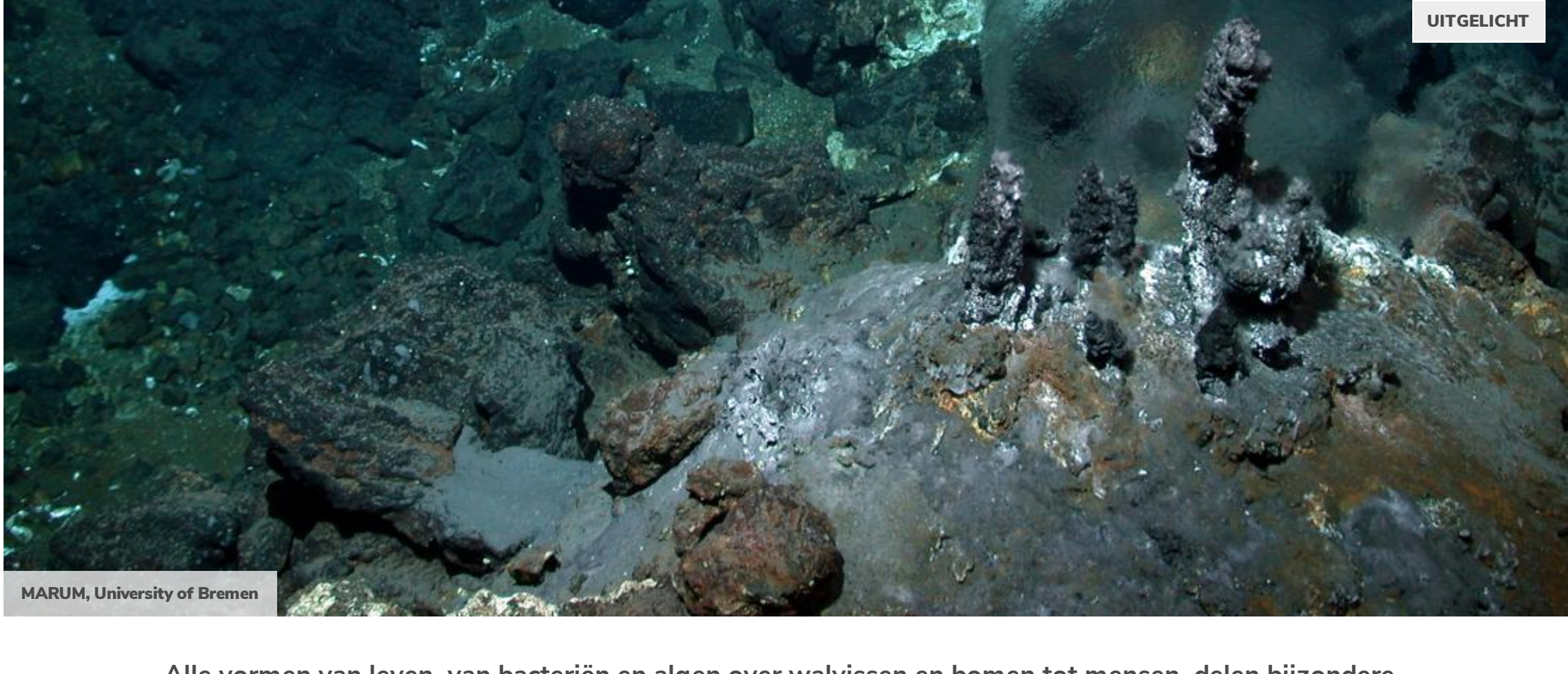


De zoektocht naar de oorsprong van het leven: de diepzee als bakermat

01 / 09 / 2020



Alle vormen van leven, van bacteriën en algen over walvissen en bomen tot mensen, delen bijzondere en raadselachtige kenmerken: voortplanting om er maar eentje te noemen. Maar wanneer en vooral waar vond het leven zijn oorsprong? Het is een vraag die menig wetenschapper de voorbije decennia en eeuwen heeft beziggehouden. En nog steeds volop bezighoudt. Ideeën werden opgeworpen, hypothesen bijgesteld en theorieën verworpen. Gaandeweg krijgen wetenschappers een beter beeld op die cruciale vraag. Recent onderzoek bewijst het: **it's all about energy!**

— BART DE SMET

Er was eens ...

Als we het over iets nagenoeg zeker zijn, dan is het wel dat het leven zeer vroeg in de geschiedenis van onze 4.5 miljard jaar oude planeet is ontstaan. Dat gebeurde waarschijnlijk al zo'n **4 miljard jaar geleden**, en dit in een **diepe waterige omgeving** die niet zo afwijkend was van de diepzee die we vandaag kennen.

Dat het leven op aarde niet kan zijn ontstaan op het vasteland of in ondiepe waterige getijdepoeltjes of lagunes heeft veel, zo niet alles, te maken met de sterke UV-straling afkomstig van de jonge zon, in combinatie met de afwezigheid van een hiertegen beschermende ozonlaag. Hoewel UV-straling voorziet in een schier oneindige bron van energie, is er vandaag de dag geen enkele gekende vorm van leven die hiervan rechtstreeks gebruik maakt. Dat hoeft niet te verbazen, UV breekt organische moleculen sneller af dan dat het hun vorming bevordert. Het is met andere woorden een sluipmoordenaar.

Een tweede argument om het vasteland als oorsprong voor het ontstaan van het leven uit te sluiten is het sterke vermoeden dat de aarde vier miljard jaar geleden helemaal met oceaanwater was bedekt en er kortom geen vasteland was. Dat toont onderzoek van oeroude zirkonen, kristallen van zirkonium-silicaat (kleiner dan zandkorrels) die in veel gesteenten terug te vinden zijn. In tegenstelling tot de apocalyptische beelden van de vroege aarde als een vulkanische hel met brandende oceanen, leren zirkonen ons dat we de vier miljard jaar oude aarde het best kunnen voorstellen als een relatief rustige, maar zuurstofloze waterwereld. Een wereld ook zonder leven. Al zou dat snel veranderen.

Wat is leven?

Laten we maar meteen met de deur in huis vallen: we begrijpen het fenomeen 'leven' nog steeds niet volledig. Zo ontbreekt vandaag een gemeenschappelijke definitie voor leven. De definitie die het vaakst gebruikt wordt is deze vooropgesteld door de NASA: "Leven is een zelfvoorzienend chemisch systeem dat in staat is tot Darwiniaanse evolutie". De voornaamste tekortkoming van deze definitie is dat leven net niet 'zelfvoorzienend' is. Het is veeleer een open systeem dat materie en energie uitwisselt met de omgeving om zijn ver-van-evenwicht toestand te behouden. De meeste moderne definities vermijden dan ook het zelfstandig naamwoord 'leven', en gebruiken in plaats daarvan het bijvoeglijke naamwoord 'levend', wijzend op een vergankelijke toestand: "een levend wezen is elk autonoom systeem met vrijblijvende evolutionaire capaciteiten". De verschillende definities van leven benadrukken elk een of meerdere kenmerken van levende wezens, zoals hun voortplanting of compartimentering. En elke eigenschap behoort klassiek tot een andere wetenschappelijke discipline die historisch van elkaar gescheiden zijn. Onderzoek naar de oorsprong van het leven is met andere woorden een zeer breed onderzoeksgebied dat nood heeft aan een transdisciplinaire aanpak en expertise.

De oersoep als kweekvijver?

Leven zoals wij het kennen heeft voldoende energie nodig en een continue aanvoer van koolstofhoudende moleculen. Een van de meest wijdverbreide theorieën is dat het leven op aarde ontstond in een zogenaamde 'oersoep', een bouillon rijk aan organische moleculen. Deze kwam ofwel ter plekke tot stand door reacties onder invloed van bliksem in de vroege atmosfeer, ofwel door de aanvoer van organische componenten vanuit de ruimte via kometen, meteorieten of interplanetair stof.

De **oersoeptheorie** – in de jaren 20 van de vorige eeuw opgeworpen door de Rus Alexander Oparine en de Brit John Haldane – kreeg bijval door een wereldberoemd experiment van de iverige doctoraatsstudent Stanley Miller en de Nobelprijslauraat Harold Urey. In 1953 slaagden Miller en Urey erin om aminozuren, de bouwstenen van eiwitten, in labo-omstandigheden te fabriceren. Dat deden ze door in een gesloten systeem bliksemschichten na te bootsen en te laten inwerken op water en een mix van gassen (methaan-, ammoniak-, stikstof-, en waterstofgas) waarmee ze de oeratmosfeer nabootsten. De openhoping van deze voorlopers van leven in een waterige omgeving zou na verloop van tijd aanleiding geven tot die oersoep, zo luidde de hypothese. De experimenten van Miller en Urey kregen veel navolging en de oersoeptheorie bleek gerechtvaardigd. De vele vervolggexperimenten toonden immers dat organische bouwstenen inderdaad kunnen ontstaan uit anorganische voorlopers. Maar het probleem met deze theorie – die tot zeer recent de schoolboeken sierde – is dat de samenstelling van de atmosfeer waar men vanuit ging, niet correct bleek te zijn. Niet methaan-, ammoniak-, en waterstofgas (de samenstelling van de atmosfeer van Jupiter) vormden de atmosfeer op de vroege aarde. Maar het relatief neutrale koolstofdioxide, stikstofgas en waterdamp.

Warmwaterbronnen op de bodem van de oceaan

Twee generaties lang hield de theorie van de oersoep de wetenschap in zijn greep. Pas eind jaren 1970 zette de ontdekking van **black smokers** – hydrothermale- of warmwaterbronnen diep in de oceaan – dit domein van de wetenschap op zijn kop. Met name de overweldigende diversiteit aan leven geassocieerd met deze black smokers sloeg de wetenschap met verstomming.

Black smokers hebben hun naam te danken aan hun schoorsteenachtige voorkomen en de zwarte 'rook' die ze uitpuwen. Je vindt ze op de oceaanbodem ter hoogte van tektonische spreidingszones of andere vulkanisch actieve plaatsen. Daar komt het zeewater via scheuren in de zeebodem in contact met dieper gelegen magmakamers. Het zeewater warmt er zeer snel op tot enkele honderden graden Celsius – zonder te koken, ten gevolge van de extreem hoge druk op grote diepte – en rijkt aan met o.a. opgeloste metalen. Wanneer het hete water barstensvol explosieve kracht weer omhoog de oceaan in schiet, koelt het abrupt af. Fijne partikels van ijzersulfiden zoals het 'gekkengoud' pyriet slaan hierbij onmiddellijk neer en leiden tot de zwarte 'rook' die de bronnen kenmerkt.

De ontdekking van de black smokers onthulde een uitgestrekt en voorheen onbekend domein van de biochemie op aarde. En wat meer is, deze chemisch reactieve omgeving leek op het eerste gezicht te beschikken over betere omstandigheden voor de aanmaak van prebiotische bouwstenen van leven dan een oersoep: een geconcentreerde en continue stroom van energie en koolstof. Toch waren er ook zaken die pleitten in het nadeel van black smokers als bakermat voor het eerste leven op aarde. Kan nieuw leven wel om met de extreme temperaturen van 250 tot 400°C? En wat te denken van de korte levensduur van black smokers? Volstaan enkele decennia om leven op aarde tot stand te laten komen? Daarenboven zijn er goede aanwijzingen dat er 4 miljard jaar geleden nog helemaal geen black smokers waren. De wetenschap zat opnieuw vast in zijn zoektocht naar het ontstaan van het leven.

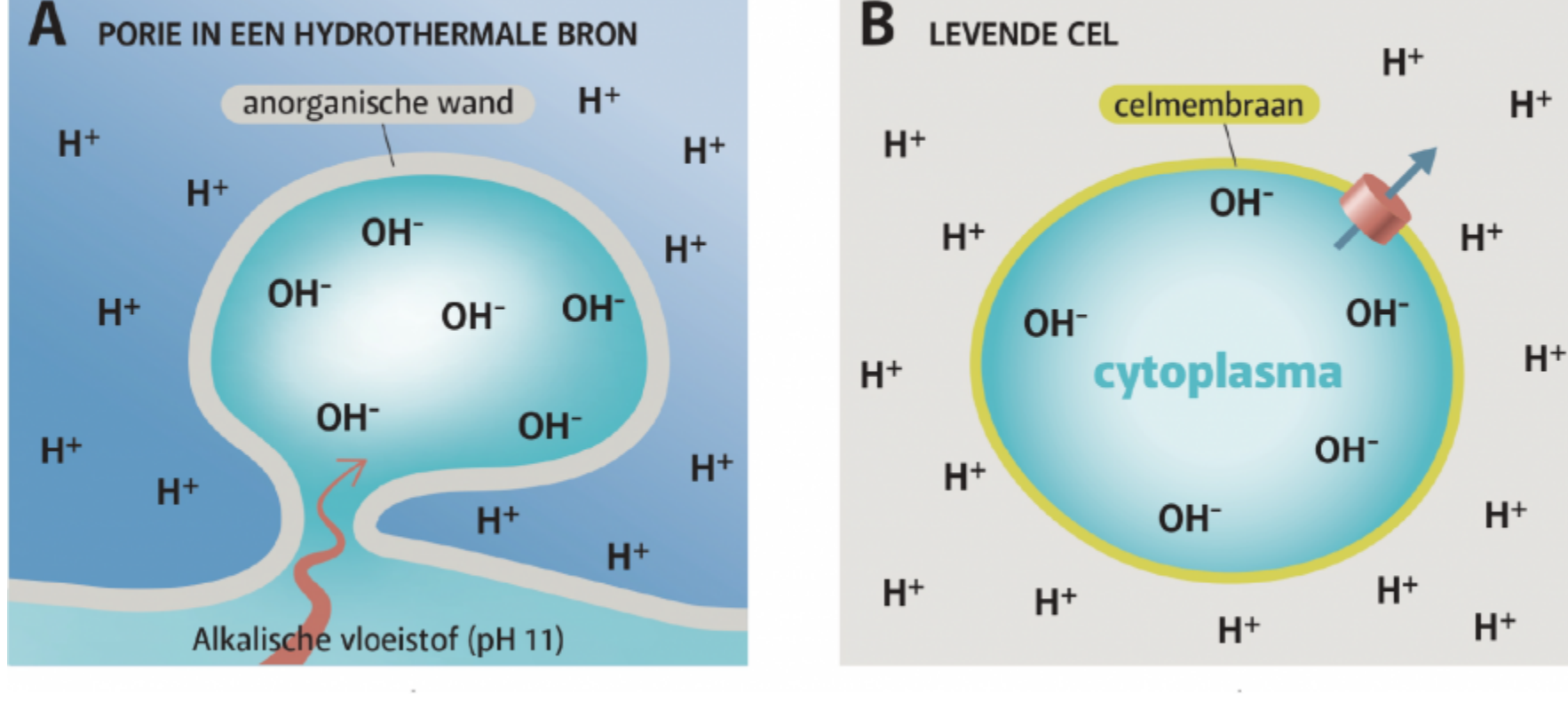
Lost City

Tot een team van onderzoekers, onder leiding van marien geologe Deborah Kelley, in 2000 een ander type hydrothermale bron ontdekte, dat veel gunstiger is om leven voort te brengen: de **alkalische** (basische) **hydrothermale bron**. Het ontdekte systeem in het midden van de Atlantische Oceaan kreeg de misleidende naam Lost City, wat verwijst naar het verlaten gevoel dat de onderzoekers hadden bij het zien van de onderwaterbeelden.

Deze bronnen torenen tot 60 meter hoog boven de zeebodem uit, een hoogte vergelijkbaar met de Gentse Boekentoren. In tegenstelling tot black smokers zijn alkalische hydrothermale bronnen helemaal niet vulkanisch en zijn ze niet het resultaat van de interactie van water en magma. Ze ontstaan door een subtieler proces: een chemische reactie tussen harde steen uit de aardmantel, rijk aan het mineraal olivijn, en water. Wanneer olivijn in aanraking komt met het hete water reageert het tot het slanggroene mineraal serpentijn. Dit proces van **serpentinisatie** genereert een grote hoeveelheid waterstofgas. Dat gas lost op in de warme (60-90°C) alkalische vloeistof (pH 9-11) en borrelt op naar de zeebodem. Daar koelt de vloeistof af en slaat kalk neer met de vorming van torens als gevolg. Die torens zijn, anders dan bij black smokers, geen open schoorstenen. Ze lijken veeleer op een spons: een labrynt van minuscule poriën, van elkaar gescheiden door dunne wanden en doordrongen van alkalische vloeistoffen. Net het soort labrynt van microporiën nodig om leven te doen ontstaan en een structuur niet aanwezig bij black smokers: een natuurlijk gecompartmenteerd systeem dat organische moleculen concentreert. De accumulatie van organische moleculen in de minuscule poriën van een alkalische hydrothermale bron doet denken aan een sok die zich nestelt in je dekbedovertrek in de wasmachine. Je hebt het ongetwijfeld ook al meegemaakt.

Toch moeten de alkalische hydrothermale bronnen uit het Hadeaan (vier miljard jaar geleden) er chemisch gezien anders hebben uitgezien dan de huidige exemplaren. De chemie van de vorming van serpentijn was waarschijnlijk wel vergelijkbaar, maar de specifieke geochemische condities in de oeroceaan verschilden sterk. Zo was er geen zuurstof en waren de CO₂-concentraties waarschijnlijk 100 tot 1000 keer hoger dan nu. Dat hoge CO₂-niveau maakte de Hadeaanse oceaan merkkelijk zuurder (pH 5-7) dan vandaag (pH 8). Gevolg: ter hoogte van de dunne wanden van de bronnen was er een bruuise overgang tussen de zure CO₂-rijke oceaan en de alkalische vloeistoffen in de bronnen, rijk aan waterstofgas. Net deze pH-gradiënt, in feite een protonengradiënt, levert de energie om waterstofgas en CO₂ te doen reageren tot organische moleculen (incl. suikers, vetten, DNA, RNA en eiwitten). Een **protonengradiënt** als drijvende kracht voor koolstof- en energiemetabolisme is wetenschappers niet vreemd. Zo'n protonengradiënt zie je ook vandaag ook over het celmembraan van alle levende wezens op aarde, van bacteriën tot walvissen. Het gebruik van protonengradiënten was én is universeel voor het leven op aarde. Net zoals DNA, de genetische blauwdruk van het leven, dat ook is. De puzzel klopt.

Ook kunnen we vrijwel alle andere omgevingen op aarde uitsluiten als werkbare plaatsen voor het ontstaan van leven. Simpelweg omdat ze niet voldoen aan de voorwaarden voor het ontstaan van leven. Enkel hydrothermale bronnen voorzien in de vereiste condities. En een enkele type bron – de alkalische hydrothermale bron – voldoet aan alle voorwaarden én heeft de juiste fysieke structuur en chemie als kraamkamer voor leven.



© VLIZ

Een porie in een alkalische hydrothermale bron (A) bestaat uit een dunne anorganische wand als scheiding tussen de licht zure oceaan (pH 5-7) en de alkalische vloeistoffen in de bron (pH 11). In levende cellen (B) is het celmembraan veel dunner, maar het verschil in pH is gelijkwaardig. Hier wordt de protonengradiënt opgewekt door pompies in het celmembraan. Zij pompen actief protonen (H⁺) naar buiten om het pH-verschil in stand te houden.

Buitenaards leven: fact of fictie?

En wat met buitenaards leven? Is er leven mogelijk op andere plaatsen in ons zonnestelsel en daarbuiten? We weten ondertussen dat het boodschappenlijstje voor leven in de alkalische hydrothermale bronnen enkel bestaat uit olivijn (lees: steen), water en CO₂. Laat dit nu net drie van de meest algemeen voorkomende substanties in het universum zijn. Bijgevolg komen alkalische hydrothermale bronnen waarschijnlijk algemeen voor op **natte rotsachtige planeten** elders in het universum. Geschikte omstandigheden voor het ontstaan van leven kunnen op dit eigenste moment aanwezig zijn op zo'n 40 miljard (!) planeten in het melkwegstelsel alleen al. In ons eigen zonnestelsel zijn vooral de ijsmanen Europa (Jupiter) en Enceladus (Saturnus) goede kandidaten. Deze manen bezitten een oceaan die rust op een rotsbodem, wat een directe interactie tussen water en steen mogelijk maakt, vooral in de aanwezigheid van onderzeese vulkanische activiteit of als gevolg van een enorme getijdenkrachten. Net dat maakt deze hemellichamen zo interessant in de zoektocht naar buitenaards leven.

Blijft de vraag hoe vaak deze perfecte condities ook écht aanleiding hebben geven tot leven? Zonder een hoge en continue stroom aan koolstof en energie over een protonengradiënt was de evolutie van cellen op aarde niet mogelijk. Het kan bijna niet anders dan dat leven elders in het universum ook gebaseerd is op een protonengradiënt en vergelijkbare opportuniteiten en limieten. Daarom is de kans groot dat er elders in het universum, én zelfs binnen ons eigen zonnestelsel, bacteriën te vinden zijn die werken op dezelfde manier: gedreven door chemische reacties en protonengradiënten over membranen.

Complex hoger leven daarentegen is vermoedelijk erg zeldzaam in het universum. Deze vorm van leven omvat een uitgebreide set van unieke kenmerken zoals seks, geprogrammeerde celdood of veroudering. Kenmerken die geen van alle voorkomen in bacteriën. Het ontstaan van complex leven op aarde gebeurde de afgelopen 4 miljard jaar slecht **een keer**. Een zeldzaamheid. Een bizar 'ongeluk' waarbij een unieke succesvolle versmelting plaatsvond van twee totaal verschillende micro-organismen. De kans dat buitenaards leven qua complexiteit blijft steken op het bacteriële niveau is vele malen groter.

De Zwitserse professor Didier Queloz, die in 2019 de Nobelprijs voor Natuurkunde in ontvangst mocht nemen voor de allereerste ontdekking van een exoplaneet in 1995, gelooft alvast in buitenaards leven. Hij voorspelt dat we binnen de 30 jaar de technologie kunnen ontwikkelen om vanuit de ruimte biochemische indicaties van leven op een exoplaneet op te sporen. "Ik ben er zeker van dat we vanop de aarde binnen de 100 jaar buitenaards leven zullen detecteren", aldus Queloz.

Met dank aan Jan Mees en em. prof. Dr. Jan de Leeuw

Meer lezen:

- De belangrijkste vraag van het leven. Waarom is het leven zoals het is? Nick Lane (2018) | [VLIZ-bib](#)
- The origin of life in alkaline hydrothermal vents. Sojo et al. (2016). Astrobiology, 16(2) | [VLIZ-bib](#)
- The emergence of life. Camprubi et al. (2019). Space Science Reviews, 215: 56 | [VLIZ-bib](#)

[Contacteer auteur van dit artikel](#)

Meer lezen over :

MARINE ROBOTICS MICRO-ORGANISMEN DIEPZEE VLIZ-ONDERZOEK

Suggesties

Heb je zelf ideeën, interessante weetjes ...

Stuur ons je suggestie

Artikel delen

Lijkt dit artikel iets voor uw vrienden of collega's? Deel het met hen!

