

# Schatten van de zeebodem

## Mineraalvorming bij black smokers

door Peter Kraal en Sabine Gollner, NIOZ  
peter.kraal@nioz.nl  
sabine.gollner@nioz.nl

In de zomer van 2018 bezochten wij als wetenschappers verbonden aan het NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee de Mid-Atlantische Rug vlakbij de Azoren, Sabine als marien bioloog en Peter als geochemicus. In het kader van de NICO-expeditie (zie kadertekst onderaan deze pagina) voeren we met het onderzoeksschip *Pelagia* over de uitgestrekte onderwater-bergketen. Dit is een bijzondere plek in de Atlantische Oceaan, waar nieuwe aardkorst wordt gevormd en waar uitzonderlijk veel tektonische, chemische en biologische activiteit is. Hier komen onderzeese geisers (hydrothermal vents) voor, waar heet en metaalrijk water via breuken uit de zeebodem stroomt. Ons reisdoel, de 'Rainbow' hydrothermal vents, ligt rond 36° noorderbreedte en 34° westerlengte (afb. 3 en 4). Mid-oceanische ruggen vertegenwoordigen unieke ecosystemen, waarop de diepzeemijnbouw het heeft gemunt vanwege de zeldzame aardmetalen, zoals neodymium en yttrium. Deze chemische elementen zijn essentieel voor het gebruik in moderne technologie, zoals smart phones en zonnepanelen. Met behulp van geavanceerde apparatuur konden wij tijdens de NICO-expeditie een kijkje nemen op dit deel van de Mid-Atlantische Rug en monsters nemen op maar liefst 2 km onder de zeespiegel!

### Gigantische bergketen

De diepzee herbergt eindeloze vlakten waar zonlicht niet reikt en waar het leven afhankelijk is van de minieme hoeveelheden voedsel dat uit oppervlaktewateren neerdaalt. Weinig eten en weinig leven in een vlak landschap, waar per jaar minder dan één millimeter sediment wordt afgezet. Hoe anders is het rond de Mid-Atlantische Rug! Deze gigantische onderzeese bergketen strekt zich uit over zo'n 16.000 km op de bodem van de Atlantische Oceaan, met pieken die tot wel 3 km boven de zeebodem reiken.

Deze uitgestrekte geologische structuur ligt in het midden tussen de continenten van Noord- en Zuid-Amerika enerzijds en Europa en Afrika anderzijds en markeert de grens waar de continentale platen uit elkaar bewegen (afb. 3A). Hier is de jonge aardkorst erg dun en rijst magma op uit de diepte, met intense tektonische en geothermale activiteit en een uniek diepzee-landschap tot gevolg. De tektoniek en breuksystemen zorgen voor chemische reacties tussen zeewater en gesteenten; het



Afb. 1. Peter Kraal, als geochemicus verbonden aan NIOZ.  
Foto: Auke-Florian Hiemstra

onderliggende magma zorgt voor hoge watertemperaturen die de chemische reacties en het leven op deze plekken sterk beïnvloeden.

### Black smokers

Het gesteente bij Rainbow, waar wij onderzoek hebben gedaan, bestaat uit peridotiet. Dit is een ultramafisch stollingsgesteente, voornamelijk bestaande uit olivijn en pyroxeen, dat relatief arm is aan silica en relatief rijk aan o.a. ijzer. In dit landschap vol bergen en breuken worden deze mineralen blootgesteld aan zee-

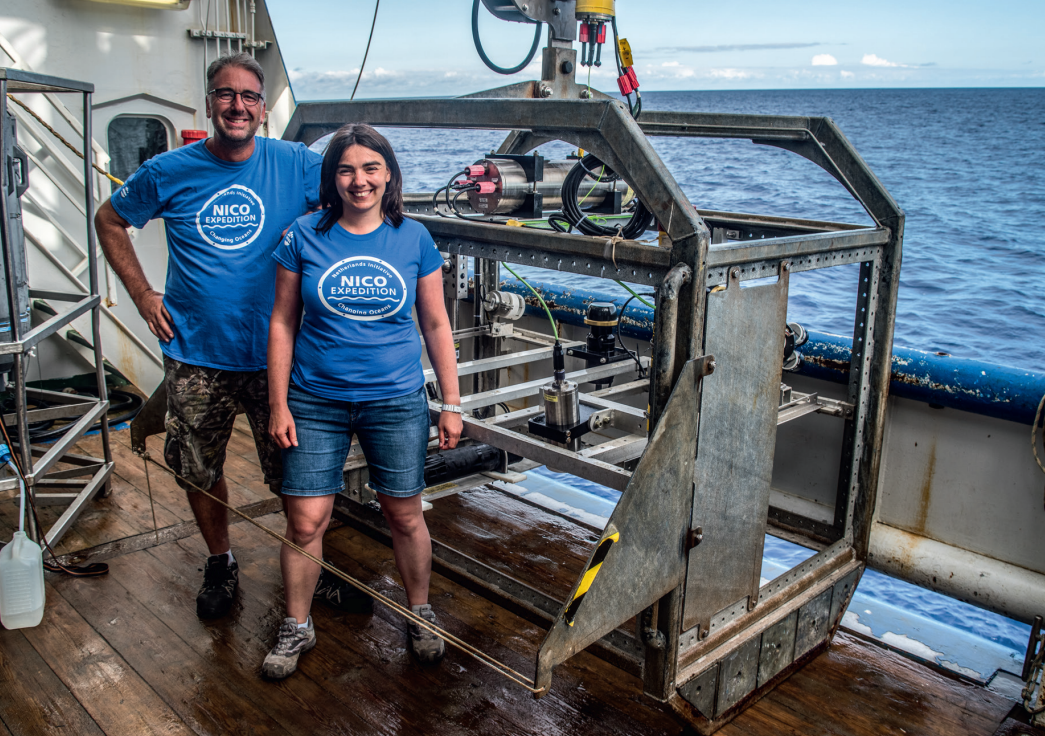
### NICO-expeditie

In de periode december 2017 tot juli 2018 voer onderzoeksschip *Pelagia* van het NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee over de Atlantische Oceaan in het kader van de NICO-expeditie (National Initiative Changing Oceans). NICO is een initiatief van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). In twaalf legs (een leg is een periode van zeeonderzoek in een bepaald gebied) is uiteenlopend oceanografisch onderzoek gedaan.

Tijdens de laatste etappe, in juli 2018, bezocht een onderzoeksteam van het NIOZ het 'Rainbow' black smoker-veld, gelegen op de Mid-Atlantische Rug, zo'n vijfhonderd kilometer ten zuidwesten van de Azoren. Met een arsenaal aan meetapparatuur, waaronder 'multibeam' sonar, een onderwatercamera en een zogeheten 'box corer' (waarmee de bovenste halve meter van de zeebodem onverstoorde omhoog kan worden gehaald), werd de zeebodem in kaart gebracht en bemonsterde het team zowel zeewater als sediment.

De auteurs van dit artikel zijn Peter Kraal (afb. 1) en Sabine Gollner (afb. 2). Peter Kraal werkt bij het NIOZ als marien geochemicus en heeft een passie voor mineraalvorming en -karakterisering. Sabine, als marien bioloog verbonden aan het NIOZ, heeft jarenlange ervaring op het gebied van de biologie en ecologie van black smokers. Voor beide auteurs was dit het eerste bezoek aan het Rainbow-gebied.

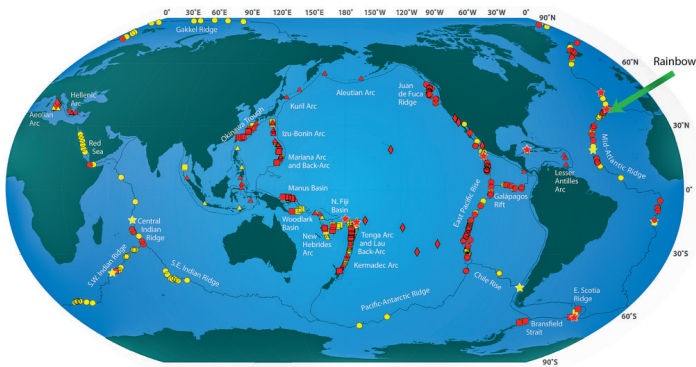




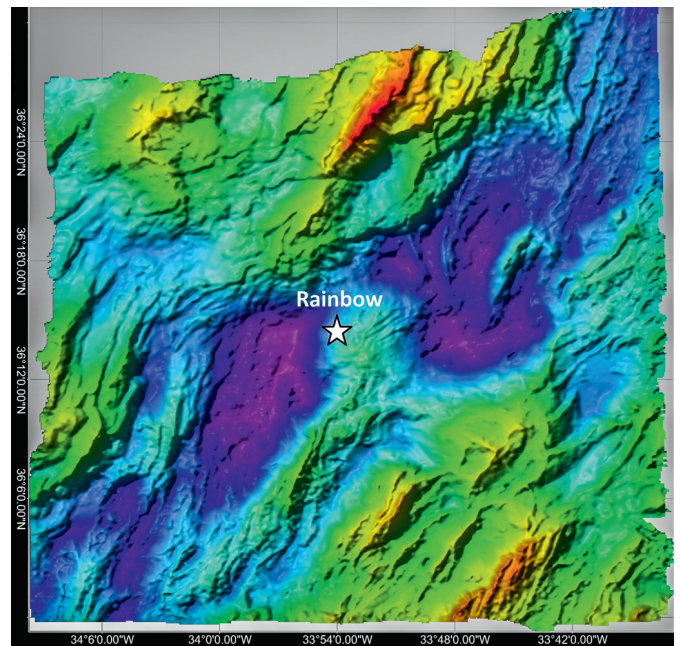
Afb. 2. Sabine Gollner, als marien bioloog verbonden aan het NIOZ.  
Foto: Auke-Florian Hiemstra

Voor ons was het de eerste keer dat we dit gesteente ‘vers’ van de zeebodem omhoog haalden, en het verraste ons: het is blauw-groen, broos en heeft een textuur die meer aan organische vezels doet denken dan aan kristallen. De dynamische condities waaronder mineralen in dit gebied worden (om) gevormd, komen prachtig tot uiting in de secundaire mineralen die op het serpentieniet zichtbaar zijn: van roestkleurige ijzer(hydr)oxides tot glimmende pyrietkristallen (afb. 5).

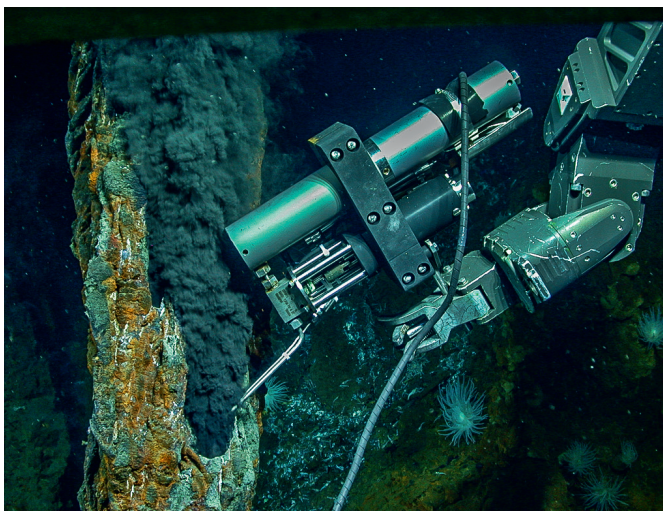
Tegelijkertijd zorgen de chemische reacties bij hoge temperaturen tussen het gesteente en het zeewater dat de bodem is binnengedrongen voor zuurstofloosheid en hoge concentraties van waterstofsulfide ( $H_2S$ ) en zeldzame aardmetalen in het zeewater, dat onder druk via de vele breuken vanuit de zeebodem weer terug de diepzee in spuit. Zo ontstaan onderwatergeisers, waar contact met het koude zeewater ervoor zorgt dat de opgeloste sulfiden en metalen neerslaan. Rond de bron worden



Afb. 3A. Distributie van onderwatergeisers met in rode gevulde cirkels actieve geisers geassocieerd met mid-oceanische ruggen. De dikke zwarte lijnen geven de grenzen tussen de continentale platen aan. De groene pijl wijst naar de actieve geisers in het Rainbow-gebied. Bron: InterRidge Vents Database, open access.



Afb. 4. Kaart van de zeebodem rond Rainbow. De groene en blauwe kleuren laten een onderzees berglandschap zien dat vele honderden meters boven het diepste deel van de zeebodem (blauw en paars, ruim 3 km onder de zeespiegel) uitsteekt. De kaart is gemaakt met de multibeam sonar aan boord van Pelagia tijdens een eerdere NIOZ-expeditie naar Rainbow. Bron: Henko de Stijger, NIOZ.



3B. Een actieve black smoker bij de Mid Cayman Rise. Foto: Chris German; copyright Woods Hole Oceanographical Institute.

water van meer dan 400 graden Celsius. Het peridotiet wordt door de chemische reactie met water omgezet naar serpentieniet, een gehydrateerd metamorf gesteente met een compleet andere structuur en textuur dan het oorspronkelijke gesteente.

met name metaalsulfiden gevormd. De neerslag vormt grillige schoorstenen rond de plekken waar het water de zeebodem uitstroomt. De kleur van het water hangt vooral af van de hoeveelheid sulfide. Wanneer er sulfiderijk zwart water uit spuit (afb. 3B), worden deze schoorstenen *black smokers* genoemd, zoals ook het geval is in ons onderzoeksgebied bij de Azoren. Actieve black smokers zijn niet altijd makkelijk te vinden, en waren tijdens eerdere Nederlandse expedities in dit gebied nog



niet vastgelegd. De opwinding was dan ook groot toen de onderwatercamera, die aan een kilometerslange kabel vlak boven de zeebodem over het rotsige landschap werd voortgetrokken, een hele rij actieve black smokers op twee kilometer diepte in beeld bracht (afb. 6). Jackpot! Het beeld werd verduisterd door de enorme zwarte en bruine pluimen, die vele tientallen meters boven de schoorstenen uittorenden. De wetenschappers die in de videokamer aan boord live meekeken, stonden gefascineerd naar het spektakel. Een enkeling vroeg zich af of het zo dicht bij actieve smokers niet te heet zou worden voor de apparatuur. Maar wij bleven tijdens onze experimenten op veilige afstand van de bloedhete monden van de black smokers, dus daarover hoefden we ons geen zorgen te maken.

### Rijk ecosysteem

Ondanks de neerslag van metaalsulfiden is het geiserwater rondom de Rainbow black smokers nog steeds rijk aan opgelost waterstofsulfide ( $H_2S$ ) en metalen, zoals ijzer, mangaan, koper en zink. Het lijkt een gemene combinatie: vloeistoffen met daarin opgelost elementen die essentieel zijn voor micro-organismen, maar dan wel bloedheet en rijk aan het giftige  $H_2S$ . En dat op de bodem van de diepzee, waar geen zonlicht doordringt en heel weinig voedsel aanwezig is om een ecosysteem te onderhouden. Maar de eeuwig vindingrijke natuur heeft deze uitdagingen met verve het hoofd geboden: de black smokers vormen de basis voor een onverwacht rijk ecosysteem.

### Chemosynthese

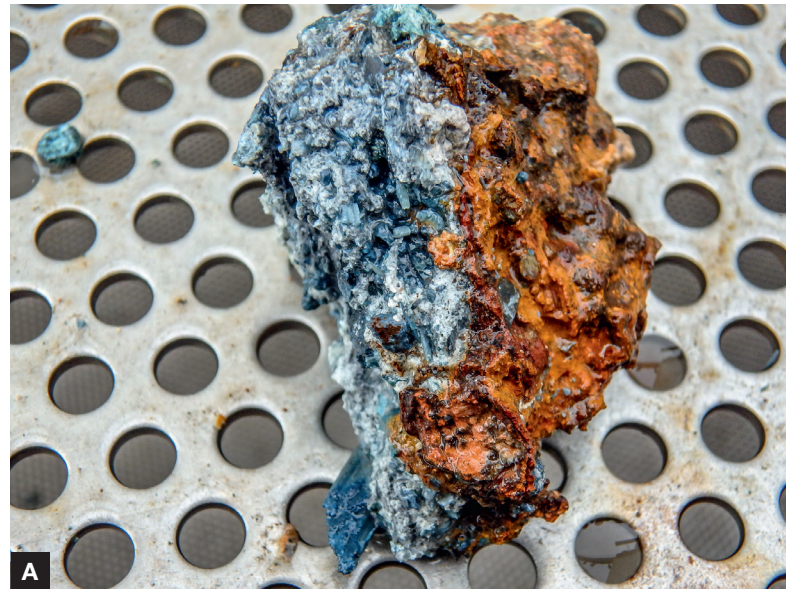
Bacteriën die de hoge temperaturen kunnen weerstaan, gebruiken de energie uit de oxidatie van  $H_2S$  (waterstofsulfide) om organische moleculen te vormen uit simpele koolstofverbindingen in het water dat uit de black smokers spuit, zoals  $CO_2$  (koolstofdioxide) en  $CH_4$  (methaan). Dit proces van bacteriële *chemosynthese* produceert het voedsel dat de basis vormt van een rijk en divers ecosysteem van microben en grotere organismen; dit ecosysteem is in staat om onafhankelijk van zonlicht en extern voedsel (normaal geproduceerd door fotosynthese in oppervlaktewateren) te bestaan. Dit leidt tot unieke oases van leven in de diepzee. De chemische processen rond de black smokers, en met name de productie van organische moleculen uit simpele koolstofverbindingen, worden ook wel gezien als een mogelijk cruciaal element in het ontstaan van leven op aarde.

### Bron van voedingsstoffen

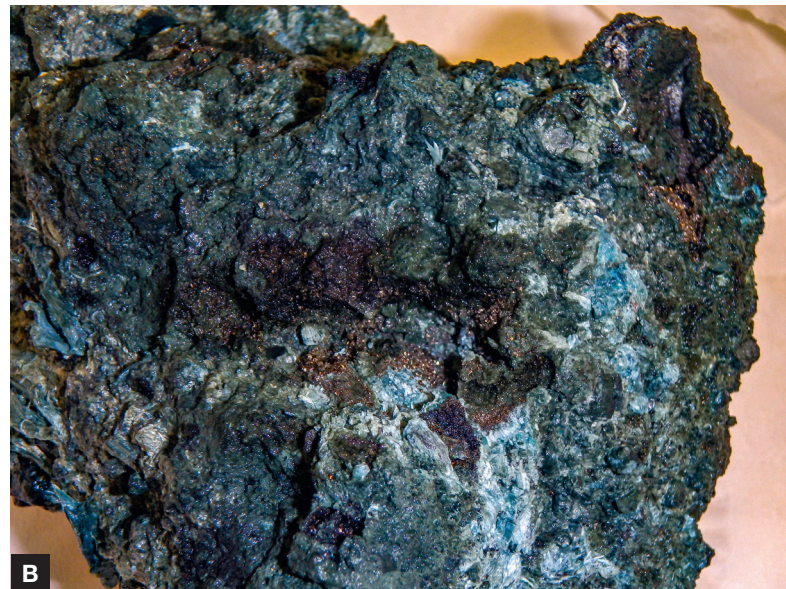
De impact van black smokers reikt nóg verder. Op enige afstand van de bron leidt de oxidatie van gereduceerde metalen uit de black smokers (in het Rainbow-gebied met name ijzer en mangaan) in het zuurstofhoudende en koude diepzeewater tot de neerslag van metaaloxides. Zo ontstaat een sterke mineralogische gradiënt van metaalsulfiden bij de bron naar metaaloxides op grotere afstand ervan. Het grootste deel van deze mineralen slaat binnen een paar kilometer van de bron neer; het effect hiervan is op de schaal van de uitgestrekte oceaانبodem dan ook beperkt. Een klein deel van de essentiële metalen zoals ijzer kan - gebonden in organische en minerale complexen die zo klein zijn dat ze blijven zweven in het water - echter afstanden tot wel duizenden kilometers afleggen. Onderwatergeisers spelen daarom mogelijk een belangrijke rol in de beschikbaarheid van essentiële elementen in oceaانبekkens. Periodes van intense tektoniek en onderwatervulkanisme in de aardse geschiedenis worden daarom wel geassocieerd met een toename in de beschikbaarheid van voedingsstoffen in de oceanen.

### Analyse van zeewater bij de black smokers

Vanuit onze interesse in de chemische processen in de waterkolom en het sediment, die leiden tot de (om)vorming van mineralen, hebben wij mineralen uit de waterkolom verzameld. Hiertoe

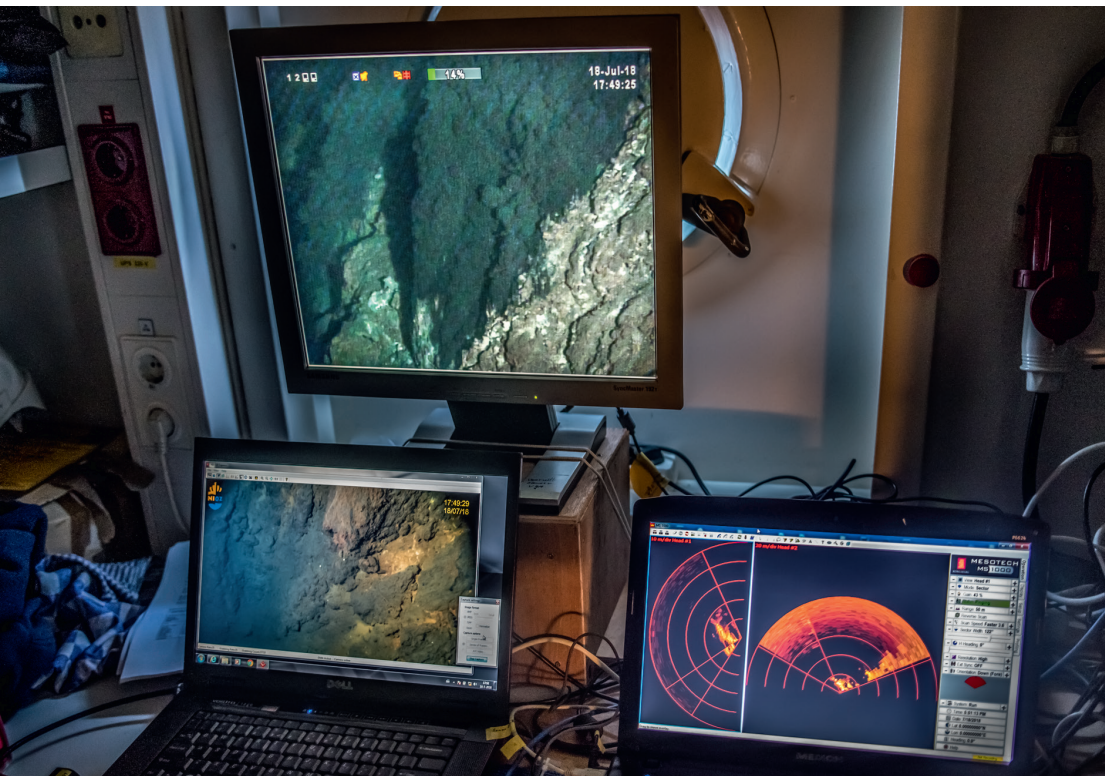


Afb. 5A. Fragment van serpentiniet dat aan de rechterzijde is bedekt met ijzer(hydr)oxide. 5B. Fragment van serpentiniet met glimmende goudkleurige en zwarte pyrietkristallen. Foto's: Peter Kraal.



filterden wij het gesuspendeerde materiaal (alles groter dan 0,2 micrometer) uit tien liter van het water dat we direct boven de black smokers hadden verzameld. Deze gesuspendeerde fractie bevat alles dat in het water rond dwarrelt, van algen tot zinkend woestijnstof, maar ook de mineralen die in de diepe wateren zijn gevormd door oxidatie en neerslag van opgeloste metalen. 'Normaal' water uit de diepzee bevat over het algemeen zo weinig deeltjes, dat er op filters bijna niets te zien valt. Op deze plek vielen wij echter met onze neus in de boter! De filters bleken na afloop bedekt te zijn met een dikke laag materiaal in een verscheidenheid aan bruintinten (afb. 7). Dit materiaal bestaat waarschijnlijk voor een belangrijk deel uit ijzer- en mangaanmineralen; de hoge temperatuur in de zeebodem bij Rainbow leidt bij de chemische reactie tussen zeewater en gesteente tot extreem hoge concentraties van ijzer en mangaan, en bijvoorbeeld ook kobalt en nikkel. Het onderzoeksschip *Pelagia* is ook een drijvend laboratorium, wat ons in staat stelde de eerste chemische analyses al aan boord uit te voeren. Deze laten zien dat de mineralen, die zich vormen wanneer de opgeloste metalen uit de black smokers in contact komen met zeewater, belangrijke voedingsstoffen, zoals fosfor, uit het zeewater opnemen. Zo spelen de black smokers





Afb. 6. De beeldschermen in de videoruimte waarop we de camerabeelden van twee kilometer diepte real-time volgen. Eén camera kijkt naar voren, één naar beneden; allebei leggen ze de zwarte wolken vast die uit black smokers spuiten. Rechts onder een sonarbeeld van de zeebodem. Foto: Auke-Florian Hiemstra.

schaaldiertjes die een belangrijke rol spelen in de voedselketen rond black smokers) oude mosselbanken als voedseldeposits gebruiken, terwijl ze naar nieuwe actieve smokers migreren. Eén van de doelen van dit experiment is om er achter te komen of dieren nieuwe actieve smokers en het bijbehorende voedsel kunnen bereiken nadat hun habitat door diepzeemijnbouw is vernietigd.

### Onvergetelijke ervaring

Los van de mogelijk zorgelijke ontwikkelingen rond diepzeemijnbouw hebben we enorm genoten van de tocht. De open oceaan is een overweldigende

een fascinerende dubbelrol als *source* én *sink* voor chemische elementen die belangrijk zijn voor het leven in de oceaan.

### Terug aan wal

Nu we weer terug aan land zijn, zullen we de chemie en mineralogie van de monsters genomen tijdens de hier beschreven expeditie uitgebreid gaan onderzoeken met behulp van geavanceerde technieken, zoals röntgenstraling-absorptie. Lichtabsorptie door onder meer ijzer- en mangaanatenomen vertellen ons heel veel over de omringende structuur, en daarmee over de mineralogie van de deeltjes in de waterkolom.

Maar wij, en dan vooral Sabine en haar team, kijken ook naar andere facetten. De honger naar metalen van de technologische industrie is niet te stillen, en het ontginnen van de mineraalvoorraden rond black smokers in de diepzee wordt een steeds realistischer optie. Bedrijven zijn druk doende om de technologie voor diepzeemijnbouw te ontwikkelen en er worden steeds meer contracten uitgeschreven die exploratie en in toekomst ook exploitatie in de diepzee mogelijk zullen maken.

Het Rainbow-veld is echter beschermd gebied, maar vergelijkbare black smoker-velden staan wel op de radar van de diepzeemijnbouwbedrijven.

### Verstoring door mijnbouw

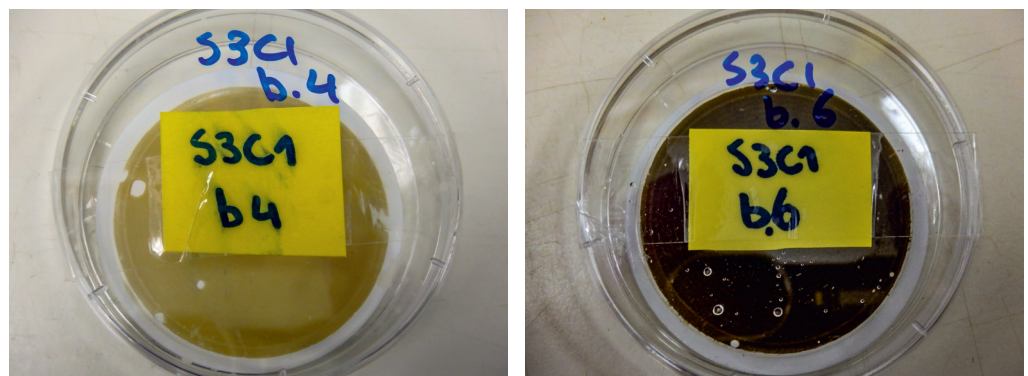
Voor zowel wetenschappers als commerciële bedrijven is het een uitdaging om op grote diepte te werken. Bovendien weten we nog maar heel weinig over deze unieke ecosystemen, hoe mijnbouwactiviteiten tot verstoring ervan kan leiden en of herstel mogelijk is.

Momenteel experimenteert Gollner met het afzinken van pakketten dode mosselen op enige afstand van actieve black smokers bij Rainbow. Ze wil onderzoeken of copepoden (kleine

en inspirerende werkplek en de kameraadschap tussen wetenschappers en bemanning op de *Pelagia* werkte verkwikkend tijdens de lange dagen vol hard werk. Het was een onvergetelijke ervaring om met camera's, sensoren en andere geavanceerde apparatuur in zo'n uniek diepzeesysteem te 'duiken'. Uiteindelijk blijven verwondering en nieuwsgierigheid sterke drijfveren bij zeeonderzoek en daarin voorzag het Rainbow-project overvloedig.

De 'videoreis' door het veld van actieve black smokers was een smakelijke kers op de taart, en boezemde ontzag in voor de impact van tektoniek en geologie op de diepzee. Met de koelkasten en vriezers vol monsters voeren we terug naar huis. Om hopelijk snel terug te keren. De druk waaronder deze ecosystemen mogelijk komen te staan, vereist in ieder geval dat we hun functioneren snel beter leren begrijpen.

Lees meer over de NICO-expeditie op [www.nico-expeditie.nl/route/12-horta-terceira](http://www.nico-expeditie.nl/route/12-horta-terceira)



Afb. 7. Gelabelde en verpakte filters waarop alle deeltjes groter dan 0,2 micrometer zijn verzameld. De twee foto's geven de monsters weer afkomstig van twee verschillende dieptes in de waterkolom. De relatief dikke lagen materiaal komen uit de wolken van deeltjes die de black smokers uitspugen. De kleuren laten een variëteit aan deeltjes zien. In de ijzerrijke deeltjeswolken bij de Rainbow-black smokers zijn het waarschijnlijk verschillende ijzermineralen, zoals ferrihydriet  $Fe^{3+}_{10}O_{14}(OH)_2$ , lepidocrociet  $Fe^{3+}O(OH)$  en goethiet  $FeO(OH)$  (volgens de IMA-database), die de kleur op de filters bepalen. Foto's: Peter Kraal.