

SPIEGELTJE, SPIEGELTJE, MAAAN DE WAND...

...
hoe is het
leven hier
beland?

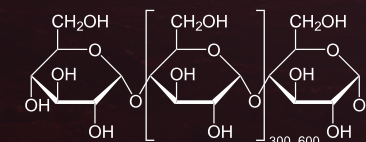
Een atheïst moet geloven dat het leven op aarde vanzelf is ontstaan (abiogenese). Het alternatief is immers dat er een Schepper aan het werk is geweest. Daarom doet men al tientallen jaren onderzoek naar de chemische processen die zouden moeten hebben plaatsgevonden om vanuit simpele moleculen leven te vormen. Wat is de staat van dat onderzoek? Is men al een beetje dichterbij een manier om het ontstaan van leven Godloos te kunnen verklaren? Of blijft het bij een sprookje?

In de vorige Weet stond het eerste deel van dit tweeluik. De focus lag toen op het samenstellen van een simpele cel vanuit de bouwstenen. Dit artikel duikt dieper in de scheikunde die nodig is om deze bouwstenen te vormen. Kunnen de benodigde stoffen voor leven vanzelf ontstaan op een levenloze (prebiotische) aarde?

VIER GROEPEN BASISMOLECULEN

Als je een (bio)chemicus vraagt wat er nodig is voor leven, zal hij waarschijnlijk de volgende vier molecuulsoorten noemen: polysacchariden, eiwitten, nucleïnezuren en (fosfo)lipiden. Om te bepalen hoe deze basismolecuulgroepen op de prebiotische aarde konden ontstaan, doen wetenschappers hun best om ze in het lab te maken. Wat zijn de bereikte resultaten?

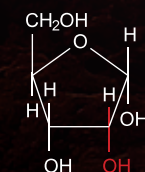
1. POLYSACCHARIDEN



Amylose, een polymeer van honderden glucose-eenheden

Polysacchariden zijn lange ketens (polymeren) van aaneengeschakelde suikermoleculen (monosacchariden). Er bestaan een heleboel verschillende monosacchariden, waaronder enkele die je ongetwijfeld kent: glucose, fructose en ribose. Deze laatste maakt deel uit van je DNA en RNA en is het dus waard om wat dichterbij te bekijken.

Ribose heeft de structuurformule $C_5H_{10}O_5$ en bestaat in de gesloten vorm uit een ring van vier koolstofatomen en een zuurstofatoom. Daaraan zitten drie OH-groepen, een CH_2OH -groep en vier waterstofatomen.

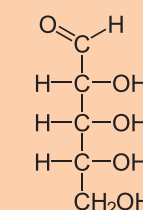


Ribose (in RNA)

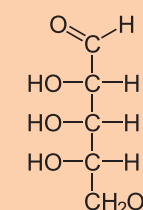
Als je het molecuul ruimtelijk afbeeldt, kunnen de verschillende groepen aan beide kanten van de keten of ring zitten. Op die manier kun je acht verschillende configuraties krijgen, vier sets van twee spiegelbeelden (zie figuur 1).

Maar slechts een van die acht **1.** is de D-ribosevorm die in levende wezens voorkomt. Wanneer je echter met 'ongestuurde' scheikunde probeert ribose te maken, krijg je ook de zeven ongewenste nevenproducten erbij, en nog een heleboel meer ongewenste 'rommel'. Het lukt chemici (in geavanceerde laboratoria met al hun dure apparatuur) niet om uit zo'n mengsel de juiste variant te selecteren. Hoe kon dat dan wel op de prebiotische aarde plaatsvinden? Niet door maar lang genoeg te wachten, in ieder geval. Tijd is namelijk niet de vriend, maar de vijand van deze biomoleculen. Door zo'n oersoepmengsel een aantal weken te laten staan, vermindert

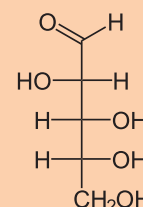
Figuur 1.



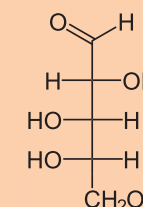
1. D-ribose



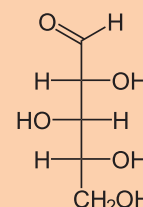
2. L-ribose



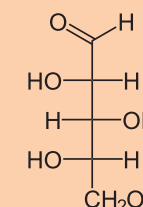
3. D-arabinose



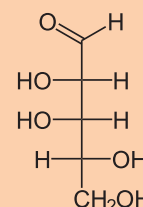
4. L-arabinose



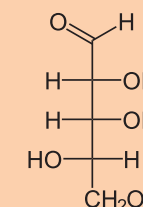
5. D-xylose



6. L-xylose



7. D-lyxose



8. L-lyxose

LINKS- OF RECHTSHANDIG?

Alles heeft een spiegelbeeld, ook moleculen. In het geval van veel moleculen ziet het spiegelbeeld er precies hetzelfde uit als het molecuul zelf (zoals het spiegelbeeld van een stoel er hetzelfde uitziet als de niet-gespiegelde stoel). Maar er zijn ook een heleboel moleculen waarvan het spiegelbeeld er anders uitziet dan het origineel.

Hoe
maak je
onder-
scheid?

Spiegelbeelden van niet-symmetrische objecten zijn verschillend. Vergelijk dat met je handen. Je rechterhand ziet er in de spiegel uit als een linkerhand en vice versa. Maar je kunt je rechterhand niet in een linkerhandschoen krijgen. Veel van de in het hoofdartikel genoemde biomoleculen hebben een links- en rechtshandige variant (enantiomeer). Deze moleculen noem je 'chiraal', afgeleid van het Griekse woord voor 'hand'. Wanneer je deze moleculen normaal gesproken maakt in het lab, krijg je een racemisch mengsel: elke variant komt evenveel voor. Maar in levende cellen is vaak maar één van beide enantiomeren bruikbaar. De andere kan zelfs dodelijk zijn! Hoe heeft deze voorkeur zich op de prebiotische aarde ontwikkeld? In het lab kan dat met de nodige moeite en apparatuur, waarbij vaak gebruik wordt gemaakt van een uit de natuur gewonnen(!) links- of rechtshandig enantiomeer om het mengsel te scheiden. Je hebt dus een zuiver enantiomeer nodig om zuivere enantiomeren te krijgen; de kip en het ei. Tot nu toe heeft niemand aan kunnen tonen hoe zo'n voorkeur voor een van beide enantiomeren zich op een prebiotische aarde zou kunnen ontwikkelen. **w**



◀ Acht 'varianten van ribose', in de lineaire vorm afgebeeld, die alleen qua ruimtelijke structuur van elkaar verschillen. Hoe heeft het leven die ene variant weten te selecteren?

Figuur 2

de concentratie 'ribosevarianten' namelijk sterk omdat ze uiteen vallen. Waarschijnlijk vormden deze suikers onoplosbare molecuulketens (polymeren), die onbruikbaar zijn voor verdere reacties. Nu denk je misschien dat dat goed is, die polymeren. Maar het gaat om een specifieke vorm van één bepaald suikermolecuul: ribose. De polymeren die je na verloop van tijd vormt zijn opgebouwd uit willekeurige eenheden die op willekeurige plekken aangeschakeld zitten. Dat geeft geen functionele biomoleculen, maar onbruikbare prut. En dit is allemaal nog de situatie in het lab, waarbij je zuivere stoffen, geavanceerde apparaten en menselijk intellect tot je beschikking hebt. Het is geen doelloze, prebiotische omgeving.

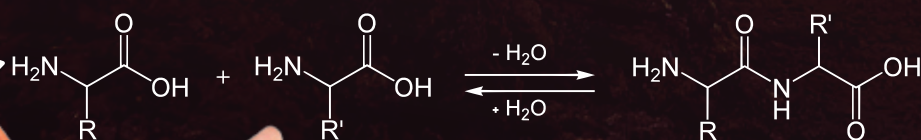
2. EIWITTEN

Eiwitten zijn lange ketens aminozuren. Dat zijn stoffen met een NH_2 -groep (amine) en een COOH -groep (zuur). Ze vervullen allerlei functies in je cellen. Zonder eiwitten is leven onmogelijk. Als je de verhalen over de oorsprong van het leven mag geloven, zijn de eerste eiwitten in een plasje water ontstaan. Maar zelfs al zou je homochirale aminozuren tot je beschikking hebben, dan nóg zal een chemicus er niet over denken om ze in water aaneen te koppelen. De reactie tussen twee aminozuren is namelijk een condensatiereactie. Dat houdt in dat er bij de reactie water ontstaat. Vang je dat water niet af, of voer je deze reactie in water uit, dan zal al vrij snel de omgekeerde reactie plaatsvinden: water reageert met de peptidebinding en

levert twee afzonderlijke aminozuren (zie figuur 4). Ketens van aminozuren vallen dus sneller uiteen dan ze gevormd worden, waardoor het zonder katalysator onmogelijk is om ketens te krijgen van meer dan een paar aminozuren. Terwijl voor functionele eiwitten tientallen aan elkaar gekoppelde aminozuren nodig zijn. Maar stel nu dat het toch op de een of andere manier zou lukken om in een prebiotische omgeving eiwitten te maken. Hoe zien die er dan uit? Eiwitten zijn behoorlijk complexe machientjes. Het zijn niet zomaar 'kralenkettingen' van willekeurige aminozuren. De volgorde is

▼ **De peptidereactie: twee aminozuren kun je aan elkaar koppelen. Daarbij komt water vrij. De R staat voor de verschillende zijgroepen die de aminozuren hebben, wat bepalend is voor hun functie.**

Figuur 4



(letterlijk) van levensbelang. Bovendien hebben eiwitten ook een ruimtelijke structuur. Ze moeten op een bepaalde manier worden 'gevouwen' om goed hun werk te kunnen doen en niet uiteen te vallen in de waterige omgeving van de cel. Die ruimtelijke structuur wordt in stand gehouden door zwavelverbindingen en andere interacties tussen twee aminozuren die een heel eind bij elkaar vandaan liggen op de 'kralenketting', maar in de 3D-structuur juist dicht bij elkaar liggen. Ga je door willekeurig aminozuren aaneen te rijgen zo'n eiwit maken, dan zul je alleen nutteloze 'kralenkettingen' krijgen, die bovendien niet de juiste 3D-vorm hebben. In levende cellen zijn er allerlei bouwstructies (DNA, RNA) en machientjes (eiwitten) nodig om één nieuw eiwit te produceren (zie figuur 2). Het zal je daarom

◀ Schematische weergave van de aanmaak van eiwitten. **A.** Informatie op het DNA wordt gekopieerd naar RNA. Dat heet transcriptie. **B.** Vervolgens wordt de RNA-code in het ribosoom 'vertaald' naar een eiwit (translatie). Dat eiwit wordt gevouwen en kan dan zijn functie in de cel gaan uitvoeren.

met volledig willekeurige processen niet lukken om op een prebiotische aarde eiwitten te maken.

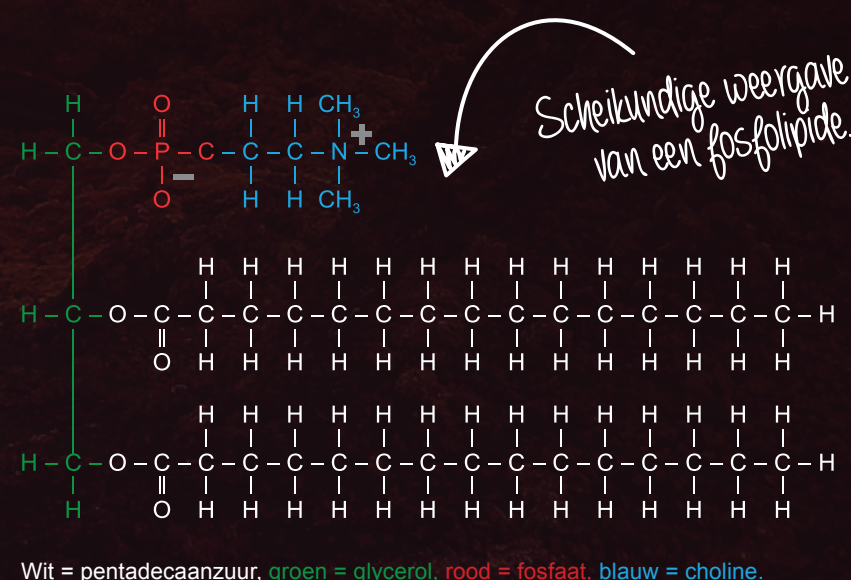
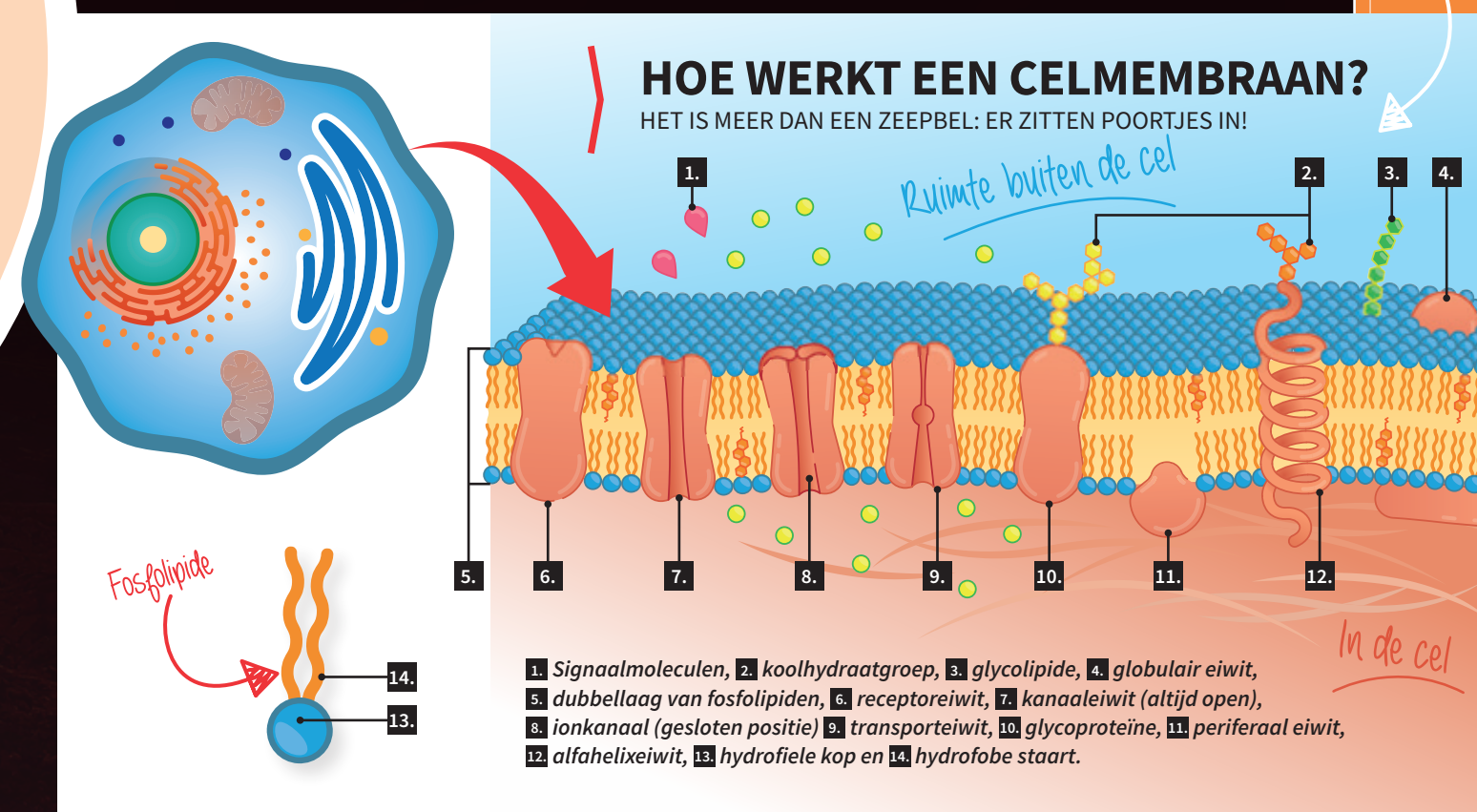
3. FOSFOLIPIDEN

Fosfolipiden zijn interessante moleculen. Ze bestaan uit een glycerolmolecuul waaraan een 'kop' en een of meerdere

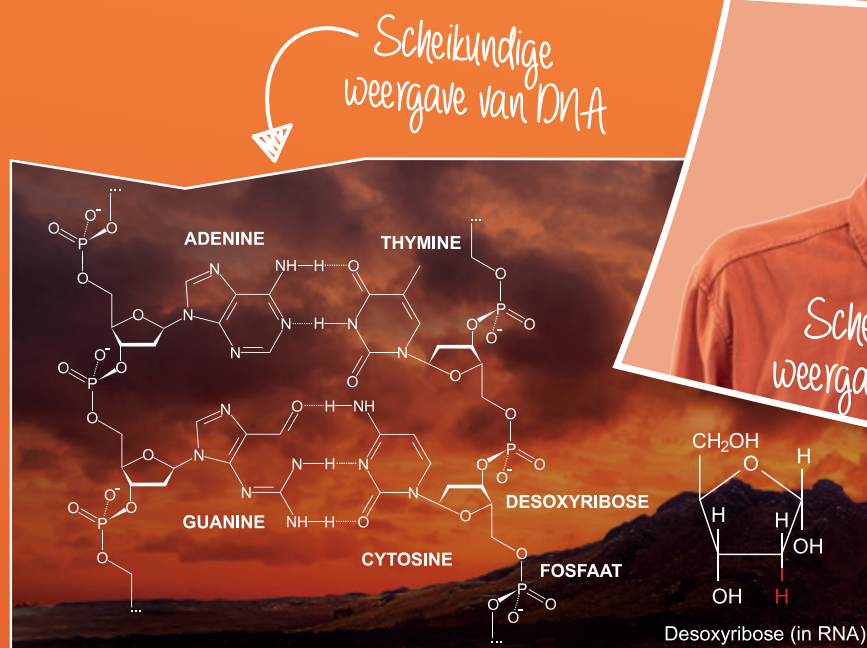
koolwaterstof-'staarten' zitten. De kop trekt water aan (hydrofiel) maar de staarten stoten water af (hydrofoob). Dankzij deze eigenschappen kunnen fosfolipiden een zogenaamde dubbellaag vormen, waarbij de staarten naar binnen wijzen en de koppen naar buiten. Dat gebeurt automatisch, en op die manier zijn ook de membranen

van cellen opgebouwd. Sommige stoffen (zoals zuurstof) kunnen makkelijk door die dubbellaag heen gaan, maar veel andere stoffen niet (zie figuur 3). Om toch transport van moleculen van binnen naar buiten de cel (en andersom) te krijgen, moet je 'poorten' in het celmembran aanbrengen. Er zijn verschillende eiwitten die zo'n poortfunctie

Figuur 3



hebben en die in het celmembran zijn opgenomen. Elk eiwit laat één of meerdere specifieke stoffen door, bijvoorbeeld kalium of natrium. Het is overigens niet zo dat een celwand is opgebouwd uit één type (fosfo)lipide. Er zijn er duizenden, en de lipiden aan de buitenkant van de cel zijn van een andere samenstelling dan die aan de binnenkant. Bovendien heb je lipiden niet alleen maar nodig om het celmembran te vormen, ook binnenin de cel zijn veel structuren omgeven door eenzelfde soort dubbellaag (zoals de celkern en de mitochondriën). De lipiden die hiervoor worden gebruikt zijn weer anders dan die in andere celstructuren zitten. De experimenten om 'cellen' te maken komen niet in de buurt van de variatie aan lipiden die je voor levende cellen nodig hebt.



➤ Zo is DNA opgebouwd. Van links naar rechts heb je eerst een ‘ruggengraat’ van afwisselend fosfaatgroepen en desoxyribose. Aan de desoxyribosegroepen zitten de basen. Die zijn met zogenaamde waterstofbruggen aan elkaar verbonden. Adenine en thymine met twee, guanine en cytosine met drie, waardoor adenine alleen aan thymine bindt en guanine alleen aan cytosine. Dit zorgt ervoor dat ze maar op één manier kunnen binden. Aan de rechterkant zit de tweede ruggengraat. Deze ketens tellen bij mensen tientallen tot honderden miljoenen van dit soort eenheden.

4. DNA EN RNA

Nucleotiden zijn de bouwstenen van desoxyribonucleïnezuur (DNA) en ribonucleïnezuur (RNA). Ze bestaan uit een suiker (desoxyribose of ribose), een fosfaatgroep en een base. Er zijn vijf verschillende basen, afgekort met de letters A, C, G, T (in DNA) en U (in RNA). Net als eiwitten en suikers zijn DNA en RNA polymeren.

DNA zit opgerold als een soort wenteltrap en bevat alle informatie die nodig is voor het maken van eiwitten. Bij dat proces wordt de wenteltrap ‘opengeritst’ (zie figuur 2 op de vorige pagina). Omdat de basen maar op één manier kunnen koppelen, kunnen bepaalde eiwitten een exacte kopie van de genetische informatie maken. Dat ‘afschrijven’ wordt vervolgens door weer andere eiwitten afgelezen om nieuwe eiwitten te kunnen maken. Je hebt eiwitten nodig om het DNA af te lezen, maar de instructies voor het bouwen van die eiwitten staan op het DNA. Dat betekent dat eiwitten en DNA gelijktijdig in de oersoep aanwezig moeten zijn geweest, want er is geen manier bekend om eiwitten te verkrijgen zonder gebruik te maken van andere eiwitten die het DNA aflezen.

STAPELING VAN PROBLEMEN

Om leven vanzelf te laten ontstaan moet men een manier vinden om deze vier groepen grote moleculen te vormen uit de op de ‘vroege aarde’ vermeend aanwezige stoffen (zoals methaan, ammonia, CO₂, water,

zuurstof en nog wat andere van dit soort kleine moleculen). Maar dat niet alleen: deze moleculen moeten ook nog eens op dezelfde plaats en tijd ontstaan, en in de juiste vorm en hoeveelheid, om een eerste levensvorm te kunnen bouwen. Bovendien moet dat snel gebeuren, want die grote moleculen zijn maar beperkt houdbaar. Na verloop van uren tot weken (een oogwenk op de vermeende geologische tijdschaal) vallen bijvoorbeeld eiwitten of DNA uiteen in de afzonderlijke bouwstenen. Chemici kunnen in het lab de reactie op tijd stoppen, zodat je de maximale opbrengst hebt, maar in de (niet-levende) natuur kan dat natuurlijk niet. En om het probleem nog groter te maken: het zomaar bij elkaar voegen van de basismoleculen (reactanten) geeft bijna nooit het gewenste resultaat, en al zeker niet in zuivere vorm. Er kunnen veel verschillende onbruikbare moleculen ontstaan. Om complexe moleculen te krijgen moeten de reactanten ook nog eens op het juiste moment worden samengevoegd en weer van elkaar worden gescheiden. En dat alles in een omgeving waar niets doelgericht gebeurt; alles moet het uitsluitend van toevalligheden hebben.

In de wetenschappelijke literatuur over de oorsprong van het leven worden deze problemen niet benoemd. Niet omdat men er geen weet van zou hebben, maar omdat niemand er een oplossing voor heeft. Feitelijk gezien is het onderzoek naar de oorsprong van het

leven na zo’n driekwart eeuw nog geen stap dichterbij een antwoord. Ter vergelijking: in diezelfde tijd zijn computers, microchips en kunstmatige intelligentie ontwikkeld, zijn mensen naar de maan geweest en heeft men tal van medische successen behaald, zoals het uitroeien van de pokken, het ontwikkelen van de MRI-scan en technieken om DNA te ontrafelen. En elk jaar merkt men dat cellen nog complexer zijn dan men al wist. Hoe meer onderzoek men ernaar doet, hoe onmogelijker de oorsprong van leven uit niet-levende materie blijkt te zijn. De natuurwet van de biogenese (leven ontstaat enkel uit leven) gaat nog steeds op. Wil je de ware geschiedenis van het ontstaan van het leven bestuderen, dan kun je het beste je Bijbel openslaan bij Genesis 1. Het is de levende God Die het leven op aarde heeft geschapen. En je vindt Zijn Handtekening overal. **w**

• WEET MEER:

www.weet-magazine.nl/weet-meer

Op www.weet-magazine.nl/abiogenese vind je een uitgebreidere versie van dit artikel. Het biedt een kijkje in de wetenschappelijke methoden die men gebruikt om ‘leven’ te maken.