

# Hoe werken ecosystemen in diepzee warmwaterbronnen?

## Auteurs:

Stefan M. Sievert, Jesse McNichol  
 en François Thomas

## Redacteurs:

Elitsa Panayotova en Rachel Watson

## Abstract

Levende wezens hebben zon nodig om te overleven. Dit kunnen ze direct doen door middel van *fotosynthese*, of indirect door biomassa te verbruiken die geproduceerd is door fotosynthese. Maar geldt dit eigenlijk wel voor alle levende wezens? Sommige wezens gebruiken energie van onze planeet en hebben geen zonlicht nodig, waardoor ze kunnen overleven op de zeebodem. Dit doen ze door middel van *chemosynthese*. Wij wilden meer weten over de micro-organismen die op die manier overleven onder de zeebodem,

in de buurt van warmwaterbronnen. Daarom onderzochten wij vloeistoffen van een warmwaterbron in de Stille Oceaan bij *in situ* druk en temperatuur. Ons onderzoek toonde aan dat micro-organismen die onder de zeebodem leven een hoge *productiviteit* en snel *metabolisme* hebben. Met behulp van onze schattingen kunnen we beoordelen hoe belangrijk warmwaterbronnen zijn voor globale cycli van essentiële elementen zoals koolstof en stikstof.

## Introductie

Normaal gesproken halen organismen energie uit zonlicht. Er is echter geen zonlicht op de zeebodem, dus hoe kan het dat er daar leven mogelijk is? De meeste organismen zijn afhankelijk van de kleine hoeveelheid eten die van het oceaanooppervlak naar de bodem zinkt. Sommige micro-organismen zijn daarentegen zo geëvolueerd dat ze anorganische chemische stoffen om kunnen zetten in energie, in plaats van zonlicht. Ze zijn daarom niet afhankelijk van voorgevormde organische stoffen (zoals mensen dat zijn) of zonlicht (zoals planten en algen). In plaats daarvan produceren zij energie door middel van *oxidatie* en *reductie* van anorganische chemische stoffen. In dit chemische proces, ook wel *chemosynthese*, worden elektronen overgedragen tussen stoffen, waarbij energie vrijkomt. Organismen die hier gebruik van maken heten *chemolithoautotrofen* en kunnen, zoals alle autotrofen, anorganische koolstof omzetten of "binden" in celmateriaal.

In 1977 ontdekten wetenschappers vlakbij de Galapagos Eilanden iets heel bijzonders: diepzee warmwaterbronnen. Warmwaterbronnen zijn openingen in de korst van de aarde waar heet water vrijkomt in de koude oceaan (Figuur 1). Ze vonden een enorme hoeveelheid leven rond deze warmwaterbronnen: gigantische kokerwormen, die nog nooit eerder waren gezien,



**Figuur 1:** Kokerwormen, witte krabben, en een roze vis komen samen rond een warmwaterbron ontdekt in 1977.

(Foto van John M. Edmond, MIT, WHOI archief).

en enorme mosselen. Hoe konden zulke bruisende ecosystemen bestaan op de zeebodem, waar verder nauwelijks eten en een lage productiviteit is? De micro-organismen in de warmwaterbron bleken gebruik te kunnen maken van energie van de aarde door middel van chemosynthese. Diep in de oceanische korst reageert heet water, ook wel hydrothermische vloeistof genoemd, met de rotsen onder hoge druk en temperatuur. Hierdoor neemt het water verschillende mineralen op die de basis vormen van de groei van chemolithoautotrofe bacteriën. Sommige van deze bacteriën leven alleen en kunnen direct worden opgegeten door

andere organismen. Anderen leven in *mutualistische symbiose* met andere organismen en voorzien op die manier het ecosysteem van energie. Zo kunnen kokerwormen en mosselen bijvoorbeeld chemicaliën geven aan de bacteriën die in hen leven. Zij krijgen daar organische stoffen voor terug van de bacteriën. Hieraan kun je zien dat er een rijk ecosysteem vlakbij deze warmwaterbronnen is, gebaseerd op chemosynthese.

Maar hoe productief zijn deze ecosystemen? Wetenschappers hebben de groeisnelheid en productiviteit gemeten van dieren met

symbiotische bacteriën op de zeebodem. Wetenschappers weten ook dat microben onder de zeebodem bij warmwaterbronnen leven en dat ze bijdragen aan de productiviteit van omliggende ecosystemen. Wij wilden meer te weten komen over de biosfeer onder de zeebodem. We waren vooral geïnteresseerd in de productiviteit, de efficiëntie van de groei van de microben (hoe goed ze energie in celmateriaal om kunnen zetten), en de hoeveelheid biomassa die ze produceren.

## Methoden

We namen een vloeistofmonster uit de goed bestudeerde warmwaterbron Crab Spa, in het 9°N *hydrothermale veld op de Oost-Pacifische Rug*, een mid-oceanische rug in de Stille Oceaan (Figuur 2). We hebben 16 experimenten uitgevoerd bij *in situ* temperatuur en druk waarbij we het water lieten incuberen. Hiervoor hadden we speciale apparatuur nodig, zoals bemonsteringsapparatuur die het water onder de druk van de zeebodem houdt. We hebben ook twee extra experimenten uitgevoerd bij dezelfde druk, maar een hogere temperatuur van 50°C. Zo konden we de activiteiten onderzoeken van microben die bij hoge temperaturen onder de zeebodem leven. In 15 van de experimenten voegden we (combinaties van) stoffen toe, zoals zuurstof, nitraat, en waterstof, om te testen of dat de activiteit van de microben zou verhogen.

We stelden de samenstelling van de populaties van microben vast en maten hun groei en de snelheid van hun metabolisme. Hierbij maakten we gebruik van *DNA-sequencing*, *fluorescentie kruising in situ (FISH)*, en *massa spectrometrie analyses*. Om te beoordelen hoe efficiënt het autotrofe metabolisme en de productie van biomassa van de bacteriën zijn, voegden we natriumwaterstofcarbonaat toe aan het water. Dit wordt ook wel natriumbicarbonaat of baksoda genoemd. We labelden de baksoda met een zware, stabiele koolstofisotoop en vervolgens gebruikten we massa spectrometrie om de opname van de isotopen in celmateriaal te detecteren.



**Figuur 2:** Locatie van de warmwaterbron Crab Spa, in het 9°N hydrothermale veld op de Oost-Pacifische Rug.

## Resultaten

Water onder de zeebodem:

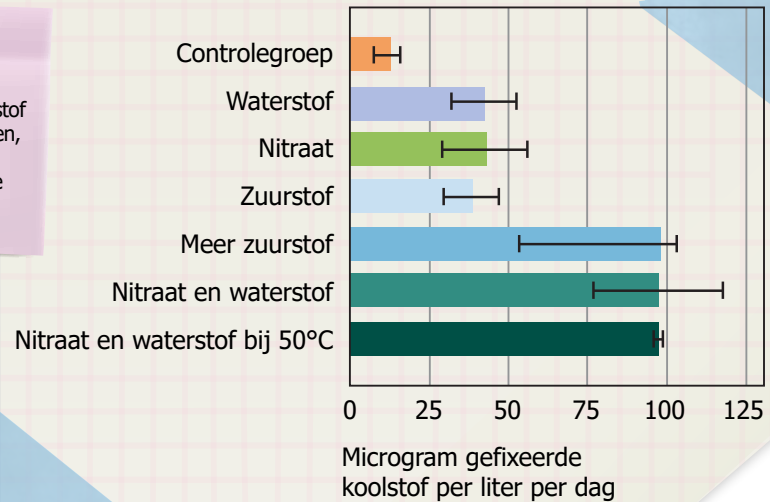
- De vloeistof die onder de zeebodem vandaan kwam had een temperatuur van 24°C en bevatte veel meer micro-organismen dan het omringende zeewater van 2°C.
- De concentratie van belangrijke chemische stoffen die nodig zijn voor chemosynthese (zoals sulfide, waterstof, nitraat, en zuurstof) in het water dat uit de warmwaterbron kwam, was lager dan verwacht. Dit impliceert dat deze stoffen onder de zeebodem worden verbruikt.

Microben onder de zeebodem:

- De meest voorkomende micro-organismen in alle experimenten waren autotrofe *Campylobacteria*. De microbensamenstelling varieerde echter sterk onder verschillende omstandigheden, bijvoorbeeld bij verschillende temperaturen.
- De microben waren erg actief en groeiden snel. Hoe hoger the temperatuur, hoe lager de groei-efficiëntie was.
- Micro-organismen onder de zeebodem hadden een hoge productiviteit (koolstoffixatie of biomassa productie).

- Koolstoffixatie steeg wanneer we specifieke chemicaliën toevoegden, zoals zuurstof en nitraat, die worden gebruikt in chemosynthese om gereduceerde chemicaliën te oxideren en energie te produceren (Figuur 3).
- De biomassa is relatief klein en de verblijftijd is kort, wat wijst op hoge groeisnelheden.
- De hoeveelheid groei van de microben onder de zeebodem wordt bepaald door de beschikbaarheid van oxidatiemiddelen (zuurstof, nitraat).

**Figuur 3:** Bacteriële productiviteit in de experimenten met vloeistof uit de warmwaterbronnen, uitgevoerd bij *in situ* druk onder verschillende omstandigheden.



De aanwezigheid van welke elementen zorgt ervoor dat de productiviteit van de bacteriën toeneemt?

## Discussie

Onze data toonde aan dat de productiviteit van micro-organismen onder de zeebodem bij de Crab Spa hoog was. Deze chemolithoautotrofen sturen de diepzee warmwaterbron ecosystemen aan door energie van onze planeet (*geothermische energie*) om te zetten naar celmateriaal. Hiermee leveren ze veel koolstof aan de verder voedingsarme, omliggende diepe zee. Deze koolstofproductie bleek zelfs bijna net zo belangrijk te zijn als die van de zeer productieve dier-microbe symbioses op de zeebodem. Eén vierkante meter aan kokerwormen kan namelijk net zo productief zijn als sommige regenwouden. We weten nu dus dat de biosfeer onder de zeebodem een belangrijk deel vormt van de diepzee warmwaterbron ecosystemen.

We zagen dat microben die groeien in verschillende niches van het ecosysteem onder de zeebodem van elkaar te onderscheiden zijn door factoren als temperatuur- en zuurstofoptima. Dit verklaart hoe chemolithoautotrofe bacteriën die nauw verwant zijn aan elkaar en mogelijk concurrenten zijn in hetzelfde ecosysteem kunnen leven. Wij willen hierna dezelfde metingen doen in andere diepzee warmwaterbronnen en hun invloed op de omliggende diepe oceaan onderzoeken.

## Conclusie

De zeebodem is grotendeels onbekend en onverkend. Desalniettemin is de zeebodem erg belangrijk, omdat er veel unieke ecosystemen te vinden zijn, zoals diepzee warmwaterbronnen. De organismen in deze ecosystemen hebben interessante en vaak onbekende aanpassingen aan extreme condities. Het begrijpen van de biochemie achter deze aanpassingen kan leiden tot biotechnologische vooruitgang. Voor het bestuderen van de zeebodem moeten wetenschappers van verschillende disciplines

samenwerken om onze kennis te vergroten. In ons team werkten geochemisten, microbiologen, en ingenieurs samen. Als we meer te weten komen over de functie van diepzee ecosystemen kunnen we hun rol in de globale oceaan beter begrijpen. Dit kan ons helpen om geïnformeerde beslissingen te maken over menselijke activiteiten in de oceaan, zodat we deze ecosystemen kunnen beschermen tegen bedreigingen als diepzeemijnbouw. Hoe meer we leren over unieke ecosystemen, hoe beter!

## Belangrijke termen

- Biosfeer:** de delen van de aarde waar leven bestaat, van de donkere omgeving van diepe oceaandruggen tot hoge bergtoppen
- Koolstoffixatie:** het proces waarin autotrofe organismen van anorganische koolstof (bijvoorbeeld koolstofdioxide) organische stoffen maken (bijvoorbeeld eiwitten en suikers)
- Chemosynthese:** het proces waarin organismen energie gebruiken van reacties tussen anorganische chemicaliën om organische stoffen te maken van anorganische koolstof
- Chemolithoautotrofen:** micro-organismen, zoals bacteriën, die energie krijgen van het oxideren van gereduceerde anorganische chemicaliën, die ze dan gebruiken om koolstof te fixeren
- Diepzee warmwaterbronnen (of warmwaterkraters):** plekken op de bodem van de oceaan waar warm water omhoog komt in het koude water van de oceaan, bijvoorbeeld waar tektonische platen uit elkaar drijven
- DNA-sequencing:** het proces waarbij de precieze volgorde van de bouwblokken van DNA wordt bepaald.
- Fluorescentie kruising in situ (FISH):** een moleculaire techniek die fluorescente sondes gebruikt om de aanwezigheid van specifieke DNA/RNA sequenties in een cel te detecteren met behulp van microscopie.
- Geothermische energie:** energie van de hitte van de aarde – het is ontstaan door de vorming van de planeet.
- Groei-efficiëntie:** de efficiëntie van het omzetten van voedsel of chemische energie in biomassa.
- In situ:** in de originele plek (dus niet in het lab)
- Isotopisch labelen:** een techniek die wordt gebruikt om het verplaatsen van een isotoop (een atoom met hetzelfde aantal protonen en elektronen, maar een ander aantal neutronen) te traceren.
- Massa spectrometrie:** methode waarmee de chemische opbouw van een stof wordt bepaald door middel van scheiding op basis van verschillen in massa en lading van ionen.
- Metabolisme:** de chemische processen die plaatsvinden in een levend organisme om het in leven te houden, zoals het omzetten van materie in energie en het maken van cellulaire stoffen.
- Mid-oceanisch rugsysteem:** een set van onderwater bergen gevormd wanneer tektonische platen uit elkaar drijven (divergeren of spreiden) doordat magma omhoog komt tussen de platen in, waarbij nieuwe zeebodem wordt gevormd.
- Oxidatie en reductie:** de overdracht van elektronen tussen twee stoffen. Eén van hen verliest elektronen (oxidatie), de ander krijgt er elektronen bij (reductie). Over het algemeen leiden deze reacties tot het vrijkomen van energie, wat essentieel is voor het behouden van leven.
- Fotosynthese:** het proces waarbij een organisme energie van de zon gebruikt om koolstofdioxide uit de atmosfeer om te zetten in plantaardig materiaal, oftewel biomassa.
- Productiviteit:** de snelheid waarmee biomassa wordt gegenereerd in een ecosysteem.
- Mutualistische symbiose:** een relatie tussen twee diersoorten waarbij beide soorten van elkaar profiteren.

## Bronnen

Jesse McNichol, Hryhorii Stryhanyuk, Sean P. Sylva, François Thomas, Niculina Musat, Jeffrey S. Seewald, and Stefan M. Sievert. *Primary productivity below the seafloor at deep-sea hot springs*. PNAS June 11, 2018. 201804351

<http://www.pnas.org/content/115/26/6756>

Duiken in beeld: Diepste onderwaterbronnen in Stille Oceaan ontdekt

<https://duikeninbeeld.tv/diepste-onderwaterbronnen-in-stille-oceaan-ontdekt/>

Nemo kennislink: Extreme habitats

<https://www.nemokennislink.nl/publicaties/extreme-habitats/>

Studiobiologie: Chemosynthese

[https://www.studiobiologie.nl/KB2/H07\\_02/index3g.html](https://www.studiobiologie.nl/KB2/H07_02/index3g.html)



## Kijk of je het begrijpt

**1** Waar komt de energie voor diepzee chemoautotrofe bacteriën vandaan?

---

---

---

---

**2** Waarom incubeerden we de micro-organismen van onder de zeebodem onder hoge druk?

---

---

---

---

**3** Dit onderzoek richtte zich op chemolithoautotrofen. Wat voor andere typen autotrofen zijn er?

---

---

---

---

**4** Microben bij diepzee warmwaterbronnen hadden een hoge productiviteit. Wat betekent dit voor organische koolstof – wordt dit meer of minder in deze ecosystemen?

---

---

---

---