016 publiceerde hij met enkele collega's een artikel in het tijdschrift *Science*, waarmee ze het tapijt onder de duale hypothese vandaan trokken. Spribille beschreef een nieuwe schimmel die behoorde tot van een van de belangrijkste evolutionaire stambomen van korstmossen, een schimmelpartner die tot dan toe niet was opgemerkt, ondanks anderhalve eeuw nauwgezet onderzoek.⁴⁴

Spribille deed zijn ontdekking bij toeval. Een vriend daagde hem uit een korstmoss te vermalen en de volgorde van het DNA van

alle samenstellende organismen te bepalen. Spribille dacht dat de uitkomst al bij voorbaat vaststond: ‘De literatuur was duidelijk,’ zei hij. ‘Er konden maar twee partners zijn.’ Maar hoe beter hij keek, des te duidelijker bleek dat het er geen twee waren. Elke keer wanneer hij een korstmos van die soort analyseerde, trof hij extra organismen aan naast de verwachte schimmel/alg-combinatie. ‘Ik brak me lange tijd het hoofd over die “besmettende” organismen,’ zei hij, ‘totdat ik ervan overtuigd raakte dat er geen korstmossen zonder “besmetting” bestonden en we ontdekten dat de “besmetters” opvallend consistent waren. Hoe beter we keken, hoe meer ze de regel bleken en niet de uitzondering.’

Onderzoekers vermoeden al heel lang dat korstmossen extra symbiotische partners hebben. Tenslotte hebben korstmossen geen microbioom. Ze zijn *zelf* microbiomen die naast de twee vaste partners barsten van de schimmels en bacteriën. Toch werden er tot 2016 geen nieuwe, stabiele partnerschappen beschreven. Een van de ‘besmetters’ die Spribille ontdekte – een eencellige gist – bleek niet zomaar een tijdelijke bewoner. Hij wordt aangetroffen in korstmossen op zes continenten en levert een zo belangrijke bijdrage aan hun fysiologie dat ze er als totaal verschillende soorten uitzien. De gistsoort was een belangrijke derde partner in de symbiose. De baanbrekende ontdekking van Spribille was nog maar het begin. Twee jaar later ontdekte hij met zijn team dat *Letharia vulpina* – een van de meest bestudeerde korstmossen – een vierde schimmelpartner bevat. De identiteit van korstmossen raakt daarmee nog verder versnipperd. Toch is ook dat nog een versimpelde voorstelling van zaken, vertelde Spribille me. ‘Het is oneindig veel ingewikkelder dan we tot nu toe beschreven hebben. De “basisset” van partners verschilt in elke korstmossengroep. Sommige hebben meer bacteriën, andere minder; sommige hebben één gistsoort, andere twee, weer andere niet één. Het interessante is dat we het korstmos dat voldoet aan de definitie van één schimmel en één alg nog moeten vinden.’⁴⁵

‘Wat doen al die extra partners eigenlijk in een korstmos?’ vroeg ik. ‘Dat weten we niet precies,’ antwoordde Spribille. ‘Elke keer als we proberen uit te zoeken wie wat doet, wordt het alleen maar ingewikkelder. In plaats van de rolverdeling vast te stellen, vinden we steeds meer partijen. Hoe dieper we graven, hoe meer we vinden.’

De ontdekkingen van Spribille verontrusten sommige onderzoekers omdat ze doen vermoeden dat de korstmossensymbiose niet zo 'onwrikbaar' is als gedacht. 'Er zijn mensen die symbiose beschouwen als een soort Ikea-pakket,' aldus Spribille, 'met duidelijke losse onderdelen en functies en een volgorde waarin het in elkaar moet worden gezet.' Zijn resultaten doen inderdaad vermoeden dat een waaier aan verschillende spelers korstmossen kunnen vormen, die elkaar 'alleen maar een duwtje in de gewenste richting' hoeven te geven. Het gaat niet zozeer om de identiteit van de 'zangers' in het korstmos, het gaat er veel meer om wat ze doen: het metabolische 'lied' dat elk van hen zingt. Zo beschouwd zijn korstmossen dynamische *systemen* in plaats van een lijst van op elkaar inwerkende componenten.

Dat beeld wijkt sterk af van de duale hypothese. Sinds Schwen deners beeld van de schimmel en de alg als meester en slaaf bakkeleien biologen over de vraag welke partner de andere de baas is. Maar nu is het duet een trio geworden, het trio een kwartet, en klinkt dat kwartet meer als een koor. Spribille lijkt zich er niet druk om te maken dat het onmogelijk is om een eenvoudige, onwrikbare definitie van een korstmos te geven. Goward komt daar geregeld op terug en geniet van de absurditeit daarvan: 'Een hele onderzoekstak die niet kan definiëren wat hij bestudeert?' 'Het maakt niet uit hoe je ze noemt,' schrijft Hillman. 'Iets wat tegelijk zo radicaal én gewoon is staat ergens voor.' Al ruim een eeuw staan korstmossen voor van alles en nog wat, en ze zullen waarschijnlijk ons beeld van levende organismen op losse schroeven blijven zetten.⁴⁶

Intussen onderzoekt Spribille enkele veelbelovende nieuwe aanwijzingen. 'Korstmossen zitten barstensvol bacteriën,' vertelde hij. Ze bevatten er zelfs zoveel dat sommige onderzoekers denken – weer een variant op het panspermiethema – dat ze dienen als reservoir van microben die ongerepte leefomgevingen voorzien van cruciale bacteriesoorten. Sommige bacteriën in korstmossen zorgen voor afweer, andere maken vitaminen en hormonen aan. Spribille vermoedt dat ze nog veel meer doen. 'Ik denk dat er maar een paar van die bacteriën nodig zijn om het hele korstmossensysteem bij elkaar te houden en dat die uiteindelijk leiden tot een bouw die meer is dan een klodder in een petrishaaltje.'⁴⁷

Spribille vertelde me over een artikel dat ‘Queer theory for lichens’ heet: ‘Je vindt het meteen als je googelt op “queer” en “lichens”’. De auteur beweert dat korstmossen *queer* zijn en dat ze ons daarom buiten het hokje van het binaire kader kunnen leren denken: de identiteit van korstmossen is eerder een vraag dan een vaststaand antwoord. Op zijn beurt vindt Spribille de queertheorie een toepasselijk kader voor korstmossen. ‘Onze binaire manier van kijken maakt het lastig om vragen te stellen die niet tweeledig zijn,’ legde hij uit. ‘Onze beperkte opvattingen over seksualiteit maken het lastig om vragen over seksualiteit te stellen, enzovoort. We stellen vragen vanuit het perspectief van onze culturele context. En dat maakt het erg lastig om vragen te stellen over de complexe symbiose van korstmossen, want we beschouwen onszelf als autonome individuen en kunnen ons die symbiose moeilijk voorstellen.’⁴⁸

Spribille omschrijft korstmossen als de meest ‘extraverte’ van alle symbiosevormen. Maar we kunnen elk organisme – ook de mens – niet langer los zien van de microbiële gemeenschappen waarmee het zijn lichaam deelt. De biologische identiteit van de meeste organismen valt samen met het leven van hun microbiële symbionten. Het woord ‘ecologie’ komt van het Griekse *oikos*, ‘huis’, ‘huishouden’ of ‘verblijfplaats’. Ons lichaam, en dat van alle andere organismen, is een verblijfplaats. Het leven is een en al geneste biomen.

We kunnen niet op anatomische grondslag worden gedefinieerd, want we delen ons lichaam met microben en bestaan zelfs uit meer microbiële cellen dan die van ‘onszelf’. Zo kunnen koeien geen gras eten, maar worden ze daartoe in staat gesteld dankzij hun bioom. Koeien zijn zo geëvolueerd dat ze de microben ‘huisvesten’ waar ze voor hun voortbestaan van afhankelijk zijn. We kunnen evenmin worden gedefinieerd in termen van onze ontwikkeling, als een organisme dat voortkomt uit de bevruchting van een dierlijke eikel, want net als alle andere zoogdieren zijn we voor de regie van verschillende onderdelen van ons ontwikkelingsprogramma afhankelijk van onze symbiotische partners. Ook kunnen we onszelf niet in genetische zin definiëren, als lichamen die bestaan uit cellen met een identiek genoom. Veel van onze symbiotische microbiële partners hebben we samen met ‘ons’ DNA van onze moeder geërfd, en op bepaalde momenten in onze evolutionaire geschiedenis hebben

microbiële partners zich permanent genesteld in de cellen van hun gastheer. Onze mitochondriën hebben een eigen genoom, net als de bladgroenkorrels van planten, en minstens acht procent van het menselijk genoom is ontstaan in virussen. (We kunnen zelfs cellen met andere mensen ruilen wanneer we een zogeheten chimeer worden. Een chimeer ontstaat in de baarmoeder wanneer de moeder en haar foetus cellen of genetisch materiaal uitwisselen.) Ook kan ons immuunsysteem niet als maatstaf voor individualiteit worden genomen, hoewel onze afweercellen vaak worden beschouwd als antwoord op de vraag wat 'eigen' is en 'niet eigen'. Immuunsystemen zijn even druk met het onderhouden van de betrekkingen met onze 'eigen' microben als met het afweren van indringers en lijken te zijn geëvolueerd om kolonisatie door microben mogelijk te maken in plaats van te voorkomen. Dus wat blijft er helemaal van ons over? Of van 'jullie'?⁴⁹

Sommige wetenschappers gebruiken het begrip 'holobiont' voor een samenstel van verschillende organismen die zich als eenheid gedragen. Het woord stamt van het Griekse *holos*, dat 'geheel' betekent. Holobionten zijn de korstmossen van deze wereld, zijn meer dan de optelsom van hun delen. Net als 'symbiose' en 'ecologie' is 'holobiont' een woord dat nuttig werk doet. Als we alleen woorden zouden hebben die strak afgebakende, autonome individuen zouden beschrijven, dan zouden we maar al te gemakkelijk denken dat alleen die bestaan.⁵⁰

De holobiont is geen utopisch concept. Samenwerking is altijd een mengeling van wedijver en medewerking. Er zijn ettelijke voorbeelden waarin de belangen van alle symbionten niet met elkaar overeenstemmen. Een bacteriesoort in ons darmstelsel kan een belangrijke rol spelen in de spijsvertering, maar een dodelijke infectie veroorzaken wanneer hij in ons bloed terechtkomt. Dat is een vertrouwd idee. Een gezin kan als een gezin functioneren, een jazzformatie op tournee kan een fantastisch concert geven, en toch kunnen ze allebei geladen zijn met spanning.⁵¹

Misschien is het uiteindelijk helemaal niet zo moeilijk om ons tot korstmossen te verhouden. Hun manier van relaties opbouwen voldoet aan een van de oudste stelregels van de evolutie. Als het woord 'cyborg' – voor 'cybernetisch organisme' – de fusie beschrijft

tussen een levend organisme en een stuk technologie, dan zijn wij, net als alle andere levensvormen, 'symborgs': symbiotische organismen. De auteurs van een invloedrijk artikel over een symbiotische kijk op het leven nemen wat dat betreft een glashelder standpunt in. 'Er hebben nooit individuen bestaan,' verklaren ze. 'Wij zijn allen korstmossen.'⁵²

Wanneer we op de Caper zeilen, maken we gebruik van zeekaarten. Daarop zijn de vertrouwde rollen van zee en land omgedraaid. De landmassa is weergegeven met grote stukken wit of beige. Het water wemelt van contouren en aanwijzingen, die samendrommen rond rotsen. Anonieme stukjes land zijn ingevlochten tussen zich vertakkende of samenvoegende zeewegen. De zee beweegt zich onvoorspelbaar door het netwerk van waterwegen. Sommige engten kun je alleen op bepaalde tijden van de dag bevaren. Wanneer het tij een gevaarlijke, nauwe engte in jaagt, komen de stromingen samen in een anderhalve meter hoge staande golf: een zichzelf in stand houdende watermuur. In een wel heel verraderlijke doorgang tussen twee eilanden veroorzaken de getijden vijftien meter diepe draaikolken die drijvende boomstammen de diepte in zuigen.

De rand van veel van die zeewegen bestaat uit gesteente. Granieten kliffen dalen af naar zee. Bomen hellen voorover, vallen in slow motion. Langs de kust worden bomen, mos en korstmossen weggespoeld door het water, waardoor rotsen en richels bloot komen te liggen, vele met de krassen van het gletsjerijs er nog op. Je vergeet niet gauw dat een groot deel van het land bestaat uit hard gesteente dat langzaam vergaat. Ongelijkmatige richels gaan langzaam over in steile diepten. Mijn broer en ik slapen vaak op die richels. Overal zijn korstmossen, en mijn gezicht zit onder wanneer ik wakker word. Dagen later vind ik nog stukjes in mijn broekzakken. Ik voel me net een meteoriet als ik die binnenste buiten keer en vraag me af hoeveel van die stukjes voor nieuw leven zullen zorgen op de onvermoede plekken waar ze zich nu bevinden.

- 1 Rich (1994).
- 2 Naast BIOMEX bestaan er verschillende andere astrobiologische projecten. Zie voor BIOMEX De Vera et al. (2019) en voor EXPOSE Rabbow et al. (2009).
- 3 Zie voor het citaat over de 'grenzen en beperkingen' Sancho et al. (2008). Zie voor een bespreking van organismen die de ruimte in zijn gestuurd, waaronder korstmossen, Cottin et al. (2017). Zie voor korstmossen als modelorganisme voor astrobiologisch onderzoek Meeßen et al. (2017) en De la Torre Noetzel et al. (2018).
- 4 Wulf (2015), hoofdstuk 22.
- 5 Zie voor een bespreking van Schwendener en de duale hypothese Sapp (1994), hoofdstuk 1.
- 6 Sapp (1994), hoofdstuk 1; zie voor de 'sensationele romantiek' Ainsworth (1976), hoofdstuk 4. Sommigen van de biografen van Beatrix Potter denken dat ze een aanhanger was van Schwendeners dubbele hypothese en dat ze later in haar leven mogelijk van gedachten is veranderd. Maar in een brief uit 1897 aan Charles MacIntosh, een plaatselijke postbode en amateurbioloog, bleek ze een duidelijk standpunt in deze kwestie in te nemen: 'U zult me geloven niet in de theorie van Schwendener, en volgens de oude boeken veranderen de korstmossen geleidelijk via hepatica [leverbloempjes] in soorten met bladeren. Ik zou heel graag sporen van een van die grote platte korstmossen kweken en ook die van een echte hepatica om de beide groeiwijzen te vergelijken. De namen doen er niet toe, want ik kan ze drogen. Wanneer u me nog wat sporen van de korstmos en de hepatica zou kunnen bezorgen zodra het weer omslaat, ben ik u zeer erkentelijk.' (Kroken [2007]).
- 7 De boom is een van de belangrijkste metaforen uit moderne evolutietheorieën en zoals bekend de enige illustratie in Darwins *Het ontstaan van soorten*. Darwin was zeker niet de eerste die de illustratie gebruikte. Eeuwenlang bood de zich vertakkende bouw van bomen een denkkader voor disciplines van theologie tot wiskunde. Het bekendst is waarschijnlijk de stamboom, waarvan de wortels teruggaan tot het Oude Testament (de Boom van Jesse).
- 8 Zie voor een bespreking van de manier waarop Schwendener korstmossen voorstelde Sapp (1994), hoofdstuk 1, en Honegger (2000). Zie voor Albert Frank en 'symbiose' Sapp (1994), hoofdstuk 1, Honegger (2000) en Sapp (2004). Frank gebruikte voor het eerst het woord 'Symbiotismus' (symbiotisme).
- 9 Voorouders van groene zeeslakken – *Elysia viridis* – namen algen op in hun weefsel. Groene zeeslakken halen hun energie uit zonlicht, zoals een plant. Zie voor nieuwe symbiotische ontdekkingen Honegger (2000), voor 'dierlijke korstmossen' Sapp (1994), hoofdstuk 1, en voor 'microkorstmossen' Sapp (2016).
- 10 Zie voor het citaat van Huxley Sapp (1994), p. 21.
- 11 Zie voor de schatting van acht procent Ahmadij (1995) en voor gebied groter dan het tropisch regenwoud Moore (2013a), hoofdstuk 1. Zie voor 'hangen als hashtags' Hillman (2018), voor de diversiteit van leefomgeving van korstmossen, waaronder vrij levende korstmossen en korstmossen die op insecten leven, Seaward (2008), en voor het interview met Knudsen aeon.co/videos/how-isd-helped-ascientist-find-beauty-in-a-peculiar-and-overlooked-form-of-life [geraadpleegd op 29 oktober 2019].
- 12 Zie voor het citaat van Milne twitter.com/GlamFuzz [geraadpleegd op 29 oktober 2019], voor Mount Rushmore Perrotet (2006) en voor de beelden op Paaseiland www.theguardian.com/world/2019/mar/01/easter-island-statues-leprechaun [geraadpleegd op 29 oktober 2019].
- 13 Zie voor de manier waarop korstmossen voor ververing zorgen Chen et al. (2000), Seaward (2008) en Porada et al. (2014). Zie voor korstmossen en bodemvorming Burford et al. (2003).
- 14 Zie voor de geschiedenis van panspermie en aanverwante ideeën Temple (2007) en Steele et al. (2018).
- 15 In reactie op Lederbergs bezorgdheid over interplanetaire besmetting ontwikkelde NASA methoden om ruimtevaartuigen te steriliseren voordat ze van de aarde vertrokken. Die waren geen groot succes: er bestaat een doelbewust gecreëerde, bloeiende bacteriën- en schimmelpopulatie aan boord van het ISS (Novikova et al. [2006]). Toen de Apollo-11-missie in 1969 terugkeerde van de eerste reis naar de maan, werden de astronauten drie weken lang in quarantaine gehouden in een omgebouwde Airstream-caravan (Scharf [2016]).
- 16 Het was al bekend dat bacteriën DNA uit hun omgeving kunnen opnemen sinds het werk van Frederick Griffith uit de jaren twintig, dat begin jaren veertig werd bevestigd door Oswald Avery en enkele van zijn collega's. Lederberg toonde aan dat bacteriën actief genenmateriaal met elkaar kunnen uitwisselen, een proces dat bekendstaat als 'conjugatie'. Zie voor een bespreking van Lederbergs ontdekking Lederberg (1952), Sapp (2009), hoofdstuk 10, en Gontier (2015b). Het DNA van virussen heeft grote invloed uitgeoefend op de geschiedenis van dierlijke leven. Men denkt dat virussen een belangrijke rol hebben gespeeld in de evolutie van zoogdieren met een placenta uit voorouders die eieren legden (Gontier [2015b] en Sapp [2016]).
- 17 DNA van bacteriën is aangetroffen in het genoom van dieren (zie voor een algemene bespreking Yong [2016], hoofdstuk 8), DNA van bacteriën en schimmels in de genomen van planten en algen (Pennisi [2019a]) en DNA van schimmels in algen die korstmossen vormen (Beck et al. [2015]). Horizontale genenoverdracht komt veelvuldig voor onder schimmels (Gluck-Thaler en Slot [2015]), Richards et al. [2011] en Milner et al. [2019]). Minstens acht procent van het menselijk genoom begon ooit in virussen (Horie et al. [2010]).
- 18 Zie voor buitenaards DNA dat de evolutie op aarde 'kortsluit' Lederberg en Cowie (1958).
- 19 Zie voor vijfandige omstandigheden in de ruimte De la Torre Noetzel et al. (2018).
- 20 Sancho et al. (2008).
- 21 Zelfs bij achten kilogram nam de fotosynthese van de *Circinaria gyrosa*-monsters met maar zeventig procent af. Bij vierentwintig kilogram nam de fotosynthetische activiteit met vijftien procent af, maar was die nog niet volledig geëlimineerd (Meeßen et al. [2017]). Om die resultaten in perspectief te plaatsen: een van de meest stralingstolerante organismen ooit, een oerbacterie die werd geïsoleerd uit een fumarole diep in zee (de precieze naam luidt *Thermococcus gammatolerans*), kan gammastraling van dertig kilogram weerstaan (Jolivet et al. [2003]). Zie voor een samenvatting van onderzoeken naar korstmossen in de ruimte Cottin et al. (2017), Sancho et al. (2008) en Brandt et al. (2015). Zie voor de effecten van hoge stralingsdoses op korstmossen Meeßen et al. (2017), Brandt et al. (2017) en De la Torre et al. (2017). Zie voor beertijsjes in de ruimte Jönsson et al. (2008).
- 22 Korstmossen 'verschaffen' sommige disciplines geregeld 'informatie'. Ze zijn zo gevoelig voor bepaalde vormen van vervuiling door de industrie dat ze als betrouwbare indicatoren voor de luchtkwaliteit worden gebruikt: 'korstmossenvlaktes' onder de rook van verstedelijkt gebied kunnen worden gebruikt om vervuild gebied in kaart te brengen. In sommige gevallen dienen korstmossen als indicatoren in meer letterlijke zin. Geologen gebruiken ze om de ouderdom van rotsformaties te bepalen (een discipline die bekendstaat als lichenometrie). Lakmoes, de pH-gevoelige kleurstof die in elk practicumlokaal op middelbare scholen wordt gebruikt, is afkomstig van een korstmos.
- 23 Recent werk van Thijs Ettema en zijn onderzoeksgroep aan Uppsala University doet vermoeden dat eukaryoten zijn ontstaan binnen oerbacteriën (archaea). Over de precieze volgorde van de gebeurtenissen wordt nog stevig gediscussieerd (Eme et al. [2017]). Van bacteriën werd lang gedacht dat ze geen inwendige celorganen of 'organellen' hadden. Dat beeld is aan het kantelen. Veel bacteriën blijken over organelachtige weefsels te beschikken die gespecialiseerde functies uitvoeren. Zie voor een bespreking Cepelwicz (2019).
- 24 Margulis (1999); Mazur (2009), 'Intimacy of Strangers and Natural Selection'.
- 25 Zie voor 'fusie en versmelting' Margulis (1996) en voor de oorsprong van endosymbiose Sapp (1994), hoofdstukken 4 en 11. Zie voor het citaat van Stanier Sapp (1994), p. 179, en voor de 'theorie van seriële endosymbiose' Sapp (1994), p. 174. Zie voor bacteriën binnen bacteriën binnen insecten Blublitz et al. (2019). En zie voor het oorspronkelijke artikel van Margulis (gepubliceerd onder de naam Sagan) Sagan (1967).
- 26 Zie voor 'heel goed vergelijkbaar' Sagan (1967) en voor 'opmerkelijke voorbeelden' Margulis (1981), p. 167. Voor De Bary was in 1879 de belangrijkste implicatie van symbiose dat die tot evolutionaire vernieuwing kon leiden (Sapp [1994], p. 9). 'Symbiogenese' ('ontstaan door samen te leven') was de term die de Russen Konstantin Merezhkovski (1855-1921) en Boris Michailovitsj Kozo-Poljanski (1890-1957) muntten voor het proces waarbij door middel van symbiose nieuwe soorten kunnen ontstaan (Sapp [1994], pp. 47-48). Kozo-Poljanski nam verschillende verwijzingen naar korstmossen op in zijn werk. 'Men denke niet dat korstmossen slechts een eenvoudige optelsom zijn van bepaalde algen en schimmels. Ze kunnen juist specifieke eigenschappen hebben die in geen van beide worden aangetroffen [...] in alles – de chemie, de vorm, de bouw, het leven, de verspreiding – vertoont het samengestelde korstmos nieuwe eigenschappen die de samenstellende delen niet vertonen' (Kozo-Poljanski, vert. [2010], pp. 55-56).
- 27 Zie voor de citaten van Dawkins en Dennett, onder andere, Margulis (1996).
- 28 'De evolutionaire "levensstamboom" lijkt een verkeerde metafoor, merkte geneticus Richard Lewontin op. 'Misschien moeten we het leven eerder zien als een grote lap macramé', (Lewontin [2001]). Dat is niet helemaal eerlijk tegenover bomen. De takken van sommige bomen kunnen met elkaar samengaan, een proces dat 'inosculatie' heet, van het Latijnse *osculare*, 'kussen'. Maar kijk eens naar de boom het dichtst bij je in de buurt. De kans is groot dat die zich vertakt in plaats van inosculereert. De takken van de meeste bomen lijken niet op hyfen, waarvoor samengaan dagelijkse kost is. Of de boom een geschikte metafoor voor de evolutie is, is al tientallen jaren onderwerp van debat. Darwin vroeg zich af of 'het koraal van het leven' geen beter beeld was, hoewel hij uiteindelijk vond dat

- dat het 'nodeloos ingewikkeld' zou maken (Gontier [2015a]). In 2009, tijdens een van de felste debatten over de bomenkwestie, kwam *New Scientist* met een nummer met de kop: 'Darwin had ongelijk!'. 'Darwins boom ontworteld': gilte het redactioneel commentaar. Het was te verwachten dat het tot woedende reacties zou leiden (Gontier [2015a]). In de storm van verontwaardiging die opstak, sprong een brief van Daniel Dennett eruit: 'Wat dacht u eigenlijk toen u die schreeuwerige cover maakte met de kreet "Darwin had ongelijk"? Het is begrijpelijk dat Dennett zo boos was. Darwin had geen ongelijk. Hij kwam alleen met zijn evolutietheorie voordat bekend was dat er DNA, genen, symbiotische versmeltingen en horizontale genenoverdracht bestaan. Onze kennis van de geschiedenis van het leven is door die ontdekkingen veranderd. Maar Darwins centrale stelling, dat de evolutie voortschrijdt door middel van natuurlijke selectie, staat niet ter discussie, alleen de mate waarin die de drijvende kracht achter de evolutie is (O'Malley [2015]). Symbiose en horizontale genenoverdracht zijn nieuwe manieren om leven voort te brengen; ze zijn de nieuwe 'coauteurs' van de evolutie, maar natuurlijke selectie blijft de samensteller. Toch zijn veel biologen de levensstamboom vanwege symbiotische versmeltingen en horizontale genenoverdracht met andere ogen gaan zien, namelijk als een breisel dat wordt gevormd doordat takken zich splitsen, samengaan en zich verstrengelen in een 'netwerk', een 'net', een 'rhizoom' of een 'spinnennet' (Gontier [2015a] en Sapp [2009], hoofdstuk 21). De daarin aanwezige lijnen verknopen en verweven zich. Vanuit het breiwerk lopen vuren de wereld van virussen in en uit, genetische entiteiten die niet eens als levensvormen beschouwd. Mocht iemand op zoek zijn naar een nieuw organisme dat als uithangbord voor de evolutie kan dienen, dan hoeft hij niet ver te zoeken. Niets lijkt meer op dat beeld van het leven dan het mycelium van schimmels.
- 29 Bepaalde korstmossen vormen bepaalde organen, soralen. Soralen stoten sorëdiën uit, die bestaan uit schimmel- en algencellen. In sommige gevallen kan de zojuist ontsproten schimmel van een korstmos een band aangaan met een fotobiont die niet helemaal aan zijn behoeften voldoet en voortbestaat als 'fotosynthetisch vlekje', de 'prothallus', totdat de ware voorbijkomt (Goward [2009c]). Sommige korstmossen kunnen uit elkaar en weer in elkaar gaan zonder sporen voort te brengen. Wanneer sommige korstmossen samen met de juiste voedingsstoffen in een petrischaaltje worden gedaan, komen de partners los van elkaar en gaan uiteen. Wanneer ze eenmaal van elkaar zijn gescheiden, kunnen ze opnieuw een relatie aangaan (zij het een meestal onvolmaakte). In die zin zijn korstmossen reversibel. In enkele gevallen kan de honing dus zogezegd uit de yoghurt worden geroerd. Maar tot op heden zijn de partners van slechts één korstmossoort – muurkrijgkorst of *Endocarpon pusillum* – van elkaar gescheiden, los van elkaar opgekweekt en weer samengevoegd, waarna alle stadia in de ontwikkeling van het korstmos zich alsnog voordeden, zoals de vorming van vruchtbaar sporen, een proces dat 'spore-tot-spore-resynthese' wordt genoemd (Ahmadjian en Heikila [1970]).
- 30 De symbiotische aard van korstmossen brengt enkele interessante technische problemen met zich mee. Korstmossen waren lange tijd de nachtmerrie van taxonomen. Tegenwoordig worden ze vernoemd naar de naam van de schimmelpartner. Zo staat het korstmos dat ontstaat uit het verbond tussen de schimmel *Xanthoria parietina* en de alg *Trebouxia irregularis* bekend onder de naam *Xanthoria parietina* (groot dooieroom). En zo heet de combinatie van de schimmel *Xanthoria parietina* en de alg *Trebouxia arboricola* ook hetzelfde als de schimmel: *Xanthoria parietina*. Korstmossenamen zijn een synecdoche, want een deel fungeert als aanduiding voor een geheel (Spribille [2018]). Het huidige systeem impliceert dat het schimmelgedeelte van het korstmos het korstmos is. Maar dat is onjuist. Korstmossen ontstaan uit een verbond tussen twee verschillende levensvormen. 'Door korstmossen te beschouwen als schimmels', beklagt Goward zich, 'verlies je het hele korstmos uit het oog.' Goward [2009c]). Het is alsof chemici een verbinding met koolstof erin, van diamant tot methaan tot methamfetamine, 'koolstof' noemen. Je moet toegeven dat hun dan iets zou ontgaan. Dit is niet zomaar gemopper over semantiek. Iets een naam geven is erkennen dat het bestaat. Wanneer er ergens een nieuwe soort wordt ontdekt, wordt die 'beschreven' en krijgt ze een naam. En korstmossen hebben namen, meer dan genoeg zelfs. Lichenologen zijn geen taxonomische asceten. Alleen kerst de enige naam die ze kunnen geven af van het verschijnsel dat ze proberen te beschrijven. Het is een kwestie van taxonomie: biologie is gebouwd rond een taxonomisch systeem dat niet over de middelen beschikt om de symbiotische status van korstmossen te erkennen. Ze zijn letterlijk onnoembaar.
- 31 Sancho et al. (2008).
- 32 De la Torre Nietzel et al. (2018).
- 33 Zie voor de unieke samenstellende delen van korstmossen en het gebruik ervan door de mens Shukla et al. (2010) en *State of the World's Fungi* (2018). Zie voor de metabolische erfenis van korstmossenrelaties Lutzoni et al. (2001).
- 34 Zie voor een verslag van het Deep Carbon Observatory Watts (2018).
- 35 Zie voor korstmossen in woestijnen Salley en Viles (2005) en *State of the World's Fungi* (2018). Zie voor korstmossen in gesteente De los Rios et al. (2005) en Burford et al. (2003), voor Antarctic Dry Valleys Sancho et al. (2008), voor vloeibare stikstof Oukarroum et al. (2017) en voor de levensduur van korstmossen Goward (1995).
- 36 Sancho et al. (2008).
- 37 Zie voor de schok van het wegslingeren Sancho et al. (2008) en Cockell (2008). Volgens sommige onderzoeken zijn bacteriën beter bestand tegen hoge temperaturen en plotselinge grote drukverschillen dan korstmossen. Zie voor de terugkeer in de dampkring Sancho et al. (2008).
- 38 Sancho et al. (2008) en Lee et al. (2017).
- 39 Zie voor de oorsprong van korstmossen Lutzoni et al. (2018) en Honegger et al. (2012). Er is een levendig debat gaande over de identiteit van oeroude korstmosachtige fossielen en hun relatie met bestaande stambomen. Er zijn mariene korstmosachtige organismen van zeshonderd miljoen jaar geleden gevonden (Yuan et al. [2005]) en sommige onderzoekers beweren dat die een rol hebben gespeeld in de overgang van de voorlopers van korstmossen naar het land (Lipnicki [2015]). Zie voor de meervoudige evolutie van korstmossen en voor 'herkorstmossen' Goward (2009c). Zie voor ontkorstmossen Goward (2010) en voor optioneel korstmos worden Sélosse et al. (2018).
- 40 Hom en Murray (2014).
- 41 Zie voor 'niet de zanger, maar het lied' Doolittle en Booth (2017).
- 42 *Hydropunctaria maura* heette ooit *Verrucaria maura* ('zwarte wratachtige'). Zie voor een langetermijnstudie naar de komst van korstmossen op het nieuw ontstane eiland Surtsey www.anbg.gov.au/lichen/case-studies/surtsey.html [geraadpleegd op 29 oktober 2019].
- 43 Zie voor 'gehelen' en 'verzamelingen van delen' Goward (2009a).
- 44 Spribille et al. (2016).
- 45 Zie voor een bespreking van de diversiteit van schimmels in korstmossen Arnold et al. (2009) en voor extra partners in *Letharia vulpina* Tuovinen et al. (2019) en Jenkins en Richards (2019).
- 46 Zie voor 'Het maakt niet uit hoe je ze noemt' Hillman (2018). Goward heeft een definitie van korstmossen opgesteld die rekening houdt met de recente ontdekkingen: 'Het blijvende fysieke bijproduct van verkorstmossing, gedefinieerd als een proces aan de hand waarvan een niet-lineair systeem, dat bestaat uit een niet nader omschreven aantal taxa van schimmels, algen en bacteriën, leidt tot het ontstaan van een thallus [het gedeelte 'lichaam' van het korstmos], die wordt beschouwd als nieuwe eigenschap van de samenstellende delen' (Goward 2009b).
- 47 Zie voor korstmossen als reservoir voor microben Grube et al. (2015), Aschenbrenner et al. (2016), en Cernava et al. (2019).
- 48 Zie voor de queertheorie over korstmossen Griffiths (2015).
- 49 Zie Gilbert et al. (2012) voor een gedetailleerde uitleg van de manier waarop microben verschillende definities van biologische individualiteit in de war schoppen. Zie voor meer over microben en immuniteit McFall-Ngai (2007) en Lee en Mazmanian (2010). Sommige onderzoekers stellen alternatieve definities voor biologische individuen voor, gebaseerd op het 'gedeelte lot' van levende systemen. Zo vindt Frédéric Bouchard dat 'een biologisch individu een functioneel geïntegreerde entiteit is waarvan de integratie verband houdt met het gedeelte lot van het systeem wanneer het te maken krijgt met selectiedruk vanuit de omgeving' (Bouchard 2018).
- 50 Gordon et al. (2013) en Bordenstein en Theis (2015).
- 51 Zie voor infecties die door darmbacteriën worden veroorzaakt Van Tyne et al. (2019).
- 52 Gilbert et al. (2012).

© 2020 Merlin Sheldrake

© 2020 Nederlandse vertaling Nico Groen

Oorspronkelijke titel *Entangled Life. How Fungi Make Our Worlds, Change Our Minds, and Shape Our Futures*

Oorspronkelijke uitgeverij Random House

Omslagontwerp Marry van Baar/Lucas Heinrich

Omslagbeeld Tim O'Brien

Foto auteur Hanna-Katrina Jedrosz

Typografie binnenwerk Bart van den Tooren

Illustraties schimmels binnenwerk Collin Elder (<https://www.collinelder.com>),

2020, met inkt van van de geschubde inktzwam

Drukkerij Wilco

ISBN 978 90 450 3614 4

D/2020/0108/718

NUR 922/410

www.atlascontact.nl

Eerste druk oktober 2020

Tweede druk november 2020

Derde druk december 2020

Vierde druk maart 2021

Vijfde druk mei 2021

Zesde druk augustus 2021

Zevende druk januari 2022



notes:

ily cere- cahiers is a collection of texts (fragments). it is a branch of the collective *it is part of an ensemble*. these texts function as starting points for dialogues within our practice. we also love to share them with guests and visitors of our projects.

the first copy of *ily cere- cahier 6* was printed in september 2023

1	the artist as producer in times of crisis	okwui enwezor
2	the carrier bag theory of fiction	ursula k. le guin
3	arts of noticing	anna lowenhaupt tsing
4	whatever & bartleby	giorgio agamben
5	notes toward a politics of location	adrienne rich
6	the intimacy of strangers	merlin sheldrake
7	the zero world	achille mbembe
8	why do we say that cows don't do anything?	vinciane despret
9	nautonomat operating manual	raqs media collective
10	on plants, or the origin of our world	emanuele cocchia
11	hydrofeminism: or, on becoming a body of water	astrida neimanis
12	the gift and the given	eduardo viveiros de castro
13	the three figures of geontology	elizabeth a. povinelli
14	what lies beneath	george monbiot

www.ilycere-cahiers.com

www.itispartofanensemble.com

www.naipattaofficial.com

