

Reacties op de inhoud van dit bijvoegsel gaan naar Redactie Wetenschap & Onderwijs NRC Handelsblad, Westblaak 180, 3012 KN Rotterdam. Ingezonden brieven dienen bij voorkeur de 500 woorden niet te overschrijden.



Foto Cas de Stoppelaar

Theoreticus A.G. Cairns-Smith:

LEVEN UIT KLEI

'Je kunt evolutie niet bewijzen. Maar je kunt de theorie wel aannemelijk maken'

Cas de Stoppelaar

Over de Oorsprong van Het Leven op Aarde zijn vele theorieën, en zij wedijveren met elkaar in de mate waarin zij onze fantasie op de proef stellen. Tegen de tijd dat een zoekende zijn geloof in God opzegt (en besluit om de evolutie-biologie te raadplegen om enige ontstane leemtes op te vullen) wordt het probleem nijpend. Wie zijn wij? Waartoe is alles op aarde verschenen? En: waaruit is alles ontstaan? Op die laatste vraag is nu een duidelijk antwoord: uit *klei*. Dat is tenminste de mening van de Engelse chemicus Dr. Graham Cairns-Smith uit Glasgow. Hij publiceerde hierover in juni een artikel in *Scientific American* en schreef al drie verhelderende boeken — de derde, *Seven Clues to the Origin of Life, a Scientific Detective Story* komt deze week uit. Zijn theorie wordt als gewaagd omschreven, maar wel serieus genomen. Toch worstelt Cairns-Smith met een probleem: "De biologen zien geen fouten in mijn theorie, evenmin als de geologen, en de zaak is chemisch ook in orde. Maar toch breekt hij tot op heden niet echt door. Waarom niet? Ik weet het niet."

Het sleutelwoord bij de theorie van Cairns-Smith is: *Genetic Takeover*. Dat is: in den beginne was er een anorganische genetica en die is in de loop der evolutie verdrongen door een organische vorm van erfelijkheid, met uiteindelijk het DNA-molecuul als drager van de erfelijke eigenschappen bij vrijwel alle huidige organismen. Hij zegt: de eerste genen waren kristallen, en *klei* is om verschillende redenen een geschikt kristal om de rol van het oer-gen gespeeld te hebben. Onder zijn hypothese worden de laatste enkele wetenschappelijke stutten geslagen, zoals door onderzoek van Prof. Armin Weiss uit München en van Lelia Coyne van het Nasa Ames Research Centre. (zie kadertje.) New Scientist meldde daarover: "Deze resultaten vormen niet een bewijs voor de theorie dat leven uit *klei* voortkomt, maar het zijn wel noodzakelijke voorwaarden daartoe."

Te laat ontdekt

Heel leuk! Genieën worden soms te laat ontdekt, dus zoek ik Cairns-Smith op in Londen, waar hij op een zonnige middag op doorreis is naar een vakantiebestemming in Frankrijk. We ontmoeten elkaar in het Museum van Natuurlijke historie. Gezeten in de schaduw van een reusachtige Dinosaurius,

(dit alles voortgekomen uit *klei*!) spreekt hij snel en geïnspireerd, onderbreekt zichzelf met onafgebroken vol speculatie en lardeert zijn betoog met kleine Engelse grapjes.

Toen u ging roeren in de oersoep, sloeg de gedachte van klei als voorloper van het leven op aarde over als een vonk, zoals bij de beroemde proeven van Miller, of was het een evolutieproces?

"Duidelijk een evolutieproces. Bij het nadenken over het ontstaan van het leven stuitte ik — ik spreek van begin jaren vijftig toen de rol van het DNA-molecuul nog niet bekend was — steeds weer op het grote probleem: hoe stel je je een bepaald moleculair systeem voor dat zich op één of andere manier kan repliceren — zich kan vermenigvuldigen? Deze replicatie is mijns inziens fundamenteel.

Waarom?

"Er zijn bij de *origin of life* people twee richtingen te onderscheiden: de 'genetici' en de 'soepmensen'. De genetici zijn mensen als J. B. S. Haldane die stellen dat er in de eerste plaats reproductie geweest moet zijn, een zichzelf replicerend molecuul, en daarna pas een stofwisseling, met ten slotte een cel. De soepmensen vinden hun inspiratie

in het werk van A. Oparin, die precies andersom dacht. Hij stelt dat er in de oersoep eerst sprake was van een krioelende massa moleculen, die steeds ingewikkelder werden en die een soort stofwisseling tot gevolg hadden. Op een gegeven moment werd alles zo gecompliceerd dat er vanzelf een reproductie ontstond. Ik geloof Oparin niet. Dat is voor mij een mystieke benadering. Daar is heel wat *waving of hands* voor nodig om je dat voor te stellen.

Oparin's theorie is als het vanzelf ontstaan van zuigers, cilindertjes, kleppen en bougies die zichzelf assembleren tot een motor; deze motor begint te draaien en gaat een fabriek aandrijven waarin andere motoren worden gebouwd?

"Exact, dat zegt Oparin en daar geloof ik dus niet in. Ik was student in 1953 toen ik het verhaal van Watson en Crick las die de structuur en de functie van DNA hadden ontdekt. Ik dacht: dat is het nou precies! Dat is de manier waarop het moet gaan. Ik dacht vervolgens: het zou zo aardig zijn om te zien of dit principe van zelf-replicatie ook in de anorganische wereld mogelijk zou zijn.

Waarom wilde u dat weten, om een soort startmotor uit te vinden die de echte motor aan de praat zou krijgen?

"O nee, ik was helemaal niet zo geïnteresseerd in de oorsprong van het leven, aanvankelijk. Ik was alleen maar geïnteresseerd in de theoretische mogelijkheid van zo'n systeem. *Pure science*, gewoon voor de pret. Ik gebruikte het DNA-model als uitgangspunt en wilde proberen een ander, zo simpel mogelijk replicerend systeem te bedenken. De belangrijkste gedachte daarbij was: wanneer je eenmaal een replicerend systeem hebt (en je hebt dus replicatoren), dan komt er een nieuw proces om de hoek kijken, en dat is evolutie door natuurlijke selectie. Zonder replicatie geen evolutie.

Vooropgesteld tenminste dat er bij het maken van de replica's, de dochter-copieën, af en toe een fout kan insluipen zodat de dochter er iets anders uitziet dan de moeder. Een dochter die anders is dan de moeder kan beter of minder goed zijn aangepast aan haar omgeving en wordt dus (in positieve of in negatieve zin) uitgeleerd. Dat is evolutie. Wanneer dit proces eenmaal op gang is zet het zich geheel autonoom voort en tenslotte ontstaan er zulke ingewikkelde systemen dat we van *leven* kunnen spreken.

U noemt uw klei-organismen ook levende, als ik me niet vergis.

"Het begrip 'leven' is moeilijk. Het is geen scherp omlijnde term, het is een kwestie van smaak. *Wat is leven?* Het is zoiets als *hoogte*. Voor iemand in het dal is die heuvel ginds tamelijk hoog, maar wanneer je op de top van de Mont Blanc staat zijn de Ardennen niet zo 'levend'. Leven is dus een relatief begrip, en daarom spreek ik liever niet van *the origin of life* maar van de *origin of replicators*, of het ontstaan van organismen, zo u wilt.

Maar goed, ik raakte dus gefascineerd door dit replicatieprobleem. Ik zag een belangrijk verschil tussen de biologie en de andere natuurwetenschappen: het centrale thema in de biologie is een machine die zichzelf reproduceert — een soort Von Neumann machine — en die bestaat niet in de scheid- of natuurkunde. Ik dacht: hoe kan ik nu een zo eenvoudig mogelijk replicerend systeem bouwen? In 1964 moest ik een lezing geven aan de universiteit van Glasgow en daar stelde ik het kristalmodel voor. Neem als voorbeeld een schaaqbord met een onregelmatige verdeling van zwarte en witte vlakken. Wanneer op één of andere manier zwart zwart en wit wit zou aantrekken, zou bij de replicatie van dat schaaqbord het zwart-wit patroon — dat kan je zien als "informatie" — worden overgedragen. Dat is

een hele simpele manier, zoals ook kristallen groeien: daarin worden 'fouten' in de kristalstructuur, die je ook als informatie kan zien, ook op de dochterkristallen overgedragen. Met deze aanpak copieerde ik het principe van de DNA replicatie, maar voor de rest waren mijn ideeën op alle manieren anders. Dat zie je vaak in wetenschap: het idee, daar gaat het om, de inspiratie van een idee.

Hoe komt u van een schaaqbord bij klei-organismen terecht?

"Ik ben naar geschikte replicatoren gaan zoeken, eerst in de organische chemie. Ik kon niets vinden. Toen heb ik in de anorganische chemie rondgezocht en daar stuitte ik op *klei*. *Klei* voldeed aan mijn voorwaarden. Ik schreef het verhaal op in 1966, het werd gepubliceerd in een vaktijdschrift en dat vormde de basis voor mijn eerste boek.

De Life Puzzle

"Ja. Daarin beschrijf ik hoe volgens mij in de loop der evolutie het genetisch systeem van een anorganische naar een organische vorm is overgeschakeld: de *Genetic Takeover*. Stel je dat als volgt voor: er is een *klei-kristal* en dat groeit, zoals alle kristallen doen. Dat gaat wel langzaam, er kunnen honderden jaren passeren, maar het groeit en de aarde had de tijd, 4,5 miljard jaar om precies te zijn. *Klei* is goed in organische chemie. Het werkt in op bijvoorbeeld kool-dioxide, en zet dit CO₂ om in mierzuur, en misschien zelfs in formaldehyde.

Is daar ook niet wat fantasie, wat 'waving of hands' zoals u zegt, voor nodig?

"O ja, ook wel, maar niet zoveel. Want dat *klei* suddert in de zon, en het *klei* doet iets met die energie, weet je, en dat gaat vanzelf! Daar is geen ontken aan. En als datgene, wat het *klei* doet, nu eens een klein voordeel heeft. Stel nu eens dat er een spoor van formaldehyde rond het *klei* organisme aanwezig is: dat beïnvloedt de pH — de zuurgraad — en dat kan weer een positieve invloed op de kleisynthese hebben. Dat resulteert vanzelf in de snellere

aanmaak van *klei* die beter formaldehyde kan maken waardoor de zuurgraad weer gunstig wordt beïnvloed. Het resultaat: de *klei*structuur die CO₂ omzet tot formaldehyde wordt — zie Darwin — uitgeleerd. Als er eenmaal *klei*organismen komen die uitblinken in het aanmaken van formaldehyde zullen er ook suikers komen. Want laten we eerlijk zijn: als er formaldehyde is, ontstaan er ook suikers. Dat is maar een kleine stap. En met suikers kan je veel doen. Ik zie dit proces echt voor me. Het ontstaan van het leven op aarde zie ik dan als iets heel logisch. Veel logischer dan dat geborrel in de Oparin-soep. Hetgeen ik zojuist schetste noem ik de *zwakke vorm* van de *Genetic Takeover*, waarin nog allerlei Oparin-achtige trekjes zitten, want het gaat nog allemaal vanzelf, zij het in duidelijke gestructureerde mini-soepjes in plaats van in één grote soep.

En u propageert de Sterke vorm van Genetic Takeover?

"Ja, die gaat een stap verder. Ik zeg: er ontstaat in de evolutie op een gegeven moment een samenwerkingsverband tussen deze eerste *klei*organismen en een tweede — organische — vorm van leven. Het *klei* levert de structuren — noem het fenotypen — waarop bepaalde consistente systemen van organische moleculen kunnen voorkomen. Dat kunnen voorlopers van RNA of DNA geweest zijn die zich aan de randen van het *klei* kunnen hechten, of zich tussen de *klei*laagjes in nestelen. Wanneer er in dat *klei* bepaalde patronen voorkomen zal je ook bepaalde patronen — een bepaalde volgorde bijvoorbeeld — van organische moleculen kunnen krijgen. *Klei* werkt dan als een *template*, een mal. Deze tweede generatie moleculen — laten we zeggen RNA — verschijnt als onderdeel van de *klei*organismen. En dan blijkt dat die samenwerking in sommige gevallen gunstig uitvalt. Het doet iets. Het maakt bijvoorbeeld de *klei* meer stabiel of zo iets. Iets *gunstigs*. Deze *klei* plant zich sneller voort. De volgende stap is: het blijkt dat die organische moleculen op zich meer potentie hebben om zich voort te planten. Dat gebeurt dan en dit leidt gaandeweg tot een organische levensvorm

die de leiding van het *klei*organisme overneemt. Zo is het volgens mij gegaan. Je start met wat er voorhanden is, iets eenvoudigs. Zodra het vuurtje begint te smuilen beginnen ook andere dingetjes te branden, omdat er mogelijkheden worden geschapen om nieuwe organische moleculen te maken. Nieuwe structuren die ontstaan, waardoor weer nieuwe moleculen gemaakt worden. Enzovoort.

Maar er blijft een enorme kloof te overbruggen van deze kleibiosfeer naar een compleet DNA-replicerend systeem zoals een cel. Je bouwt niet zomaar DNA, dat is zonder enzymen — en eiwitten waren er niet in de kleitijd — een reusachtig werk waar je tegenwoordig de Nobelprijs voor ontvangt.

"Zeker, maar ik geloof dat er in het begin ook een soort *evolutie van apparaten* mogelijk was.

Om zonder enzymen een DNA-molecuul te bouwen maak je veel tussenstappen. In een laboratorium heb je veel slangen en glaswerk nodig. Ik zie die eerste *klei*organismen als dingen die veel gecompliceerder waren dan bij voorbeeld een bacterie, maar dan op een heel andere manier. Zij waren gecompliceerder zoals een ouderwetse rekenmachine met tandraden en wielen veel gecompliceerder is dan een moderne zakrekenmachine. Zij waren gecompliceerder op een niveau van *Low Technology*. Zoals die oude rekenmachine. Of zoals in de middeleeuwen een reusachtige kathedraal, maar uitsluitend natuursteen en hout. Daar zat geen beton of staal in. Als je nu een zakrekenmachientje open maakt zie je geen tandwielen. Geen houten kralen zoals die ooit in een telraam zaten. Je ziet haast niets. Het is de stille, verraderlijke eenvoud van de *High Technology*.

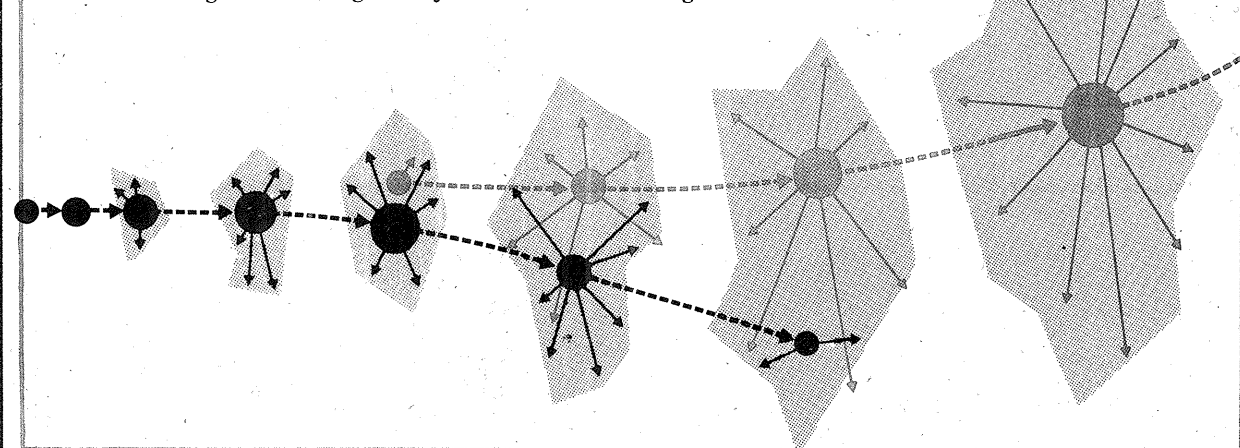
Als je een cel van nu openmaakt zie je geen *klei*, buizen of slangen. Je ziet een subtiel samenspel in *feedback*loops van eiwitten en DNA. Dat noem ik biologische *High Tech*. En de huidige biologische *High Tech* steunt op de basis van *Low Tech* van vroeger, die je nu niet meer ziet.

Vervolg op pagina 2

KLEI

klei is een silicium-zuurstof. In deze structuren komen (door ionen-substituties: silicium kan door bijvoorbeeld aluminium worden vervangen) onregelmatigheden voor. Een systematisch patroon van deze onregelmatigheden zou als mal ("template") voor organische moleculen kunnen dienen. Lelia Coyne van het Ames Research Centre heeft Kaolinit-kleien uit Corn-

Genetic takeover is de sleutel tot Cairns-Smiths leven-uit-klei theorie. Eerst waren er naakte genen die zich ontwikkelden en hun onmiddellijke omgeving beheersten (zwarte vierkantjes). Deze eerste genen zouden van *klei* geweest kunnen zijn. In deze beheerste omgeving zouden zich nieuwe genen van een geheel ander materiaal kunnen vestigen (rode vierkantjes). Deze beginnen de omgeving ook te beheersen. De omgeving wordt tenslotte een organisme. Langzamerhand worden de eerste genen overbodig. Er blijft niets van hun aanwezigheid over.



Kees Lankester

was lid van de Nederlandse delegatie in de IWC

Drie jaar geleden heeft de Internationale Walvisvaart Commissie (IWC) besloten dat met ingang van het seizoen 1985/1986 de vangstlimieten voor alle commerciële walvissoorten nul zijn. Drie landen, Rusland, Japan en Noorwegen tekenden echter officieel bezwaar aan, waardoor zij zich niet aan dit moratorium hoeven te houden. Ondanks deze bezwaren lijkt op het eerste gezicht een tijdelijke stop van de commerciële jacht op de reuzen van de zee nu toch tot stand te komen.

Rusland heeft dit jaar bekend gemaakt dat de commerciële jacht op dwergwalvissen (minke whales) in Antarctica vanaf 1987/88 tijdelijk wordt gestaakt. Hoewel als redenen technische gebreken worden genoemd, lijkt het er op dat ook dit land de grote internationale druk wil ontlopen. Japan, vervult de grootste belanghebbende in de walvisindustrie, heeft nu definitief toegezegd zich aan de bilaterale afspraak met de Verenigde Staten te zullen houden en in 1988 de jacht tijdelijk te stoppen.

Beschermd

De IWC heeft deze toezegging verze-geld wat betreft de potvissen door de laatste potvispopulatie waar Japan nog jacht op maakt vanaf dat jaar als beschermde populatie ("Protection Stock") te beschouwen. Noorwegen, het derde land met een officieel bezwaar tegen het moratorium, mag van-



Einde van de walvisvaart

Maar met foefjes gaan sommigen verder

af volgend jaar niet meer jagen op de dwergwalvissen voor de Noorse kust, want ook deze populatie is door de IWC nu als beschermd geclassificeerd.

Het classificeren als een "Protection Stock" betekent dat er geen commerciële jacht mag worden gemaakt op de populatie in kwestie. Het is in de IWC gebruikt als extra pressiemiddel. Het bezwaarschrift van de drie landen gold namelijk specifiek de ingestelde vangstlimieten van nul. Willen Japan en Noorwegen nu toch doorgaan, dan moeten ze opnieuw een bezwaar indienen tegen de beslissing van de classificatie tot "Protection Stock". De algemene opinie heerst dat Noorwegen dit niet zal doen, mede vanwege sterke druk in het land zelf, terwijl Japan de overeenkomst met de VS heeft bevestigd.

Foefjes

Dit alles betekent in geen geval dat er in de hele wereld geen grote walvissen meer zullen worden gevangen vanaf 1988. Er zijn namelijk een aantal foefjes om het moratorium te ontduiken. Naast de walvisvaart buiten de IWC om (oa. in de Azoren) en het overtre-den van de IWC regels (oa. in Chili en Zuid-Korea), heeft ook de IWC zelf enkele mazen in het net van haar reglementen. De eerste is het door een regering afgeven van een bewijs voor wetenschappelijk onderzoek. Twee landen willen dit jaar zo'n bewijs afgeven, IJsland en Korea. De IWC heeft geen enkele zeggenschap over de afgifte van dergelijke bewijzen en kan slechts morele druk gebruiken om lidstaten ervan te weerhouden. De meeste walvisbiologen zijn van me-

ning dat onder het mom van wetenschap de industrie gewoon wordt voortgezet, het vlees zal zoals gewoonlijk worden verkocht aan Japan en onderzoeksmethoden verschillen niet van voorgaande jaren. Met argusogen zal dit "onderzoek" dan ook worden gevolgd door de buitenwereld.

Een tweede manier is het verklaren van walvisjacht tot "Aboriginal Subsistence Whaling", niet-commerciële jacht door bevolkingsgroepen, voor wie walvisjacht uit sociaal en cultureel oogpunt onmisbaar is. Vooral in noordelijke gebieden komt het voor, met name in Oost-Siberië, Alaska en West-Groenland. In de IWC wordt dergelijke jacht als een aparte categorie beschouwd. Het betekent dat walvissen die beschermd zijn tegen commerciële jacht op deze wijze toch nog worden gedood.

Er worden natuurlijk wel vangstlimieten voor vastgesteld. Dit jaar is gebleken dat de Groenlanders sterk worden beknod. De Bultrug mag helemaal niet meer worden bejaagd, terwijl de vangstlimiet voor dwergwalvissen is verlaagd. Het vooruitzicht is dat de toestand van deze kleinere soort zo slecht is, dat over enkele jaren nog een quotum van enkele tientallen geoorloofd zal zijn. De Russische jacht op Grijze walvissen, nog altijd goed voor jaarlijks 175 dieren, wordt volgend jaar zeer kritisch onder de loep genomen. Milieubeschermende landen, waaronder ook Nederland, vrezen dat deze twee mogelijkheden in de toekomst kunnen worden misbruikt voor puur commerciële walvisvaart. Bovendien doet er nu een nieuw obstakel op, de soevereiniteit binnen de 200-mijls zone, die landen kunnen gebruiken voor

het recht op walvisvaart binnen dergelijke gebieden.

Toekomst

De toekomst van het walvisvaartbeleid is verre van zeker. Voor 1990 moeten mathematici en biologen een algemene wetenschappelijke basis leggen voor het toekomstige beheer waarmee verder moet worden gewerkt. Deze basis is echter nog verre van duidelijk. Het betekent dat een beheer zal worden gebaseerd op een minimum aan betrouwbare informatie. Er heeft zich namelijk in de laatste jaren een interessant wetenschappelijk proces afgespeeld in de IWC.

In het begin waren er weinig gegevens over walvispopulaties en de beheer-maatregelen waren eenvoudige. Naarmate de jaren vorderden kwam er meer informatie beschikbaar en werden de analyses gecompliceerder. De conclusies werden echter minder begrijpelijk en maakten de informatie onbetrouwbarder. Met andere woorden, hoe meer men te weten kwam, des te onduidelijker werden de antwoorden. Op dit moment overheerst de mening dat er geen eenduidig beheer mogelijk is, maar eerder een verzameling van methoden, die onder strikte voorwaarden een bepaalde mate van betrouwbaarheid bezitten. Er zal gekeken moeten worden naar de risico's van de methoden voordat ze worden toegepast. De lange-termijn politiek zal een belangrijke rol gaan spelen, daar de huidige gegevens voor alleen de korte termijn niet te vertrouwen zijn. Op den duur zal een beperkte vangst wellicht toch mogelijk blijken, maar voorlopig zal de walvisjacht tijdelijk rigoureuze beperkt moeten blijven.

Illustratie: Drijple Bot