

AFBEELDING 1. | Foto van IJsland waar de mid-Atlantische rug boven water komt, precies op de plek waar de Euraziatische en de Noord-Amerikaanse platen uit elkaar drijven.  
Foto: Sabine Gollner.

# Vulkanen in de diepzee

SABINE GOLLNER  
SABINE.GOLLNER@NIOZ.NL

In 2019 stond ik op twee verschillende continenten tegelijk. Ik was op IJsland waar de mid-Atlantische rug boven water komt, precies op de plek waar de Euraziatische en de Noord-Amerikaanse platen uit elkaar drijven (Afb. 1). Een unieke plek, want de mid-Atlantische rug ligt gemiddeld op een diepte van 2,5 kilometer onder het wateroppervlak. De laatste tijd staan de kranten bol van nieuws over intense geologische activiteit op IJsland. Duizenden kleine aardbevingen werden de laatste maanden geregistreerd, veroorzaakt door opstijgend magma. En in april werd een nieuwe vulkaan geboren, de Fagradalsfjall op slechts enkele kilometers van de hoofdstad Reykjavik. Als alles meezit ben ik over een paar maanden weer bij IJsland, maar dan aan boord van het Nederlandse onderzoeksschip Pelagia om met een duikrobot hydrothermale bronnen in de zee te onderzoeken. We gaan dan op zoek naar wonderlijke dieren, die midden in deze “hotzone” leven, bij hydrothermale bronnen die als puntjes verspreid op de oceanische rug rond IJsland in dieper water voorkomen. Als een feniks uit de as herrijzen daar in snel tempo de wonderlijkste geologische structuren en organismen.

## Zwarte rokers

Hydrothermale bronnen en de wonderlijke dieren die zich daar omheen bevinden zijn pas sinds 1977 bekend. De ontdekking was groot nieuws omdat deze organismen hun energie direct uit de aarde zelf halen. Maar waar komt deze “aardse” energie precies vandaan?

Overal op onze planeet waar platen uit elkaar drijven en daarom een geringe dikte hebben, sijpelt oceanwater door kleine spleten in de aardkorst waarna het door magma op diepte wordt opgewarmd. Tijdens dit proces wordt het water chemisch veranderd en verliest het sulfaat en magnesium.

In plaats daarvan wordt het water verrijkt met sulfide, en metalen zoals ijzer, koper, zilver of goud uit het omliggende gesteente. Op plekken waar de korst het dunst is, midden op de oceanische rug, wordt het tot 350°C hete en mineraalrijke water weer naar buiten geperst (Afb. 2).



Wereldwijd zijn ongeveer duizend van dit soort hydrothermale bronnen bekend (Afb. 3). Waarschijnlijk zijn het er in werkelijkheid veel meer. Sommige komen bijna aan de oppervlakte voor, maar anderen liggen op grote diepte tot wel 5000 meter en zijn daarom moeilijk op te sporen. Daar komt bij dat veel hydrothermale bronnen soms maar enkele jaren bestaan. Maar er zijn er ook die een levensduur van millennia hebben, afhankelijk van de geologische activiteit ter plekke. Soms verdwijnen ze ook gewoon, als ze abrupt worden begraven onder meters dikke lagen basalt als gevolg van een onderwater vulkaanuitbarsting. Totdat er opnieuw scheuren ontstaan en het hete water zijn weg terug naar het oppervlak kan vinden. Bij het contact tussen dit hete mineraalrijke water en het rond 2°C koude diepzeewater ontstaat een chemische neerslag voornamelijk van sulfide. Een "black smoker" wordt gevormd (Afb. 4 en 5). De grootste *black smokers* kunnen zo hoog als een wolkenkrabber worden, maar het overgrote deel is een aantal meters hoog.

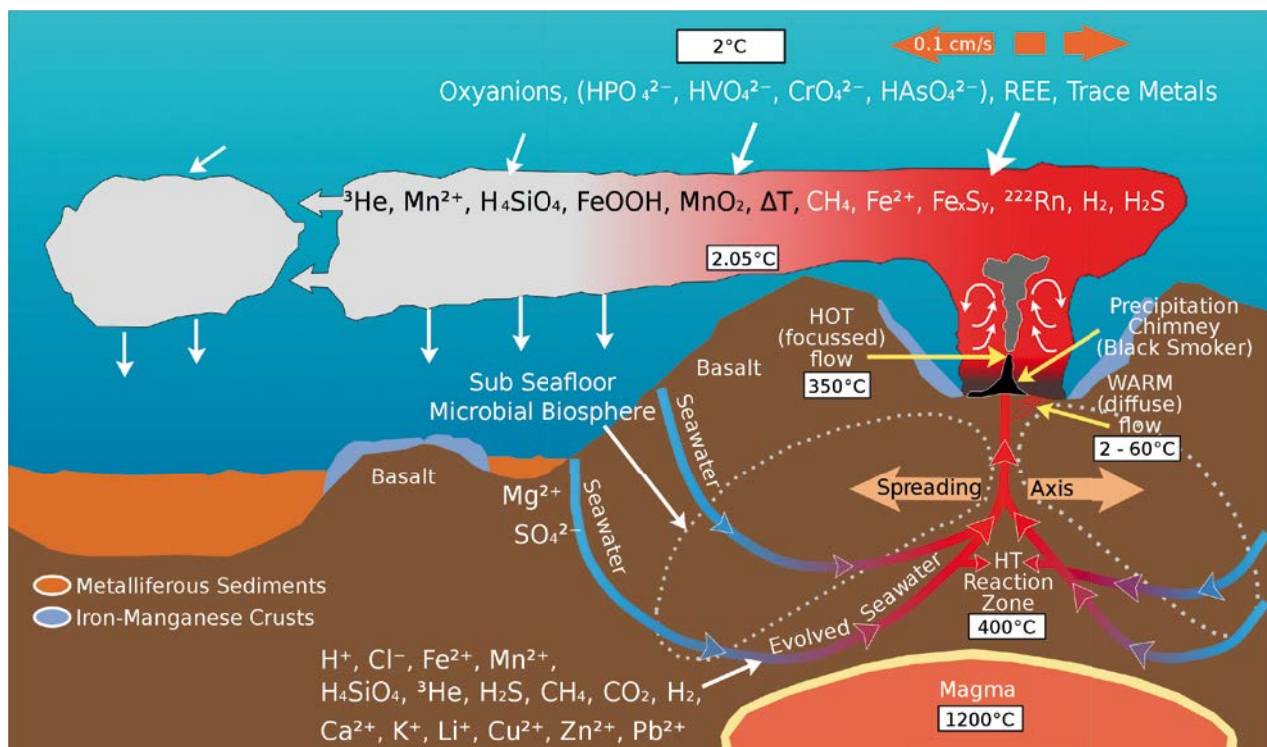
Maar hoe weten wij dit allemaal? Hoe vind je die bronnen als ze zo diep onder het wateroppervlak voorkomen? Allereerst worden er CTD's ingezet (zie ook het artikel van Henk de Haas in dit nummer) die vanaf een onderzoeksschip in het water omlaag worden gelaten. Met die apparaten kunnen watermonsters van grote diepte naar boven worden gehaald. Zo kun je op zoek gaan naar specifieke elementen in het zeewater die door de hydrothermale bronnen worden uitgestoten. Heb je dan zo'n pluim van elementen in het zeewater gelokaliseerd, dan kun je vervolgens met onderwaterrobots of kleine bemande duikboten naar die plekken duiken. Op die manier krijgen we beelden, foto's en video's, van de hydrothermale bronnen en kunnen gesteentemonsters en dieren voor onderzoek worden verzameld (Afb. 6).

Het staat buiten kijf hoe fantastisch dit werk is. Je waant je als een astronaut op aarde als je in zo'n duikboot mag instappen om daarna twee uur lang af te dalen door absolute duisternis totdat de bodem is bereikt en de schijnwerpers aangaan. Je ziet dingen die maar heel weinig mensen ooit te zien krijgen, en bijna altijd zie je dingen die nog helemaal nooit iemand gezien heeft. Onder water strekt

zich een barre en zeer extreme wereld uit die gevormd is door explosief vulkanisme. Het is een onbarmhartige wereld, koud, donker en de druk is fenomenaal. In 2006 en 2009 mocht ik mee in de Amerikaanse duikboot Alvin om te duiken naar de East Pacific Rise, een gebied op de zeebodem dat rijk is aan hydrothermale bronnen. In de Alvin is plek voor maar drie personen: een piloot en twee onderzoekers (Afb. 7). Je moet niet al te claustrofobisch zijn. Het hart van de duikboot bestaat uit een bal van titanium van 2 meter doorsnee met een paar kleine raampjes. De rest van de duikboot hangt daar aan een frame omheen. Tegenwoordig wordt meestal met onderwaterrobots gewerkt (ROVs - remotely operated vehicles), omdat je dan 24 uur per dag, zeven dagen per week kan werken (Afb. 9).

### Extreme levensvormen

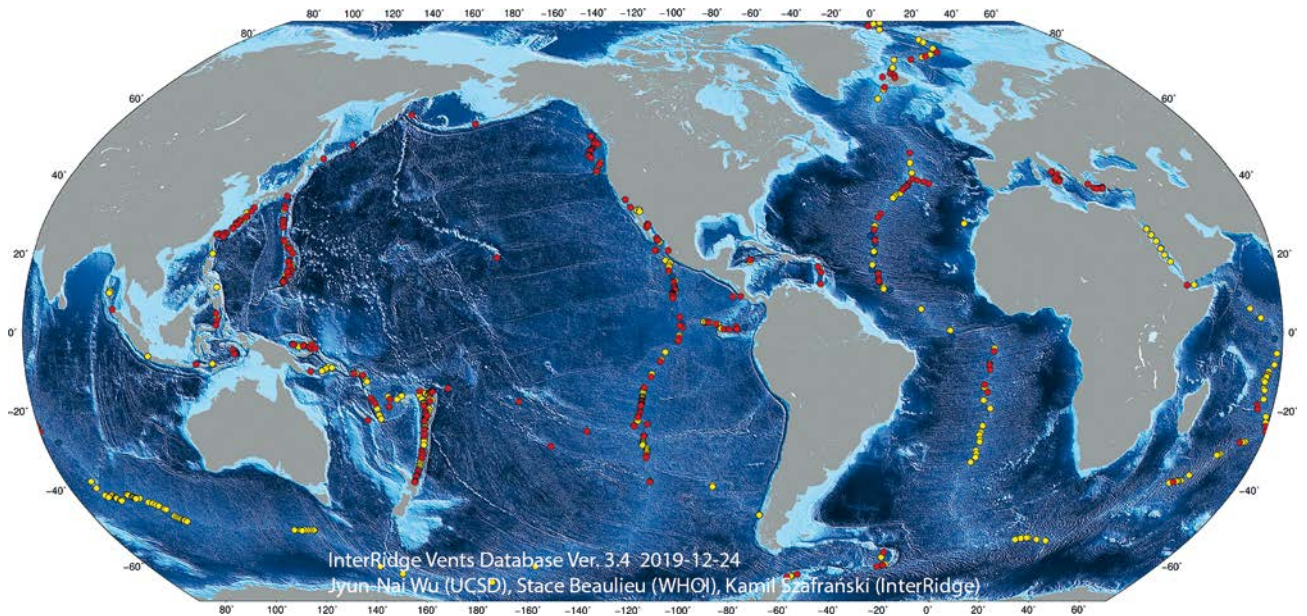
Kokerwormen (*Riftia pachyptila*) behoren tot de meest bijzondere dieren die op hydrothermale bronnen leven (Afb. 8). Ze worden tot een meter lang, eten niet, en hebben dus ook geen mond. Ze gebruiken bacteriën die intern in een zak zitten en die de



AFBEELDING 2. | Afbeelding van het proces waar oceaانwater door kleine spleten in de aardkorst sijpelt, door magma opgewarmd wordt en daarbij chemisch verandert. Op plekken waar de korst het dunst is, wordt het hete en mineraalrijke water weer naar buiten geperst. Afbeelding van National Oceanic and Atmospheric Administration vectorization. <http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/02fire/background/hirez/chemistry-hires.jpg>, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15807891>





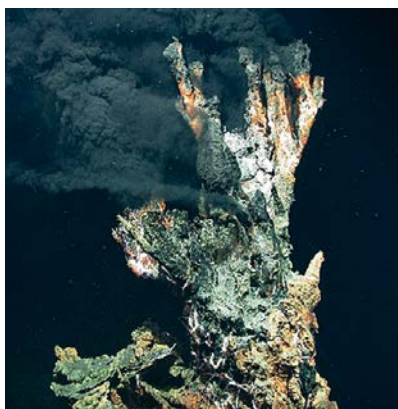


AFBEELDING 3. | Kaart met hydrothermale bronnen die als puntjes verspreid op de oceanische rug voorkomen. Kaart van Jyun-Nai Wu (University of California San Diego), S. Beaulieu (Woods Hole Oceanographic Institution), and K. Szafranski (InterRidge), 2019; funding from U.S. National Science Foundation #1829773.

energie van de hydrothermale vloeistoffen in voedsel voor de worm omzetten. *Riftia pachyptila* leeft alleen maar op hydrothermale bronnen langs de Oost-Pacifische Rug. Een andere worm *Alvinella pompejana*, ook wel bekend als de Pompeii-worm (“the hottest animal on earth”), leeft direct op de Zwarte Rokers en verdraagt temperaturen van boven de 80°C. Nog vreemder is de garnaal *Rimicaris*, die in de Atlantische Oceaan voorkomt. Zonder ogen en altijd dansend op het randje van de vulkaan, moet *Rimicaris* constant in de extreme hete soep zwemmen om de bacteriën die

op zijn lichaam groeien van voldoende energie te voorzien. Zwemt *Rimicaris* echter te ver de soep in dan wordt hij levend gekookt. Toch gebeurt dat vrijwel nooit, want ook zonder ogen is *Rimicaris* met behulp van een speciaal orgaan in staat de straling die van de hydrothermale bronnen afkomt te “zien”. Ook is er een slak (*Chrysomallon squamiferum*, Afb. 10) die in de Indische Oceaan leeft en die mineralen uit de hete vloeistoffen op zijn slakkenhuis en voet afzet om zich zo beter tegen de hitte te kunnen beschermen. De “grote” dieren – variërend van een aantal centimeters tot een meter – bieden ook weer leefruimte voor “kleinere dieren”, zoals schaalhorentjes (een soort slak), kleine wormen en kleine kreeftachtigen (Afb. 11). En nog steeds worden er zeer regelmatig geheel nieuwe soorten ontdekt. Samen vormen ze een uniek ecosysteem, een voedselrijke oase in de voedselarme diepzee.

De beesten die bij hydrothermale bronnen leven zijn uniek en komen alleen daar voor. Het zijn dus endemische soorten. Het blijft vooralsnog een mysterie hoe de dieren het voor elkaar krijgen om van de ene hydrothermale bron naar



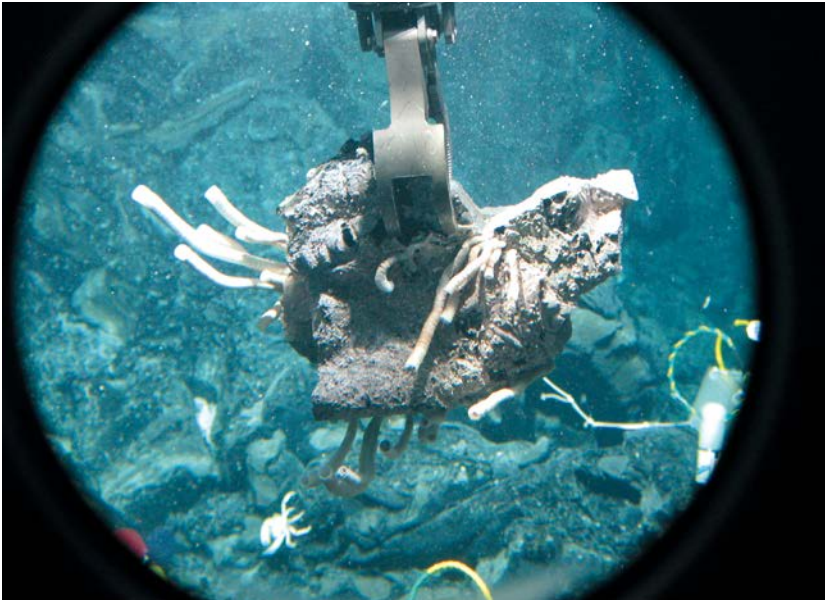
AFBEELDING 4. | Foto van een actieve “Zwarte Roker”. De zwarte mineraalrijke vloeistoffen zijn rond de 350°C heet. Wikimedia. Origineel van <https://www.marum.de/Entdecken/Tiefsee.html>.



AFBEELDING 5. | Foto van inactieve “Zwarte Rokers”. Bij inactieve “Zwarte Rokers” zie je nog wel de mineraalrijke schoorstenen, maar de vloeistoffen zijn verdwenen. Foto genomen met de “NIOZ hopper”, een soort slee die vanuit een onderzoeksschip aan een staaldraad een aantal meters boven de oceaangrond voortgetrokken wordt en beelden in grote waterdieptes kan maken. Foto van NIOZ, tijdens NICO12 expeditie naar “Rainbow vent” in 2019 (expeditie leider Sabine Gollner).







AFBEELDING 6. | Foto vanuit het raam van een onderzeeër. De robotarm van de onderzeeër grijpt een stuk basalt, waarop kokerwormen zich vastgezet hebben. Foto: Monika Bright.

de andere bron te komen. Veel dieren zitten vast of kunnen niet zwemmen, en hun verspreiding gaat dus alleen maar via vrij zwemmende larven. Maar hoe weten die larven waar de dichtstbijzijnde hydrothermale bron is, die soms 10 tot 100 kilometers verderop ligt? Via genetisch onderzoek weten we dat de populaties tussen verschillende hydrothermale bronnen vaak goed gemengd zijn en dat oceaanstromingen een belangrijke rol spelen in de verspreiding van de larven. Waarom is dit belangrijke informatie? Dat heeft alles te maken met de link tussen de biologie, de geologie en diepzeemijnbouw.

### Diepzeemijnbouw

Het zal iedereen langzaam duidelijk zijn. Onze soort zal niet rusten totdat de gehele planeet geannexeerd is en beschikbaar is voor exploitatie. Goedschiks of kwaadschiks. Ook de diepzee zal het moeten ontgelden. Er liggen onnoemelijke hoeveelheden economisch belangrijke ertsen. De black smokers en de gebieden eromheen zitten vol met metalen zoals ijzer, koper, tin, zilver en goud. Maar er is een probleem. Er leven veel bijzondere beesten, zelfs in gebieden die uitge-

doofd lijken. Er is ook verzet. Onlangs lieten BMW, Volvo, Google en Samsung een persbericht verspreiden waarin ze de wereld oproepen geen metalen uit de diepzee te gebruiken voor hun producten, omdat de schade die mijnbouw in de diepzee zou kunnen veroorzaken niet goed in te schatten is. Greenpeace stuurde in april/mei 2021 het schip de Rainbow Warrior II midden naar de Pacifische Oceaan om tegen een mijnbouwtest op de diepzeevlaktes te protesteren.

Eigenlijk is de gehele diepzee rijk aan metalen – die komen niet alleen voor bij hydrothermale bronnen, maar ook



AFBEELDING 7. | Foto van de Amerikaanse duikboot Alvin. Foto: Sabine Gollner.



AFBEELDING 8. | Foto van kokerwormen *Riftia pachyptila*, met anemonen die tussen de kokerwormen leven. De kokerworm krijgt voedsel van de bacteriën in zijn/haar lichaam, maar heeft zelf geen mond. Foto van Wikimedia. Origineel van NOAA Galapagos Expedition 2011.



AFBEELDING 9. | Foto van de Amerikaanse onderwaterrobot Jason. Foto: Sabine Gollner.

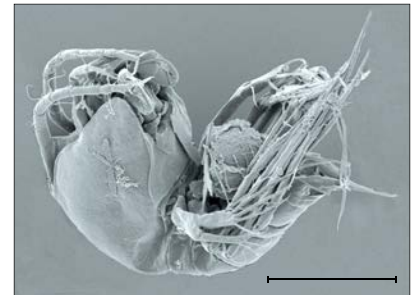




bij zeebergen en vooral ook in mangaanknollen (zo groot als aardappels) op de diepzeevlaktes (Afb. 12). Veel van deze waardevolle grondstoffen liggen in internationale wateren in “Het Gebied” (*The Area*). Het Gebied is een juridische term die de zeebodem beschrijft die 200 nautische mijlen van de kust vandaan ligt, dus buiten de economische zone van de landen. De internationale zeebodem wordt beheerd door de Internationale Zeebodem Autoriteit (ISA – *International Seabed Authority*), waarin 167 staten zijn verenigd waaronder Nederland. Tot nu toe heeft de ISA contracten voor mineraalexploratie aan diverse landen en organisaties uitgegeven. Die landen hebben samen een gebied ter grootte van de Europese Unie geclaimd. Op dit moment wordt er aan een “mijnbouw code” gewerkt, wetgeving die mijnbouw in de diep-zee (*exploitation phase*) in goede banen zal moeten leiden. Het Gebied is gemeenschappelijk erfgoed van de gehele mensheid. De ISA heeft de plicht om diepzeemijnbouw goed te reguleren, controleren, en om het milieu te beschermen tegen de schadelijke effecten van mijnbouw. En hier wringt de schoen – weten we wel genoeg om het milieu ook echt te kunnen beschermen?

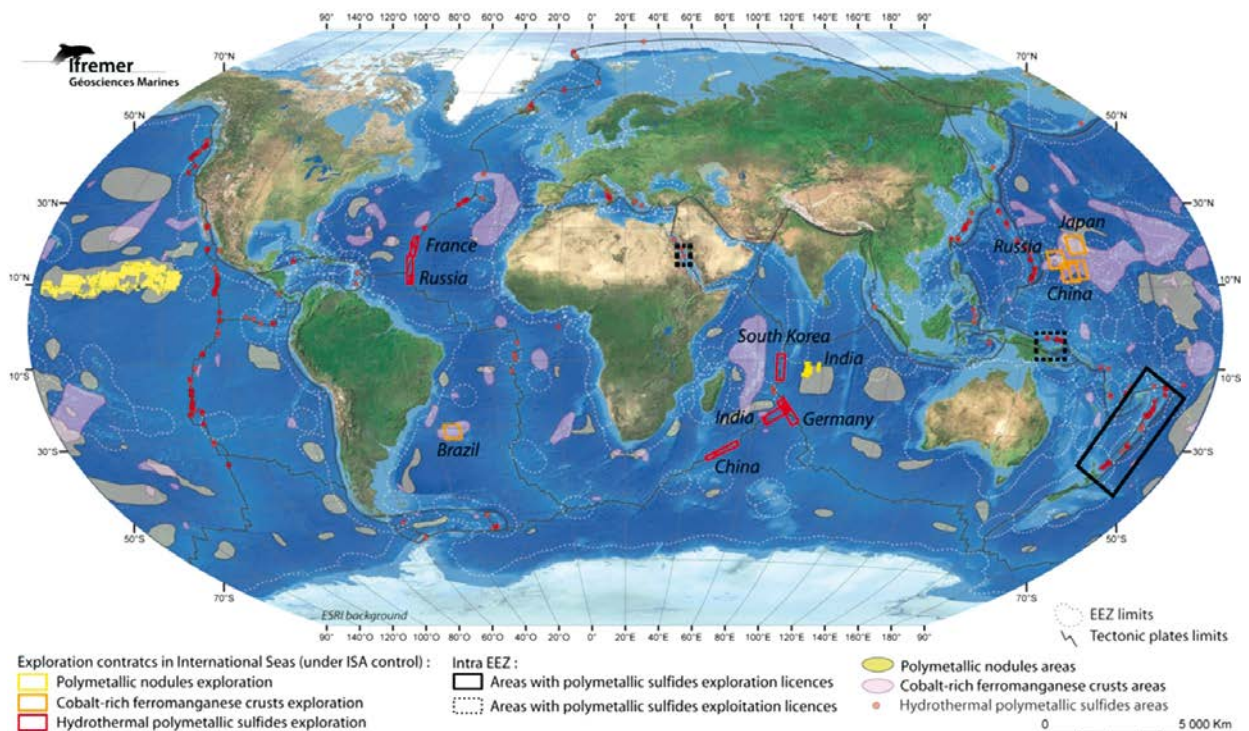


AFBEELDING 10. | Foto van de slak *Chrysomallon squamiferum*. De slak is ~5 cm groot en beschermt zich tegen hitte met behulp van metalen platen die hij/zij op de voet laat groeien. Foto: Wikimedia. Original van Chong Chen et al. DOI: 10.1186/s12862-017-0917-z.



AFBEELDING 11. | Foto (met Scanning Electronen Microscoop) van de kleine kreeft *Smacigastes barti*. Deze copepod is kleiner dan 1 mm in lengte en leeft tussen de kokerwormen. De allermeeeste kleine dieren bij hydrothermale bronnen zijn tot nu toe onbekend en hebben nog geen wetenschappelijke naam gekregen. Foto: Sabine Gollner.

Op de vraag of er echt hydrothermale bronnen zullen worden ontgonnen en of er op grote schaal mangaanknollen zullen worden opgezogen in de nabije toekomst kan niemand echt antwoord geven. We hebben veel meer metalen nodig om de broodnodige energietransitie met alle windmolens, zonnepanelen en elektrische auto's voor elkaar te boksen. Om nog maar te zwijgen over een expansie in ruimtevaart en andere hoogwaardige technologie. Maar waar komen niobium, nikkel, koper en al die andere zeldzame metalen die nodig zijn voor halfgeleiders in de toekomst vandaan? Van land? Van zee? En hoe kunnen we de circulaire economie vormgeven? Uiteindelijk zal de ISA middels hun 167 lidstaten het antwoord moeten geven. Als wetenschapper is het mijn taak om degelijk fundamenteel onderzoek te leveren over wat waar leeft en hoe weerbaar de ecosystemen en soorten bij verstoring zullen zijn. Werk aan de winkel dus!



AFBEELDING 12. | Kaart met mineraalrijke gebieden in internationale en nationale wateren. Vele gebieden worden onderzocht of ze geschikt zijn voor mijnbouw (exploratie), in sommige nationale gebieden zijn al mijnbouw licenties (exploitatie) verstrekt. Kaart van IFREMER.

