

Leven op Mars? een geologische visie

door Harry N.A. Priem

De belangrijke rol die de *biosfeer* (de totaliteit van alle levensvormen en biologische processen) op aarde speelt, maakt deze planeet tot een buitenbeentje in ons zonnestelsel. Sinds haar ontstaan, 4,57 miljard jaar geleden, is géén ander planetair systeem op een dergelijke ingrijpende wijze door een 'macht' gemodificeerd, die zich kan meten met de geologische kracht. Maar al is het verschijnsel Leven nergens anders zo opvallend aanwezig als op aarde, dat sluit de mogelijkheid van *extraterrestrisch leven* niet uit – zeker niet ten aanzien van andere zonnestelsels, waarvan er talloze in het heelal moeten zijn. Het impliceert slechts dat, als er elders in ons zonnestelsel toch enige vorm van leven voorkomt, het zich nooit tot een belangrijke geologische factor in het planetaire systeem heeft kunnen ontwikkelen. Zo is het, bijvoorbeeld, nog steeds een open vraag of er enige vorm van leven voorkomt op onze buurplaneet Mars, waar de condities het meest overeenkomen met die op aarde.

Leven

Alle aardse vormen van leven, van bacteriën tot de hoogst ontwikkelde planten en dieren, zijn manifestaties van dezelfde complexiteit. Hun levensverrichtingen zijn gebaseerd op



Afb. 1. Stromatoliet, 3,6 miljard jaar oud, West-Australië.

dezelfde chemische reacties en dezelfde structuren, en zij zijn opgebouwd uit dezelfde moleculen en hetzelfde twintigtal aminozuren – ongeacht de leefomgeving en aanpassingen daaraan. Essentieel is de beschikbaarheid van voldoende energie (zonlicht of chemische energie), van water en van andere chemische bouwstenen, terwijl de omgevingstemperatuur tussen ruwweg -75°C en $+125^{\circ}\text{C}$ moet liggen. Het kan niet anders dan dat op vele plaatsen in het heelal aan deze voorwaarden is voldaan, zodat ook daar 'aardse levensvormen' zouden kunnen bestaan. Het is echter evenzogoed denkbaar dat er geheel andere vormen van leven zijn, onder geheel andere condities en berustend op andere moleculen en chemische reacties. Wij kennen echter (vooralsnog) uitsluitend het *aardse* leven en hebben er géén idee van hoe eventuele exotische buitenaardse levensvormen er uit zouden kunnen zien. Zo is bijvoorbeeld onlangs in verband met de Cassini-Huygens missie naar Titan gespeculeerd over mogelijk leven op deze Saturnus-maan, waar de temperatuur aan het oppervlak zo'n 180°C onder het nulpunt ligt en zeeën van vloeibaar methaan (CH_4) en ethaan (C_2H_6) zijn, onder een dampkring van voornamelijk stikstof (N_2) en een paar procent methaan. Er zijn speculaties dat ethaan een functie zou kunnen vervullen analoog aan die van water in aardse organismen. De missie heeft echter geen enkele indicatie voor een dergelijke exotische vorm van leven op Titan opgeleverd (maar, als het er is, zou het dan als zodanig zijn herkend?).

Biogenese

De conventionele opvatting is dat de biochemische verwantschap en de opvolging van fossielen door de geologische tijd er op wijzen dat alle organismen op aarde afstammen van één embryonale biosfeer, een populatie 'oercellen' die omstreeks vier miljard jaar geleden leefde. De oudste duidelijke levensgetuigen dateren van 3,6 miljard geleden en zijn gevonden in West-Australië: *stromatolieten* (afb. 1), kalksteenriffen gevormd door bolvormige kolonies van kalkafscheidende bacteriën, en microfossielen van tot 'draden' samengevoegde *bacteriën* in laagjes silex (chert). Nog vroegere aanwijzingen voor (microbieel) leven zijn te vinden in de oudst bekende sedimenten: de 3,8 miljard jaar oude succesie van metamorfe vulkanieten en mariene sedimenten bij Ivigtut aan de Godthåbsfjord in West-Groenland (afb. 2). De metasedimenten bevatten grafietbolletjes met diameters van enkele microns, waarvan men denkt dat zij resten van micro-organismen representeren. Hiervoor pleit ook de isotopische samenstelling van de grafiet: de $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ -verhouding ligt in het biologische gebied – maar dit is géén absoluut criterium. De dampkring bestond ten tijde van de afzetting uit kool-dioxide (CO_2) en een paar procent stikstof (N_2). Moleculair zuurstof (O_2) begon pas zo'n $1\frac{1}{2}$ miljard jaar later een substantieel bestanddeel van de dampkring te worden, als resultaat van de interactie tussen de steeds verder evolverende biosfeer en geologische activiteiten. Leven moet dus al op Aarde zijn verschenen in de 770 miljoen jaar tussen de geboorte van de planeet 4,57 miljard jaar geleden en de depositie van de Ivigtut-sedimenten. Volgens het conventionele scenario zou in dat tijdsinterval de biogenese zich hebben voltrokken, onder een reducerende dampkring in warm mineraalrijk water. Lange tijd meende men dat de aarde in de eerste paar honderd miljoen jaar van

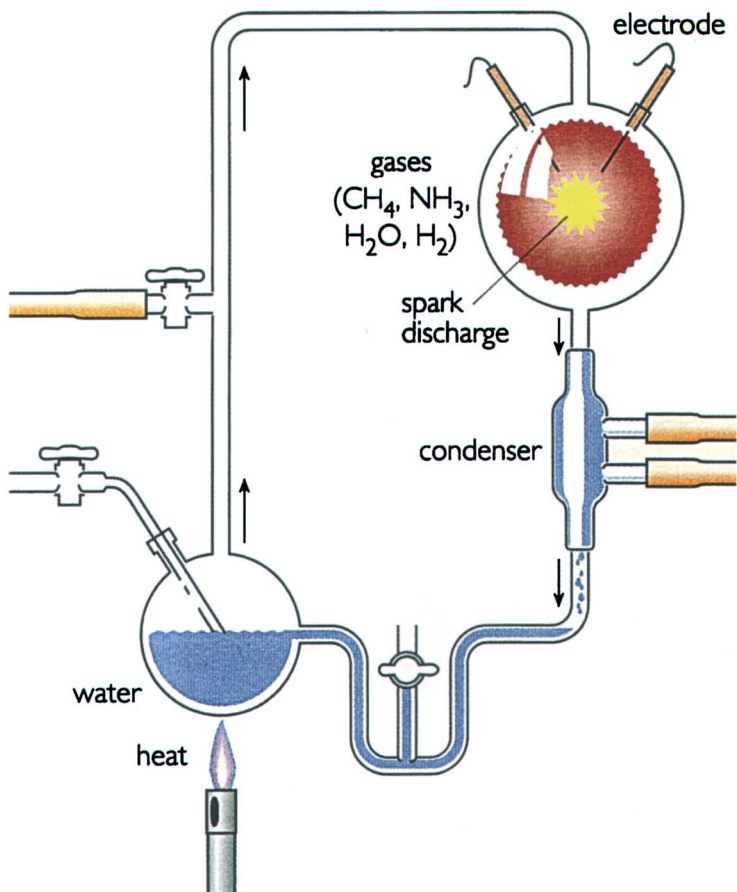


Afb. 2. Metamorfe vulkanieten en sedimenten, 3,8 miljard jaar oud, in het Isua gebied, Godthåbsfjord, West-Groenland. Dit zijn de oudst bekende afzettingsgesteenten op aarde.

haar bestaan een reducerende dampkring bezat, voornamelijk bestaande uit ammoniak (NH_3), methaan (CH_4) en waterstof (H_2). In een dergelijk gasmengsel doen allerlei reacties in aanwezigheid van water complexe koolstofverbindingen ontstaan. Experimenteel is dit als eerste in 1952 gerealiseerd door Harold Urey en Stanley Miller in hun beroemde experiment met behulp van elektrische ontledingen (afb. 3). Na hen is hetzelfde resultaat bereikt met allerlei andere vormen van energietoevoer: ultraviolet licht, röntgenstraling, radioactiviteit, schokgolven, passage van het gasmengsel over verhitte mineralen, enz. Alle aminozuren die de bouwstenen vormen van eiwitmoleculen kunnen zo op eenvoudige wijze worden gesynthetiseerd. Dit leek antwoord te geven op de vraag hoe de prebiotische vorming van de chemische bouwstenen van het aardse leven zich kan hebben voltrokken. Deze abiogeen gevormde 'organische' moleculen zouden zich vervolgens tot steeds complexere structuren hebben georganiseerd, tot er tenslotte op onbegrepen wijze een structuur werd gevormd met de eigenschappen van een levend organisme.

Later geologisch en planetair onderzoek heeft echter aan het licht gebracht dat een initiële ammoniak-methaan-waterstofdampkring nooit, of slechts zeer kort (hoogstens enkele miljoenen jaren direct na de vorming van de aarde) heeft bestaan. Al vroeg kreeg onze planeet een dampkring van voornamelijk kooldioxide (CO_2) en stikstof (N_2), die zich tot zo'n twee miljard jaar geleden heeft gehandhaafd – totdat de accumulatie van moleculair zuurstof (O_2) begon. Wél zijn er aanwijzingen dat er al zeer vroeg (zo'n 4,4 miljard jaar geleden?) oceanen waren. Op onze buurplaneten Venus en Mars heeft de dampkring nog steeds de samenstelling die de archaeïsche aarde had, maar Venus is nu gortdroog en op Mars komt water alleen voor als damp en als ijs. Helaas blijkt in een gasmengsel van kooldioxide en stikstof, in aanwezigheid van water, de abiotische synthese van 'organische' moleculen niet of nauwelijks mogelijk te zijn. Ook is het uiterst onwaarschijnlijk dat alle stappen van de che-

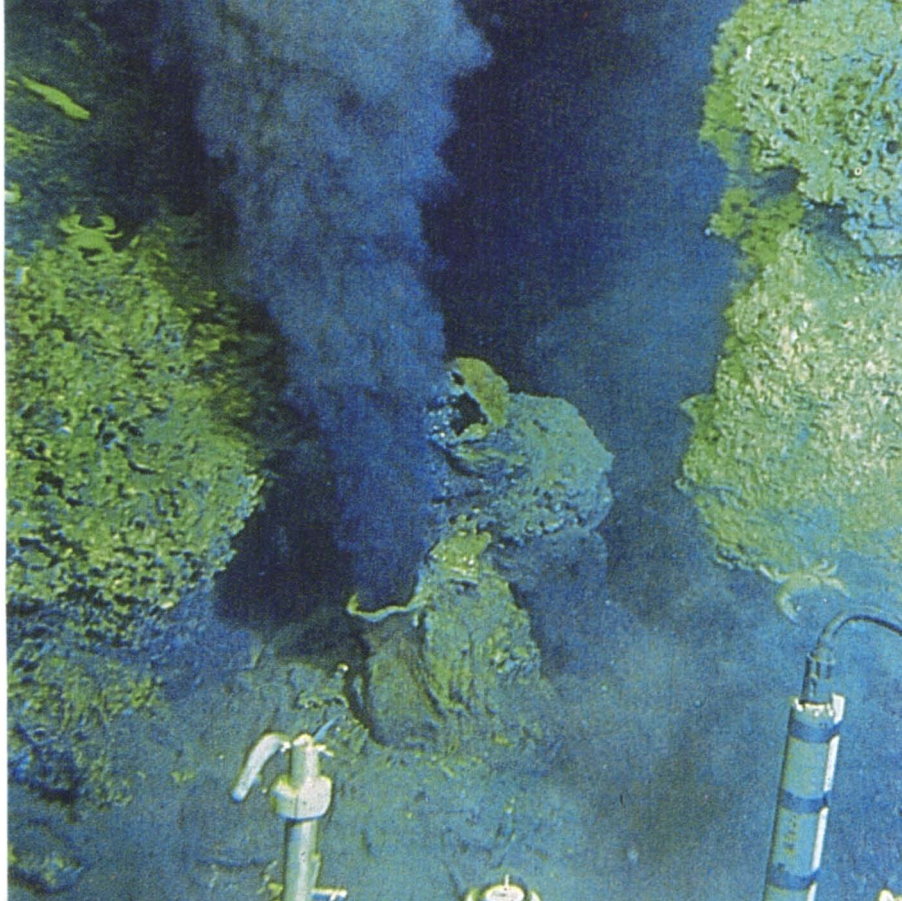
mische evolutie die tot het ontstaan van leven leidden, zich zouden hebben kunnen voltrekken in de zeer korte reducerende beginfase van de aardse dampkring – als die al heeft bestaan. De conventionele uitweg uit dit dilemma is dat het eerste leven op aarde zou zijn ontstaan in *lokale* reducerende milieus – bijvoorbeeld mineraalrijke warmwaterpoelen nabij vulkanen, of op de oceaانبodem nabij mineraalrijke heetwaterbronnen (*black smokers*, afb. 4).



Afb. 3. Experiment van H.C. Urey & S.L. Miller (1952). Elektrische ontledingen in een gasmengsel van methaan, waterstof en ammoniak (veronderstelde aardse 'oeratmosfeer') boven een bak water ('ocean') produceren een diversiteit van aminozuren.

Buitenaardse oorsprong?

Het conventionele scenario gaat uit van een autochtone, 'aardse' oorsprong van het leven, zowel de prebiotische chemische evolutie als de biogenese. Tegenwoordig menen vele onderzoekers echter dat de chemische evolutie die aan de biogenese vooraf moet zijn gegaan, zich buiten de aarde kan hebben voltrokken. De laatste decennia is aangetoond dat interstellair stof, komeetkernen en sommige meteorieten (de koolstofrijke *chondrieten*, afb. 5) wemelen van allerlei complexe koolstofverbindingen. Deze vinden hun oorsprong in interstellaire stofwolken, als gevolg van reacties tussen ionen (ontstaan door de absorptie van sterrenlicht of de interactie met kosmische stralingsdeeltjes) en moleculen. Wijd verbreid zijn bijvoorbeeld moleculen van methaan (CH_4) en ammoniak (NH_3), die onder toevoer van energie reageren met watermoleculen (eveneens wijd verbreid in het heelal) en polymeriseren tot aminozuren (bouwstenen van proteïnen) en heterocyclische verbindingen van koolstof, stikstof en



Afb. 4. 'Black Smoker' op de bodem van de Pacificische Oceaan, diepte 2,5 km (East Pacific Rise). Nabij dergelijke mineraalrijke heetwaterbronnen heeft misschien biogenese plaatsgevonden.

die in 1901 is voorgesteld door de chemicus/Nobelprijswinnaar Svante Arrhenius en in recente tijd weer onder de aandacht is gebracht door de vooraanstaande astronomen Fred Hoyle en Chandra Wickramasinghe (maar in essentie al 2500 jaar geleden is bedacht door de klassiek-Griekse atomist Anaxagoras). Deze hypothese stelt dat niet alleen de prebiotische chemische bouwstenen van het leven, maar ook het verschijnsel Leven zelf van buitenaardse oorsprong zijn. Overall in het heelal zouden 'levenskiemen' aanwezig zijn, die met kometen en interplanetair stof en gruis op aarde zijn gebracht en aan de basis staan van de evolutionaire ontwikkeling van het leven. Hoewel deze hypothese zich in een hernieuwde populariteit mag verheugen, is er geen enkel bewijs voor gevonden.

waterstof (bouwstenen van DNA en RNA). Deze moleculen, die de chemische bouwstenen van het leven vormen, worden overal in het heelal aangetroffen – de infraroodspectra van interstellaire wolken laten een frappant goede overeenkomst zien met die van brokstukken van bacteriën. Dit pleit ervoor dat de prebiotische *moleculaire bouwstenen* van het leven van buitenaardse oorsprong kunnen zijn. Al zeer vroeg in de aardgeschiedenis zouden die op onze planeet zijn 'gezaaid', waar zij aan de basis stonden van de keten van chemische reacties die resulteerde in biogenese.

Nog verder gaat de (omstreden) *panspermia-hypothese*

Martiaans Leven ?

De huidige condities maken dat Mars naar aardse maatstaven een uitermate onherbergzame planeet is: een gortdroge woestijn (afb. 6) geteisterd door dodelijke ultraviolette en kosmische straling (door de afwezigheid van vrije zuurstof is er niet, zoals op aarde, boven in de dampkring een ozonlaag die de schadelijke UV-straling in het golflengtegebied van 280 tot 320 nanometer tegenhoudt, terwijl er ook geen magnetisch veld is dat de kosmische straling afbuigt); een uiterst ijle dampkring (0.0065 bar, tegen één bar op aarde) bestaande uit kooldioxide (CO₂, 95,4%) en stikstof (N₂, 2,7%), waarin zware stofstormen optreden die soms maandenlang aanhouden; een sterk oxiderende bodem, waarin complexe koolstofverbindingen die de chemische bouwstenen van alle aardse leven vormen direct worden afgebroken; lage temperaturen (*gemiddeld* -23°C, tegen +15°C op aarde); en water voornamelijk als ijs op de polen en als *permafrost*, bevroren bodemwater. Sommige onderzoekers menen dat, evenals op aarde, af en toe kolommen van plastisch heet gesteente uit de diepte op kunnen stijgen (zogenaamde '*mantelpluimen*') die de permafrost doen smelten, waardoor plaatselijk stortvloeden kunnen ontstaan en tijdelijk poelen water worden gevormd – dit kan de ijsvlaktes verklaren die men in sommige grote kraters vermoedt. Enige vorm van bacterieel leven is niet geheel ondenkbaar. Ook op aarde kennen we immers bacteriesoorten (voornamelijk archaeobacteria) die aan extreme omstandigheden zijn aangepast, de zogenaamde *extremofielen* – bijvoorbeeld in zwavelrijke heetwaterbronnen (125°C) op de oceaانبodem; in minuscule holtes in het ijs van Antarctica (65°C onder nul); in het van zout verzadigde water van de Dode Zee; in poelen van kokend arseenrijk water met zeer hoge zuurgraad in Kamchatka; in geothermisch verhitte oliereservoirs op een diepte van 3000 meter onder de bodem van de Noordzee; op de bodem van de 11 kilometer diepe Marianentrog onder een hydrostatische druk van 1100 bar; in het zwaar radioactieve koelwater van kernreactoren; enz.

Bij alle missies naar Mars is tot dusverre echter nog nooit iets waargenomen dat een duidelijke aanwijzing voor enige vorm van leven zou kunnen zijn. Dat sluit echter niet uit dat chemoautotroof microbiëel leven kan floreren in de onder-



Afb. 5. Koolstofrijke meteoriet, in 1864 neergekomen bij Orgeuil (Frankrijk). Dergelijke meteorieten bevatten een diversiteit van abiogeen gevormde aminozuren.



Afb. 6. Woestijnoppervlak van Mars, gezien in januari 2004 vanaf de NASA Spirit Rover. (Foto NASA/JPL-Caltech)

grond, onder het oppervlak: het is daar afgeschermd van ultraviolette en kosmische straling, en er is water beschikbaar doordat geothermische warmte de permafrost smelt. Ook op aarde vinden we diep onder het oppervlak onder overeenkomstige omstandigheden chemoautotroof microbiëel leven – bijvoorbeeld de methanogene bacteriën die leven op 1500 meter diepte in de omstreeks 2 miljoen jaar oude plateaubasalten (kilometers dikke uitvloeiingen van basaltlava) in Washington State, die hun voor levensfuncties benodigde energie onttelen aan de omzetting van waterstof en kooldioxide in water en methaan ($4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4$ + energie; de waterstof produceren de bacteriën zelf, door de basalt te laten reageren met water). Wellicht wijzen de spoortjes methaangas die door NASA-robots in de ijle dampkring van Mars zijn gemeten, eveneens op de aanwezigheid van methanogene bacteriën in de basaltische ondergrond (de martiaanse korst bestaat nagenoeg geheel uit basaltische gesteenten). NASA heeft derhalve haar hoop op het vinden van martiaans leven gesteld op de (diepe) ondergrond en daarvoor in haar toekomstige missies ook boringen door robot-installaties voorzien.

Mars is echter niet altijd de onherbergzame planeet geweest die we nu kennen. Modelberekeningen op basis van de hoeveelheidsverhoudingen van edelgassen en stikstof in de ijle dampkring indiceren dat Mars in zijn vroege jeugd een veel dichtere kooldioxide-stikstof dampkring moet hebben gehad. De planeet heeft echter vroeg in zijn geschiedenis door zijn relatief kleine massa (10,7% van die van de aarde) en dus geringere aantrekkingskracht, eventueel in combinatie met één of meer zware inslag(en), het grootste deel van zijn oorspronkelijke dampkring aan de ruimte verloren. Hiervan getuigt onder andere de isotopensamenstelling van atmosferisch argon – de $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ verhouding is zo'n 10 maal hoger dan die op aarde (de verhouding neemt met de tijd geleidelijk toe door het radioactief verval van de kaliumisotoop ^{40}K ; aangezien de gemiddelde chemische samenstelling van Mars gelijk is aan die van de aarde, wordt er per gewichtseenheid planetaire massa ongeveer evenveel ^{40}Ar geproduceerd en getuigt de veel hogere $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ervan dat vroeg in de martiaanse geschiedenis een groot deel van het aanvankelijk aanwezige ^{36}Ar uit de dampkring is verdwenen). De dichtheid van de dampkring en de temperaturen aan het oppervlak lagen in de vroegste martiaanse geschiedenis binnen de bandbreedtes die het bestaan van vloeibaar water mogelijk maken. Toen ontstonden de dendritische drainagepatronen van (nu droge) rivierdalen die de oudste gebieden van Mars doorsnijden (afb. 7) en lang geleden (≈ 3 à $3\frac{1}{2}$ miljard jaar?) regenwater afvoerden naar meren, zeeën en oceanen. De vroegere activiteit van oppervlaktewater blijkt ook uit fijne-

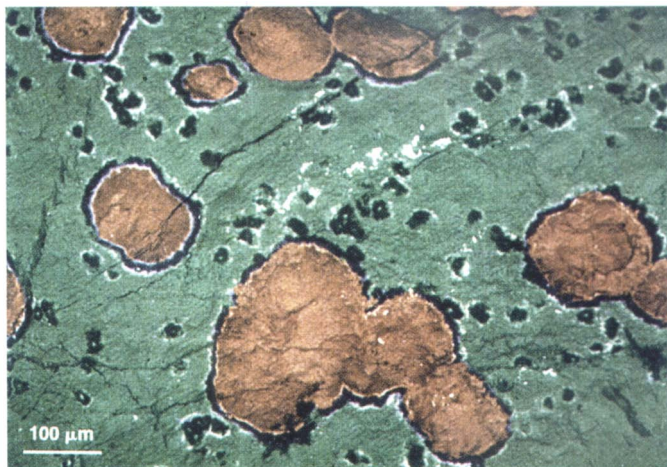
laagde sedimentafzettingen en de aanwezigheid van mineralen die uit water moeten zijn geprecipiteerd. Er zijn aanwijzingen dat Mars in zijn prille jeugd een bipolair magnetisch veld bezat, zodat er toen evenals op aarde een afscherming tegen kosmische straling was.

De condities die toen op Mars heersten kwamen dus ruwweg overeen met die tezelfdertijd op de archaïsche aarde. Daar was er in die tijd al leven, dus waarom niet op Mars? Op aarde waren al vroeg de complexe koolwaterstofmoleculen voorhanden die de moleculaire bouwstenen van het leven vormen, als product van autochtone chemische reacties en/of afkomstig van kometen en interplanetair stof en gruis, en het is moeilijk in te zien waarom dat onder ongeveer dezelfde condities op de buurplaneet Mars niet het geval zou zijn. Hetzelfde geldt voor de hypothese dat 'levenskiemen' met kometen en interplanetair stof en gruis zouden zijn aangevoerd. Het is alleszins aannemelijk dat er in Mars' vroege jeugd ook een embryonale biosfeer tot ontwikkeling is gekomen, maar dat die zich als gevolg van

de verslechterende condities aan het oppervlak niet kon handhaven. Dit in tegenstelling tot de aarde, waar de biosfeer in enkele miljarden jaren is geëvolueerd tot de belangrijke geologische kracht die het aanzien van onze planeet mede heeft bepaald. Denkbaar is echter dat resten van een embryonale martiaanse biosfeer zich in de ondergrond hebben teruggetrokken en daar nog steeds voortleven.



Afb. 7. Mars: dendritische draineringspatronen van droge rivierdalen in Chrysa Planitia. Het afgebeelde gebied is 200 x 165 km groot. (Viking Orbiter, 1976. NASA/JPL-Caltech).



Afb. 8. Mars-meteoriet ALH 84001, een 4,5-miljard-jaar oude basaltische lava die 16 miljoen jaar geleden door een zware inslag is losgeslagen van het martiaanse oppervlak en 13.000 jaar geleden neerkwam op het ijs van Antarctica. Links: korreltjes calciumcarbonaat (0,2-1 mm groot) in barstjes in het gesteente, omringd door snoertjes van magnetietkorreltjes. Rechts: staafvormige structuurtjes (omstreeks 0,00001 mm lang) in de carbonatietkorreltjes, die doen denken aan de vormen van nanobacteriën op aarde. (Lunar & Planetary Science Institute, Houston).

Vooralsnog is dit alles speculatie. Of er in Mars' prille jeugd inderdaad een embryonale biosfeer is geweest, zal onderzoek van de oudste sedimentgesteenten moeten uitmaken die NASA voornemens is met robots te verzamelen, naar de aarde te brengen, en in laboratoria te onderzoeken op sporen van vroeger leven. In dit verband moet echter ook het spectaculaire onderzoek worden vermeld dat in 1996 wereldwijd grote opwinding teweegbracht en leidde tot sensationele krantenkoppen dat er 'sporen van leven op Mars waren ontdekt'. Het betrof een meteoriet die in 1984 op het ijs van Antarctica is gevonden en afkomstig is van Mars, zoals onder andere blijkt uit de gasinsluitseltjes waarvan de chemische en isotopische samenstelling identiek is aan die van de martiaanse dampkring.

Nog nooit is een steen, een orthopyroxenitische lava met een gewicht van 1,9 kg, zo gedetailleerd en door zoveel onderzoekers met zo'n uitgebreid scala van analysetechnieken bestudeerd als deze enkele meteoriet – en nog steeds verschijnen er nieuwe studies. Dankzij dit onderzoek weet men dat de lava 4,5 miljard jaar geleden is uitgevloeid op het zuidelijk halfrond van Mars, zo'n 70 miljoen jaar na de vorming van de planeet; dat een meteorietinslag kort na de stolling van de lava barstjes in het gesteente deed ontstaan; dat water in deze barstjes is gedrongen en dat daaruit 0,2–1 mm grote korreltjes van calciumcarbonaat (CaCO_3) zijn geprecipiteerd; dat 16 miljoen jaar geleden een tweede, veel zwaardere meteorietinslag het gesteente heeft verbrijzeld en brokstukken de ruimte in heeft geslingerd (de ontsnappingsnelheid op Mars is slechts 5 km/seconde, tegen 11,2 km/seconde op aarde); en dat het betreffende brokstuk 13.000 jaar geleden door de aarde is ingevangen en op het antarcische gletsjerijs neerkwam, waarna het door de gletsjer naar zijn vindplaats is getransporteerd (Allan Hills).

De opwinding ontstond door wat men aantrof in de minuscule korreltjes calciumcarbonaat (afb. 8). Hun isotopische $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ -verhouding ligt binnen de bandbreedte die op aarde wordt aangetroffen in koolstofmateriaal van biologische oorsprong – maar ook wel eens in niet-biogene materiaal. De korreltjes zijn omringd door snoertjes van minuscule deeltjes van het ijzermineraal magnetiet (Fe_3O_4), zoals die op aarde te vinden zijn in sommige soorten bacteriën die zich oriënteren op het aardmagnetisch veld. In de carbonaatkorreltjes zijn bovendien zeer kleine (in de orde van 0,00001 mm) bol- tot staafvormige structuurtjes te zien, die lijken op vormen van aardse bacteriën en door sommige onderzoekers worden geïnterpreteerd als fossielen van nanobacteriën – hoewel aardse nanobacteriën zo'n 10 maal groter zijn. Tenslotte bevatten de carbonaatkorreltjes complexe 'organische mole-

culen', dezelfde koolwaterstofverbindingen die op aarde onder andere in aardolie voorkomen. Aardolie is inderdaad ontstaan uit de resten van (voornamelijk eencellige) organismen, maar de betreffende verbindingen zijn ook bestanddeel van kosmisch stof en 'gewone' meteorieten die niet van Mars afkomstig zijn, waarin zij zeker *niet* van biogene oorsprong zijn. Bovendien is het niet geheel uitgesloten dat de verbindingen als aardse verontreiniging in de meteoriet terecht zijn gekomen tijdens zijn 13.000 jaar lange verblijf in het antarcische ijs.

Alle 'levenssporen' kunnen dus ook niet-biologisch worden verklaard en zijn derhalve omstreden. De discussie gaat dan ook nog steeds door, hoewel tegenwoordig de meeste onderzoekers toch menen dat we *niet* te maken hebben met sporen van vroeger leven en dat de meteoriet dus niet kan gelden als een boodschapper van vroeger leven op Mars. De vraag of er op Mars, en meer algemeen of er buiten de aarde microbiel leven bestaat, is dus nog steeds open. Maar ook als zou blijken dat er bacterieel leven op Mars is geweest, en misschien nog steeds is, dan zal alsnog de vraag moeten worden beantwoord of dat leven zijn oorsprong vindt in *autochtone biogenese*, dan wel of het van elders (de aarde?) naar Mars is *gemigreerd*. De laatste jaren is duidelijk geworden dat interplanetaire kolonisatie in de vorm van bacteriële cysten en sporen zeer wel mogelijk is: binnen in een brok gesteente dat door een zware inslag de ruimte is ingeslingerd, zijn zij tegen kosmische straling beschermd en kunnen wellicht miljoenen jaren in rusttoestand levensvatbaar blijven. Tot zij, als het brok gesteente op een andere planeet neerkomt waar gunstige condities heersen, de levensfuncties weer oppakken. Er is ook wel eens gesuggereerd dat de oorsprong van het aardse leven conform een dergelijk scenario op Mars ligt en vandaar naar de aarde is gemigreerd – in het vroegste begin zouden op Mars gunstiger condities hebben geheerst dan op de grotere en turbulentere aarde. Hoe dan ook, wanneer zou blijken dat aards en eventueel martiaans leven een gemeenschappelijke oorsprong hebben, dan blijft de vraag of leven een uniek, dan wel een universeel verschijnsel is.

Harry N.A. Priem is emeritus hoogleraar planetaire en isotopen-geologie, oud-directeur van het NWO(ZWO) Instituut voor isotopen-geologisch onderzoek, en oud-voorzitter van het Koninklijk Nederlands Geologisch Mijnbouwkundig Genootschap (KNGMG). Hij is curator van het Artis Geologisch Museum.