

# Chemische Feitelijkheden

#348

Editie 87

november

2018

Harmen Kamminga

## Oersoep

### Oersoeprecepten gezocht

De aarde is voor zover bekend de enige plek in het universum met leven. De huidige complexe levensvormen zijn het resultaat van miljarden jaren ontwikkeling van leven in de omgeving waarin het zich manifesteerde. Wetenschappers gaan ervan uit dat het leven en de aarde zich al sinds de eerste miljard jaar na de vorming van de planeet samen verder hebben ontwikkeld. Over de theorie rond het ontstaan van de aarde

bestaat redelijke overeenstemming. De oorsprong van het leven blijft echter in nevelen gehuld. De omstandigheden reconstrueren waarin leven kon beginnen, blijft tot op heden beredeneerd giswerk. Chemische experimenten door de jaren heen tonen wel aan dat de moleculen waaruit leven zich kan hebben opgebouwd onder uiteenlopende, vaak extreme, omstandigheden uit levenloze materie kunnen ontstaan.

# Oersoeprecepten

*Wij bewonen een levende aarde. De meeste mensen gaan ervan uit dat het leven op een bepaald moment op een levenloze aarde is ontstaan. Maar hoe ging dat in zijn werk? Welke chemie is nodig om uit een verdunde organische oersoep de bouwstenen van leven te vormen?*

**H**oe zijn wij levende wezens ontstaan? Die vraag houdt de mensheid al eeuwen bezig, aanvankelijk vooral filosofisch, maar de laatste honderdvijftig jaar ook wetenschappelijk. Tot op heden blijft van beide zijden een eenduidig antwoord uit. Duidelijk is inmiddels wel dat alle bekende levende organismes in belangrijke mate uit dezelfde chemische bouwstenen bestaan. Het ligt daarom voor de hand te veronderstellen dat alle leven op aarde aan elkaar verwant is. Sinds Darwins evolutietheorie lijkt dit goed te verklaren door te veronderstellen dat de stamboom van alle huidige leven uiteindelijk één gezamenlijke verre voorouder zal hebben gehad. Tegelijk met de opkomst van de evolutietheorie liet de Franse biochemicus Pasteur echter zien dat, zelfs in het geval van bacteriën, alleen levende wezens nieuwe levende wezens kunnen voortbrengen.

## Oeromgeving

Darwin vermeed in publicaties over zijn afstammingstheorie zorgvuldig het vraagstuk van de eerste oorsprong. Een brief aan de Britse botanicus Joseph Hooker in 1871 illustreert wel zijn visie op het denken hierover in zijn tijd: *'It is often said that all the conditions for the first production of a living organism are now present, which could ever have been present. – But if (and oh what a big if) we could conceive in some warm little pond with all sorts of ammonia and phosphoric salts, light, heat, electricity, etcetera present, that a protein compound was chemically formed, ready to undergo still more complex*

*changes, at the present day such matter would be instantly devoured, or absorbed, which would not have been the case before living creatures were formed.'*

Darwin redeneerde dat leven op aarde niet steeds opnieuw ontstaat, omdat het reeds aanwezige leven nieuwe bouwstenen direct zal wegnemen. Toch deed vooral de notie van 'some warm little pond', een warme kleine vijver als oeromgeving voor het ontstaan van leven, zijn citaat voortleven in de wetenschapsgeschiedenis. Het beeld van een warm oersoepje dat chemisch pruttelend de eerste levensvormen uitbraakt, spreekt nog altijd sterk tot de verbeelding. Maar is het zo ook echt gegaan? Konden in 'oersoep' de benodigde chemische reacties optreden om complexe organische moleculen te vormen waaruit zich een levend wezen kon opbouwen?

Twee routes leiden dichterbij antwoord op die vraag. Een is kijken naar de samenstelling en organisatie van de biomoleculen in de huidige levende systemen, om zo meer te weten te komen over hun gezamenlijke oorsprong. Biochemici hebben de laatste eeuw grote stappen langs dat pad gemaakt.

De andere is proberen vast te stellen welke interessante moleculen zoals 'prebiotisch', dus vóór het ontstaan van leven, in de jonge aardse soep aanwezig konden zijn of zich konden vormen. Die route is noodzakelijkerwijs meer speculatief. Op aarde is maar weinig materie uit de tijd dat het leven hier van start ging onveranderd overgebleven. Rechtstreeks bewijs van bepaalde aardse omstandigheden in de periode dat



ISTOCK/ROMOLO TAVANI

# gezocht





### ► Wat is leven?

Om te kunnen denken over het ontstaan van leven, moet duidelijk zijn wat je onder leven verstaat. Een eenduidig onderscheid formuleren tussen levend en levenloos is echter nog best ingewikkeld. Biologen gaan uit van een lijst van zeven levenskenmerken: voeden, groeien, bewegen, voortplanten, uitscheiden, waarnemen en stof wisselen. Een systeem dat al die levensfuncties vertoont, beschouwen zij als levend.

Veel organismes die als levend worden beschouwd, vertonen echter niet al die levensfuncties. Er zijn talrijke voorbeelden van symbioten en parasieten zonder zelfstandige stofwisseling. Onvruchtbare organismes missen het vermogen zich voort te planten. Organismes die de meeste van de levensfuncties vertonen, worden daarom in de praktijk ook vaak als levend beschouwd. Ook dat is echter problematisch. Zo kent vuur een metabolisme, kan het groeien, zich aanpassen aan de omgeving en zich voortplanten. Vuur voldoet aan de meeste levensfuncties, terwijl het niet als levend wordt beschouwd.

Leven wordt daarom ook wel gedefinieerd als een open fysisch-chemisch systeem dat door middel van uitwisseling van energie en materie met zijn omgeving en dankzij een inwendig metabolisme in staat is zich in stand te houden, te groeien, zich voort te planten en zich aan te passen aan veranderingen in de omgeving via adaptatie op korte termijn en evolutie op lange termijn.

Door een meer chemische bril bekeken, onderscheidt een levend systeem zich van de levenloze wereld door de mate waarin levende systemen in staat zijn chemische reacties uit evenwicht te laten verlopen. Verder valt bij huidige levende systemen een duidelijke voorliefde op voor bepaalde stereo-isomeren van de gebruikte organische stoffen. Pasteurs aanname dat leven enkel uit ander leven kan voortkomen lijkt voor de nu bekende vormen van leven vanzelfsprekend, maar kan niet opgaan voor het allereerste leven.

het leven ontstond, is daardoor vrijwel niet te vinden. Bij chemische experimenten in een oeromgeving komt het aan op simuleren, extrapoleren en beredeneerd gokken.

### Al snel leven

Veel mensen denken dat de aarde lang een levenloze oerplaneet was, wellicht omdat de eerste mensachtigen pas enkele miljoenen jaren geleden hun opwachting maakten. Wetenschappers gaan er echter steeds meer vanuit dat de eerste levensprocessen (zie ook kader 'Wat is leven?') al vrij snel na het ontstaan van de aarde op gang kwamen. Tot enkele jaren geleden werden verhoudingen tussen koolstofisotopen die wijzen op leven en fossielen van microbiële biofilms, zogenoemde stromatolieten, in gesteentes op Groenland beschouwd als de oudste sporen van leven op aarde. De gesteentes waarin die sporen zich bevinden, worden geschat op een leeftijd van ongeveer 3,7 miljard jaar.

De laatste jaren lijkt de oorsprong van het leven echter steeds verder naar het verleden te verschuiven. In 2015 werden in het westen van Australië stromatolieten van mogelijk 4,1 miljard jaar oud gevonden en in 2017 rapporteerden onderzoekers in Canada mogelijke sporen van gefossiliseerde micro-organismes die zich al 4,28 miljard jaar geleden ophielden bij een hydrothermale bron aldaar. Dat zou betekenen dat de aarde, die zo'n 4,5 miljard jaar geleden samenklonterde, het maar kort zónder leven hoefde te stellen.

### Instabiele planeet

Als leven zich al rond 4 miljard jaar geleden op aarde manifesteerde, moest het zich staande houden in een behoorlijk instabiele omgeving. Op basis van leeftijden en aantallen van maankraters, kun je aannemen dat ook op aarde in die tijd nog veel en regelmatig inslagen van planetoïden en meteorieten voorkwamen. De aarde was bovendien waarschijnlijk vulkanisch veel actiever dan nu, met grote hoeveelheden vulkanische gassen en dampen in de atmosfeer, aardbevingen en wellicht relatief hoge temperaturen tot gevolg.

Met de maan kortgeleden gevormd en op nog slechts zo'n 25.000 km afstand was aantrekking door maanzwaartekracht nog duidelijk merkbaar. Dat zal gevolgen hebben gehad voor de golfslag in aardse oceanen. Want er was water op aarde, wellicht



Het Bada Lab van Scripps Institution of Oceanography

deels afkomstig van de regelmatig inslaande planetoïden en meteorieten.

Op basis van waarnemingen aan gelijksoortige sterren nemen sterrenkundigen aan dat de zon zo'n vier miljard jaar geleden ongeveer 30 % minder zichtbaar licht naar de aarde zond dan nu, maar wel veel meer uv-straling. Dat moet een forse bedreiging hebben gevormd voor de stabiliteit van grotere organische moleculen. Van een romantische warme, kleine vijver lijkt op wereldschaal dan ook bepaald geen sprake te zijn geweest. Toch moeten ergens op deze woeste kolkende planeet de voorlopers zijn gevormd van de moleculen waaruit het eerste leven zich kon opbouwen.

### Oceanen

Het ligt voor de hand de oorsprong van het leven te zoeken in of in de buurt van water. Water is immers veruit het belangrijkste bestanddeel van alle huidige levende organismes en het oudste deel van de stamboom van het leven die biologen hebben opgehelderd, speelt zich ook in oceanen af.



eft de originele monsters in huis waarmee Stanley Miller in 1953 de oorsprong van het leven bestudeerde.

De chemische samenstelling van oceaan-sedimenten van zo'n vier miljard jaar geleden geeft aan dat oeroceanen waarschijnlijk rijk waren aan koolstof en het water aanzienlijke concentraties van de elementen Na, Cl, K, B, F, P, Mg, Ca, Si, Mo, Co, Ni en Fe bevatte. Biochemici van de University of Cambridge, Engeland, toonden in 2015 aan dat het in zo'n omgeving bij een temperatuur van 70 °C mogelijk moet zijn geweest dat verschillende essentiële bouwstenen voor aminozuren, nucleïne-zuren en lipiden, die huidige levende organismes met behulp van enzymen in elkaar omzetten, spontaan in elkaar over konden gaan. Met name  $\text{Fe}^{2+}$  speelde in het experiment een belangrijke katalyserende rol. Dit suggereert dat in oeroceanen een heel scala aan bouwstenen voor de eerste levensvormen beschikbaar kan zijn geweest, nog voor het leven daarvoor een eigen metabolisme had ontwikkeld.

### Samenstelling atmosfeer

Dat er in oeroceanen veel meer gereduceerd  $\text{Fe}^{2+}$  beschikbaar was dan nu, komt doordat de aardatmosfeer toen behoorlijk

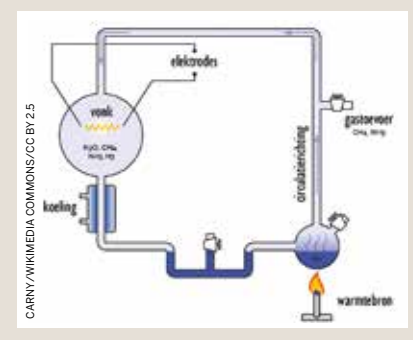
anders was samengesteld. Zo gaan geochemici ervan uit dat de atmosfeer bij het ontstaan van het leven geen zuurstof ( $\text{O}_2$ ) bevatte. In de huidige atmosfeer vormt  $\text{O}_2$  naast  $\text{N}_2$  het voornaamste bestanddeel, maar die zuurstof is een product van meer geavanceerd leven op aarde. Pas rond 2,45 miljard jaar geleden maakten cyanobacteriën door middel van fotosynthese meer zuurstof dan het op aarde aanwezige gereduceerde ijzer en organisch materiaal weg kon vangen en liep het zuurstofgehalte in de atmosfeer snel op, een gebeurtenis die bekend staat als het *Great Oxygenation Event*.

Experts zijn het niet eens over wat de samenstelling van de atmosfeer ten tijde van de prebiotische oersoep geweest zal zijn. Op dit moment zijn  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  en  $\text{H}_2$  de meest voorkomende kleine moleculen in het zonnestelsel. Dat maakt de kans groot dat die moleculen ook deel uitmaakten van de atmosfeer van de oer-aarde. De huidige atmosferen van onze buurplaneten Mars en Venus lijken veel op elkaar. Ze bestaan beide voor meer dan 95 % uit  $\text{CO}_2$ . Ook de aardatmosfeer

### ► Het Miller-Urey-experiment

In 1952 verzorgde Nobelprijswinnaar Harold Urey een seminar over het ontstaan van het zonnestelsel en hoe organische synthese in een primitieve aard-atmosfeer mogelijk kon zijn. Hij sloot daarbij aan bij de theorie van de Russische biochemicus Alexander Oparin en de Britse evolutiebioloog John Haldane dat door chemische reacties in de primitieve oceaan en atmosfeer uit kleine moleculen een diversiteit aan meer complexe organische moleculen zou zijn ontstaan. Velen beschouwden deze ideeën als wilde speculatie. Een van de aanwezigen, promovendus Stanley Miller, overtuigde Urey om de proef op de som te nemen. Miller vulde een steriele 5 l-kolf met methaan, ammoniak en waterstofgas en verbond daaraan een kolfje van een 0,5 l dat voor de helft gevuld was met vloeibaar water, dat onder voortdurende verhitting damp vormde. De waterdamp trok door de grotere kolf, waarin twee elektrodes hingen waartussen voortdurend elektrische vonken sprongen, als simulatie van onweer in een prebiotische atmosfeer. Het aanwezige gas ging vervolgens door een koeler, waar het water condenseerde en via een U-bocht terugvloeide naar de kleine kolf (zie illustratie).

Binnen een dag kleurde het water in de opstelling lichtgeel en ontstond een roze-achtige neerslag. In de dagen daarna kleurde het water bruin en de neerslag donkerrood. Na een week stopte Miller de reactie en onderzocht de reactieproducten met behulp van papierchromatografie. Zo'n 15 % van de koolstof uit de methaan bleek zich nu in organische verbindingen te bevinden. Deels in eenvoudige suikermoleculen en kleine vetzuren, maar ook in aminozuren als glycine, alanine, asparaginezuur en gamma-aminoboterzuur. Zo toonde Miller als eerste aan dat organische moleculen zich kunnen vormen door volstrekt anorganische processen.



CARRY/WIKIMEDIA COMMONS/CC BY 2.5

kan in het verleden zo'n zeer hoog CO<sub>2</sub>-gehalte hebben gehad. Daarnaast zijn waarschijnlijk waterdamp en N<sub>2</sub> belangrijke bestanddelen geweest.

Volgens sommigen maakten ook meer reducerende moleculen als CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en NH<sub>3</sub> in belangrijke mate deel uit van de atmosfeer. Het klassieke Miller-Urey-experiment (zie kader 'Het Miller-Urey experiment' op pagina 5) ging uit van een dergelijke reducerende atmosfeer.

Anderen wijzen erop dat zonder zuurstof ook de uv-beschermende ozonlaag ontbrak en dat invallende uv-straling daarom een snelle afbraak van methaan (CH<sub>4</sub>), ammoniak (NH<sub>3</sub>) en grotere organische moleculen in de atmosfeer tot gevolg zou hebben. Met een blik op de huidige veranderlijkheid van het aardse klimaat lijkt het veilig te veronderstellen dat de samenstelling van de atmosfeer in de loop van de miljoenen jaren rond het ontstaan van het leven ook de nodige fluctuaties heeft gekend, waarin wellicht bij vlagen meer reducerende en bij vlagen meer neutrale componenten een grotere rol speelden.

## Heetwaterbronnen

Mogelijk heeft de atmosfeer ook maar een geringe rol gespeeld als onderdeel van de omgeving van het eerste leven. Sinds de laatste tien jaar stellen steeds meer wetenschappers zich de oersoep voor als een mogelijk van boven dichtgevroren zee in een inslagkrater, van onderaf verwarmd door heetwaterbronnen. Zo'n plaatje verenigt een aantal gunstige eigenschappen voor de vorming van de benodigdheden voor leven.

Diep water met een eventuele ijskap biedt een goede bescherming tegen schadelijke uv-stralen van de zon. De grote organische moleculen die nodig lijken voor leven, kunnen in de onderliggende vloeibare fase goed uit de voeten, beter dan in een gasvormige of vaste fase. En hydrothermale activiteit leidt tot de beschikbaarheid van een stabiele bron van energie om de 'chemische evolutie' die aan de biologische evolutie vooraf moet zijn gegaan aan de gang te houden.

Al sinds de ontdekking van omvangrijke hydrothermale systemen langs de Mid-Atlantische Rug in de diepzee aan het einde van de jaren zeventig hebben wetenschappers de potentie van die bronnen als proeftuinen voor chemische evolutie benadrukt. Hoewel individuele aardschoorstenen door erupties



Stromatolieten, hier aan de oever van Lake Thetis in West-Australië, behoren tot de oudste fossielen. Ze kunnen

en aardbevingen een beperkte levensduur hebben, bestaan de diepzeese hydrothermale bronnen als fenomeen al zo lang als de aarde zelf. Op de instabiele jonge aarde van vier miljard jaar, gebombardeerd door materiaal uit de ruimte, kwam het verschijnsel wellicht zeer veel voor.

De zeer hoge druk, voortdurende toevoer van energie uit het binnenste van de aarde en de aanwezigheid van steile temperatuur-, pH- en allerlei andere chemische gradiënten, van allerhande mineralen en metaalionen als potentiële katalysatoren en van een verscheidenheid van poreuze gesteentes in de tientallen meters hoge 'schoorstenen' voor bijvoorbeeld opper-

vlaktechemie en chromatografie (zie ook kader 'Natuurlijke chromatografiekolom'), maken nabij hydrothermale bronnen de meest uiteenlopende chemische reacties mogelijk, zonder tussenkomst van biologische enzymen. De hier heersende extreme omstandigheden mogen vijandig lijken voor biomoleculen, maar ook vandaag wemelt het op die plekken in de duistere diepzee van het leven. Complexe organische moleculen weten zich er dus goed te handhaven.

## Experimenteel

Experimenteel bewijs voor de link tussen hydrothermale bronnen en het optreden van de organische synthesestappen die no-



zich vormen door koloniën van eencelligen zoals cyanobacteriën of groenwieren.

dig zijn om uit pakweg  $\text{CO}_2$  en/of  $\text{CH}_4$  en  $\text{H}_2\text{O}$  de bouwstenen voor aminozuren, nucleïnezuren en lipiden te vormen, ontbreekt tot op heden. De fysische en chemische condities hiervoor goed nabootsen in een experiment is uitermate lastig. Wel laat een toenemend aantal studies in 'prebiotische chemie' zien dat belangrijke stappen van eenvoudige kleine moleculen tot de bouwstenen van leven kunnen plaatsvinden, met bepaalde aannames en onder verschillende (exotische) omstandigheden. Het zou bijvoorbeeld kunnen beginnen met de chemische reductie van  $\text{CO}_2$  in een omgeving met ijzersulfide (hier  $\text{FeS}_2$ ) tot kleine organische moleculen zo-

als methanol, formaldehyde, mierenzuur en korte vetzuurketens. Als uitgangsmateriaal voor aminozuren, met bindingen tussen koolstof en stikstof, lijkt waterstofcyanide ( $\text{HCN}$ ) een goede kandidaat.

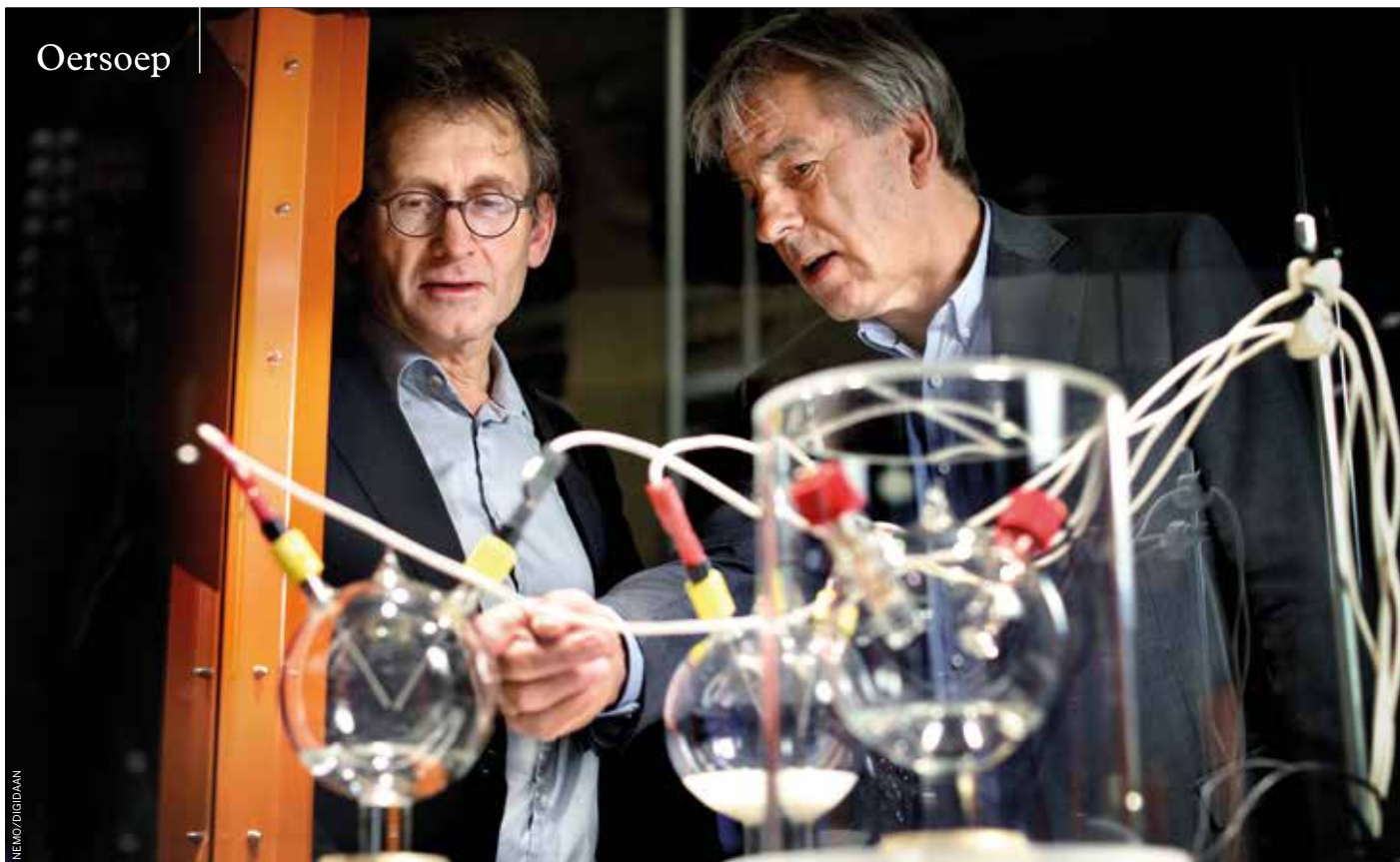
Deze uitgangsmaterialen of hun directe opvolgers hoeven overigens niet eens volledig vlak voor de start van het leven op aarde zelf nieuw te zijn gevormd. Analyse van koolstofrijke sterren en ruimtegesteente leert dat ze ook reeds veel eerder elders in het universum onder weer totaal andere extreme omstandigheden kunnen zijn ontstaan om vervolgens met de samenklonterende aarde deel van de planeet te worden of met bijvoorbeeld meteorieten

### ► Natuurlijke chromatografiekolom

Hoewel veel chemische experimenten duidelijk maken hoe bouwstenen voor leven kunnen zijn ontstaan, gaat het in vrijwel alle gevallen om zeer lage hoeveelheden in zeer sterke verdunningen. Vaak vormen zich daarnaast grote hoeveelheden hinderlijke bijproducten. Om naar leven te komen, is op zijn minst de selectie en ophoping van nuttige moleculen nodig. Precipitatie door fase-overgangen (verdamping, bevroering) lijkt een eenvoudig mechanisme voor de accumulatie van organische moleculen, maar selecteert niet enkel de gewenste componenten.

Fysisch-chemici en geologen van de universiteit van Duisburg-Essen in Duitsland wezen in een publicatie in 2017 een natuurlijke omgeving aan die kan werken als een natuurlijke chromatografiekolom: de kanalen en holtes die zich vormen aan de breukvlakken van de onderzeese aardkorst, waar ook de hydrothermale bronnen voorkomen. De onderzoekers stellen dat hun experimenten uitwijzen dat in zulke kanalen, zo ongeveer op 1.000 m onder zeeniveau, druk en temperatuur dusdanig zijn dat je een overgang tussen superkritisch en subkritisch (hier gasvormig)  $\text{CO}_2$  krijgt. In dit grensgebied ontstaan minuscule gasbelletjes en waterdruppeltjes die zich omgeven met een enkele laag en daarna ook dubbele laag amfifiele (een deel lost op in water, een deel niet), organische moleculen. De gevormde blaasjes ('vesikels') kunnen geruime tijd bestaan en zullen geleidelijk opstijgen, maar door periodieke drukveranderingen zullen ze ook herhaaldelijk knappen, waarna zich nieuwe vormen. De onderzoekers stellen dat de verschillende 'membranen' van de vesikels selectief bepaalde prebiotische moleculen in zich opnemen. Zo zou zowel de selectie als ophoping van de voor leven interessante componenten in zijn werk kunnen zijn gegaan.

op jonge aarde in te slaan. Dat samenspel leidt tot een nog weer moeilijker te toetsen 'oersoep-met-ballen'-hypothese. En dat maakt de kans dat vragen naar het waar, wanneer en hoe van de overgang van een chemische naar een biologische aarde snel eenduidig zullen worden beantwoord er niet groter op, ondanks het snel toenemende inzicht in de chemische synthesemogelijkheden. ●



Ook het Amsterdamse wetenschapsmuseum NEMO heeft een poging gedaan om de omstandigheden na te bootsen waaronder de eerste bouwstenen van het leven op aarde zijn ontstaan. In 2012 herhaalden onderzoekers het Miller-Urey experiment uit 1953. Het liep vijf jaar. In oktober 2017 presenteerden hoogleraar Bert Meijer (organische chemie TU/e) en Nobelprijswinnaar Ben Feringa (rechts) de resultaten. Wetenschappers van de TU/e vonden in een 'oersoep' drie soorten aminozuren: glycine, alanine en bèta-alanine. Bert Meijer (links): 'Ik ben echt verrast dat ook bij de bijzonder milde omstandigheden van dit experiment deze stoffen ontstaan.'

Bron: Jaaroverzicht 2017 NEMO.

### Voor op school

1. Beargumenteer welke elementen er volgens jou op zijn minst aanwezig moeten zijn in de 'oersoep' om complexe organische moleculen te vormen?
2. Welke bewijzen ondersteunen het feit dat de eerste levensprocessen al vrij snel na het ontstaan van de aarde op gang kwamen?
3. Geef de algemene structuurformule van een aminozuur van eiwitten. Gebruik de letter 'R' voor de variabele groep.
4. Geef de naam van het enige aminozuur in BINAS tabel 67H1 dat geen asymmetrisch koolstofatoom bevat.
5. Welk alternatief (bij het ontbreken van een ozonlaag) wordt genoemd als goede bescherming tegen schadelijke uv-stralen van de zon?
6. Wat zijn nucleïne-zuren en lipiden?
7. Leg uit waarom een hoge zuurstofconcentratie in de lucht zorgt voor een afname van 'gereduceerd' Fe<sup>2+</sup>.
8. Geef de structuurformule en systematische naam van formaldehyde.

### Meer weten?

- [www.youtube.com/watch?v=Ed-5GQkp\\_HI](http://www.youtube.com/watch?v=Ed-5GQkp_HI), het college 'Begon al het leven bij een steen?' door dr. ir. Inge Loes Ten Kate in de serie *Universiteit van Nederland*, (16:36).
- [www.origins-center.nl](http://www.origins-center.nl), Engelstalige website met het laatste nieuws rond de actuele vorderingen van dit centrum.
- <http://global.oup.com/us/companion.websites/fdscontent/us-companion/us/pdf/Rigoutsos/I-SampleChap.pdf>, dit hoofdstuk uit het leerboek *Genomics* van biochemicus Stanley L. Miller en geochemicus H. James Cleaves biedt een goede inleiding. In boekvorm is de publicatie niet meer verkrijgbaar, maar het hoofdstuk is nog wel als pdf in te zien bij Oxford University Press.

### Editie Oersoep

editie 87 | nummer 348 | november 2018  
[www.chemischefeitelijkheden.nl](http://www.chemischefeitelijkheden.nl)

#### Coverbeeld:

Credit: Brent Hofacker/Adobe.com

### Colofon

#### Over Chemische Feitelijkheden

Chemische Feitelijkheden is een actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu. Het is een losbladige uitgave van de KNCV en verschijnt driemaal per jaar met in totaal tien onderwerpen.



#### Redactie

dr. Erwin Boutsma (hoofdredacteur), drs. Franny Scholte (eindredacteur),  
 Harmen Kamminga (tekst), Henk Ubbels (vragen en correctie)

#### Vormgeving & Opmaak

Marjke van de Linde/Content Innovators

#### Uitgever

Roeland Dobbelaer, Vakbladen.com  
 Postbus 19949, 2500 CX Den Haag

#### Abonnementen

MijnTijdschrift.com  
 088-2266626

[chemischefeitelijkheden@mijntijdschrift.com](mailto:chemischefeitelijkheden@mijntijdschrift.com)

Wij hanteren de opzegregels uit het verbintenissenrecht. Wij gaan ervan uit dat Chemische Feitelijkheden altijd wordt ontvangen uit hoofde van het beroep. Hierdoor wordt het abonnement automatisch met een jaar verlengd, tenzij twee maanden vóór de einddatum een opzegging is ontvangen. Een abonnement op Chemische Feitelijkheden geeft via de website toegang tot tien nieuwe edities per jaar en het totale onlinearchief. Daarnaast ontvangen abonnees in drie zendingen per jaar de losbladige edities.

#### Tarieven (2018)

Voor particulieren: online toegang met inlogcode en papieren editie (inclusief verzamelmap) kost € 87,75\*; leden van de KNCV, KVCV en NVON krijgen € 10 korting.

Voor bedrijven en (onderwijs)instellingen: onbeperkt toegang tot de digitale edities op basis van IP-adres en papieren editie in drievoud (inclusief verzamelmappen) kost € 262,50\*.

Losse nummers kosten € 9,95\* per stuk en zijn te bestellen bij [Mijntijdschrift.com](http://Mijntijdschrift.com).

\*Bij betaling per acceptgiro wordt € 2,95 administratiekosten in rekening gebracht.