

ily cere-
cahier

de wereld onder
onze voeten
george monbiot

ily cere- cahier 14
a part of:

REGENESIS

VOEDSEL VOOR IEDEREEN
ZONDER
DE PLANEET TE VERSLINDEN

GEORGE MONBIOT

STARFISH BOOKS

1 DE WERELD

ONDER ONZE VOETEN

Het is een heerlijke plek voor een boomgaard, maar je moet er geen fruit willen telen. Hier, midden in Engeland, is de zee te ver weg om de fruitbomen nog enige bescherming te kunnen bieden tegen late vorst in het voorjaar. Ijskoude lucht stroomt als water, maar niet hier op dit vlakke terrein ingedamd door rijen huizen. Hier blijft de vrieslucht hangen, hoopt zich op en dompelt de boomgaard in de kou.

Elk jaar wanneer de bomen gaan bloeien en de knoppen open gaan, veert ook mijn hoop op. Maar zowat elke twee op de drie jaar vervliegt mijn hoop ook weer samen met de bloesem. De vorst slingert zich om de bomen als een giftig gas en dan verschrompelen de meeldraden en worden zwart.

Tegen de herfst is de boomgaard een levende grafiek van de temperaturen in het voorjaar. Verschillende appelvariëteiten bloeien op verschillende maar wel steeds dezelfde momenten. Wanneer de vorst niet al te streng is, raken alleen de ontloken knoppen beschadigd. Aan de bomen met dan wel zonder fruit kun je bijna op de nacht af precies zeggen wanneer de vorst heeft toegeslagen.

Iedere variëteit behoort tot één en dezelfde soort: *Malus domestica*. Letterlijk vertaald betekent dat zoiets als 'getemd kwaad'. Waarom zo'n heerlijke boom zo'n slechte pers heeft gekregen is niet heel duidelijk. Eén verklaring is dat er ooit een vertaalfout is gemaakt: een aanduiding voor 'fruit' in een Grieks dialect –

μαλον ofwel ‘malon’ – werd in het Latijn verkeerd overgenomen als *malum*, het kwaad.

Het is bijna onvoorstelbaar dat van deze ene soort duizenden verschillende variëteiten zijn gekweekt: appels voor het nagerecht, appels om te koken, appels om cider van te maken, appels om te drogen – en dat alles in een verbijsterend scala maten, vormen, kleuren, geuren en smaken. We telen *Miller's Seedling*, die in augustus rijp wordt en die je meteen bij het plukken moet eten omdat de flinterdunne schil bij de minste of geringste schok tijdens een transport meteen gebutst wordt. Dit is een zoete en zachte appel, eerder sap dan vruchtvlees. De *Wyken Pippin* is dan weer keihard als je hem plukt; die kun je pas tegen januari eten en blijft dan stevig tot mei. We telen ook de *St Edmund's Pippin*, met een schil als schuurpapier, die in september twee weken lang droog en nootachtig is en geurt, en daarna melig wordt. Ook hebben we de *Golden Russet*, met bijna precies dezelfde smaak en textuur, maar dan in februari. De *Ashmead's Kernel*, mijn favoriete appel, die knapperig is en een beetje naar kummel smaakt, is halverwege de winter op zijn best. De *Reverend W. Wilks* zwelt op wanneer je hem bakt en smaakt dan naar een soepele witte wijn. De *Catshead*, die je met Kerst roostert, is bijna niet te onderscheiden van mangopuree. *Ribston Pippin*, *Mannington's Pearmain*, *Kingston Black*, *Cottenham Seedling*, *D'Arcy Spice*, *Belle de Boskoop*, *Ellis Bitter* – allemaal vertegenwoordigen ze een geheel eigen tijd en plaats, cultuur en natuur.

Elk ras gedijt het beste onder specifieke omstandigheden, die op subtiële wijze verschillen van die van andere variëteiten. En dus doen sommige rassen het in onze boomgaard beter dan andere. Sommige rassen zijn zozeer aangepast aan de plek waar ze oorspronkelijk vandaan komen dat ze zelfs aan de andere kant van één en dezelfde heuvel al slecht gedijen. Door rassen te kiezen die op verschillende momenten bloeien, hebben we in onze boomgaard geprobeerd ons risico te spreiden. Maar in

slechte jaren, wanneer de vorst herhaaldelijk toeslaat, verliezen we bijna alles.

Toch blijft het, ondanks al mijn verstoorde dromen, een heerlijke plek voor een boomgaard. Toen ik er vanochtend aankwam moest ik naar adem happen, zo mooi was het er. De eerste appelbomen staan in bloei: de roze knoppen zijn open gegaan en tonen hun bleke harten. De peren- en kersenvomen staan in volle bloei en dragen zoveel witte bloesem dat hun takken er in de wind lichtjes door worden opgetild.

Ik loop door de rijen bomen en ruik eraan. Elk ras heeft weer een andere, vage geur: sommige bloesems ruiken naar de hyacint, andere naar de sering, weer andere naar het peper-boompje of de sneeuwbal (*viburnum*). Ik meen te kunnen zeggen wanneer een bloem is bestoven: de geur is meteen weg zodra er geen bijen of zweefvliegen meer hoeven te worden aangetrokken. De perenbloesem, zuiver wit, met twintig zwarte meeldraden die doen denken aan kleine gespleten hoeven, stinkt vreselijk naar ansjovis. De bloesemblaadjes van de kersenvomen beginnen los te laten en worden als veertjes megedragen door de zachte wind. Er valt een schaduw over het verse gras. Houtduiven koeren in de pruimenbomen. Wat een ongelooflijke weelde om dit allemaal binnen een paar honderd meter van je huis te hebben! En voor dit alles betalen wij, de vijf gezinnen die dit stukje land delen, samen slechts 75 pond per jaar.

De boomgaard omvat drie aaneengesloten percelen op een volkstuin. In Engeland hebben gemeenten sinds 1878 land toegekend aan inwoners om groente en fruit te telen. In principe hebben wij, de Engelsen, sinds 1908 allemaal het recht om te tuinieren.*

Die wetgeving heeft onbedoeld anarchie – in de ware zin van het woord – in de hand gewerkt. Het gevolg was namelijk dat

* Dat is de theorie: in sommige steden sta je tegenwoordig twintig jaar of nog langer op de wachtlijst voordat je een stukje grond kunt krijgen.

er duizenden groepen ontstonden van mensen die een eigen organisatie vormden en gingen besturen – wat we ook wel de *commons* [meent, gemeenschapsgrond] noemen. Het land blijft weliswaar eigendom van de gemeente, maar wordt beheerd en geëxploiteerd door degenen die het bewerken. Ons volkstuincomplex in Oxford telt tweehonderdtwintig percelen die worden bebouwd door mensen die van over de hele wereld in Oxford zijn neergestreken. We bestuiven elkaars kennis met kleine beetjes specifieke ervaring.

Zeventien jaar geleden leek het gedaan met deze volkstuin. Nog maar één op de tien beschikbare percelen werd bewerkt, en de overgebleven tuinders waren wanhopig op zoek naar nieuw bloed: als de terreinen braak bleven liggen, zou de gemeente de grond opeisen om er huizen op te bouwen. Ze verpachtten tweeëneenhalve naast elkaar gelegen percelen aan me. Een ervan was overwoekerd door een gigantische bramenstruik van drie meter hoog. Het kostte me een maand om de stengels om te kappen met een kapmes en de wortelkluiten uit te hakken met een houweel. Maar daaronder sluimerde schoonheid. Weidegrassen, sleutelbloemen, margrietten, ereprijs (*veronica*), wikke, knoopkruid, nagelkruid, duifkruid, duizendblad, smalle weegbree, biggenkruid en leeuwentand kwamen spontaan weer op. Het zaad ervan moet decennia lang in de bodem hebben gesluimerd. Ik haalde een paar vrienden over om zich aan te sluiten en we plantten oude fruitrassen op deze percelen: vooral appelbomen, een paar pruimenbomen, kersen- en perenbomen, een mispel en een kweeper.

Net toen de bomen productief begonnen te worden, verhuisde ik van Oxford naar Wales, en die boomgaard was een van de weinige dingen die ik met spijt achter liet. Mijn vrienden droegen hem over aan anderen, en die gaven hem op hun beurt ook weer door. Vijf jaar later keerde ik vanwege gezinsomstandigheden onverwacht, en tegen mijn zin, weer terug naar Oxford. Maar kort na mijn terugkeer vertelde een van mijn beste vrienden in de stad dat hij een schitterende boomgaard op een volkstuincomplex had overgenomen van een paar mensen die

kort daarvoor waren vertrokken. Die boomgaard was een paar jaar eerder aangelegd ... Hij kon al het werk niet in zijn eentje aan en herinnerde zich dat ik iets afwist van fruitbomen.

Ik voelde opeens dat ik weer thuis was.

Die boomgaard beslaat slechts een tiende van een hectare. Maar voor mij voelt hij aan als de halve wereld. Hij is mijn levende kalender voor het jaar. We hebben er drie andere gezinnen bij betrokken en zo een kleine 'meent in de meent' gecreëerd. Om de paar maanden organiseren we een werkdag en dan lunchen we onder de bomen. Tegen het einde van de winter en in de lente snoeien we de appel- en perenbomen. In mei en september maaien we het gras. In juni dunnen we het fruit uit. In oktober plukken we de appels, slaan de onbeschadigde op, en als de oogst de moeite waard is maken we ons een dag lang druk met de rest van de oogst: die appels snijden we in stukken en stampen, persen, pasteuriseren en bottelen we, deels als appelsap en deels als cider.*

- * Je zou het misschien niet denken, maar appelsap is een modern product. Van oudsher werden alle appels geperst om er cider van te maken (in Groot-Brittannië hebben we het dan over de alcoholische drank). 'Maken' is trouwens misleidend, want dat suggereert dat je er iets voor moet doen. Het sap begint namelijk meteen te vergisten. In echte cider zit niets anders. De appels leveren de suikers, de smaak en de gist, die in de schil zit. Tegen de Kerst kun je het drinken, hoewel het dan nog zoet en prikkelend is. Tegen februari is het een zacht, subtiel, goed gebalanceerd brouwsel geworden. Dan is het, naar mijn nuchtere mening, de meest geweldige alcoholische drank die ooit het leven van mensen heeft verwoest. Eind mei is het een beetje te droog. Nog een maand later doet de drank de Latijnse naam voor appels eer aan: dan kun je er graffiti mee verwijderen. Om ervoor te zorgen dat het sap geen cider wordt, moet je het pasteuriseren. Daar komt energie bij kijken, want het sap moet worden opgewarmd tot 70°C. Lange tijd was die benodigde energie niet zomaar voorhanden. Het enige sap dat mensen dronken, kwam regelrecht uit de pers.

Aan het begin van de winter toasten we op de gezondheid van de boomgaard – een wetenschappelijke procedure om ervoor te zorgen dat de bomen het komende jaar een goede oogst opleveren. De methode bestaat uit zingen en cider drinken. Volgens een uitgebreid getoetste hypothese is de oogst van het nieuwe jaar recht evenredig aan de geleverde inspanning: *‘Want te meer of minder vrucht ze geven/ Zoals je ze toejuicht.’* De hypothese houdt geen stand.

En dan starten we een nieuwe cyclus.

Halverwege de ochtend ben ik op een kleine twee meter van de grond in de weer met een spanzaag en een telescopische snoeischaar. Onze goede buurman Stewart in de volkstuin besloot dat hij te oud was geworden om nog zelf zijn bomen te onderhouden en droeg daarom zijn rij fruitbomen, die grenst aan ons perceel, aan ons over. Daarmee hebben wij nu in totaal drie percelen. Zijn oude bomen zijn er slecht aan toe, met een wildgroei aan takken. Sommige raken de grond, andere steken zo ver omhoog dat je niet meer bij het fruit kunt komen om het te plukken. Dus sta ik nu in een kersenboom, tussen takken die zo vol in bloei staan dat ik de bast nauwelijks kan zien, heiligschennis te plegen.

Appel- en perenbomen snoei je in de winter, maar steenfruit moet je in de lente of de zomer snoeien, wanneer het sap opkomt. Anders kan de boom geïnfecteerd raken met kanker, krulziekte of paarse korstzwam. En dus moet je een vreselijke heiligschennis begaan: de boom snoeien wanneer die in bloei staat of al vrucht draagt. De sneeuwwitte takken vallen in een sneeuwstorm van bloesembladjes op de grond.

Hoewel het me tegen de borst stuit om dit te doen, houd ik van snoeien. Snoeien is bijna een doel op zich geworden. Je onderhoudt niet alleen de boom, maar je bent ook een soort beeldhouwer. Eerst doe je de grote, structurele ingrepen. Dan snoei je de overblijvende takken terug tot een knop die wijst in de richting waarin jij wilt dat de tak doorgroeit. De boom groeit dan uit in de vorm die jij hem hebt meegegeven. Mijn voorkeur gaat uit naar de Spaanse of bokaalvorm, waarbij je de boom snoeit in de vorm van een brede drinkbeker. Als je dit goed doet,

wordt elk blad blootgesteld aan het zonlicht en de luchtstroom. Zo bescherm je de boom tegen wollige bladluis en meeldauw zonder chemische bestrijdingsmiddelen te gebruiken.

Terwijl ik de boom zo onderhanden neem, dwalen mijn gedachten af naar de geschiedenis van dit stuk land, voor zover we er iets van weten. Toen we de bodem omschepten, vonden we stukken van de witte kleipijpen die de arbeiders vroeger rookten. Sommige waren versierd met stippel-, ring- en klimplantpatronen, en de lijnen van de pijpenmal en de afdrukken van de vingernagels van de pijpenmakers waren nog te zien. We vonden kapotte afwateringspijpen, een hoefijzer voor een ezel en oesterschelpen, die soms niet te onderscheiden waren van de fragmenten van het fossiel *gryphaea* die we ook opgroeven: een knoestige, gekromde oester uit de Jura-periode die in deze streken bekendstaat als de 'teennagels van de duivel.' Toen de zeeën nog barstten van het leven waren oesters armeluisvoedsel, zelfs in midden-Engeland. Ik heb een keer een halve parel gevonden, met een boorgat voor het koordje waaraan hij had gehangen.

Voordat het terrein van onze volkstuin werd ingesloten door de stad, om vervolgens in gelijke percelen te worden verdeeld onder de inwoners, werd er op dit land waarschijnlijk landbouw bedreven. Vermoedelijk in wisselbouw; dat valt af te leiden uit de resten afwatering in combinatie met de sluimerende zaden van wilde bloemen. Sommige plaatsnamen in de omgeving eindigen op *-ley* of *-leys*, vaak een aanduiding voor een tijdelijke weide waarop, afwisselend met de gewassen, hooi en veevoer wordt verbouwd. De oesterschelpen vonden we vooral in één deel van onze boomgaard. Dat zou erop kunnen wijzen dat daar ooit een boom had gestaan waaronder de landarbeiders hun middageten nuttigden, net zoals wij nu ook doen. In gedachten zag ik hen voor me, verspreid tussen de knoestige wortels van een grote eik, met hun breed gerande hoeden op, hun zeisen rustend tegen de boomstam.

Ook wij maaien ons gras enkel met de zeis. Dat doen we onder andere om geen fossiele brandstof te gebruiken, maar ook om de

kikkers en de woelmuizen te sparen. Aanvankelijk hakten we op het gras in. Hoe meer we ons echter inspanden, des te slechter het resultaat eruit zag. Op een dag zag ik dat een andere buur op de volkstuin, een tachtig jaar oude vluchteling uit Servië die Angela heette, vol ongeloof naar ons stond te kijken.

Ondanks alles wat ze heeft meegemaakt en overleefd slaagt Angela er altijd in om genoeg te scheppen in het leven en het goede te zien in mensen. Zoals het de boerin, die ze ooit was, betaamt, wil ze steeds dat wij wat meenemen van de groente waar ze teveel van heeft. Niemand weet tegenwoordig nog wat echte groente is, legt ze daarbij uit, en wij weten vast ook niet hoe we die eigenlijk horen te bereiden. Maar dat is niet haar probleem, zegt ze dan, want zodra ze de groente heeft weggegeven is die in Gods handen. Wij geven haar appels om te roosteren, mispels (die op de Balkan meer worden gewaardeerd dan bij ons hier te lande) en pruimen om mee te brouwen.

Uiteindelijk kon ze het niet langer aanzien.

‘Nee, stop! Je doet het helemaal verkeerd!’

Ze nam de zeis van me af en beproefde het gewicht ervan, waarbij ze de zeis een klein beetje optilde en dan weer liet zakken, alsof ze probeerde er één mee te worden.

‘Ik deed dit van toen ik klein meisje. Ik laat jou zien.’

Ze zette het mes in het gras en leek vervolgens alleen maar heel even met haar brede heupen een trekkende beweging te maken. Het gemaaid gras viel neer, en voort ging ze, tussen de bomen door, ogenschijnlijk moeiteloos een perfecte grasmat achter zich latend. Het gemaaid gras viel strak naar één kant, alsof ieder sprietje op zijn plek was gekamd. (Maaien, of het gemaaid gras, is *math* in het Engels – de grasstoppels die achterblijven zijn de *aftermath*.)

Vanaf mijn plek in de kersenboom kijk ik neer op de kapotte ledematen van de boom die op de grond zijn gevallen. Ik heb slechts vier takken overgehouden aan de boom, min of meer één voor elk van de vier windrichtingen. De boom is enorm togetakeld, maar hij komt er wel weer bovenop. Ik klim naar beneden en begin de snoeitakken te verwerken. Er wordt hier

niets verspild. De zware takken laten we achter bij het hek van de volkstuin, waar mensen ze kunnen meenemen als brandhout: hout van fruitbomen laat zich gemakkelijk klein maken en brandt goed. Zelf gebruik ik het zaagsel in mijn rookoven: wat ik daarin kook, krijgt dan de zachte, donkere smaak van het hout. Sommige dunner takken gebruiken we als bonenstaken. De rest leggen we op een stapel. Na vijf jaar is het snoeisel afgebroken tot een rijke, droge compost. Die strooien we uit rond de druiplijn van de bomen.* Op een keer in de lente kroop er een gezinnetje egels uit de stapel. De kleintjes waren nieuwsgierig en niet bang. Een van hen waggelde naar me toe, rook aan mijn uitgestrekte hand en probeerde er toen in te bijten.

Door fruit te telen, of groente, zoals ik volop deed toen ik in Wales woonde, ben ik mij bewust geworden van de grenzen van de biologie en het klimaat, en hoe die grenzen zijn gaan 'flikkeren.' Tot nu toe heb ik nog geen nieuw patroon kunnen herkennen in de vorst die plotseling, als donderslag bij heldere hemel, toeslaat in de boomgaard. Maar andere patronen zijn wél onmiskenbaar. Ik denk dan vooral aan de extreme perioden van droogte en regenval die onze fruitbomen, de rest van het land en het merendeel van de wereld teisteren. Door dit kleine stukje grond te bewerken word ik me beter bewust van de schaal van het probleem waarvoor we staan nu de omstandigheden, die het mogelijk maken voldoende voedsel te produceren, beginnen te veranderen.

Ik maak de stapel snoeihout af en leg mijn zaag, snoeischaar en helm weg. Dan pak ik uit het schuurtje ander gereedschap, om iets te doen waarvan ik nauwelijks kan geloven dat ik het

* De druiplijn is de cirkel op de bodem onder de uiterste punten van de takken van een boom. Een boom is als het ware een paraplu. Het water dat van de boom op de bodem valt, belandt voor het merendeel op deze lijn. Daardoor zijn de voeding gevende wortels van een boom ook daar geconcentreerd. Wanneer je de compost direct rond de boomstam uitstrooit, wat sommige mensen doen, laat je de boom eerder verrotten dan dat je hem voedt.

nog nooit eerder heb gedaan. Ik heb bossen en regenwouden verkend, savannes en graslanden, rivieren, vijvers en moerassen, de toendra en bergtoppen, kustgebieden en ondiepe zeeën. Maar ik heb nog nooit doelbewust en nauwgezet de grond onder mijn voeten verkend.

Er zijn van die momenten waarop ik mezelf niet goed begrijp, en dit is er één van. Ruim een halve eeuw lang verdiep ik me al in de natuur. Ik heb al die tijd iedere kans aangegrepen – althans, dat dacht ik – om flora en fauna te ontdekken en de ecologie waarin ik me bevond te doorgronden. Maar waarom heb ik dan niet het ecosysteem onderzocht dat letterlijk ten grondslag ligt aan zovele andere? Waarom heb ik, die dertig jaar lang zelf voedsel heeft verbouwd, nooit eerder aandacht gehad voor de voedingsbodem die direct of indirect zo'n 99 procent voortbrengt van de calorieën die wij consumeren?²

Zoals zoveel mensen mag ik graag denken dat ik mijn eigen weg volg. We worden echter allemaal beïnvloed, en meer dan we doorgaans willen toegeven, door wat de meeste mensen denken. We denken volgens de patronen die anderen hebben uitgezet, we volgen de gebaande paden. We zien wat anderen zien, negeren wat zij negeren. Misschien maken we ons ontzettend druk over die paar vraagstukken waar iedereen naar kijkt. Maar we gaan er, impliciet en onbewust, mee akkoord om niet te kijken naar andere onderwerpen, die vaak veel belangrijker zijn. En bijna niets is zo belangrijk, en ons zo onbekend, als de bodem.

Een paar meter van de kersenboom steek ik mijn spade in het grasveld. De aarde is zwaar en vol wortels, maar ik zorg er voor dat mijn gereedschap altijd goed geslepen is. De spade snijdt dan ook strak door de grasmat. Ik steek een kleine vierkante plag af en schep een halve spade op, ongeveer een kilogram aarde. Vervolgens ga ik op mijn buik liggen in het gras en begin erin te peuteren.

Voordat ik aan mijn onderzoek voor dit boek begon, vond ik dat Engeland maar een treurig land was voor een natuurvorser. De fauna is hier weliswaar nooit zo gevarieerd geweest als in

andere delen van de wereld, vooral de tropen, maar ze was ooit wel gevarieerder dan vandaag de dag. Daar is nu bijna niets meer van over. Alle grote landroofdieren zijn verdwenen in Engeland, en ook de meeste grote planteneters. De voedselwebben zijn aan flarden, zitten vol gaten en missen tal van hun draden. Bijna al het land is in cultuur gebracht, en de rest wordt vaak verkeerd beheerd en vervuild. In grote delen van het land is er niet veel te zien. Althans, dat dacht ik.

Nu besef ik dat ik altijd naar de verkeerde plek heb gekeken. Terwijl het leven boven de grond is onderdrukt en uitgedund, schuilt onder de oppervlakte een van de rijkste ecosystemen op Aarde. Op deze breedtegraden van de planeet herbergt de bodem een grotere diversiteit dan bijna overal elders ter wereld. Volgens één wetenschappelijk artikel bestaat er wellicht een omgekeerd evenredige relatie tussen de diversiteit aan planten boven de grond en het dierlijk leven eronder.^{3*} In de bodem onder één vierkante meter van onze boomgaard leven misschien wel honderdduizenden beestjes. Duizenden verschillende soorten. Het kostte me even om dat tot me te laten doordringen. Verscheidene duizenden soorten onder één vierkante meter.

De Engelse bodem zou een even grote diversiteit kunnen hebben als het regenwoud van de Amazone (de bodem van het Amazonewoud niet meegerekend), en is ook nog net zo weinig onderzocht. Wetenschappers schatten dat tot nu toe slechts tien procent van de kleine diertjes in de bodem in kaart is gebracht.⁴ In onze boomgaard krioelen er waarschijnlijk duizenden nog onbekende soorten. Vele soorten zijn waarschijnlijk uniek voor de streek waarin ze voorkomen: er zijn bijna geen microarthro-

* Als dit klopt, dan is een mogelijke verklaring dat hoge temperaturen en veel regen in de tropen leiden tot hogere niveaus aan anorganische stikstof en een hogere zuurgraad in de bodem, waardoor er minder, en minder verschillende, microben zijn waarmee veel diertjes in de bodem zich voeden. Dit betekent overigens volstrekt niet dat door een afname van de biodiversiteit boven de grond de biodiversiteit onder de grond zou verbeteren.

poden (kleine gravende wezens) die op allerlei verschillende **plekken** in de wereld voorkomen in de bodem.⁵ En we weten nog minder van de manieren waarop ze zich tot elkaar verhouden. Ecologen breken zich bijvoorbeeld het hoofd over wat zij het ‘Geheim van de Oribatida’ noemen.⁶ Dat klinkt misschien niet zo romantisch als het Geheim van de Sfinx, maar ik vind het zeker zo fascinerend. De oribatida zijn een subgroep van een subgroep van de mijten, die op hun beurt weer een subgroep vormen van de arachniden, de klasse waartoe ook de spinnen behoren. Ze zijn klein en hebben wat weg van krabben, en ze zijn op het eerste gezicht niets bijzonders. Echter, in één handvol aarde kunnen wel honderd verschillende soorten oribatida leven, die allemaal, zo lijkt het, dezelfde niche bevolken. Nu gaan ecologen er doorgaans van uit dat iedere niche wordt bevolkt door één enkele soort; de ene soort concurreert met de andere, en eentje krijgt de overhand. Hier heb je echter een verbijsterend aantal onderling verwante diertjes, met een zeer grote verscheidenheid aan vormen, maten en kleuren, die naast elkaar leven en ogenschijnlijk allemaal hetzelfde doen. Hoe is dat mogelijk?

Leonardo da Vinci zei al dat we meer weten over de bewegingen van de hemellichamen dan over de bodem van onze eigen planeet. Die uitspraak gaat ook nu nog op.

De eerste dingen die ik zie als ik het stuk opgeschepte aarde bekijk, zijn een stukje bot, een gebleekte slakkenschelp, een verweerde pruimpit en een stukje blauw aardewerk. Vervolgens kijk ik wat meer van dichtbij en zie een pissebed en een kleine transparante miljoenpoot waarvan de pootjes zich in golven onder het lichaam ont- en opvouwen. Het diertje heeft rode stippen langs de flanken, als de schilden aan de boorden van een langschip van de Vikingen. Een kastanjekleurige duizendpoot schiet voorbij, pootje voor pootje, een donker gaatje in. Er zijn karamel-kleurige larven van kevers, en clusters van doorschijnende bolletjes met daarin de vaalwitte halve maantjes van slakkenembryo's. Een doolhof aan stengeltjes van zaailingen groeit door de bodemmatrix op zoek naar licht.

Ik verkruimel een puntje aarde in een fijne zeef en giet die dan, in het volle licht, in een trechter die in een reageerbuisje gevuld met gin steekt. Ik stabiliseer het reageerbuisje met stokjes om ervoor te zorgen dat het niet omvalt, en laat het opwarmen in de zon.

Vervolgens breek ik een stuk van de kluit aarde af, pak mijn vergrootglas (vergrootsterkte veertig) en zoek de focusafstand op. Zodra ik dat doe, zie ik dat het in dat stukje kluit barst van het leven. Het eerste wat ik zie, is een springstaart: een zacht olijkleurig wezentje met een ronde vorm en een beetje wollig, zoals een gebreid knuffeltje, dat voor het licht vlucht. Nu ik er één heb gezien, zie ik ze overal: kleine grijze van nog geen millimeter lang; kleine witte; een gigant van drie millimeter in iriserend grijs, roze en blauw; een amberkleurige soort met een bultrug die eruit ziet als een kleine druppel honing.

Springstaarten lijken een beetje op insecten, maar ze vormen een klasse op zich. De aantallen zijn verbijsterend: soms wel honderdduizend of meer onder één vierkante meter bodem. Ze kunnen mannelijk, vrouwelijk, hermafrodit (zowel een beetje mannelijk als vrouwelijk) of parthenogenetisch zijn; dat laatste betekent dat ze zich kunnen vermeerderen door middel van onbevleete ontvangenis. Ze leven zowat overal, zelfs in het Zuidpoolgebied, en hebben alle uitstervingen van de afgelopen vierhonderd miljoen jaar overleefd. In vele delen van de wereld weven zij het hele voedselweb in de bodem aan het elkaar. Met andere woorden: zij vormen het kanaal dat een groot deel van het leven op land met elkaar verbindt. De meeste mensen weten echter niet eens van hun bestaan.

Als ik met mijn ogen de springstaarten volg, vult opeens een monsterachtig beest mijn lens. Ik schrik; even weet ik niet hoe ik het heb. Dan besef ik dat het een mier is. Ik kijk om me heen, en zie dat ik op de rand lig van de myrmecosfeer, dat wil zeggen de bodemzone onder invloed van de mieren. Mijn schouder ligt dicht tegen een van de mierenhopen, zo'n veertig centimeter hoog, die de gele weidemieren waren gaan bouwen zodra ik de bramenstruiken had weggehaald.

Deze mierenhopen lijken wel van beton. Wanneer ik met een houweel de uitlopers van een pruimenboom of opkomende bramenstruiken te lijf ga, voel ik het meteen wanneer ik er een raak: dan ketst mijn gereedschap erop af en krijgen mijn handen een klap. De mieren diepen klei op vanuit de ondergrond en mengen die met hun speeksel om een cement te maken dat sterk genoeg is voor de vele zuilen en etages van hun hopen, die, omgerekend naar de menselijke maat, torens van wel honderd meter hoog vormen. In de kelders daarvan, die tot wel een meter onder de grond kunnen liggen,⁷ dragen zij de bladluizen die zich voeden op de wortels van planten en de honingdauw produceren waar de mieren van leven.

Mieren maken een ecosysteem: ze beïnvloeden al het leven in hun zone. In de boomgaard heb ik opgemerkt dat gewone ereprijs, een kleine blauwe bloem, selectief de daken van mierenhopen koloniseert en dat het gras dat eromheen groeit dichter en donkerder is dan het gras elders. De mieren concentreren de voedingsstoffen in en rondom hun wolkenkrabbers en voeden daarmee onbedoeld de wezens die zich hebben aangepast om naast hen te leven. De zuidoostelijke kant van een mierenhoop is altijd vlak en gekanteld als een zonnepaneel om in de ochtend de warmte om te vangen.

Even nadat ik de mier heb gezien, vind ik een schaaldiertje van slechts een millimeter lang. Wanneer ik opzoek wat het is, ontdek ik dat het gaat om een mierenpissebed. In tegenstelling tot zijn verwanten kan hij tussen deze felle dieren leven zonder te worden verscheurd en opgegeten. Sterker nog, hij laat zich door hen voeden door hen met zijn voelhoorns te aaien en hen te paaien totdat ze de korrels voedsel uitbraken die ze doorgaans onder elkaar delen.⁸ Gele mieren zijn bijna blind, en het lijkt erop dat de mierenpissebed hen voor de gek houdt door zichzelf te omhullen met hun geur. Die geur, en het geaai met de voelhoorns, overtuigt de gele mieren ervan dat ze van doen hebben met een hongerige soortgenoot. Krijgen de mieren echter door dat ze voor de gek worden gehouden en gaan ze in de aanval, dan steekt het diertje de twee hoorns aan zijn achterste

omhoog en spuit lijm in de gezichten van de mieren, waardoor hun kaken vast komen te zitten.

Nu leg ik een lange, bleke duizendpoot bloot, een afschrikwekkend beest als je het zo uitvergroot ziet. Het lijkt wel een Grote Worm uit de verhalen van de Middeleeuwen. Hij klapt met zijn hoektanden (oorspronkelijk voorpoten, 'forcipules'), waar gif door stroomt, en glibbert er dan in een walgelijk kronkelend-tripelende beweging vandoor. Daarmee vergeleken is een dociele, rozig-bruine platte miljoenpoot die, gewapend met brede, elkaar overlappende schilden, haar legsel eitjes bewaakt zo geruststellend rustiek als een kip op een boerderij. Kleine witte potwormen wriemelen weg van het licht.

Mijten zijn er overal, ronde diertjes die er uitzien als krabben. In bodems als deze zijn ze zelfs nog talrijker dan springstaarten: op sommige plekken zitten er, hoe ongelooflijk het ook klinkt, wel een half miljoen per vierkante meter.⁹ Sommige hebben, net als heremietkrabben, kleine voetjes die nauwelijks uit hun schild (carapax) steken; andere hebben lange tastende voorpoten. Ze zijn bruin van kleur, roze, zacht paars (mauve), geel, oranje of wit. In de bodem lijkt er van alles wel een witte variant te zijn. De witte beestjes leven doorgaans op grotere diepte, waar alles blind is (afgezien van het simpele vermogen om licht van donker te onderscheiden) en er dus ook geen noodzaak is om zich te vermommen. Alles wat een dier maakt vergt energie en hulpbronnen, en dat geldt ook voor kleur en ogen. Als ze het zonder kunnen stellen, dan zorgt natuurlijke selectie ervoor dat ze dat ook doen.

Ik pak het reageerbuisje uit de geïmproviseerde houder en houd het voor een vel zwart papier. Met mijn vergrootglas kan ik maar net kleine witte draadjes waarnemen: aaltjes (nematoden), door het licht en de hitte van de zon verjaagd uit de aarde, de trechter en vervolgens de gin in. Ook deze zijn er in onvoorstelbaar grote aantallen, en ze zijn van cruciaal belang voor de voedselwebben in de bodem. Onder de juiste omstandigheden kunnen ze zich twaalf keer per dag vermenigvuldigen.¹⁰

Ik voel me als een gewelddadige en trage reus wanneer ik de verborgen kamers van de bodem openbreek. Alle beestjes die daarin leven zijn lichtschuw en maken zich verrassend snel uit de voeten wanneer ze plotseling worden beschenen. Dat moet ook wel, want anders ben je in dit vraatzuchtige oerwoud meteen het haasje. Ik zie de slachtpartij die de predatoren van de bodem achter hebben gelaten: de lege schilden van miljoenpoten, de vleugelschilden van de kevers, de lege slakkenschelpen – de harnassen die zijn achtergebleven op het slagveld.

Dan zie ik iets wat lijkt op een creatuur uit een Japanse anime: het is lang en laag, wit, met twee flinterdunne voelhoorns aan de voorkant en twee aan de achterkant, en zwevend en gebogen als een manhaftige draak of een vliegend paard. Ik verwacht bijna een miniatuur-heldinnetje uit Studio Ghibli erop te zien zitten – ik verbaas me inmiddels nergens meer over. Het heeft zes poten, maar het is geen springstaart en het lijkt op geen enkel insect dat ik ooit heb gezien. Wanneer ik opzoek wat het is, blijkt het een franjestaart (Orde der Dipluren (Diplura)) te zijn. Dit wezen behoort tot een hele klasse van leven – een categorie op hetzelfde niveau in de taxonomie als dat van de insecten of de zoogdieren – waar ik niets van wist.* Hoe is het mogelijk dat ik nog nooit van zoiets had gehoord, terwijl ik me al mijn hele leven verdiep in de biologie, en zoölogie heb gestudeerd? Maar dat is nog niet het meest spectaculaire bewijs van mijn onwetendheid.

Kort daarna zie ik een diertje dat ik aanvankelijk aanzie voor een kleine witte duizendpoot. Nu ik er naar kijk, zie ik er meteen heel veel. Ik bekijk eentje wat beter door mijn vergrootglas en zie dat dit diertje twaalf paar poten heeft, en niet vijftien of meer, zoals een duizendpoot. Ook heeft het niet de gewapende kop met de gemene kromme hoektanden van een duizendpoot, maar het zachte, ronde aangezicht van een planten- of afvaleter. Ik blader

* De taxonomie van het bodemleven verandert voortdurend en tegen de tijd dat dit boek uitkomt, is dit wellicht alweer achterhaald. De Diplura zijn de afgelopen jaren op verschillende momenten geclassificeerd als een klasse, een sub-klasse en een orde.

door een handboek over bodemecologie en stuit op een foto die me verbijstert. Het is een wezen dat 'wortelduizendpoot' wordt genoemd, en dat niet enkel behoort tot een klasse waarvan ik nog nooit had gehoord, maar volgens sommigen die het zouden moeten weten tot een complete stam (fylum).*

Een stam (fylum) is mega! De mens behoort tot de familie van de hominidae, de grote apen. Deze familie maakt weer deel uit van de orde der primaten: mensapen, apen, lori's, spookdier-tjes, galago's en lemuren. Deze orde is een onderklasse van de klasse der zoogdieren, die alles van spitsmuizen tot walvissen omvat. Zoogdieren zijn dan weer een onderdeel van de stam (fylum) chordata, waarmee de mens in dezelfde hoek zit als vogels, reptielen, amfibieën, vissen, lancetvisjes en zakpijpen. En dan kijk ik nu dus naar een stam (fylum) (althans volgens sommigen), een categorie vergelijkbaar met die van de chordata, en waarschijnlijk veel talrijker, waarvan ik tot vandaag nog nooit had gehoord.

Een verbijsterende gedachte overvalt me. Ik zie in deze halve spade aarde meer van de grote vertakkingen van het leven dan ik heb gezien in de Serengeti, of in welk ander ecosysteem dan ook. Hier zijn insecten en schaaldieren, mijten en spinnen, chilopoda (duizendpoten) en diplopoda (miljoenpoten), springstaarten en regenwormen, aaltjes (nematoden), weekdieren en wezens waarvan ik niet wist dat ze bestonden.

De bodem kan zulke ongelooflijke aantallen herbergen omdat het gaat om een gigantische oppervlakte. Neem bijvoorbeeld één enkele gram aarde – een half theelepeltje wanneer die aarde droog is. Leg vervolgens alle oppervlakten van dat hele kleine beetje aarde plat neer. Dan krijg je in het meest extreme geval – de fijnste kleisoorten – een gebied van maar liefst achthonderd vierkante meter. Dat is net iets meer dan onze hele boomgaard.

* Ook deze indeling is aan verandering onderhevig. Soms worden wortelduizendpoten (symphyla) beschouwd als een klasse, dan weer als een stam (fylum).

En net zo belangrijk: de bodem is helemaal geen eenvormige massa, zoals ik ooit dacht. Die is een kosmopolitische stad, bestaande uit zones en structuren met verschillende culturen in naast elkaar liggende gemeenschappen. Een van deze zones is de myrmecosfeer, het stadsdeel van de mieren, dat zelf ook weer is onderverdeeld in allerlei wijken. Ecologisch nog belangrijker echter zijn de smalle steegjes rondom de wortels van planten, de zogeheten rhizosfeer. Dat is de zone waar wij mensen het van moeten hebben. Wanneer ik de kluit uit elkaar trek, is het wortelpakket zo dicht verweven dat het lijkt alsof ik een stuk stof kapot scheur.

Ik tuur naar een klein wortelhaartje. Voor het blote oog is dat niet meer dan één enkele streng, zo dun als een draadje katoen. Maar als ik er door mijn vergrootglas naar kijk, dan zie ik dat het helemaal bedekt is met nog veel dunnere haartjes, die in het zonlicht glimmen als kristallen. Elk worteltje heeft ze, zelfs rond de groeiende uiteinden, die op dit tijdstip van het jaar hooguit een dag of twee oud kunnen zijn. Sommige zien eruit als snorharen, andere zijn zo dicht geweven dat ze me doen denken aan dat rafelachtige nylonweefsel rondom de elektriciteitskabel van een strijkijzer. Dit zijn de schimmeldraden (of hyfen) die in nauwe samenhang met de planten leven.

Dat zijn doorgaans niet de schimmels waarvan we de vruchten te zien krijgen, hoewel champignons en paddenstoelen ook relaties aanknopen met planten. Verreweg de meeste ervan – misschien wel miljoenen soorten – leven alleen in de bodem, en vele ervan weven zich door, en vermeerderen zich vanuit, de wortels van de planten waarvan zij afhankelijk zijn. De meeste planten hebben deze schimmels nodig om mineralen en vocht te kunnen onttrekken aan de bodem.¹¹ De plant voedt de schimmels met koolhydraten en lipiden (de chemicaliën die de bouwstenen vormen van vetten en tal van andere onmisbare verbindingen) die hij aanmaakt door middel van fotosynthese. De schimmels op hun beurt voeden de plant met stikstof, fosfor en andere elementen die zij uit de grond halen en veel efficiënter transporteren dan planten zouden kunnen. Hun kleine draadjes dringen

poriëngaten binnen die zo smal zijn dat zelfs de dunste wortelhaartjes er niet in kunnen komen, en de enzymen en zuren die zij afgeven breken minerale verbindingen af die planten zelf niet kunnen splitsen.

Deze wederzijds voordelige, symbiotische relatie is zo oud als de allereerste planten op het land, zo'n vierhonderdzestig miljoen jaar.¹² Toen algen uit het water kwamen, hadden ze geen wortels. In de zee konden zij de voedingsstoffen direct uit het water opnemen. Om op het land te overleven, moesten ze relaties aangaan met de schimmels die al lang daarvoor het land hadden gekoloniseerd en die in essentie alleen maar wortel waren. De mens heeft zichzelf lange tijd beschouwd als een wezen uit één stuk. Inmiddels weten we dat dat niet zo is. De mens is een gemeenschap bestaande uit miljarden microben en het cellenstelsel waarin die leven. Dit geldt ook voor planten. Dat zijn helemaal geen stoere individuen, maar verenigingen van verschillende wezens. Die wezens bundelen hun krachten om levensvormen te creëren die zo complex zijn dat we nu pas beginnen te begrijpen hoe weinig wij eigenlijk weten.

In iedere gram aarde uit de bodem op plekken zoals onze boomgaard, waar planten goed geworteld zijn, zit ongeveer een kilometer aan schimmeldraden:¹³ één kilometer in minder dan één theelepeltje. De draden van iedere schimmel vormen een dicht netwerk dat 'zwamvlok of 'mycelium' wordt genoemd. In sommige bossen kan de zwamvlok van één enkele schimmel enkele vierkante kilometers aan bodem beslaan; de meeste zijn echter veel kleiner. Een zwamvlok groeit en krimpt voortdurend, gaat daarbij nieuwe relaties aan, verandert de aard van bestaande relaties, vermengt zich met andere, transporteert voedingsstoffen van de ene naar de andere plek, en houdt zichzelf op deze manier in leven terwijl hij de planten waar hij te gast is bedient. Sommige schimmels verbinden de wortels van honderden planten met elkaar.

De ontdekking dat er soms suikers van de wortels van sterke, gezonde bomen stromen naar de wortels van zwakke of zieke bomen, leidde tot groot enthousiasme onder degenen die dit

zagen als bewijs dat planten altruïstisch zijn. Merlin Sheldrake ziet dat echter anders. In zijn schitterende boek over schimmels *Verweven leven – De verborgen wereld van schimmels* oppert hij een verklaring die hij waarschijnlijker acht: schimmels ‘oogsten’ in wezen de planten waarbij ze leven, en hevelen voeding van de ene plant over naar de andere om ervoor te zorgen dat al die planten, waarvan zij zelf afhankelijk zijn, in leven blijven.¹⁴

Sheldrake verkent ook de mogelijkheid dat de zwamvlok een vorm van intelligent leven is. De zwamvlok beschikt namelijk over richtinggevend geheugen. Hij weet zijn weg te vinden door doolhoven. Hij kan berichten versturen van het ene eind van het netwerk naar het andere, en past zijn reacties aan ver van de plek waar een prikkel wordt ontvangen. We weten inmiddels dat de schimmeldraden (hyfen) stroomstootjes kunnen geleiden met dezelfde tussenpozen als de stroomstootjes die door de zintuiglijke zenuwcellen van een dier lopen (ongeveer vier actiepotentialen per seconde). Daarom beschouwen sommige onderzoekers de miljoenen kruispunten in een zwamvlok als besluitvormingspoorten of processors; ze vergelijken het schimmelnetwerk met een computer.

Schimmels zijn van wezenlijk belang voor de gezondheid van de planten waarmee ze groeien. Wellicht nog meer dan hun groene partners zijn zij het die de bodem tot een weefsel maken,¹⁵ beschermen tegen erosie, de regen laten opnemen die erop valt, en de koolstof erin vastleggen.

Dat is nogal wat, hoor ik u denken. Nog opmerkelijker is echter dat wat ik niet kan zien – zelfs niet met mijn vergrootglas.

Dat is namelijk het volgende, en het verandert alles wat wij ooit dachten te weten over de levende systemen waarvan ons leven afhangt. Planten geven van alle suikers die ze aanmaken door middel van fotosynthese elf tot veertig procent af aan de bodem.¹⁶ Let wel, ze ‘lekken’ die suikers niet per ongeluk – ze pompen ze opzettelijk de bodem in. Nog vreemder is bovendien dat sommige van die suikers worden veranderd in ongelooflijk complexe verbindingen voordat ze worden afgegeven aan de

bodem. Het gaat om verbindingen met onmogelijke namen als 2,4-dihydroxy-7-methoxy-2H-1,4-benzoxazin-3(4H)-een.

Om zulke chemische stoffen te maken heb je energie en hulpbronnen nodig. Het lijkt in eerste instantie waanzin om zo'n kostbaar brouwsel de bodem in te laten lopen. Voor mensen staat dit gelijk met bankbiljetten door de afvoer spoelen. Waarom doen planten dit? Het antwoord opent de poort naar een geheime tuin.

Deze complexe stoffen worden namelijk niet willekeurig de grond in gepompt, maar in de zone direct rondom de wortels,¹⁷ de rhizosfeer. Ze worden afgegeven om een reeks geweldig complexe relaties tot stand te brengen en te onderhouden met de wezens waar al het leven op is gebaseerd: micro-organismen of microben.

De bodem zit barstensvol bacteriën. De aardse geur van de bodem is de geur van de chemische stoffen die deze bacteriën voortbrengen. 'Petrichor,' de geur die vrijkomt bij een droge bodem waar de eerste regen op valt, wordt voor een groot deel veroorzaakt door een orde van bacteriën die 'straalzwammen' (*actinomyces*) wordt genoemd. Dat er geen twee bodems met dezelfde geur zijn, komt doordat er geen twee bodems zijn met dezelfde bacteriële gemeenschap. Iedere bodem heeft zagezegd zijn eigen *terroir*. Biologen noemen de microben in de bodem 'het oog van de naald': de voedingsstoffen in zich ontbindende materie moeten er doorheen voordat ze kunnen worden gerecycled door de rest van het voedselweb.¹⁸

Microben leven overal in de bodem, maar op de meeste plekken verkeren ze het grootste deel van de tijd in een ruststand, in een staat van opgeschort leven, wachtend op de signalen die hen zullen doen ontwaken. Wanneer de wortel van een plant in een brok aarde doordringt en daar signalen afgevend chemicaliën en suikers in begint te pompen, wordt daarmee een explosie van bacteriële activiteit ontketend. De bacteriën reageren op de oproep van de plant: ze consumeren de rijke soep waarmee de plant hen voedt en vermenigvuldigen zich in een verbijssterend tempo, en creëren dan een van de dichtste microben-

gemeenschappen op Aarde. Eén luttele gram bodemaarde uit de rhizosfeer kan wel een miljard bacteriën bevatten.¹⁹

Deze bacteriën verzamelen en ontsluiten vele van de voedingsstoffen waar planten het van moeten hebben. Samen met de schimmels die verweven zijn met de wortels* en andere microben onttrekken bacteriën in de rhizosfeer ijzer, fosfor en andere elementen aan de bodem en geven die af aan planten. Ze breken complexe organische verbindingen af, zodat de wortels van de planten die kunnen opnemen.²⁰ Alleen bacteriën kunnen de inerte stikstof in de lucht omzetten in de mineralen (nitraat en ammonia) die essentieel zijn voor de vorming van eiwitten. Geen enkel deel van het voedselweb kan overleven zonder bacteriën.

De bacteriën in de bodem produceren ook groeihormonen en andere specifieke chemische stoffen die de groei van planten bevorderen. Sommige verbindingen die de plant afgeeft aan de bodem zijn zo enorm complex omdat de plant er niet op uit is alle bacteriën te wekken, maar enkel die bacteriën die bij uitstek bevorderlijk zijn voor de groei.²¹ Planten spreken in chemische talen die alleen worden begrepen door de microben waarmee zij zich willen verstaan.

Die taal verschilt per plaats en tijdstip, afhankelijk van wat de plant nodig heeft.²² Wanneer een plant bepaalde voedingsstoffen tekort komt, of wanneer de bodem te droog of te zout is,²³ zal hij een beroep doen op de bacteriën die juist die problemen kunnen oplossen. Sommige biologen zeggen dat de plant dan 'om hulp roept'. In reactie op die chemische oproep vermenigvuldigt een bepaalde gemeenschap van bacteriën zich dan rond de wortels van die plant.

Wanneer je al deze informatie van enige afstand bekijkt, dan zie je iets dat ons begrip van het leven op Aarde wezenlijk doet veranderen. De rhizosfeer ligt buiten de plant maar is even essentieel voor de gezondheid en het overleven ervan als het eigen (cel)

* Bacteriën lijken ook de relaties tussen planten en schimmels te bevorderen, en in sommige gevallen ook de giftige stoffen af te breken die de groei van schimmels belemmeren.

weefsel van de plant. Het is in wezen het externe darmstelsel van de plant.²⁴

Het is bijna eng als je je realiseert hoeveel de rhizosfeer en het darmstelsel van de mens, waarin ook verbijsterend veel bacteriën leven, met elkaar gemeen hebben. In beide stelsels breken de microben organische materie af in de eenvoudiger verbindingen die de plant of de mens in zich kan opnemen. Er zijn meer dan duizend stammen (fyla, ofwel grote groepen) van bacteriën, maar zowel de rhizosfeer als het darmstelsel bij zoogdieren worden gedomineerd door dezelfde vier stammen: de firmicutes, bacteroidetes, proteobacteriën en actinobacteriën.²⁵ Misschien hebben deze vier groepen bacteriën kenmerken waardoor ze meer dan andere bereid zijn om samen te werken.

Bij de mens is het immuunsysteem van een baby minder actief dan dat van een volwassene. Daardoor kan zich een breed scala bacteriën in ons darmstelsel vestigen. Jonge planten geven ook minder defensieve verbindingen af in de bodem dan oudere, zodat een breed scala microben hun rhizosfeer kan bevolken.²⁶ De moedermelk bij de mens bevat suikers die 'oligosachariden' worden genoemd. Aanvankelijk begrepen wetenschappers niet goed waarom moeders deze verbindingen afgeven, aangezien baby's ze niet kunnen verteren. Inmiddels lijkt het erop dat die verbindingen uitsluitend tot doel hebben om de bacteriën te voeden waarmee het kind zal opgroeien. De oligosachariden cultiveren selectief een bepaalde bacteriële soort (*bifidobacterium longum infantis*) die een cruciale bijdrage levert aan de ontwikkeling van het darmstelsel en de inregeling van het immuunsysteem.²⁷ Zo ook geven jonge planten grote hoeveelheden sacharose (suiker) af aan de bodem om hun nieuwe microbiom te voeden en zich te laten ontwikkelen.

Net als het darmstelsel van de mens verteert de rhizosfeer niet alleen voedsel, maar helpt het de plant ook zich te beschermen tegen ziekte. Net zoals de bacteriën in onze darmen binnendringende ziektekiemen wegconcurreren en aanvallen, creëren de microben in de rhizosfeer een verdedigingsgordel rond de wortel van de plant. Planten voeden nuttige soorten bacteriën, zodat die

de ziekteverwekkende microben en schimmels verdringen²⁸ (een effect dat 'kolonisatieverzet' wordt genoemd).

Soms gaan planten over tot chemische oorlogsvoering: ze geven dan verbindingen af die schadelijke microben vergiften of onderdrukken maar de nuttige stimuleren.²⁹ Deze chemische aanvallen zijn soms dermate nauwkeurig dat ze een ziekteverwekkende variëteit van een bacteriesoort kunnen uitschakelen, maar niet een nuttige variant van dezelfde soort.³⁰ Soms werken plant en bacterie samen tegen een gemeenschappelijke vijand; ze produceren dan dezelfde defensieve chemische stof.³¹ Soms vallen de bevriende microben in reactie op het noodsignaal van de plant hun rivalen aan met antibiotica.³² Wanneer een schadelijke schimmel de wortels van de plant is binnengevallen, zal de plant soms zijn gebruikelijke verdediging laten varen en bepaalde soorten bacteriën toestaan er ook binnen te dringen om dan de schimmels in het wortelweefsel te bestrijden en onderdrukken.³³

De ziektekiemen vechten terug en vallen de microben die de plant te hulp schieten aan met dodelijke 'effector-eiwitten'.³⁴ Sommige soorten ziektekiemen hebben zich zodanig ontwikkeld dat ze floreren op de verbindingen die zijn bedoeld om ze te onderdrukken. Sommige schimmels en insectenplagen gebruiken de noodsignalen van de plant om die op te sporen en aan te vallen.³⁵

Planten roepen ook de hulp in van grotere wezens. Wanneer hun wortels worden aangevallen door insecten, geven ze vluchtige stoffen af aan de bodem waar bepaalde soorten nematoden op af komen:³⁶ de kleine witte wormpjes die ik in mijn reageerbuisje aantrof. Deze nematoden doorboren met hun scherpe bek de huid van ondergrondse rupsen. Vervolgens wriemelen ze zich door dat gat naar binnen bij de rups en braken de lichtgevende symbiotische bacteriën uit die in hun darmen leven. Die bacteriën produceren een insecticide dat de larven van de rups doodt, en antibiotica die de microben doden die al in het insect leven. Vervolgens verteren de bacteriën de rups van binnen terwijl de nematoden zich te goed doen aan de zich vermeerderende bacteriën.

De populatie nematoden explodeert: soms worden er wel vierhonderdduizend jonkies voortgebracht binnen de rottende romp van één enkele rups.³⁷ Die nieuwe nematoden dringen door de inzakkende huid van de rups de bodem in, op zoek naar een nieuwe prooi. Die prooi zal misschien gemakkelijk te vinden zijn, want een geïnfecteerde rups krijgt door de lichtgevende bacteriën een blauwe gloed. Die gloed lijkt weer andere rupsen aan te trekken, die dan op hun beurt kunnen worden aangevallen.

In de Amerikaanse burgeroorlog bleven na de veldslag bij Shiloh (Tennessee) in 1862 duizenden gewonde soldaten achter in de modder op het slagveld, soms wel twee dagen en nachten lang. Het aantal gewonden was aan beide kanten zo groot dat de beide legers de grootste moeite hadden om ze allemaal op te halen en te verzorgen. Veel soldaten stierven aan hun verwondingen en de infecties die ze erdoor opliepen. 's Nachts zagen sommige gewonde soldaten echter een vreemde blauwe gloed uit hun wonden komen. Deze schijnsels werden ook vanaf een afstand waargenomen. De artsen ter plekke merkten dat de soldaten die gloeiden sneller genazen en meer kans hadden om te overleven dan de soldaten die niet die blauwe gloed vertoonden.³⁸ Ze noemden het de Engelengloed.

Een verklaring voor die Engelengloed werd 139 jaar later geopperd door de zeventienjarige middelbare scholier William Martin. Martin kwam op een idee en stelde zijn vriend Jonathan Curtis voor om het samen te onderzoeken.³⁹ In hun artikel, dat werd bekroond met een landelijke wetenschapsprijs, betoogden zij dat de soldaten leken te zijn aangevallen door insecten etende nematoden in de bodem die hun wonden besmetten. De nematoden braakten hun bacteriën uit en de antibiotica die deze microben produceerden doodden vermoedelijk de andere ziektekiemen in de wonden van de soldaten. De lichtgevende bacteriën hebben zich ontwikkeld om insecten te infecteren, en die hebben een lagere lichaamstemperatuur dan mensen. De scholieren vermoedden daarom dat alleen de onderkoelde soldaten werden 'ingeënt.' Wanneer zij vervolgens in het veldhospitaal kwamen

om te worden behandeld, warmden ze op en stierven de bacteriën die hen hadden gered, zodat er geen complicaties optraden. (Een verwante soort bacteriën, aangepast aan de lichaamstemperatuur van zoogdieren, veroorzaakt juist ernstige infecties.)⁴⁰

Veel van de antibiotica die worden gebruikt in de geneeskunde werden ontwikkeld door bacteriën in de bodem⁴¹ voor hun brute ondergrondse veldslagen, die zich voor het merendeel afspelen in de rhizosfeer. Sommige van die cruciale medicijnen worden nu minder effectief omdat de ziektekiemen die we proberen uit te schakelen er resistent voor worden. We moeten daarom dringend nieuwe medicijnen zien te ontdekken. De rhizosfeer is waarschijnlijk een vruchtbare bron voor nieuwe antibiotica. Door middel van genoom-winning (*genome mining*) – de genetische code van een wezen doorzoeken op clusters van genen die complexe stoffen maken – beginnen onderzoekers nu al nieuwe antibiotica te ontdekken in de bacteriën die samenleven met planten.⁴² Tot nu toe is slechts de helft van de grote groepen bodembacteriën gekweekt in laboratoria.⁴³ We weten dus nog niet wat de rhizosfeer wellicht te bieden heeft.

De microben in de rhizosfeer – het externe darmstelsel van de plant – beschermen de plant ook nog op een andere manier tegen een aanval: ze stimuleren het immuunsysteem van de plant. Wanneer de bladeren van een plant worden aangevallen door schimmels of insecten, kan de plant daar in eerste instantie op reageren door hormonen vrij te geven in de bodem en zo een noodkreet uit te sturen naar de bacteriën die daar leven. Dat lijkt een vreemde reactie: de bacteriën kunnen immers niet de bodem uit komen om de ziekteverwekkers op de bladeren bovengronds aan te vallen. De bacteriën weerkaatsen echter, als het ware, het alarmsignaal van de plant door zelf een chemische boodschap af te geven, en dat brengt in de plant een immuunreactie op gang.⁴⁴ (Een proces dat ‘opgewekte systeemreactie,’ *Induced Systemic Response*, wordt genoemd.) De plant maakt dan defensieve stoffen aan in zijn bladeren en sluit de poriën (de huidmondjes, of *stomata*) via welke de schimmels binnen zouden kunnen dringen.⁴⁵

Dit lijkt een nogal omslachtige manier om een plaag te verjagen. Het immuunsysteem van de plant heeft zich echter samen met de bacteriën ontwikkeld en wordt er gedurende zijn leven door afgericht en ingeregeld. Het kan dit niet op een andere manier doen. Ook dit proces is weer vergelijkbaar met de relaties in de darmen van de mens. Bacteriën in de dikke darm – waarvan sommige ons goed gezind zijn, andere ziekteverwekkend, en weer andere nu eens het één en dan weer het ander – instrueren de cellen in ons lichaam bij een immunreactie. Ze sturen chemische boodschappen uit om die cellen te waarschuwen wanneer ziektekiemen proberen door de beschermende slijmlaag van de darmen heen te breken en de wanden ervan aanvallen.⁴⁶

We weten inmiddels dat een combinatie van overdreven hygiëne, een overmatig gebruik van antibiotica en de vervanging van een gevarieerd, vezelrijk voedselpakket door een eenzijdiger en minder vezelrijk voedselpakket schadelijk is voor het bioom in onze darmen. Het aantal soorten dat erin voorkomt vermindert erdoor. Dit schaadt onze spijsvertering en ons immuunsysteem. Evenzo hebben landbouwwetenschappers in de afgelopen paar jaar ontdekt dat planten die groeien op een beschadigde bodem met een verminderde diversiteit aan microben zich kennelijk minder goed weten te verweren tegen aanvallen van bepaalde ziektekiemen.⁴⁷ Wanneer de bodem beschadigd is geraakt door een overmatig gebruik van kunstmest, door gebruik van pesticiden of schimmelbestrijdingsmiddelen, door overmatig ploegen of doordat de bodem is geplet door zwaar materieel, zal de hulproep van de planten eerder worden benut door parasieten en plagen.

Zowel bij schade aan het bioom in onze darmen als bij schade aan de bodem krijg je dan een 'dysbiose'⁴⁸ – een aanduiding uit de medische wereld voor de ineenstorting van het darmleven die ook zou kunnen worden gebruikt voor het uiteenvallen van een ecosysteem.⁴⁹

Volgens een interessante richting in het onderzoek zou een bodem met een rijk en evenwichtig microbioom wellicht de

pathogene bacteriën waar mensen ziek van worden kunnen onderdrukken.⁵⁰ Dat zou de kans kunnen verkleinen dat menselijke ziekten worden overgedragen door middel van voedsel.⁵¹ Onze gezondheid hangt op zowel duidelijke als niet meteen duidelijke manieren af van een gezonde bodem.

Bij de mens kan een gezond darmstelsel ziekte 'onderdrukken,' terwijl een ongezond darmstelsel ziekte kan 'bevorderen.' Onderzoekers hebben ontdekt dat dit ook geldt voor de bodem. Een plant die sterft kan in de bodem een erfenis aan gekweekte bacteriën nalaten. Die bacteriën beschermen dan de nieuwe plant die op die plek opkomt. Sommige onderzoekers experimenteren nu met het agrarische equivalent van fecale transplantatie. Fecale transplantatie houdt in dat monsters van de uitwerpselen van gezonde mensen worden getransplanteerd in de darmen van ongezonde patiënten. De gedachte van die landbouwwetenschappers is dat ziekteverwekkende bacteriën en schimmels kunnen worden geweerd door 'onderdrukkende' aarde te 'injecteren' in een ongezonde, voor die bacteriën en schimmels 'bevorderlijke' bodem.⁵²

Er valt me iets op in het gat dat ik heb gegraven. Ik zie een enorme regenworm die in het gat bengelt. Hij vraagt zich ongetwijfeld af waar zijn holletje is gebleven. Ik voel me opeens heel schuldig. Ik heb geleerd dat de holen van regenwormen vele jaren en zelfs tientallen jaren kunnen bestaan, en net als onze huizen door achtereenvolgende generaties worden gebruikt.⁵³ Zij maken deel uit van een andere belangrijke structuur in de bodem: de regenwormzone of drilosfeer.

Eén hectare stabiele grond begroeid met gras, zoals in onze boomgaard, kan wel achtduizend kilometer aan regenwormgangen bevatten.⁵⁴ Die gangen beluchten de bodem en bevorderen de doorwatering ervan. En hoe! In één experiment werden opnieuw regenwormen geïntroduceerd in een bodem waarin ze niet langer voorkwamen. Na tien jaar bleek die bodem bijna twee keer zoveel van het water dat erop terecht kwam op te nemen.⁵⁵ Dit betekent dat er dan minder water wegspoelt over het bodemoppervlak. Er spoelt dan ook minder aarde weg en er

dringt meer water door tot de wortels van de planten. Volgens één schatting zorgen de gangenstelsels van regenwormen voor een halvering van de erosie van de bodem. Het effect van de wormen verschilt echter per plek en seizoen. In andere gevallen maken regenwormen de bodem juist minder poreus of vergroten ze juist de erosie doordat ze losse aarde naar de oppervlakte duwen.

Regenwormen kunnen zowat alle bladeren en stengels en twijgjes, die op de grond vallen, hun gangen in trekken.⁵⁶ Net als vogels slikken zij kleine steentjes en stukjes gruis in, waarmee ze vervolgens die dode plantenresten vermalen in hun spiermaag. De bacteriën die in hun darmstelsel leven helpen die plantresten te verteren, en sommige soorten regenwormen poepen alles wat ze niet kunnen opnemen uit op het bodemoppervlak.

Het totale effect van al deze activiteit is buitengewoon. Op plekken zoals onze boomgaard kunnen regenwormen elk jaar per hectare wel veertig ton aarde naar het oppervlak brengen.⁵⁷ In de tropische savanne kan dat oplopen tot wel duizend ton.⁵⁸ Vervallen gebouwen verdwijnen langzaam in de bodem, niet omdat ze erin zakken maar omdat de bodem stijgt doordat die voortdurend aan het oppervlak door de wormen wordt opgespo-ten.* Door het organisch materiaal dat de regenwormen eten, bevatten hun uitwerpselen veel meer mineralen dan de rest van de bodem. Door dode planten te vermalen, maken zij de voedingsstoffen die erin zitten beschikbaar voor bacteriën en schimmels. En die geven die voedingsstoffen op hun beurt weer door aan planten. Op plekken met regenwormen wegen planten en dieren bovengronds gemiddeld twintig procent meer dan op plekken zonder regenwormen.⁵⁹

Regenwormen geven ook groeihormonen af aan planten,⁶⁰ hoewel het nog niet duidelijk is of ze dat direct doen of dat

* Dit effect werd opgemerkt en gemeten door Charles Darwin, die het beschreef in zijn heerlijke boek *The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, with Observations on their Habits* (1881). [Humusvorming door wormen, met observaties over hun levenswijze, vert. 2019; noot v. vert.]

ze bacteriën ertoe aanzetten ze te produceren. Soms maken wormen planten resistenter tegen parasitaire nematoden⁶¹ en zuigende insecten, hetzij door voedingsstoffen te ontsluiten of door chemische signalen af te geven waarmee de immuunsystemen van planten worden geactiveerd.⁶² (Op andere momenten lijken ze planten juist weer kwetsbaarder te maken voor plagen.) Planten kunnen, op hun beurt, met behulp van hun eigen stoffen, het gedrag van wormen beïnvloeden.⁶³ Hoe meer we een ecosysteem bekijken, des te groter wordt de complexiteit die we waarnemen.

In mijn kluit aarde vind ik een leerachtig, citroenvormig zakje van ongeveer zeven millimeter lang. Het doet me denken aan de gedroogde en opgeblazen varkensblazen waarmee lang geleden werd gevoetbald. Door mijn vergrootglas zie ik binnen in het zakje iets roods dat afwisselend een zwakke en dan weer een fel trekkende beweging maakt, net als bloed dat door een vat stroomt. Het is een babyworm die groeit in zijn cocon. Regenwormen vermeerderen zich al even eigenaardig als al het andere bodemleven. Na de geslachtsgemeenschap (iedere worm binnen een soort kan gemeenschap hebben met iedere andere worm, want ze zijn allemaal zowel mannelijk als vrouwelijk), worden de zadels rond het midden van hun lichaam dikker en hard. Vervolgens glijdt een zakje met daarin de ei- en zaadcellen van het zadel af en over het hoofd van de worm, waarbij het zich aan de uiteinden sluit en daarmee de cocon vormt.

Toen ik deze kluit aarde begon te onderzoeken, had ik een vage associatie die ik niet meteen kon plaatsen. Maar nu weet ik het opeens: het voelt net zoals de allereerste keer dat ik ging snorkelen. Net zoals nu, bij het uit elkaar halen van deze kluit aarde, belandde ik ook toen in een nieuwe wereld, die je van bovenaf niet kon zien. Nu ik me die ervaring herinner, begint de bodem eruit te zien als een koraalzee. Net als de zee, met zijn riffen en open water, heeft ook de bodem meer en minder gestructureerde zones: plekken van intense biologische activiteit (zoals de rhizosfeer, de drilosfeer en de myrmecosfeer) en

het gros van de bodem waar de grote predatoren rondtrekken: duizendpoten en kevers in plaats van haaien en dolfinen.

Net als in het koraalrif wemelt het in de bij uitstek gestructureerde regio's in de bodem van de symbiotische relaties. Koraal is een combinatie van mineralen uit rotsen met dieren, planten en microben die met elkaar samenwerken en elkaar beconcurreren om structuren te vormen uit die mineralen. Zo is ook de bodem een ecosysteem dat levende wezens bouwen van dode materie.⁶⁴ Met die biologische relaties staat of valt de gezondheid en vruchtbaarheid van de bodem – en daarmee de levensvatbaarheid van het grootste deel van het bovengrondse leven op Aarde. Het is misschien niet zo mooi om naar te kijken als koraal, maar zodra je het begint te begrijpen, is het in de geest even mooi.

We weten er echter nauwelijks iets over. De bodem is altijd genegeerd als ecosysteem. Er is maar heel weinig geld en moeite in gestoken om dit systeem te doorgronden. Nu pas beginnen we de complexiteiten ervan in kaart te brengen. De beperkte beschikbare fondsen voor de studie van het bodemleven worden meestal besteed om nieuwe manieren te vinden om dat leven te vernietigen – lees, om af te rekenen met ongedierte en plagen voor de landbouw. Zoals een van mijn docenten aan de universiteit het ooit formuleerde: 'Ik bestudeer insecten omdat ik van ze houd. Maar de enige financiering die ik kan krijgen, is om ze te doden.' Er zijn tal van beroepsgroepen die allerlei andere levende stelsels bestuderen. Maar een instituut voor bodemecologie bestaat nergens ter wereld.

We zagen de bodem altijd als één homogene massa, maar in werkelijkheid bestaat de bodem uit structuren binnen structuren binnen structuren. Regenwormen, wortels en schimmels vormen klompen aarde, aan elkaar gelijmd met de vezels en plakkerige chemische stoffen die ze aanmaken, de zogeheten bodemaggregaten of bodemcomplexen.⁶⁵ Binnen deze aggregaten worden kleinere klompjes gevormd door diertjes als mijten en springstaarten. En dáár weer binnen worden nog kleinere aggregaten gevormd door bacteriën en hun microscopisch kleine

predatoren – wezens die ik niet eens met mijn vergrootglas kan zien, zoals beerdiertjes, trilhaardiertjes en amoeben.

Tussen deze clusters zitten gaten in verschillende vormen en formaten. Eromheen liggen vliezen van water en de complexe chemische stoffen die planten en dieren vrijgeven. Elk van deze clusters en gaten en vliezen heeft eigen specifieke eigenschappen. Zo ontstaan er miljoenen kleine niches waar verschillende soorten in kunnen leven.

In 2020 deden wetenschappers suggesties die zouden kunnen worden beschouwd als de eerste stappen naar een theorie omtrent de bodem (*Theory of the Soil*).⁶⁶ Dit betekent dat zij begonnen te begrijpen wat de bodem is. Het klinkt misschien vreemd om dit te zeggen, maar we beseffen nu pas dat de ondergrond waar ons leven van afhangt een biologische structuur is.

Microben maken aggregaten door kleine deeltjes aan elkaar te plakken met de koolstof-polymeren die zij uitpoepen, ofwel het cement. Hiermee stabiliseren zij de bodem en bouwen holletjes voor zichzelf. Gaandeweg ontstaat hierdoor een almaar complexere architectuur: poriën en gangen die water, zuurstof en voedingsstoffen doorlaten. Met andere woorden, de bodem is als een wespennest of een beverdam: een systeem gebouwd door levende wezens om in te overleven. Een wespennest of een beverdam zijn als structuur echter veel eenvoudiger dan de bodem. De bodem is een onmeetbaar fijnmazige, zich eindeloos verspreidende catacombe, gemaakt door bacteriën, planten en bodemfauna, die allemaal onbewust met elkaar samenwerken. Anders gezegd, de bodem gedraagt zich als Stof in een roman van Philip Pullman: hij organiseert zichzelf spontaan tot coherente werelden. Die werelden zijn gebaseerd op het principe van fractale schaalgrootte. Dat betekent dat de structuur samenhangend is, ongeacht in welke vergroting je haar bekijkt.

De autonoom ontstane en zich aanpassende wereld die microben, planten en beestjes ieder voor zich bouwen, geeft de bodem een ongelooflijke structurele weerbaarheid tegen droogte en overstromingen. Dankzij deze structuur kan de bodem crises doorstaan en overleven die hem anders tot losse poeder zouden

maken. Dit inzicht zou echter ook kunnen verklaren waarom de bodem begint af te takelen wanneer hij wordt bewerkt. Wanneer een boer of tuinder onder bepaalde omstandigheden kunstmest met stikstof toepast, reageren de microben daarop en ‘verbranden’ als het ware de koolstof in de bodem. Die koolstof is voor een groot deel opgeslagen in de polymeren waarmee de catacomben in de bodem zijn opgebouwd.⁶⁷ Zonder dat cement begint de structuur – en het systeem – uiteen te vallen. De poriën zakken in. De gangen storten in. Zuurstof en water kunnen niet langer in de bodem doordringen. Aangezien de bodem fractaal is geschaald, betekent het uiteenvallen van de microstructuur ook het einde van de metastructuur: die raakt doorweekt, slibt dicht en bevat geen lucht meer. Het klinkt misschien vreemd, maar in een bodem waarop teveel kunstmest is uitgestrooid kan het moeilijk worden voor planten om bij de voedingsstoffen te komen die ze nodig hebben.

De ruimtelijke complexiteit van de bodem wordt nog vele malen vergroot door de tijdgebonden complexiteit ervan. De kansen in een stukje aarde in de bodem kunnen van uur tot uur drastisch veranderen: doordat het uitdroogt of juist doordrenkt raakt, doordat de bacteriën het organisch materiaal erin opeten, doordat een wortelhaar erin doordringt en er suikers en complexe chemische stoffen in vrijgeeft, doordat een worm het verzwelgt en uitpoept, doordat een mierenkolonie het aan elkaar plakt met speeksel, of doordat een groter dier in de bodem, zoals een mol, een konijn of een das, het uitgraaft en omwoelt.

Door deze schommelingen in ruimte en tijd ontstaan ‘hot spots’ en ‘hot moments,’ zoals sommige ecologen het noemen:⁶⁸ plekken en momenten van intense biologische activiteit. Deze eindeloze variaties dragen bij tot een fantastisch biologisch concept: het Hutchinsonse hypervolume.^{69, 70} Dit beschrijft de veelzijdige kansen die het verschillende wezens mogelijk maken om te overleven.⁷¹ Kort gezegd: hoe complexer een systeem is in ruimte en tijd, des te groter wordt de diversiteit die het kan ondersteunen.

Het enorme Hutchinsonse hypervolume van een gezonde bodem verklaart wellicht het mysterie dat ik eerder al noemde: het Geheim van de Oribatida. Ofwel: hoe kunnen honderden soorten van één groep mijten op hetzelfde moment op dezelfde plek samenleven, en kennelijk allemaal precies hetzelfde doen, zonder dat één of enkele ervan de overhand krijgen en de overige verdringen? Een mogelijk antwoord – ‘mogelijk’ omdat we nog maar zo weinig weten van de bodem – is dat het weliswaar lijkt alsof ze allemaal samen op hetzelfde tijdstip en op dezelfde plek leven, maar dat in werkelijkheid helemaal niet doen. Misschien benutten ze allemaal minuscule hotspots en hot moments die wij niet waarnemen.⁷²

Ik moet mezelf er steeds weer rekenschap van geven dat de bodem er niet is om ons te dienen. De bodem probeert niet om ons te helpen voedsel te verbouwen. Zoals elk complex en autonoom georganiseerd systeem zoekt ook de bodem zijn eigen equilibrium. Velen van mijn medevolkstuinders zijn absoluut ‘ecologisch bewust.’ Maar als ze het hebben over een ‘goed omgeploegde bodem’ of ‘goed losgemaakte grond,’ dan hebben ze het onbewust over het kapotmaken van de complexe structuren in de bodem. Dan hebben ze het over de vernietiging van de vele niches die deze verbijsterende overvloed aan leven herbergen. Als we zeggen dat we de bodem ‘openbreken’ om gewassen te verbouwen, dan zeggen we precies wat we doen – maar zo hadden we het nooit bedoeld.

Inmiddels ben ik al twee uur mijn kluit aarde aan het verkennen. Opeens besef ik dat ik die kilogram aarde nog niet eens van mijn spade heb gehaald, zo snel en diepgaand had ik me verdiept in deze nieuwe wereld. Ik heb bovendien nog niet eens de helft van de kluit doorzocht. Maar ik heb een stijve rug gekregen en het is tijd voor de lunch. Er hangt inmiddels wat sluierbewolking voor de zon. Ik stop de aarde terug in het gat en leg de grasplag er weer op. Als ik opsta, merk ik dat ik helemaal onder de bloesemblaadjes van de kersenboom zit. Die zijn op me gevallen van de takken die ik aan de boom heb laten zitten.

Door me te verdiepen in wat er zich allemaal in de bodem afspeelt, ben ik mij meer dan ooit gaan realiseren dat we onze waarheden opbouwen met behulp van losse en dunne stukjes informatie, en dat daaronder werelden schuil gaan waarvan we ons nauwelijks een voorstelling kunnen maken. Algemeen geaccepteerde beweringen zijn gebaseerd op overlevering en mythen, terwijl wetenschappelijke inzichten, hoe dramatisch en intrigerend ook, buiten een kleine kring van specialisten nauwelijks bekend zijn.

In mijn onderzoek voor dit boek heb ik ontdekt dat deze kloof tussen perceptie en werkelijkheid bestaat in zowat elk aspect van onze voedselsystemen. Onze kijk op voedsel en landbouw wordt gedomineerd door fabels en beeldspraak. Die beschrijven de wereld niet zoals ze is, maar schetsen een geïdealiseerd en vereenvoudigd beeld van onze planeet. Dat leidt ertoe dat wij catastrofale fouten maken. In dit boek wil ik een nieuw begin maken. Ik wil proberen een nieuw verhaal te vertellen over wat we eten en hoe we het verbouwen. Ik probeer met dit verhaal een brug te slaan tussen de inzichten in de wetenschap en datgene wat de meeste mensen denken – en te onderstrepen hoe fascinerend complex de levende wereld is.

Iedere vraag over de bodem leidt tot weer nieuwe vragen. Elk antwoord legt een weelde aan grensoverschrijdende relaties bloot en opent nieuwe terreinen van onderzoek. Naarmate we meer leren over het leven op Aarde blijkt dat leven almaar fijnmaziger en meer onderling verweven te zijn – en een almaar grotere rol te spelen bij de creatie van de fysieke omgeving. De natuurbeschermers John Muir zei het ooit heel treffend: ‘Wanneer we iets apart proberen te bekijken, blijkt het altijd verbonden te zijn met al het andere in het universum.’ De bodem is misschien wel het meest complex van alle levende systemen. Maar we behandelen hem als vuil.

De meeste mensen beschouwen de bodem als een dode en passieve ondergrond: een onbeschreven blad dat pas nut en potentieel krijgt wanneer er gewassen op groeien. In de beleving van de meeste mensen heeft de bodem bij de voedselproductie

enkel de functie om de wortels van planten vast te houden en de kunstmatige chemicaliën die wij erover uitstrooien op te nemen. Wanneer we zien wat er allemaal leeft in de bodem, schrikken we. Dat vinden we weerzinwekkend. Wanneer we iemand heel erg willen beledigen, noemen we hem misschien een worm: een dier waarvan, misschien meer dan alle andere, ons leven afhangt. Begrip van dat bodemleven is echter van levensbelang bij het beantwoorden van enkele van de belangrijkste vragen waarvoor we nu staan. Namelijk: hoe kunnen we onszelf voeden in een wereld waarin de natuurlijke en menselijke systemen razendsnel veranderen? Hoe kunnen we dat doen zonder de basis van ons bestaan te vernietigen? En hoe kunnen we, terwijl we ons eigen voortbestaan veilig stellen, ook het overige leven op Aarde beschermen? De toekomst ligt onder de grond.

- 1 The Orchard Project, 2013. Winter Wassail 2013. <https://www.theorchardproject.org.uk/blog/winter-wassail-2013>
- 2 Our World in Data, 2018. Calorie Supply by Food Group, 2017. <https://ourworldindata.org/grapher/calorie-supply-by-food-group?>
- 3 Tiehang Wu, Edward Ayres, Richard D. Bardgett et al., 2011. 'Molecular study of worldwide distribution and diversity of soil animals'. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 108, no. 43, pp. 17720-5. <https://doi.org/10.1073/pnas.1103824108>
- 4 David C. Coleman, Mac A. Callaham Jr & D.A. Crossley Jr, 2018. *Fundamentals of Soil Ecology*. Academic Press, Cambridge, MA. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04083-7>
- 5 Tiehang Wu, Ayres, Bardgett et al., 2011 (zie noot 3).
- 6 Coleman, Callaham & Crossley, 2018 (zie noot 4).
- 7 Radnorshire Wildlife Trust. Yellow Meadow Ant. <https://www.rwtwales.org/wildlife-explorer/invertebrates/ants/yellow-meadow-ant>
- 8 Nick Baker, mei 2020. Hidden Britain: Ant Woodlouse. BBC Wildlife. <https://www.yumpu.com/news/en/issue/7785-bbc-wildlife-issue-052020/read?page=21>
- 9 Coleman, Callaham & Crossley, 2018, (zie noot 4), p. 10.
- 10 Idem.
- 11 A. Pascale et al., 2020. 'Modulation of the root microbiome by plant molecules: The basis for targeted disease suppression and plant growth promotion'. *Frontiers in Plant Science*, vol. 10, article 1741. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01741>
- 12 Coleman, Callaham & Crossley, 2018 (zie noot 4).
- 13 David R. Montgomery & Anne Biklé, 2016. *The Hidden Half of Nature: The Microbial Roots of Life and Health*. W. W. Norton and Company, New York.
- 14 Merlin Sheldrake, 2020. *Verweven leven – De verborgen wereld van schimmels*. Atlas Contact, Amsterdam.
- 15 Patrick Lavelle et al., 2016. 'Ecosystem Engineers in a Self-Organized Soil'. *Soil Science*, March/April, vol. 181:3/4, pp. 91-109. <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000155>
- 16 Hongwei Liu et al., 2020. 'Microbiome-mediated stress resistance in plants'. *Trends in Plant Science*, vol. 25:8, pp. 733-43. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.03.014>
- 17 Lavelle et al., 2016 (zie noot 15).
- 18 Coleman, Callaham & Crossley, 2018 (zie noot 4), p. 50.
- 19 Dिल्фуза Egamberdieva et al., 2008. 'High incidence of plant growth-stimulating bacteria associated with the rhizosphere of wheat grown on salinated soil in Uzbekistan'. *Environmental Microbiology*, vol. 10:1, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2007.01424.x>
- 20 Andrew L. Neal et al., 2020. 'Soil as an extended composite phenotype of the microbial metagenome'. *Scientific Reports*, vol. 10, article 10649. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67631-0>
- 21 Ioannis A. Stringlis et al., 2018. 'MYB72-dependent coumarin exudation shapes root microbiome assembly to promote plant health'. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115:22, article E5213–E5222. <https://doi.org/10.1073/pnas.1722335115>
- 22 Pascale et al., 2020 (zie noot 11).
- 23 Hongwei Liu et al., 2020 (zie noot 16).
- 24 Shamayim T. Ramirez-Puebla et al., 2012. 'Gut and root microbiota commonalities'. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 79:1, pp. 2-9. <https://doi.org/10.1128/AEM.02553-12>
- 25 Rodrigo Mendes & Jos M. Raaijmakers, 2015. 'Cross-kingdom similarities in microbiome functions'. *The ISME Journal*, 9, pp. 1,905-7. <https://doi.org/10.1038/ismej.2015.7>
- 26 Kateryna Zhaltina et al., 2018. 'Dynamic root exudate chemistry and microbial substrate preferences drive patterns in rhizosphere microbial community assembly'. *Nature Microbiology*, vol. 3, pp. 470-80. <https://doi.org/10.1038/s41564-018-0129-3>
- 27 Ed Yong, 2017. *De microben in ons*. Walburg Pers, Amsterdam.
- 28 Maureen Berg & Britt Koskella, 2018. 'Nutrient- and dose-dependent microbiome-mediated protection against a plant pathogen'. *Current Biology*, vol. 28:15, pp. 487-2492, e2483. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.05.085>
- 29 Paulo José P. L. Teixeira et al., 2019. 'Beyond pathogens: Microbiota interactions with the plant immune system'. *Current Opinion in Microbiology*, vol. 49, June, pp. 7-17. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2019.08.003>
- 30 Mathias J.E.E. Voges, 2019. 'Plant-derived coumarins shape the composition of an Arabidopsis synthetic root microbiome'. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 11:25, pp. 12558-65. <https://doi.org/10.1073/pnas.1820691116>
- 31 Ioannis A. Stringlis et al., 2018 (zie noot 21).
- 32 Viviane Cordovez et al., 2019. 'Ecology and evolution of plant microbiomes'. *Annual Review of Microbiology*, vol. 73:1, pp. 69-88. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-090817-062524>
- 33 Hongwei Liu et al., 2020 (zie noot 16).
- 34 Pascale et al., 2020 (zie noot 11).
- 35 Stephen A. Rolfe, Joseph Griffiths & Jurriaan Ton, 2019. 'Crying out for help with root exudates: Adaptive mechanisms by which stressed plants assemble health-promoting soil microbiomes'. *Current Opinion in Microbiology*, vol. 49, pp. 73-82. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2019.10.003>
- 36 Sergio Rasmann et al., 2005. 'Recruitment of entomopathogenic nematodes by insect-damaged maize roots'. *Nature*, 434, pp. 732-7. <https://doi.org/10.1038/nature03451>
- 37 D.R. Strong et al., 1996. 'Entomopathogenic nematodes: Natural enemies of root-feeding caterpillars on bush lupine'. *Oecologia*, vol. 108:1, pp. 167-73. <https://doi.org/10.1007/BF00333228>
- 38 Pinar Avci et al., 2018. 'In-vivo monitoring of infectious diseases in living animals using bioluminescence imaging'. *Virulence*, vol. 9:1, pp. 28-63. <https://doi.org/10.1080/21505594.2017.1371897>
- 39 Geraldine Mulley et al., 2015. 'From insect to man: Photobacterium sheds light on the emergence of human pathogenicity'. *PLoS ONE*, 10:12, e0144937. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144937>
- 40 Matt Soniak, 2012. 'Why some Civil War soldiers glowed in the dark'. 5 april 2012. *Mental Floss*.
- 41 Montgomery & Biklé, 2016 (zie noot 13).
- 42 E.J.N. Helfrich et al., 2018. 'Bipartite interactions, antibiotic production and biosynthetic potential of the Arabidopsis leaf microbiome'. *Nature Microbiology*, vol. 3, pp. 909-19. <https://doi.org/10.1038/s41564-018-0200-0>
- 43 Coleman, Callaham & Crossley, 2018 (zie noot 4).
- 44 Pascale et al., 2020 (zie noot 11).
- 45 Thimmaraju Rudrappa et al., 2008. 'Root-secreted malic acid recruits beneficial soil bacteria'. *Plant Physiology*, 148:3, pp. 1547-56. <https://doi.org/10.1104/pp.108.127613>
- 46 Montgomery & Biklé, 2016 (zie noot 13).
- 47 Gabriele Berg et al., 2017. 'Plant microbial diversity is suggested as the key to future biocontrol and health trends'. *FEMS Microbiology Ecology*, vol. 93:5. <https://doi.org/10.1093/femsec/fix050>
- 48 Charisse Petersen & June L. Round, 2014. 'Defining dysbiosis and its influence on host immunity and disease'. *Cellular Microbiology*, vol. 16:7, pp. 1024-33. <https://doi.org/10.1111/cmi.12308>
- 49 Viviane Cordovez et al., 2019 (zie noot 32).

- 50 Rodrigo Mendes, Paolina Garbeva & Jos M. Raaijmakers, 2013. 'The rhizosphere microbiome: Significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms'. *FEMS Microbiology Reviews*, vol. 37:5, pp. 634-63, <https://doi.org/10.1111/15746976.12028>
- 51 Rodrigo Mendes & Jos M. Raaijmakers, 2015. 'Cross-kingdom similarities in microbiome functions'. *The ISME Journal*, 9, pp. 1905-7. <https://doi.org/10.1038/ismej.2015.7>
- 52 Rodrigo Mendes et al., 2011. 'Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria'. *Science*, vol. 332:6033, pp. 1097-100. <https://doi.org/10.1126/science.1203980>
- 53 Niki Grigoropoulou, Kevin R. Butt & Christopher N. Lowe, 2008. 'Effects of adult *Lumbricus terrestris* on cocoons and hatchlings in Evans' boxes'. *Pedobiologia*, 51, pp. 343-9.
- 54 Susanne Wurst, Ilja Sonnemann & Johann G. Zaller, 2018. *Soil Macro-Invertebrates: Their Impact on Plants and Associated Aboveground Communities in Temperate Regions*. Aboveground-Belowground Community Ecology, Ecological Studies (Analysis and Synthesis), volume 234. pp 175-200. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91614-9_8
- 55 M. Blouin et al., 2013. 'A Review of earthworm impact on soil function and ecosystem services'. *European Journal of Soil Science*, vol. 64:2, pp. 161-82. <https://doi.org/10.1111/ejss.12025>
- 56 Idem.
- 57 Christian Feller et al., 2003. 'Charles Darwin, earthworms and the natural sciences: Various lessons from past to future'. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 99:1-3, pp. 29-49. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00143-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00143-9)
- 58 Coleman, Callahan & Crossley, 2018 (zie noot 4).
- 59 Jan Willem van Groenigen et al., 2014. 'Earthworms increase plant production: A meta-analysis'. *Scientific Reports*, vol. 4:6365. <https://doi.org/10.1038/srep06365>
- 60 Ruben Puga-Freitas et al., 2012. 'Signal molecules mediate the impact of the earthworm *Aporrectodea caliginosa* on growth, development and defence of the plant *Arabidopsis thaliana*'. *PLOS One*, vol. 7:12. e49504. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049504>
- 61 Manuel Blouin et al., 2005. 'Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites'. *Ecology Letters*, vol. 8:2, pp. 202-8. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00711.x>
- 62 Zhenggao Xiao et al., 2018. 'Earthworms affect plant growth and resistance against herbivores: A meta-analysis'. *Functional Ecology*, vol. 32:1, pp. 150-60. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12969>
- 63 Maria J.I. Briones, 2018. 'The serendipitous value of soil fauna in ecosystem functioning: The unexplained explained'. *Frontiers in Environmental Science*, vol. 6, article 149. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00149>
- 64 Andrew L. Neal et al., 2020. 'Soil as an extended composite phenotype of the microbial metagenome'. *Scientific Reports*, vol. 10, article 10649. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67631-0>
- 65 Ruben Puga-Freitas & Manuel Blouin, 2015. 'A review of the effects of soil organisms on plant hormone signalling pathways'. *Environmental and Experimental Botany*, vol. 114, pp. 104-16. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.07.006>
- 66 Andrew L. Neal et al., 2020 (zie noot 136).
- 67 Idem.
- 68 Yakov Kuzyakov & Evgenia Blagodatskaya, 2015. 'Microbial hot-spots and hot moments in soil: Concept & review'. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 83, pp. 184-99. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.01.025>
- 69 G.E. Hutchinson, 1957. 'Concluding remarks'. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, vol. 22, pp. 415-27. <https://www2.unil.ch/biomapper/Download/Hutchinson-CSHSymQunBio-1957.pdf>
- 70 Robert K. Colwell & Thiago F. Rangel, 2009. 'Hutchinson's duality: The once and future niche'. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, november, vol. 106, supplement 2, pp. 19651-8. <https://doi.org/10.1073/pnas.0901650106>
- 71 Samuel Pironon et al., 2017. 'The "Hutchinsonian niche" as an assemblage of demographic niches: Implications for species geographic ranges'. *Ecography*, vol. 41:7, pp. 1103-13. <https://doi.org/10.1111/ecog.03414>
- 72 Kuzyakov & Blagodatskaya, 2015 (zie noot 68).

AUTEUR

George Monbiot

UITGEVER

Starfish Books

VERTALING

Raymond Gijsen

REDACTIE

Menno Grootveld

OMSLAGONTWERP EN BINNENWERK

Zsa Zsa Linnemann, Studio ZenZ

FOTO AUTEUR

Guy Reece, bewerking Peter Cuypers

PAPIER

geprint op Roman 90 g/m² en Biotop 250 g/m²

PRINT EN BINDWERK

Ipskamp Printing, Enschede

ISBN 978 94 92 734 266, ecologie

1e druk, september 2023

OORSPRONKELIJKE TITEL

Regenisis, Feeding the World Without Devouring the Planet

uitgebracht door Allen Lane

COPYRIGHT

januari 2022 © George Monbiot

juli 2023 © vertaling Raymond Gijsen



WWW.STARFISHBOOKS.ORG

notes:

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 14* was printed in november 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
15	sculpture not to be seen	elena filipovic
16	the onion	kurt schwitters
17	tentacular thinking	donna j. haraway
18	toward a symbiotic way of thought	vincent zonca
19	living with birds	len howard
20	why look at animals?	john berger
21	quantum listening	pauline Oliveros
22	politics of installation	boris groys
23	some notes on drawing	amy sillman

www.ilycere-cahiers.com

www.blyisnokino.com

www.itispartofanensemble.com

www.peelrealounoun.com

www.naipatttaofficial.com

