

Marc-André Seloisse

DANKZIJ DE **MICROBEN**

en hun betekenis voor plant, dier en mens

VONK
UITGEVERS

Colofon

Dankzij de microben en hun betekenis voor plant, dier en mens
Marc-André Selosse

Originele titel: *Jamais seul. Ces microbes qui construisent les plantes,
les animaux et les civilisations*

Copyright © 2017 Marc-André Selosse. Alle rechten voorbehouden.

Uitgever oorspronkelijke titel: Actes-Sud, France

In samenwerking met 2 Seas Agency

Eerste Nederlandse druk 2021

ISBN: 978 90 6224 549 9

Vertaling: Veerle Fijnaut

Illustratie omslag: Lotte Klaver

Vormgeving: Karel Oosting

© Nederlandse vertaling en editie

Vonk Uitgevers (voorheen Uitgeverij Jan van Arkel)

www.vonkuitgevers.nl

Alle rechten voorbehouden

Deze vertaling is mede tot stand gekomen dankzij subsidie
van het Centre du Livre, Parijs

BIJ DEZE VERTALING

Dit boek *Dankzij de microben* is in zijn oorspronkelijke versie, in het Frans, verschenen onder de titel *Jamais seul* – Nooit alleen. Die originele titel onderstreept de visie van de auteur dat geen enkel organisme op de planeet ooit alleen is. We zijn immer omgeven door microbiëel leven, we danken onze vorm en ons functioneren aan microben. Om deze reden tref je in de tekst ook regelmatig de verwijzing naar ons microbiëel ‘gezelschap’ en wordt in de tekst regelmatig de zinsnede ‘nooit alleen’ gebruikt.

Toch hebben wij gemeend de titel van het boek te veranderen naar *Dankzij de microben*, om zo voor de aspirant-lezer het onderwerp van het boek direct duidelijk te maken. En daarbij sluit deze Nederlandse titel volledig aan bij de visie van de auteur en de teneur in het boek dat we ons leven en onze vorm mede te danken hebben aan de wonderbaarlijke kracht van microben.

Vonk Uitgevers
september 2021

INHOUD

- [PRELUDE:
**SYMBIOSE EN MUTUALISME – MAAR VOORAL
MICROBEN – 11**

- 1 MICROBEN EN WORTELS:
SCHIMMELS VOEDEN PLANTEN – 25

- 2 KLEIN BESCHERMT GROOT:
MICROBEN MAKEN DE PLANT – 47

- 3 EÉN PLUS ÉÉN IS MEER DAN TWEE:
SYMBIOSE ALS MOTOR VAN INNOVATIE – 71

- 4 **COMPLEXE KOEIEN EN ANDERE HERBIVOREN – 91**

- 5 DIERENMANIEREN IN ZEE:
AANPASSEN MET MICROBEN – 111

- 6 PLUG-INS OM TE ETEN:
INSECTEN EN MICROBEN – 133

- 7 MENS IN DE MACHT VAN MICROBEN (1) :
NERGENS ZONDER MICROBIOTA – 157

- 8 MENS IN DE MACHT VAN MICROBEN (2) :
NIETS ZONDER MICROBIOTA – 179

- 9 MICROBEN IN CELLEN:
ADEMHALING EN FOTOSYNTHESE – 209

- 10 TEGEN EENZAAMHEID EN PARASITME:
**MECHANISMEN VOOR BEHOUD VAN
SYMBIOSES - 235**
- 11 VERRE, VREEMDE EN ONVERWACHTE
BONDGENOTEN:
NUTTIGE ZIEKTEN - 265
- 12 MUTUALISTEN VAN BORD EN GLAS (1) :
WIJN, BIER EN KAAS - 291
- 13 MUTUALISTEN VAN BORD EN GLAS (2) :
DE OORSPRONG VAN MODERNE VOEDING - 313
-] **SAMENVATTEND:**
**ZIEN WIJ SLECHTS HET OMHULSEL VAN DE
MICROBIËLE WERELD? - 333**

EPILOOG - 355

Woordenlijst - 362

Overige bronnen - 373

Over de auteur - 374

Dankwoord - 375

*Voor Alicja, die de wereld kleur geeft,
voor mijn ouders, die mij de wereld hebben geschonken,
en voor iedereen die de wereld wil begrijpen.*

Prelude



SYMBIOSE EN MUTUALISME – MAAR VOORAL MICROBEN

Waarin:

- 's nachts wordt gevist;
- korstmossen schizofreen worden;
- pas laat in de wetenschapsgeschiedenis nieuwe visies ontstaan;
- de slechte reputatie van microben onterecht blijkt, en
- duidelijk wordt wat er in de volgende hoofdstukken gebeurt.

LICHT IN DE DUISTERNIS

Onze ontdekkingsstocht begint bij een eiland in de Grote Oceaan, in het holst van de nacht. Het strand ligt er vreedzaam bij in het licht van de maan. De maneschijn dringt ook door in het heldere water van de zee. Het is gissen hoe diep het water is, de bodem is niet te zien.

Bij het schijnsel van de maan is de Hawaïaanse dwerginktvij (*Euprymna scolopes*) op jacht in het water. In het halfduister ontkomt hij gemakkelijk aan zijn predatoren, maar zelf heeft hij wel licht nodig om zijn prooien te vinden. Dat maakt zijn rooftocht lastig. De maan projecteert zijn schaduw in het water, waardoor prooien en predatoren hem zouden zien aankomen. Maar zover komt het niet, want 's nachts straalt de buik van de inktvij een zwak licht uit dat zijn schaduw als het ware opheft. Overdag houdt hij zich schuil en geeft zijn buik geen licht meer. Die verlichting heeft de dwerginktvij te danken aan de lichtgevende bacterie *Aliivibrio fischeri*, die in klieren op zijn lichaam zit en daar voedsel vindt. 's Nachts zetten de bacteriën een deel van hun energie om in licht. Ze kunnen ook zelfstandig in het water leven; dan dient het licht als bescherming tegen hun eigen predatoren – iets grotere microben die tussen hen in zwemmen. Het lichtschijnsel lokt kleine schelpdiertjes, die de predatoren komen opeten. De vijanden van je vijanden zijn je bondgenoten! De bacteriën geven echter alleen licht wanneer ze in een dichte massa bij elkaar zijn. In hun eentje licht uitstralen heeft geen zin: pas als ze met velen zijn, ontstaat er voldoende licht om de schelpdiertjes aan te trekken. 's Nachts kruipen ze in grote aantallen bij elkaar in de klieren van de dwerginktvij en geven ze dus licht. Iedere ochtend stoot de dwerginktvij 95% van de bacteriën af – het is tenslotte zinloos om extra mondjes te voeden die je verder niet nodig hebt. De bacteriën die achterblijven, stoppen met licht geven omdat de spoeling nu te dun is. Overdag vermenigvuldigen ze zich weer en wanneer het avond wordt, zijn er weer genoeg om samen licht uit te stralen: *fiat lux* tot de volgende ochtend.

Dit brengt ons bij het onderwerp van dit boek: als de dwerginktvij 's nachts op jacht gaat, is hij niet alleen. De bacteriën beschermen hem en helpen om voedsel te vinden. Wat voor deze inktvij geldt, geldt voor vrijwel al het leven op aarde: het zou niet kunnen bestaan zonder

microben. Maar eerst nog even terug naar de lichtgevende bacteriën, want die zijn niet alleen bij dwerginktvisseren te vinden.

Veel vissen uit diepe en donkere wateren maken gebruik van het licht van *Aliivibrio*- en *Photobacterium*-bacteriën. Ze dragen deze bacteriën mee in 'binnenzakjes', soms met een reflecterende rand, soms zelfs uitklapbaar. Deze zakjes hebben verschillende functies, afhankelijk van de soort. Sommige vissen onttrekken zich met behulp van de bacteriën aan het oog van predatoren die in de diepte op de loer liggen, zoals de Hawaïaanse dwerginktvis hierboven. Andere maken er een opvallend lokaas van om hun eigen prooi aan te trekken. Weer andere soorten gebruiken de bacteriën als zoeklicht tijdens hun jacht. Sommige vissen gaan op de zwierige toer en gebruiken de lichtgevende zakjes om partners te lokken. Die herkennen hun soortgenoten aan de knipperfrequentie van het licht, dat telkens wordt afgedekt door een ondoorschijnend membraan, of aan de specifieke plaats van de lichtzakjes op het lichaam van de vis. Dankzij die lichtsignaaltjes kunnen dieren in het donker van de diepzee toch een liefdespartner vinden. En tot slot zijn er vissen die wanneer er een predator opduikt, opeens hun bacteriën kunnen loslaten. Dat geeft een wolk van licht die de achtervolger verblindt of misleidt. Soms zit daar een soort slijm bij dat de lichtwolk plakkerig maakt zodat hij op de aanvaller blijft kleven en daardoor zijn eigen predatoren aantrekt. Weer een geval van de vijanden van je vijanden die plots je bondgenoten worden. Gedurende de hele evolutie hebben zeedieren, en met name van de dieren van de diepzee, gebruik gemaakt van lichtgevende bacteriën. Dieren die deze bacteriën konden herbergen, kregen zo de mogelijkheid om licht uit te stralen – een beetje zoals wij de zaklamp van onze mobiele telefoons gebruiken.

In de loop van de evolutie zijn er meerdere van dergelijke lichtgevende relaties tussen bacteriën en dieren ontstaan. Sterker nog, zulke samenwerkingsverbanden zijn heel algemeen. Grotere organismen blijken massaal gebruik te maken van microben.

Dit boek laat zien hoe dieren, maar ook planten, afhankelijk zijn van de microben die in en rond hen wonen en die helpen om allerlei essentiële functies te vervullen. Grote organismen zijn nooit alleen: ze zitten vol nuttige microben.

KORSTMOSSEN PASSEN NIET IN HET SYSTEEM

Om achtergrond van dit boek te schetsen, gaan we eerst terug naar de negentiende eeuw, toen er belangrijke ontdekkingen werden gedaan rond korstmossen.

Boomstammen, paaltjes, kale rotsen, dakpannen: overal kom je groene, lichtgrijze of oranje korstmossen tegen die zich niets aantrekken van de vaak bijna vijandige omstandigheden. Ze zijn er in allerlei vormen – korstvormig, kruipende bladvormige soorten en zelfs opstaande of hangende minustruikjes. En altijd lijkt het één compleet organisme: het korstmos of *lichen*. Al sinds de oudheid worstelt men echter met hun plaats in de biologie. Ze zijn groen, dus plantaardig, maar zijn het nu algen, mossen of planten? Ze vormen sporen, net als paddenstoelen uit de groep van de truffels en de morieljes. Dus horen ze misschien toch op een andere plek in het systeem? Lastig probleem. Maar korstmossen moeten toch ergens hun plaats in de natuurlijke orde hebben?

De Zwitserse plantkundige Simon Schwendener (1829-1919) kwam met een revolutionair antwoord. Net als anderen zag hij onder de microscoop twee structuren in korstmossen: doorschijnende draden die veel weg hebben van de vegetatieve draden van schimmels – de hyfen of schimmeldraden – en kleine ronde groene cellen. Van deze groene cellen dacht men in die tijd dat ze een rol speelden in de voortplanting van de korstmossen (vandaar hun oude naam gonidium, van het Griekse *gonos* > zaad). Maar op een congres in 1867 kwam Schwendener met een andere interpretatie: korstmossen zouden in werkelijkheid een combinatie zijn van algen die in staat zijn tot fotosynthese (de groene cellen) en een schimmel waarin ze zijn ingebed. Samen vormen die het korstmos. In het verslag van zijn presentatie is te lezen dat “de spreker van mening is dat korstmossen niet gezien moeten worden als een autonoom organisme, maar als een schimmel in verbinding met algen.” Het ‘schwendenerisme’, zoals deze visie toen enigszins spottend werd genoemd, kreeg aanvankelijk veel kritiek en werd belachelijk gemaakt. Vooral door een van de grootste korstmosdeskundigen van de negentiende eeuw, de Fin William Nylander (1822-1899), die meer dan 3000 korstmossen beschreef zonder ook maar een moment te geloven in deze rare theorie.

Anderen zagen er echter wel wat in. Een van hen was de Russische plantkundige Andreï Famintsin (1835-1918). Hij was de eerste die algen uit korstmossen wist te isoleren en op te kweken. Begin twintigste eeuw lukte het een andere plantkundige, de Fransman Gaston Bonnier (1853-1922) om korstmossen te reconstrueren door schimmels en algen die apart waren opgekweekt, weer samen te voegen. Tegenwoordig worden korstmossen meestal bij de naam van de schimmel genoemd. De naam van de alg is vaak niet of nauwelijks bekend omdat wij de vroegere gewoonte hebben aangehouden om een korstmos aan te duiden met één naam – die van de schimmel dus. De historische controverse over de ware aard van korstmossen – die beslecht is in het voordeel van Schwendener – heeft geleid tot de ontdekking dat microscopisch kleine organismen samen een structuur kunnen vormen die met het blote oog zichtbaar is, een eigen vorm heeft en waarin deze organismen samenleven. En dus nooit alleen zijn.

In dit boek zullen we ontdekken hoe organismen die wij als 'autonoom' beschouwen, heel vaak niet zouden kunnen bestaan zonder microben, net als de korstmossen.

SYMBIOSE: SAMEN-LEVEN

De meningstrijd over de korstmossen resulteerde uiteindelijk in het inzicht dat bepaalde soorten innig met elkaar samenleven. De eerste die deze opvatting officieel uitdroeg, was de Duitse bioloog Albert Frank (1839-1900). In een artikel uit 1877 over de nauwe band tussen algen en schimmels in korstmossen, noemde hij dit *Symbiotismus*. Vanaf 1879 werd deze term steeds meer gebruikt in de huidige vorm *symbiose*, dankzij Anton de Bary (die overigens zijn landgenoot Frank nergens noemt, maar het kan geen toeval zijn dat beiden dezelfde term gebruikten). De Bary (1831-1888) was een vooraanstaande Duitse microbioloog, die ten onrechte nauwelijks bekend was in Frankrijk. Waarschijnlijk is dat het gevolg van de Frans-Duitse vijandigheid die tot aan het eind van de Tweede Wereldoorlog bestond – uit trots ontkenden of negeerden beide landen de goede kanten van het buurland. De Bary kreeg veel respect vanwege belangwekkende eerdere ontdekkingen. Hij toonde

bijvoorbeeld aan dat de aardappelziekte wordt veroorzaakt door een schimmel. Tijdens een congres van Duitse natuuronderzoekers in 1878 (in Straatsburg, dat toen bij Duitsland hoorde en waar De Bary docent was), hield hij een lezing over *Die Erscheinung der Symbiose* ('Het verschijnsel symbiose'). In 1879 publiceerde hij de tekst – eerst in het Duits en later in het Frans – in de *Revue internationale des sciences*. Daarin geeft hij verschillende voorbeelden, onder andere over korstmossen. Hij omschrijft symbiose als “het samenleven van organismen met verschillende namen” [dus van verschillende soorten]. De naam komt van het Griekse *syn* > met, en *bios* > leven. De deelnemers in een symbiose heten *symbionten*.

In deze definitie is symbiose dus een langdurige co-existentie van soorten, tijdelijk of voor altijd, ongeacht het type relatie. De Bary en Schwendener gingen overigens ervan uit dat de algen in korstmossen geparasiteerd werden door de schimmels. De Bary schrijft: “Het bekendste en meest volmaakte voorbeeld van symbiose is het volledig parasitisme, dat wil zeggen dat een dier of plant geboren wordt, leeft en sterft op of in een organisme van een andere soort.” In deze eerste omschrijving – niet de definitie die in dit boek wordt gehanteerd – is symbiose een vorm van co-existentie, ongeacht of het effect ervan positief of negatief is voor de deelnemers.

In dit boek wordt beschreven hoe organismen heel vaak in symbiose met andere organismen leven.

MUTUALISME: IEDER HET ZIJNE

In deze co-existentie is er echter niet uitsluitend sprake van parasitisme, zeker niet bij de korstmossen. Hiervoor verplaatsen we ons naar de getijdenzone van de rotskust in Bretagne, waar het korstmosje *Lichina pygmaea* groeit. Op rotsen waar de golven op beuken vormt dit korstmos tapijten van ongeveer 1 cm dik. Hier zijn het fotosynthetische bacteriën – *Calothrix* uit de groep van de cyanobacteriën – die samenleven met de schimmel. Op meer beschutte plaatsen kan *Calothrix* ook zelfstandig voorkomen, in groepjes ingebed in een soort gel waarin ze donkere bultjes vormen van 0,5 tot 2 cm. In die vorm kunnen ze alleen

op lage plekken in de luwte leven omdat ze zelf niet goed tegen sterke stroming kunnen en regelmatig door de vloed overspoeld moeten worden. Je ziet ze ook nooit in de wintermaanden, want *Calothrix*-bacteriën overwinteren als ‘slapende’ cellen. Gevuld met reserves doorstaan ze de kou en de winterstormen op de bodem van de zee, waar ze wachten tot het weer beter wordt. Maar de korstmossen zijn er wel in alle seizoenen. Dankzij de bescherming van de schimmel kan de cyanobacterie dus ook in andere milieus en andere seizoenen overleven. Het voordeel van het samenleven is hier overduidelijk.

Tegenwoordig gaan we ervan uit dat in de meeste korstmossen de alg profiteert van de aanwezigheid van de schimmel. De schimmel beschermt de alg en voorziet hem van water (in landmilieus), mineralen en gassen. Omgekeerd heeft de schimmel ook profijt van de alg omdat die een deel van zijn fotosyntheseproduct afstaat aan de schimmel. Er is dus sprake van wederzijdse hulp (in hoofdstuk 3 komen we hierop terug). Een familie van groene algen die heel veel voorkomt in korstmossen, de *Trebouxia*, is zelfs nog nooit zelfstandig aangetroffen. Ook voor deze soort staat het voordeel dus buiten kijf.

Bepaalde interacties kunnen dus wederzijds voordeel opleveren. In zijn boek uit 1875 *Les commensaux et les parasites dans le règne animal* (‘*Commensalisme en parasitisme in het dierenrijk*’) gaat de Belgische zoöloog Pierre-Joseph Van Beneden (1809-1894) in op de gevolgen van die onderlinge relaties tussen diersoorten. Zoals de titel aangeeft, beschrijft hij parasitisme (waarin de ene soort de andere uitbuit) en commensalisme (waarin de ene soort de andere soort gebruikt zonder dat de andere daar voor- of nadeel van ondervindt). Hij benadrukt echter dat er ook andere vormen van samenleven zijn: “men ziet dat dieren elkaar over en weer diensten verlenen. Het zou niet juist zijn die allemaal als parasieten of commensalisten te omschrijven. Wij vinden het correcter om te spreken van mutualisten”. De Bary ontleende zijn voorbeelden aan symbiose in de plantenwereld in brede zin. Voor voorbeelden uit het dierenrijk verwees hij naar het boek van Van Beneden.

Het idee van mutualisme kreeg al snel veel bijval omdat men er allerlei voorbeelden van kende. Bijvoorbeeld insecten die bloemen bestuiven: ze vliegen van bloem naar bloem en brengen zo het stuifmeel over, waarna de bevruchting plaatsvindt en er een vrucht ontstaat. Toch profi-

teren deze insecten zelf ook, want zij voeden zich met de nectar van de bloem of met een deel van het stuifmeel. Bij sommige mutualistische interacties – zoals bestuiving – leveren de deelnemers slechts tijdelijk hun bijdrage. In andere gevallen, zoals bij de korstmossen, is sprake van werkelijke symbiose in de zin van ‘samen leven’. In Franse teksten raakten mutualisme en symbiose steeds nauwer met elkaar verweven en vloeiden uiteindelijk samen tot een nieuwe definitie van symbiose. In het Engels staat *symbiosis* vaak voor alle vormen van co-existentie, ongeacht het gevolg voor de deelnemers, zoals in de oorspronkelijke definitie van De Bary. In het Frans heeft *symbiose* een tweede betekenis gekregen die zich beperkt tot de vormen van mutualisme (deze betekenis wordt overigens ook steeds gangbaarder in het Engels). Dit is ook de definitie die wij in dit boek hanteren. Wij gebruiken de term *symbiose* voor vormen van co-existentie waarin beide partijen profiteren. Of, anders gezegd: de vormen van mutualisme waarin de twee deelnemers met elkaar samenleven.

In dit boek zien we hoe organismen heel vaak in symbiose leven volgens deze definitie, dus in mutualisme.

MICROBEN AAN HET WERK

Symbiose en mutualisme krijgen pas aan het eind van de negentiende eeuw aandacht, wat relatief laat is. Relaties met wederzijds schadelijke effecten waren al heel lang bekend, vooral vanwege de vaak ingrijpende gevolgen ervan. Men was al vertrouwd met parasitisme, waarbij pathogene schimmels en bacteriën mensen ziek maken; met predatie, waarbij een van de twee partijen wordt gedood; en met concurrentie, waarbij individuen die leven van hetzelfde voedsel elkaar schade toebrengen, eenvoudigweg om te overleven. Die schadelijke relaties zijn ook de basis van de natuurlijke selectie die Charles Darwin (1809-1882) beschreef in zijn boek *On the Origin of Species* uit 1859: “Iedere soort heeft voortdurend, ook op plaatsen waar hij in grote aantallen voorkomt, op gezette tijden te lijden onder enorme vernietigingen door zijn natuurlijke vijanden of door soorten die concurreren om voedsel en leefruimte” en de “natuurlijke selectie vindt plaats door concurrentie”. De soorten die zich

daarin het beste staande weten te houden, zullen uiteindelijk overleven en zich voortplanten.

Dat de inzichten over symbiose en mutualisme pas relatief laat ontstonden, geldt in het bijzonder voor de wereld van de microben. In de loop van de 19^e eeuw kregen microben vooral aandacht vanwege hun negatieve kanten. De Bary toonde in 1861 aan dat schimmels plantenziekten kunnen veroorzaken, bijvoorbeeld de aardappelziekte. Zijn Franse evenknie Louis Pasteur (1822-1895) bestudeerde de rol van microben in afbraakprocessen (hij toonde aan dat alcoholische gisting een microbieel proces is en dat microben ervoor zorgen dat wijn soms verandert in azijn). Ook onderzocht hij hun rol in het ontstaan en de verspreiding van ziekten. Op dat gebied was Pasteur een concurrent van de Duitse medicus Robert Koch (1843-1910), die ontdekte dat miltvuur en tuberculose ook door bacteriën worden veroorzaakt. Al die onderzoeken zetten de microscopische wereld in een onaangenaam daglicht. De term *microbe* heeft daar ten onrechte een negatieve bijklank aan overgehouden – een bijklank die in dit boek vanzelfsprekend niet aan de orde is.

Daarom staan we even stil bij de term *microbe*, die in 1878 werd geïntroduceerd door de legerarts Charles Emmanuel Sédillot (1804-1883). Het woord is samengesteld uit *micro* (klein) en *bios* (leven): kleine levende organismen. Heel neutraal en heel helder – niets negatiefs aan. Behalve dan dat het woord al snel een nare bijklank kreeg. Misschien vraag je je daarom af waarom in dit boek de term *microbe* wordt gebruikt, terwijl ik juist wil laten zien hoe waardevol en mooi ze zijn? Inderdaad, ik zou ook *micro-organisme* kunnen kiezen – langer, technischer en minder beladen. De term *micro-organisme* (met dezelfde Griekse oorsprong) werd overigens twee jaar voor *microbe* bedacht door Henri de Parville (1838-1909), journalist en redacteur van de Franse staatscourant *Journal Officiel*. Maar als ik dat zou doen, zou ik me verschuilen achter een technische term, zonder de kern van het probleem te raken: het negatieve imago van *microbe* heeft niet zozeer betrekking op het woord, maar op de organismen zelf. En dit boek is niet geschreven om de woorden, maar juist om een nieuw licht op microben te werpen en hen te bevrijden van hun onterechte imago. Daarom gebruik ik *microbe*, in de hoop dat de lezer die bij de conclusie is aangekomen er anders over is gaan denken, ondanks de naam.

De mutualistische rol van microben bleef eind negentiende eeuw dus onderbelicht. Op enkele uitzonderingen na, zoals in de korstmossen (en ook daar waren niet alle wetenschappers het mee eens). Toch moet je bij de microben zijn als je symbioses wilt begrijpen. Want microben zijn veruit in de meerderheid onder de levende wezens. De meest indrukwekkende diversiteit, zowel qua soorten als qua levensvormen, is te vinden in de microscopische wereld. De eerste aanwijzing krijg je al wanneer je een biologielokaal binnenstapt: overal vergrootglazen en microscopen. De wereld bestaat uit veel kleinere wezens dan wij, die altijd en overal aanwezig zijn. Wil je de status en het precieze belang van symbioses kennen, dan moet je kijken naar de microben.

Desondanks drong het besef dat planten en dieren afhankelijk zijn van symbioses met microben maar langzaam door – veel later nog dan het inzicht dat symbiose en mutualisme bestonden. Zoals we zagen kreeg het werk van de eerste grondleggers weinig aandacht. De kennis van microben is zich pas in de tweede helft van de twintigste eeuw, en dan met name in de afgelopen 20 jaar, gaan ontwikkelen. Pas toen werd algemeen bekend welke rol microben spelen in symbioses en werd duidelijk dat alle organismen om ons heen in feite nooit alleen zijn, maar altijd vol microben zitten.

Dit boek laat zien dat organismen heel vaak in symbiose leven, beter gezegd in mutualistische relaties, en dat daarbij vrijwel altijd microben in het spel zijn.

IN DIT BOEK...

...zien we hoe microben alomtegenwoordig zijn en hoe planten en dieren daar profijt van hebben. En dus nooit alleen zijn. Hoewel de symbiose op microbe-niveau pas relatief laat aandacht kreeg in de moderne biologie – we zullen nog zien wanneer precies – is het wel de basis van onze hedendaagse kijk op het leven. Met *microben* bedoelen we hier groepen organismen die onderling verschillen in afkomst, biologie en vorm, maar die met elkaar gemeen hebben dat ze zo klein zijn dat ze met het blote oog niet waarneembaar zijn. Daardoor zien wij ze maar al te vaak over het hoofd.

Welke soorten worden er bedoeld met de term *microben*? Om te beginnen de schimmels. Weliswaar produceren die hun sporen soms in grote zichtbare paddenstoelen die je in de herfst in het bos ziet, maar het zijn microben. Schimmels die zulke paddenstoelen maken bestaan namelijk het grootste deel van het jaar enkel uit schimmeldraden die je met het blote oog niet kunt zien. Deze *hyfen* hebben een doorsnede van een honderdste millimeter. Bovendien vormt de meerderheid van de schimmels geen paddenstoelen (bijvoorbeeld schimmels op kaas en eencellige gisten). Naast de schimmels zijn er de bacteriën. Die zijn nog veel kleiner en veel talrijker dan de schimmels. Ze zijn een duizendste millimeter groot en bestaan uit geïsoleerde cellen, die soms gegroepeerd zijn in kransjes. Bacteriën worden ingedeeld in twee hoofdgroepen: de archaea en de eubacteriën. De bacteriën die hierna het eerst aan bod komen, behoren tot de eubacteriën. Voor het gemak noemen we ze gewoon bacteriën. Er zijn ook allerlei microben die geen bacteriën zijn en die tot de grote groep van de eukaryoten horen (waar ook schimmels, planten en dieren toe behoren). In hoofdstuk 9 komen we hier op terug). De microben uit deze groep bestaan uit één cel die 10 tot 100 keer groter is dan bacteriecellen. Sommigen leven van organisch materiaal of van andere cellen: dat zijn de *Protozoa*, die tot heel verschillende groepen behoren, zoals de pantoffeldiertjes, de zweepdiertjes en de amoeben. Andere zijn in staat tot fotosynthese: de eencellige algen die te vinden zijn in zoet en zout water, maar ook ‘op het droge’, waar sommige bijvoorbeeld onderdeel zijn van een korstmos.

Tot slot kijken we naar nog kleinere wezentjes: de virussen, die niet eens een cel hebben en daarom cellen van anderen lenen om zich voort te planten. Soms worden virussen niet als microben beschouwd, juist omdat ze geen cel hebben. Maar ze zijn klein en ze dragen onzichtbaar bij aan verschillende vormen van symbiose, dus komen ze hier wel aan bod als dat nodig is. Op een aantal punten gaan we ook in op symbioses met minuscule diertjes, die met het blote oog niet of nauwelijks te zien zijn: kleine wormpjes – nematoden – en enkele mijten. Dat zijn weliswaar geen microben maar ze gaan wel symbioses en interacties aan die essentieel zijn voor hun partners. Daarom beschouwen wij ze als ‘ere-microben’.

Op onze reis door de wereld van de microben ontdekken we eerst hoe microben de basis vormen voor het leven van planten en dieren, waaronder de mens. Daarna bekijken we allerlei vormen van symbiose op grotere schaal, zowel evolutionair, ecologisch als cultureel.

In de eerste drie hoofdstukken wordt aan de hand van microben en planten uitgelegd wat symbiose precies is en hoe het ontstaat. Achtereenvolgens zien we uitwisseling van voedingsstoffen, bescherming tegen milieu-invloeden, een rol in de ontwikkeling en nieuw ontwikkelde eigenschappen die het functioneren van organismen en soms zelfs hele ecosystemen beïnvloeden.

Daarna volgen drie hoofdstukken over symbioses bij dieren. Eerst bekijken we hoe gewervelden – bijvoorbeeld koeien – gras verteren. Vervolgens zien we indrukwekkende symbiotische aanpassingen in zee-milieus die op zichzelf al uitzonderlijk zijn, en tot slot gaan we in op de manier waarop insecten zich aanpassen aan diverse ecologische niches.

De mens is hierin geen uitzondering. We hebben twee hoofdstukken nodig – en enkele proeven met knaagdieren – om onze ‘eigen’ microben te beschrijven en de soms onverwachte rol die ze spelen.

Dan volgt er een hoofdstuk over een belangrijke ontdekking in de moderne biologie, waaruit bleek dat er nog veel meer microben in dieren en planten leven dan men dacht. Microben zijn essentiële bouwstenen van cellen van planten en dieren (en van de mens) en zijn onder andere nodig voor ademhaling en fotosynthese. Daarmee zijn symbioses op microbe-niveau de kern van het bestaan van planten en dieren.

In de twee hoofdstukken die dan volgen komen de ecologische en evolutionaire aspecten van microbiële symbioses aan bod. Om te beginnen: welke mechanismen zorgen dat deze symbioses altijd blijven bestaan, van generatie op generatie? Daarna beschrijven we het wonderlijke verschijnsel dat de een profiteert van de ziekte van de ander en hoe dat bepalend is voor populaties, ecosystemen en zelfs hele culturen.

Tot slot komen we terug bij de mens van de eenentwintigste eeuw en ontdekken we in de laatste twee hoofdstukken de microbiële symbioses van ons dagelijks leven, waar we ons maar al te vaak helemaal niet van bewust zijn – vooral met betrekking tot onze voeding. De microben die daar een rol spelen hebben we te danken aan het verleden, waarin we dankzij hen landbouwsamenlevingen hebben kunnen opbouwen.

Ieder hoofdstuk wordt voorafgegaan door een beknopte beschrijving van het onderwerp en een luchtige samenvatting. Aan het eind van het hoofdstuk worden de belangrijkste punten in de conclusie op een rij gezet. Vind je de voorbeelden of de organismen in een hoofdstuk niet zo boeiend, dan kun je ook alleen de conclusie lezen en doorgaan naar het volgende hoofdstuk. Hoewel alle hoofdstukken samen naar de eindconclusie leiden, kan ieder hoofdstuk ook afzonderlijk worden gelezen. Dit boek is bedoeld voor iedereen, ook voor wie geen specifieke biologische kennis heeft. We proberen jargon te vermijden, maar omdat dat in de biologie niet helemaal mogelijk is, zit aan het eind van het boek een verklarende woordenlijst.

In dit boek maken we een reis door de 'levende' wereld, zichtbaar en onzichtbaar, bekend en onbekend. Tegelijkertijd is het een tocht door de wetenschapsgeschiedenis. Je zult merken dat aan het eind het 'onzichtbare' de macht heeft overgenomen en dat organismen, dagelijkse gewoonten en ecologische processen om ons heen grotendeels microbiële constructies zijn geworden. Hopelijk zijn verschijnselen die iedereen kent dan verklaard vanuit hun microbiële achtergrond en hebben de onderlinge relaties tussen soorten en de functies van microben – in al hun diversiteit en subtiliteit – verwondering opgeroepen. Misschien brengen ze bij de lezer dan even veel fascinatie teweeg als bij de auteur.

Want dit boek is vooral bedoeld als inkijkje in de wondere wereld van de microben en de onderlinge relaties tussen levende wezens. Op naar de verhalen over microben die de basis vormen voor planten, dieren en mensenwereld!