

INHOUD

INLEIDING	4
1. LEVEN EN SUPERHELDEN	8
2. BONTE VERZAMELING TYPFOUTEN	29
3. KNUTSELBOEK VAN HET LEVEN	40
4. CRIMINELE FREAKSHOW	78
5. RARE JONGENS, DIE VIRUSSEN	93
6. ROOD, WIT EN DEELBAAR	107
7. STIL, ONZICHTBAAR EN ONOPVALLEND	121
8. MINUSCULE ALLESKUNNERS	126
9. WANKELE WEZENS IN EEN WATERDRUPPEL	143
10. SNUGGERE SCHIMMELS	167
11. HOREN, ZIEN EN TELLEN	190
12. BIZARRE BEESTEN	213
13. VREEMDE FEITEN	256
14. HET EILAND BELGIË	268

INLEIDING

Het is oktober 1977, lente in Australië. Een groep entomologen – wetenschappers die zich bezighouden met de studie van insecten – zit rond het kampvuur, goed ingeduffeld tegen de avondkou, want het is amper enkele graden boven nul. Hun truck heeft het begeven en ze wachten op herstelling. Ze overleggen of ze wel zullen verdergaan met hun expeditie, want ze zijn gestrand bij het gehucht Poochera, een dikke 1000 kilometer van hun bestemming.

De groep wordt geleid door Robert Taylor, de curator van de Australian National Insect Collection. Al een tijd zijn ze onderweg naar Mount Ragged, dat in het Cape Arid National Park in Zuidwest-Australië ligt. De groepsleden vermoeden namelijk dat de miersoort *Nothomyrmecia macrops* daar voorkomt. Dat miertje is het doel van deze expeditie.

Er heerst een gevoel van urgentie in de groep, want ook andere entomologen willen die bijzondere mierensoort vinden. Het diertje, dat nog vrij primitieve kenmerken vertoont, is namelijk zeer zeldzaam. Dat niet alleen, het vormt ook een missing link. Mogelijk levert deze mier het bewijs dat mieren afstammen van wespachtige insecten. Eerder, tijdens een expeditie in 1931, zijn slechts enkele exemplaren gevonden en sindsdien is de mier onvindbaar. Jarenlang hebben entomologen, zonder resultaat, zoektochten georganiseerd en ook nu lijkt het er sterk op dat de expeditie op niets uitloopt. De mier laat zich niet zien.

Taylor is nerveus. Het wachten werkt op zijn zenuwen en hij besluit in de buurt wat rond te neuzen. Wie weet, is een werkster van een of andere soort, ondanks de kou, actief. Gewapend met een zaklamp en een soort stofzuigertje speciaal voor insecten, waagt hij zich tussen de lage eucalyptusstruiken. Het duurt niet lang of hij rent schreeuwend het kamp in, en in de beste Australische traditie roept hij: *'The bloody bastard's here! I've got the Notho-bloody-Myrmecia!'*

Op minder dan twintig meter van het kamp zag Taylor een paar jagen-
de werksters op een boomstronk lopen. Hij bescheen ze met de zaklamp en bekeek ze eens goed, puur uit verveling. Nou ja! Dat is hun mier! Het ongrijpbare diertje is niet alleen heel zeldzaam, het blijkt ook van koud weer te houden en graag buiten rond te scharrelen als andere mieren én entomologen lekker warm binnen zitten. Zo zie je maar, soms kan een ontdekking zo toevallig zijn.

Ik begrijp het als je nu denkt: oké, cool voor meneer Taylor en zijn vrienden, maar het is maar een mier. Dat is precies waarom dit verhaal zo mooi is. Waar de buitenwereld een mierenzoekende man in het struikgewas ziet, kijkt die man naar het begin van een verhaal dat misschien wel teruggaat tot de tijd van de dinosauriërs. Of beter: tot net vóór de dinosauriërs.

De mier op de boomstronk is geen gewone mier, het is een soort tijdcapsule. Een levend fossiel, met eigenschappen die zo primitief zijn dat ze ons kunnen vertellen hoe mieren ooit zijn ontstaan uit hun wespachtige voorouders. Alsof je op een camping in de Australische outback ineens een dier ziet rondlopen dat half kip, half T-rex is, een dier waarmee een wetenschapper eindelijk de evolutionaire puzzel in elkaar kan schuiven. De puzzelstukjes die decennialang kwijt waren, zijn gevonden.

Voor een entomoloog is deze mier geen triviaal beestje, het diertje vormt een zeldzame kijk in het ontstaan van een van de meest succesvolle diergroepen op aarde. Mieren zijn niet zomaar wat beestjes die over je picknick lopen. Het zijn supergeorganiseerde wezens die samen kolonies bouwen, oorlog voeren, landbouw bedrijven, huisdieren hebben, afval beheren en slaven houden. Ze verdelen bovendien taken. Sommige zijn soldaat, andere zijn babyverzorger. Die mierenmaatschappij zoals we ze vandaag kennen, is ergens begonnen. Met iets als de *Nothomyrmecia macrops*.

Nu begrijp je waarschijnlijk beter waarom Taylor zo enthousiast uit het struikgewas schoot. Voor biologen is zo'n ontdekking geen nerdy voetnoot. Het is een glimp in de geschiedenis van het leven dat nooit eerder zo helder zichtbaar werd.

Loop je nog niet warm voor de insectenwereld, geen zorgen. Dat is helemaal oké. Maar blijf nog even deelnemen aan mijn expeditie. Tegen het einde van dit boek snap je precies waarom Taylor liep te schreeuwen, gewoon omdat hij een mier had gevonden.

Zoals bijna alle jonge kinderen heb ik in mijn jeugd insecten verzameld: vlinders en lieveheersbeestjes in potjes gestopt, met enkele graspietjes als voedsel. Wist ik toen veel dat die beesten geen gras lusten.

De meeste kinderen verlaten dat pad wanneer ze opgroeien. Insecten worden ingeruild voor sport, muziek en andere coole bezigheden. Bij

mij gebeurde dat niet. Ik bleef in het insectenstadium hangen en staarde regelmatig met een vergrootglas naar de bodem. Zo ontdekte ik dat een mier er uitvergroot best interessant uitziet. Toen ik per ongeluk een steen omkeerde en oog in oog kwam te staan met een mierenkolonie die in volle paniek hun larven en poppen in veiligheid probeerden te brengen, was ik verkocht! Via de mieren raakte ik geïnteresseerd in andere insecten, en van daaruit in alle levende wezens.

Dus stond mijn besluit in het derde leerjaar vast: ik zou biologie gaan studeren. Met die opleiding startte ik, maar ik vond het zwaar. Was ik gewoon lui of dommer dan ik dacht? Of kwam het omdat ik liever rondzwierf op de heide of in het bos, zoekend naar mieren of andere coole beestjes, dan dat ik achter mijn boeken zat?

Ik stopte met biologie en het werd *the next best thing*: chemie. Daar heb ik geen moment spijt van gehad. Gelukkig kwamen naderhand allerlei professionele opportuniteiten op mijn pad die met entomologie te maken hadden: insectenkweek, biologische bestrijding, insectenmuseum... Na al die jaren koester ik nog altijd een grote passie voor mijn geliefde insecten, maar dieren, planten en schimmels: ik blijf het allemaal coole wezens vinden. Alles wat leeft, ademt of beweegt, vind ik interessant.

Biologie is, meer dan fysica of chemie, een laagdrempelige wetenschap. Voor velen gaat het om plantjes en beestjes, maar biologie omvat zo veel meer! Dat is wat ik met dit boek wil laten zien. Alles wat hierin staat, is wat ik zo bijzonder vind aan biologie. Het is geen leerboek. Het is een boek waarin ik mijn verwondering deel voor wat rondkruipt, zwemt, vliegt en groeit. Het is zeker niet volledig, maar wil dat ook niet zijn.

Ik wens je veel leesplezier!

Zij leerden ons dat de wetenschap niet in formules begint, maar in verwondering. En ook dat de grootste ontdekkingen vaak voortkomen uit volharding, tegenspraak of simpelweg een lange blik door een microscoop of over de schouder van een gans. Het zijn geen heiligen, geen helden zonder smet. Maar ze zijn wel gidsen geweest, niet alleen door wat ze vonden, maar vooral door *hoe* ze zochten.

2. BONTE VERZAMELING TYPFOUTEN

Wat is de oorsprong van leven? Die vraag heeft wetenschappers, filosofen en gelovigen eeuwenlang beziggehouden. Leven is een complex fenomeen waarin talloze processen plaatsvinden. Religies schrijven het ontstaan van het leven toe aan een schepping door een almachtig bovennatuurlijk wezen. Maar dat is geen wetenschap.

BLIKSEM VAN HET LEVEN

Hoe is het leven dan wél ontstaan? Uit het niets? Dat lijkt onzinnig, maar van Aristoteles tot aan de ontdekkingen van de scheikundige en bioloog Louis Pasteur waren mensen ervan overtuigd dat bepaalde levende wezens zomaar uit het niets – plop – konden ontstaan. Die opvatting heet spontane generatie. Maden, ratten, zelfs bijen zouden volgens dat idee ontstaan zijn uit kadavers. Bladluizen ontstonden uit dauwdruppels. Dit denken vormde de hoofdtoon, totdat de Italiaanse natuuronderzoeker Francesco Redi in 1668 aantoonde dat levende vliegen verantwoordelijk waren voor de maden in kadavers. Hij vulde een paar grote potten met vlees en dekte enkele daarvan af. Alleen in de

niet-afgedekte potten zaten maden. Daarom lanceerde hij het gezegde: al het levende ontstaat uit het levende.

Dat principe werd in de 19e eeuw algemeen aanvaard door de bevindingen van de Franse bioloog en scheikundige Louis Pasteur. Hij weerlegde in 1861 de theorie van spontane generatie met zijn zwaanhalzenkolf-experiment. Hij toonde aan dat micro-organismen niet spontaan ontstaan, maar uit de lucht komen. Hij goot bouillon in steriele kolven zonder contact met luchtdeeltjes. Daar gebeurde niets mee, tot hij de kolf kantelde en de bouillon wél in contact kwam met luchtstof. Daarmee bewees ook hij dat leven alleen uit ander leven ontstaat, niet zomaar uit levenloze materie.

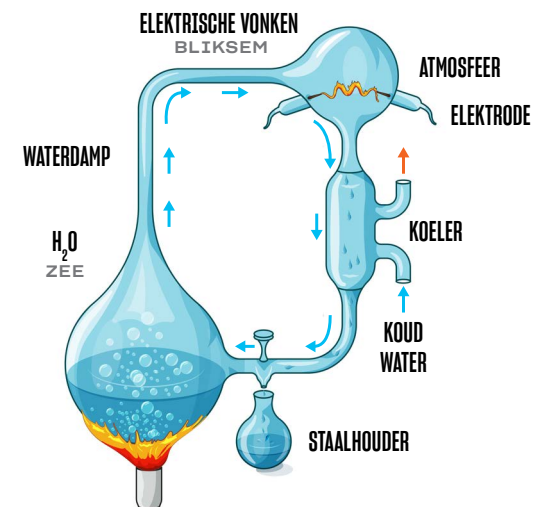
Darwin stelde met zijn publicatie *On the Origin of Species* dat alle organismen afstammen van gezamenlijke, steeds eenvoudigere voorouders. Maar hoe is dan die ene, meest eenvoudige voorouder ontstaan? Die ene cel waarmee alles zo'n vier miljard jaar geleden (de datering wijzigt nogal eens) is begonnen, niet zo lang na het ontstaan van de aarde? Zou het kunnen dat die eerste cel het resultaat was van allerlei moleculen die toevallig op het juiste moment en op de juiste manier met elkaar in aanraking kwamen, waardoor een proces in gang werd gezet dat leidde tot de diversiteit van organismen die we nu kennen? Hoe zou dat in zijn werk zijn gegaan? Hoe kun je van niet-leven naar leven gaan?

Die vraag hield ook chemicus Stanley Miller bezig. In 1953 werkte hij als doctoraatstudent in het laboratorium van professor Harold Urey, een voormalige Nobelprijswinnaar en de ontdekker van deuterium: een waterstofisotoop (zie ook het boek *Fysica* van Lieven Scheire uit de Nerdland-reeks). Eerder woonde Miller een lezing van Urey bij waarin die sprak over het ontstaan van het zonnestelsel en hoe organische moleculen konden ontstaan in een vroege atmosfeer vol gassen als waterstof, methaan, ammoniak en andere gassen die elektronen willen afgeven (reducerende stoffen). Bovendien in een omgeving met weinig of geen

zuurstof, zoals die van een jonge aarde. Hij was bekend met het werk van de Russische wetenschapper Oparin, die sprak over de oersoep, waarin de basiscomponenten voor leven zouden zijn ontstaan. Zelfs Darwin speculeerde over een 'kleine, warme poel met allerlei ammonium- en fosforzouten, licht en warmte, waarin een proteïne kan worden gevormd, klaar om nog verdere complexe veranderingen te ondergaan'.

DE JONGE AARDE

Miller bedacht een experiment waarbij hij de atmosfeer van de heel jonge aarde, waarvan de ontstaansdatum op ongeveer 4,5 miljard jaar geleden wordt geschat, probeerde na te bootsen. Water werd in de ene kolf opgewarmd om waterdamp te vormen. Die mengde zich in een andere kolf met waterstofgas, ammoniak en methaan. Een koeler zorgde voor de condensatie van water. Zo simuleerde Miller de waterkringloop van de aarde. Het geniale aan zijn plan was dat hij er elektrische vonken door stuurde om bliksemflitsen te simuleren.



Hij was er namelijk van overtuigd dat energie nodig was om tot synthese te komen. En inderdaad, na een dag was al een verkleuring van het water waarneembaar. Na een week van voortdurende werking had het water een donkere kleur gekregen. Analyse wees uit dat verschillende organische moleculen waren ontstaan, waaronder enkele aminozuren.

Met dat baanbrekende experiment bewees Miller iets belangrijks: de bouwstenen van het leven kunnen wel degelijk ontstaan uit een eenvoudige mix van water, gassen en bliksem. Latere analyses van de oorspronkelijke kolven van Miller, leverden zelfs meer dan twintig aminozuren op, waaronder de belangrijkste voor eiwitsynthese. Natuurlijk veranderden ondertussen de inzichten over de vroege atmosfeer. Onderzoekers gingen ook aan de slag met andere gasmengsels, onder andere met koolstofdioxide, koolstofmonoxide en stikstofgas. Toch hebben al die experimenten hetzelfde resultaat: ze leveren allemaal de basisblokken voor leven.

AARDKORST DOET LEVEN

In 2022 vroegen Spaanse onderzoekers zich af of ook de aardkorst een rol speelde in deze chemische reacties. Dat bleek inderdaad het geval. De onderzoekers voerden de Miller-Urey-experimenten uit in drie verschillende kolven: glas, teflon (plastic) en teflon met glazen korrels. Zij ontdekten dat de glazen kolven meer organische verbindingen bevatten dan de teflon-experimenten. Bovendien verkregen ze meer verschillende reactieproducten in de kolven van of met glas, in vergelijking met teflon alleen. De resultaten tonen aan dat het glas een cruciale rol speelt in de synthese van organische verbindingen in het Miller-Urey-experiment. Nu bevat glas silicaten, en laat die nu net het grootste deel van onze aardkorst uitmaken. Hieruit concludeerden de onderzoekers dat silicium en silicaten in de aardkorst het ontstaan van de eerste biomoleculen konden hebben gekatalyseerd.

LEVEN UIT NIET-LEVEN

Wat het Miller-Urey-experiment en zijn vele opvolgers vooral duidelijk maken, is dat levensbelangrijke moleculen kunnen ontstaan uit puur niet-organisch materiaal, dus zonder tussenkomst van levende wezens. In zekere zin hebben we daarmee een deel van de routekaart van abiogenese: het ontstaan van leven uit niet-levende materie, blootgelegd. We hebben aangetoond dat de basisbouwstenen van het leven, zoals aminozuren, spontaan kunnen ontstaan in omstandigheden die vermoedelijk al op de jonge aarde aanwezig waren.

Maar, daarmee zijn we er nog niet. Hoewel we de chemische aanloop tot het leven steeds beter begrijpen, zijn we nog altijd niet in staat leven te laten ontstaan in een laboratorium. De stap van eenvoudige moleculen naar zichzelf reproducerende systemen, naar iets dat metaboliseert, evolueert en reageert op de omgeving, blijft voorlopig een *black box*. Niet alleen omdat het proces waarschijnlijk extreem complex is, maar ook omdat we de exacte omstandigheden waarin het miljarden jaren geleden gebeurde, niet kunnen reconstrueren. Kleine verschillen in temperatuur, zuurtegraad of mineraalsamenstelling waren waarschijnlijk al bepalend, en die factoren zijn vandaag moeilijk, zo niet onmogelijk, precies te achterhalen of testen.

Toch is de weg naar inzicht geopend. Elk experiment, elke ontdekking van een nieuwe katalysator of een nieuw reactiepad, brengt ons dichterbij de kernvraag: hoe kwam het leven ooit op gang? De toekomst zal uitwijzen of we ooit in staat zijn de resterende onbekenden in het verhaal van de oorsprong van het leven in te vullen en of we het mysterie volledig kunnen ontrafelen. Misschien zal het verhaal altijd deels gehuld blijven in de mist van het diepe verleden. Maar één ding is zeker: het leven begon als chemie. En chemie begrijpen we steeds beter.

EEN BONT GEZELSCHAP MET GROTE PLANNEN

Zoom je in op het leven, en dring je écht tot in de kern door, dan kom je ze tegen: biomoleculen. We ontdekten ze al in het Miller-experiment. Het zijn niet de glimmende sterren op het wereldtoneel, eerder de technici achter de schermen van het bestaan. Ze knopen, plakken, vouwen, breken, regelen en repareren. Net als roadies bij een popconcert zorgen zij ervoor dat alles op rolletjes loopt. Hoewel hun namen vaak klinken als ingrediënten van een ruimtecocktail, zijn ze samen verantwoordelijk voor zowat alles wat leeft, denkt, groeit of sterft.

Laat je niet misleiden door hun abstracte imago. Biomoleculen zijn niet saai. Ze zijn briljant. En onder hun ogenschijnlijke eenvoud schuilt een verrassend flexibel, chaotisch en soms zelfs poëtisch systeem. Graag stel ik je voor aan dit bonte gezelschap.

KOOLHYDRATEN: ENERGIELEVERANCIERS MET GEHEIME BOODSCHAPPEN

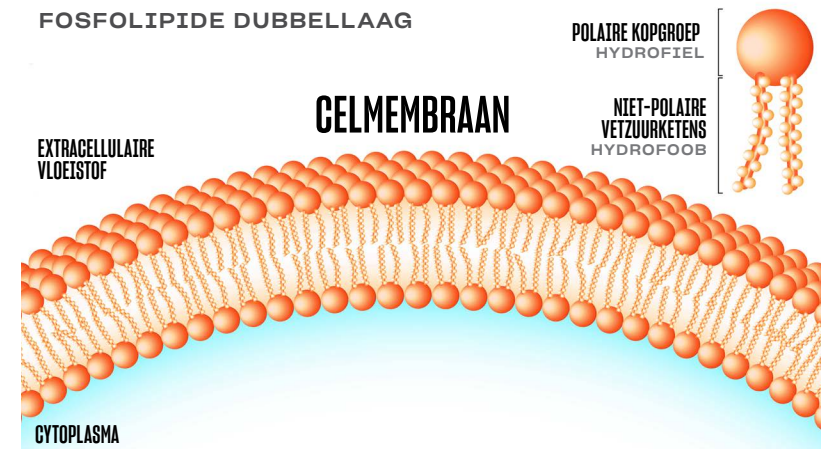
De bekendste koolhydraten zijn de suikers. Niet de klontjes in je thee, maar hun microscopische tegenhangers: glucose, fructose, ribose en de lange ketens die ze vormen, zoals cellulose of glycogeen. Suikers zijn vooral bekend als energiebron. Ze worden in cellen in stukjes geknipt, verbrand, hergebruikt en opgeslagen. Maar suikers doen meer. Ze zitten ook aan de buitenkant van celmembranen, waar ze herkenningscodes vormen voor andere cellen. Net als stokken met specifieke vlaggen op een festivalterrein die aangeven waar je vrienden staan. Suikers bepalen of je bloedgroep A, B of O hebt. Ze geven virussen en bacteriën toegang tot bepaalde cellen. Ze zijn de geheime handdruk van het immuunsysteem.

In planten vormen suikers een skelet: cellulose – een polymeer van glucose – geeft structuur aan celwanden. Zonder cellulose geen blad, geen stengel, geen boom. Dan is er nog chitine, verwant aan cellulose, dat de pantsers van insecten vormt.

Suikers zijn de stille diplomaten van het lichaam. Energie-leveranciers, maar ook boodschappers, bouwers en herkenningstokens.

LIPIDEN: WATERHATERS MET STRUCTUURDRIFT

Vetten hebben een reputatieprobleem. Ze worden geassocieerd met calorieën, fastfood, dichtgeslibde aderen en obesitas. Toch zijn lipiden, de biomoleculaire familie waartoe vetten behoren, onmisbaar en bijzonder verfijnd. Hun voornaamste kwaliteit? Ze houden niet van water. Juist daardoor vormen ze de dubbele vetlaag van elke celmembraan. Dankzij hun gedeeltelijke afkeer van H_2O , trekken ze naar elkaar toe en vormen ze een beschermende barrière waarbinnen het leven veilig mag pruttelen. Zonder lipiden geen cel. Zonder cel geen leven.



Daarnaast dienen lipiden als energiereserve, signaalmoleculen (de chemische verbinding die de overdracht van informatie tussen cellen verzorgt) en thermische isolatie. Sommige lipiden, zoals fosfolipiden of cholesterol, bepalen de vloeibaarheid en soepelheid van membranen. Een beetje zoals boter in deeg: te veel en het wordt slap, te weinig en het