



*De diversiteit aan levensvormen in de schemerzone is ongekend hoog en omvat inktvissen, vissen, garnalen, roeipootkreeftjes, kwallen, wormen en zoveel meer. Uit Drazen et al. (2020) PNAS. Foto's door E. Goetze, K. Peijnenburg, D. Perrine, Hawaii Seafood Council (B. Takenaka, J. Kaneko), S. Haddock, J. Drazen, B. Robison, DEEPEND (Danté Fenolio), en MBARI.*

# DE SCHEMERZONE

## uniek, onbekend en onbemind

Jan Stel<sup>1</sup>

De jaarlijkse trek van miljoenen gnoes en zebra's op de eindeloze vlaktes in Oost-Afrika wordt weleens de grootste migratie op aarde genoemd. Maar dit klopt niet. De grootste – zij het door weinigen opgemerkte – trek is de dagelijkse migratie van miljarden organismen, van microben en kwallen tot inktvissen en vissen, in de zee. Elke avond stijgen ze op vanuit de 'twilight' of schemerzone, om voedsel te zoeken aan het oppervlak. Met de ochtendzon verdwijnen ze weer in de diepte. Dan verschijnen haaien, tonijnen en zwaardvissen ten tonele en wordt het voor hen te gevaarlijk. Dit is de grootste, maar zelden geziene, migratie op aarde. Als een Mexicaanse wave verplaatst deze dagelijkse migratie zich in de oceanische ruimte, de aarde rond. En wat meer is. Nieuwe technologie maakt deze voorheen onzichtbare wereld nu wel zichtbaar.

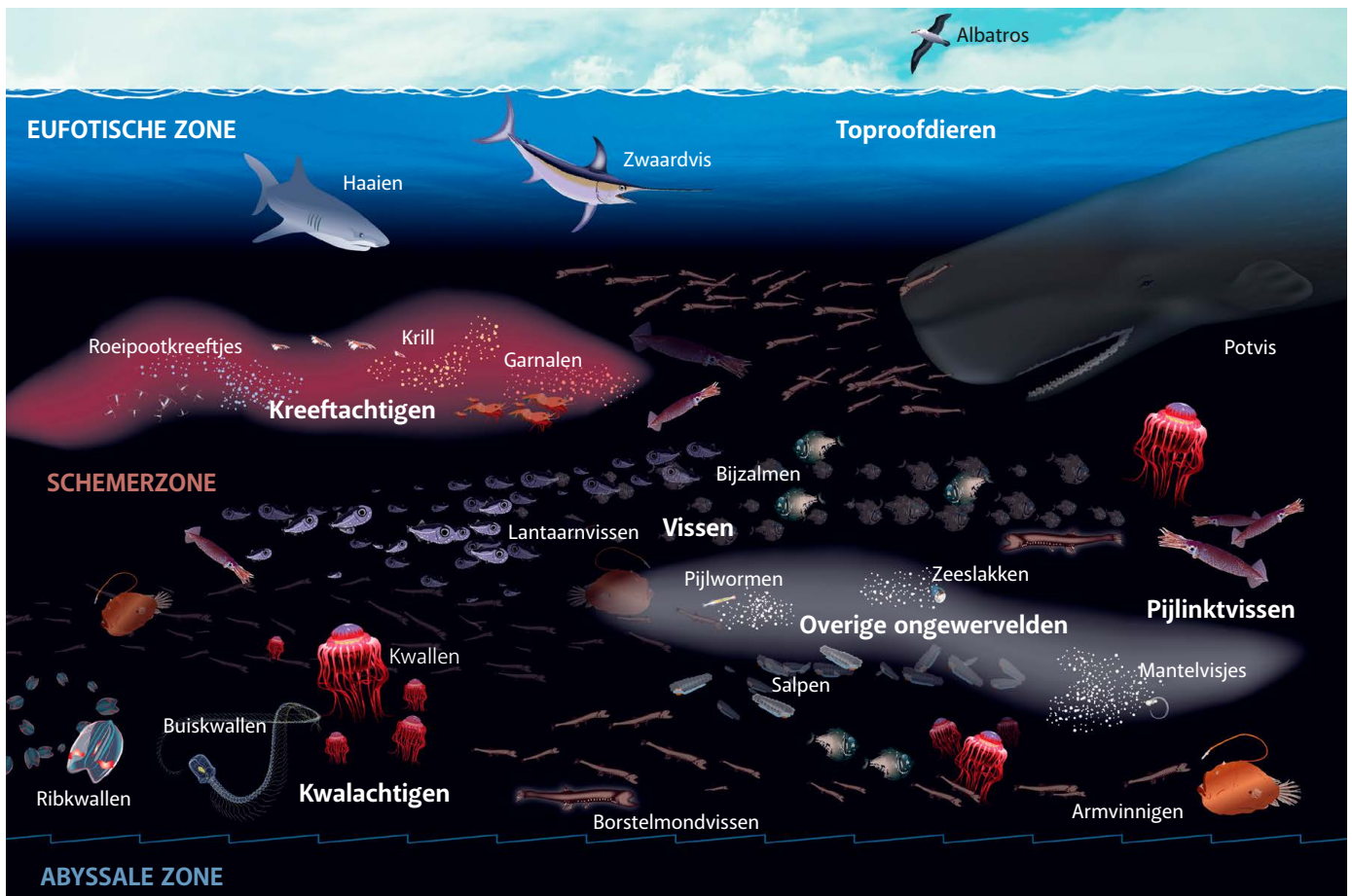
### TUSSEN LICHT EN DUISTERNIS...

Oceanografen delen de oceaan in verschillende dieptezones in. Belangrijk hierbij is hoe diep het zonlicht in het water doordringt. In de bovenste 200 meter is dat gewoonlijk geen probleem. Deze oppervlaktelaag – ook wel de epipelagische of fotische zone genoemd – is dan ook de best bestudeerde laag.

<sup>1</sup> Jan Stel; prof. em. 'Ocean Space and Human Activity', Universiteit Maastricht; [janstel@skynet.be](mailto:janstel@skynet.be)

Rond een diepte van 200 meter dringt er niet meer genoeg zonlicht door. Vanaf hier, tot op een diepte van gemiddeld 1000 meter, spreekt men van de mesopelagische zone of schemerzone. Daaronder begint de eeuwige, koude duisternis van de échte diepzee. Er is geen spoor van licht meer en het zichtbare leven is er minder uitbundig aanwezig. Fotosynthese of bladgroenwerking is er niet meer mogelijk. Fytoplankton, dat net als de bomen en planten op het land zonlicht nodig heeft om te groeien, kan er niet overleven. In de schemerzone is er nog heel wat leven, al zijn de hier voorkomende organismen

noodgedwongen afhankelijk van organisch materiaal (bv. dode dierlijke en plantaardige resten en uitwerpselen) dat vanuit de zonbeschenen oppervlaktelagen naar beneden dwarrelt. Deze 'mariene sneeuw' vormt in de schemerzone het voedsel voor micro-organismen, dierlijk plankton en andere diertjes die deze organische resten uit het zeewater filteren. Daarnaast leven er talloze schaaldieren, vissen, inktvissen en vele soorten gelatineuze dieren (kwallen, salpen, ribkwallen,...). Men neemt aan dat er tenminste een miljoen soorten leven die we nog niet kennen.



De mesopelagische of schemerzone bevindt zich tussen de (eu)fotische zone (tot 200 m) en de diepzee (vanaf 2000 m). De zone barst van het zeeleven dat er zich gedurende miljoenen jaren aangepast heeft aan het weinige licht en de hoge waterdruk. ©Woods Hole Oceanographic Institution, E.S. Taylor

## “ MEN NEEMT AAN DAT ER IN DE SCHEMERZONE TENMINSTE EEN MILJOEN SOORTEN LEVEN DIE WE NOG NIET KENNEN. ”

De grotere dieren hebben zich aangepast aan de snel verminderende hoeveelheid zonlicht. Vaak produceren ze zelf licht. Dit laatste fenomeen, bioluminescentie genoemd, is wijdverspreid bij dieper levende wezens. Andere dieren, zoals sommige vissen, hebben zich aangepast aan de schemerzone door de vorming van grote ogen (om beter hun voedsel te vinden) of door een inktzwarte 'coating' in de huid, waardoor ze zo goed als onzichtbaar zijn. Nog anderen, zoals inktvissen en schaaldieren, zijn doorzichtig waardoor ze nauwelijks opvallen. Dat allemaal om te voorkomen dat je wordt opgegeten. Want daar draait het eindeloze kat-en-muisspel in de natuur om: eten of gegeten worden.

Het is echter niet zo dat de diepzee, de oceanische ruimte beneden een diepte van 200 meter, scherpe grenzen kent. Die grenzen variëren afhankelijk van de fysische, chemische en biologische omstandigheden.

### EEN ANDERE WERELD

Een ribkwal die – als het beweegt – regenbogen laat zien, als in kleurrijke LED-strips. Een worm met draaiende gele tentakels waarmee het voedsel opneemt. Een vis met een ingebouwde hengel om een prooi te lokken. Een garnaal die 'lichtbommetjes' spuwt om aan een roofvis te ontsnappen. Krill, een migrerend garnaalachtig diertje dat zich uitbundig ontlast en zo koolstofhoudend afval naar de diepzee transporteert. Een potvis die op inktvissen jaagt in de schemerzone en het zeeoppervlak bemest met zijn uitwerpselen. Haaien die via eddies, honderden meters diepe draaikolken in de oceaan, snel naar de schemerzone afdalen om er op hun prooi te jagen. Dat is de wereld van de schemerzone.

Het zeeleven heeft er zich gedurende miljoenen jaren aangepast aan het weinige

licht en de hoge waterdruk. Het is er koud met in de onderste lagen temperaturen van nauwelijks 4°C. Er is ook weinig zuurstof in het water. Zo ontstond er een voor ons grotendeels onbekende en bizarre, science-fictionachtige wereld, met verbazingwekkende aanpassingen aan deze extreme omstandigheden. Hoe dieper je gaat, hoe vreemder het wordt.

### Licht in de duisternis

Zo produceren veel dieren hun eigen licht om zich te camoufleren, om roofdieren af te schrikken of om juist een prooi aan te trekken, en om te communiceren.

Een mooi voorbeeld uit deze duistere wereld is de garnaal *Acanthephyra purpurea*. Het diertje spuwt een verblindende, helderblauwe, bioluminescerende wolk in het gezicht van hongerige vissen. Het leidt de vis af of verblindt hem, waardoor de garnaal kan ontsnappen. In werkelijkheid is dit een veel ingewikkelder proces. De uitgespuwde wolk krijgt pas zijn verblindend, blauw oplichtend en beschermend effect na de reactie met zuurstof in het water. Zo voegt deze licht-spuwende garnaal zich bij de vele vissoorten in de diepzee die op de een of andere manier licht gebruiken



Drakvissen (*Idiacanthus antrostomas*) hebben vlak onder hun huid een speciale laag van pigmentcellen die ruim 99,5 % van het licht absorberen en waardoor ze er gitzwart uit zien. © Karen J. Osborn, Smithsonian Institution



De lantaarnhengelvis, *Melanocetus johnsonii*, is een bizarre aanpassing aan het leven in de schemerzone. © Monterey Bay Aquarium Research Institute, MBARI.

om te overleven. Uit onderzoek van het Amerikaanse toonaangevende Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI) in Californië, blijkt dat driekwart van de diepzeedieren hun eigen licht produceren. Wel komt het bij sommige diergroepen meer voor dan bij anderen. Bij neteldieren zoals kwallen, is dat bijna 100%, terwijl 'slechts' ongeveer de helft van de hier levende vissen en inktvissen kunnen oplichten. Omdat diepzeedieren de kleur rood niet kunnen zien komt dit soort licht regelmatig voor.

De donkerbruine of zwarte, vrouwelijke lantaarnhengelvis (*Melanocetus johnsonii*) is een ander bizar voorbeeld van aanpassing. In de media wordt ze soms getypeerd als 'je ergste nachtmerrie'. Het lijkt wel een creatie van de Zuid-Nederlandse kunstschilder Jeroen Bosch (1450-1516). Ze is zo groot als een tennisbal, maar ziet er duivels uit. Ze heeft een biologisch 'lampje' aan het einde van een 'hengel' op haar kop, waarmee ze een prooi lokt. Langzaam maar zeker leidt ze die naar haar enorme bek, dat een traliewerk van vlijmscherpe, naar achteren gerichte tanden heeft. Uiteindelijk zuigt ze haar prooi – die veel groter dan haarzelf kan zijn – met een bek vol water op. Het mannetje daarentegen, is een heel klein, tener visje met een grote 'neus' waarmee hij goed kan ruiken. Als hij een vrouwtje heeft geroken en gevonden, nestelt hij zich tegen haar onderbuik en vergroeit met haar. Hoe dit kan is lange tijd onduidelijk geweest. Uit recent onderzoek blijkt dat bij deze diersoort de genen ontbreken die in het immuunsysteem zorgen voor afstoting van vreemde lichamen, zoals dat kan gebeuren bij een orgaantransplantatie bij mensen. De enige functie van het mannetje is het produceren van sperma. Eens die productie stilvalt, komt er een ander mannetje zijn plaats innemen en blijft er van hem slechts

een raar puistje op haar huid over. Maar als een mannetje geen vrouwtje vindt, sterft hij. Hij kan niet alleen overleven. Voor een mannetje lantaarnhengelvis is het dus kiezen tussen de pest en de cholera.

#### Ander 'buitenaards' leven: over reuzen-inktvissen en wormen met roeispanen

Ondanks hun monsterlijke uiterlijk is het grootste deel van de vissen in de schemerzone klein van gestalte en nauwelijks 12-16 centimeter lang. Dat is echter niet het geval voor ongewervelde dieren zoals inktvissen, waarbij juist regelmatig gigantisme voorkomt. Wat hiervoor de reden is weet men niet precies. De kolossale inktvis (*Mesonychoteuthis hamiltoni*), de grootste bekende inktvissoort, kan 12-15 meter lang worden en staat regelmatig op het menu van potvissen en sluimer- of ijshaaien. Opvallend aan deze en andere grote inktvissen zijn hun enorme bijna dertig centimeter grote ogen. Dit wijst erop dat het vermoedelijk geen actieve jagers zijn maar dat ze wachten tot ze hun prooi zien, om toe te slaan. Andere inktvissen blijken 4 tot 5 jaar lang, zonder te eten, hun broedsel te beschermen. Een ding is duidelijk, niets lijkt hier op de gekende levensvormen. En, ook in deze duistere diepten heerst de wet van de sterkste. Zo blijkt kannibalisme regelmatig voor te komen bij *Gonatus onyx* inktvissen en de gemiddeld circa 1,5 meter lange lansvis *Alepisaurus ferox*.

In 2007 ontdekten onderzoekers van het bekende Amerikaanse Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), in de Celebes Zee voor de kust van de Filipijnen een wonderlijk dier van ongeveer tien centimeter. Het leek wel een kruising tussen een inktvis en een worm. Het kreeg de naam 'squidworm' of inktvisworm. Alles aan het dier is bizar en vreemd. Een worm

met tien tentakels van ongeveer tien centimeter die op rietjes lijken. Acht ervan vormen het ademhalingssysteem. De twee andere, mooie, gele tentakels lijken op een spiraalvormige creatie van de beroemde Amerikaanse glasblazer David Chihuly. Ze zitten er niet voor de sier, maar helpen het dier om organisch materiaal dat als mariene sneeuw in de schemerzone naar beneden dwarrelt, te vangen en op te eten. Maar ook de voortbeweging van de inktvisworm is maf: blauwe 'roeispanen' bewegen langs zijn lichaam heen en weer en stuwen het naar voren. Gezien al deze vreemde eigenschappen denken biologen dat het een overgangsvorm tussen bodemdieren en vrij zwemmende dieren kan zijn. Hoe dan ook, het prachtige diertje stelt de wetenschap voor een aantal raadsels, zoals er nog zo veel in de schemerzone zijn te ontdekken.

### NIEUWE TECHNOLOGIE ALS MOTOR VOOR NIEUWE INZICHTEN

Tegenwoordig kan men met satellieten meten hoeveel fytoplankton (de 'zeelongen' van de aarde) er aan het oceaanoppervlak leeft. En akoestische technieken aan boord van schepen brengen het bovenste segment van de dagelijkse migratie al decennialang in kaart. Toch zijn er grote gebieden van de oceaan waar maar weinig schepen komen. Hierdoor is het moeilijk een mondiaal beeld te krijgen. Daar is ongeveer tien jaar geleden verandering in gekomen door het gebruik van LiDAR aan boord van satellieten. Bij deze techniek worden laserstralen uitgezonden en na terugkaatsing op allerlei voorwerpen, terug opgevangen. Hieruit kan de onderzoeker informatie verkrijgen van bijvoorbeeld hoogteverschillen, gletsjerdikte of luchtvervuiling. In zee dringt het laserlicht dag en

nacht door in de bovenste twintig meter en geeft zo een ongekennde, jaarlijkse mondiale dekking van de dagelijkse verticale migratie. Om dieper in de oceanische ruimte te kunnen kijken zijn andere technieken nodig, te veel om op te noemen. We geven alvast een voorsmaakje.

### Een greep uit...

De verkenning van de schemerzone stelt zo haar eigen hoogtechnologische eisen. Hoe kun je een kwal, een garnaal, inktvis of een vis volgen tijdens zijn dagelijks migratie? Hoe maak je onzichtbare manteldiertjes, bestaande uit een grote slijmerige filter waarin voedseldeeltjes of microplastics blijven hangen, zichtbaar? Deze vragen worden opgelost met nieuwe innovatieve technologie zoals de 'Mesobot'. De eerste succesvolle testen in de oceaan vonden plaats in 2020. Deze autonome, hightech robot kan met camera's en rood en wit licht, het dierlijk plankton en andere organismen volgen tijdens hun dagelijkse migratie. De robot heeft een geavanceerd, automatisch volgsysteem waarbij het rode licht – voor de meeste dieren in de schemerzone onzichtbaar – een organisme volgt. Via een filtersysteem kan het apparaat ook monsters nemen voor biogeochemisch en 'environmental DNA' of 'eDNA' onderzoek. Dit eDNA onderzoek geeft een snelle indruk van welke soorten voorkomen door te speuren naar achtergelaten celmateriaal (huidschilfers, slijm, ontlasting met darmepitheelcellen, enz.).

Een andere veelbelovende innovatie is MINION. Dit instrument lijkt op een waterfles van twee liter. Maar je zou er ook een grote zaklamp in kunnen herkennen, omdat er aan de bovenkant een lamp zit. MINION is uitgerust met camera's, zeewater sensoren, een akoestische recorder, en gewichten als ballast. Meerdere van die MINIONS kunnen op termijn in zwermen worden ingezet. Elk van deze instrumenten meet de hoeveelheid mariene sneeuw en daarmee de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die in de diepzee verdwijnt. Het apparaat zinkt naar een bepaalde diepte, waar het vervolgens met de stroming meedrijft en metingen verricht. De camera's meten de aard, hoeveelheid en snelheid waarmee een sneeuwdeeltje naar beneden dwarrelt. Op die manier hoopt men beter te begrijpen wat er in die eeuwige 'sneeuwbus' van koolstof in de oceaan gebeurt en hoeveel CO<sub>2</sub> er uiteindelijk op de oceanbodem terecht komt. Belangrijke kennis bij het inschatten van de rol die de oceaan vervult in het kader van klimaatwijziging. De verplaatsing van deze MINION-zwermen kan akoestisch worden gevolgd. Na verloop van tijd laat een MINION zijn gewichten vallen en keert het terug naar het oppervlak. Daar wordt het opgehaald om de gegevens

te verwerken en daarna opnieuw te worden gebruikt. In de toekomst zullen deze zwermen geheel zelfstandig werken en hun data per satelliet doorsturen.

Ook is het tegenwoordig niet zo moeilijk om de plaats en omvang van bijvoorbeeld visscholen in de diepzee te detecteren. Vissersschepen doen dat al decennia met behulp van 20kHz sonars. Die produceren een hoogfrequent geluid dat zich gemakkelijk in de zee verplaatst. Om te weten om welke dieren het gaat, is echter een veel lagere frequentie nodig, een frequentie die walvissen bijvoorbeeld gebruiken om hun prooi (zoals inktvis) te detecteren. Deze techniek is onlangs toegepast in een nieuw instrument dat 'Deep-See' is genoemd en door een schip wordt gesleept. Het is een robuust platform waarop een reeks van instrumenten kan worden gemonteerd: akoestische instrumenten, holografische lasercamera's om 3D opnames van plankton te maken, stereocamera's met licht om grotere dieren te fotograferen en sensoren om het zoutgehalte, de temperatuur, eDNA, enz. te meten. Onnodig te zeggen dat, eens ten volle ontwikkeld, dit een schat aan gedetailleerde informatie over het leven in de schemerzone kan opleveren!

**“ MINDER DAN 0,0001% VAN DE DIEPZEE IS VERKEND. VAN DE SCHEMERZONE WETEN WE BIJNA NIETS. ”**

### Schemerzone versus Mars-missie

De verkenning van de schemerzone is cruciaal voor ons begrip van de werking van de oceaan. Toch is de financiering ervan geen eenvoudige zaak. We besteden honderden keren meer geld aan bijvoorbeeld de verkenning van Mars dan aan die van de oceanische ruimte. Zo kost het project waarvan de marsrobot *Perseverance* en de eerste Marsdrone *Ingenuity* deel uitmaken, maar liefst 2,7 miljard US\$. Voor de financiering van een nieuw waarnemingsnetwerk in de schemerzone kreeg het WHOI onlangs de steun van de Duitse filantroop Otto Happel. Volgens een WHOI-persbericht van 8 februari 2021 kan hiermee het geavanceerde netwerk worden gerealiseerd. Het maakt de studie van het leven en het milieu in een ruimte van 250.000km<sup>3</sup> mogelijk. Volgens dr. Simon

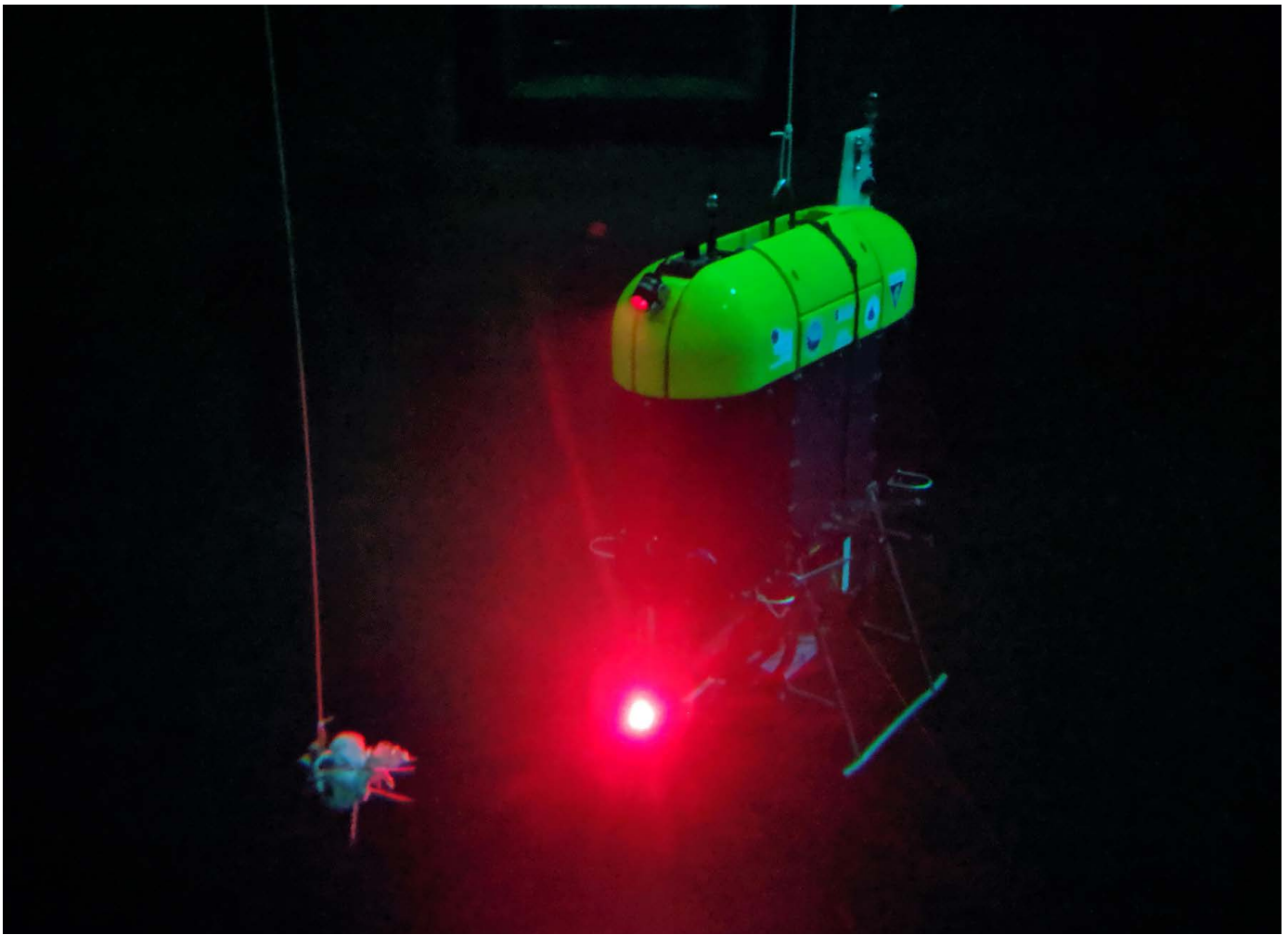
Thorold, de hoofdonderzoeker van het project, vormen vier geluidsbronnen de ruggengraat van het netwerk. Ze worden op dit moment aan het WHOI in de VS gebouwd. De eerste zal in de zomer van 2021 in gebruik worden genomen. De andere drie volgen in 2022. Samen met een centraal geplaatste multi-frequente, bio-akoestische boei vormen ze een vierkant met zijden van zo'n 500 km. Het nieuwe netwerk bestaat verder uit boeien, tags waarmee vissen en topredatoren zoals haaien en tonijn, worden gevolgd en een zwerm aan optische en geochemische sensoren. In de zee communiceren deze instrumenten met elkaar via geluidsignalen, terwijl de data via satellieten naar de thuisbasis worden gestuurd. Het netwerk zal enkele jaren operationeel zijn en men hoopt vergelijkbare netwerken op andere plaatsen in de oceaan te kunnen bouwen.

De kosten van het project? Als het, net als het *Perseverance* project, tien jaar loopt, ruwweg US \$ 40 miljoen of 1,47% van de kosten van de Mars-missie.

### WAAROM WILLEN WE EN MOETEN WE DIT WETEN?

We weten hoe dan ook weinig van de oceaan. Minder dan 0,0001% van de diepzee is verkend. Van de schemerzone weten we bijna niets. Toch rinkelen de alarmbellen bij veel oceanografen, omdat menselijke activiteiten deze op het eerste gezicht, ongerepte wereld bedreigt. Allereerst zal door de steeds maar toenemende bevolking, onze vraag naar voedsel alleen maar toenemen. Daarvoor kijken we in toenemende mate naar de zee. Ten tweede ziet het er naar uit dat we binnenkort over zullen gaan tot diepzeemijnbouw om onze honger naar mineralen te stillen. Wat de effecten hiervan zijn, ook op de schemerzone, wordt onderzocht. Met name de slibpluimen die ontstaan bij de exploitatie zijn een bron voor bezorgdheid. En ten derde leidt de door ons veroorzaakte klimaatverandering ertoe dat de oceaan en daarmee ook de schemerzone-wereld, verandert. Zo wordt het zeewater warmer, verzuurt het en neemt het zuurstofgehalte erin af. Het is zeer de vraag of het unieke en grootste ecosysteem op aarde, de schemerzone, dat aankan.

Tegelijkertijd is duidelijk dat het leven in de schemerzone ons vele voordelen brengt, die we gewoonlijk niet in onze economische berekeningen meenemen. Volgens een onlangs verschenen rapport van het WHOI zorgen biologische processen in de schemerzone ervoor dat jaarlijks 2 tot 6 miljard ton koolstof, met een waarde van US\$ 330-900 miljard, uit de atmosfeer verdwijnt.



Nieuwe innovatieve technologie zoals deze 'Mesobot' moet de bewoners van de schemerzone een gezicht geven en hun dagelijkse migratie in kaart brengen. Via zijn rode licht – voor de meeste dieren in de schemerzone onzichtbaar – kan de onderwaterrobot een organisme volgen. ©Woods Hole Oceanographic Institution, E. Olsen

Zonder deze processen zou het CO<sub>2</sub>-gehalte in de atmosfeer 200 ppm hoger zijn dan nu het geval is, en de temperatuur 4-6°C hoger. Dan leefden we al lang in een échte onbewoonbare broeikaswereld, met duizenden miljarden dollars bijkomende kosten. Het signaal dat we hieruit krijgen is duidelijk: het natuurlijk kapitaal van de schemerzone is enorm en uitermate belangrijk voor ons. Zonder gedegen kennis van deze systemen is elke ingreep hierin, spelen met vuur. Maar vooral, blijf ervan af voordat je weet hoe het in elkaar zit. Helaas bewijst de geschiedenis dat wij soms de neiging hebben om aan knoppen te zitten waar we beter afblijven...

Dat spelen met vuur kun je soms letterlijk nemen. In de jaren tachtig brandde een nieuwe visverwerkingsfabriek in Zuid-Afrika af bij het tot vismeel verwerken van grote hoeveelheden lantaarnvissen, gevangen in de schemerzone voor de kust. Reden: hun extreem hoge oliegehalte maakt deze visjes moeilijk verwerkbaar en zelfs ontbrandbaar.

Dat ze gegeerd zijn heeft niet met hun uiterlijk noch smaak te maken, maar veeleer

met hun gigantische aantallen. De biomassa aan vis in de schemerzone tartaan dan ook elk voorstellingsvermogen. Op grond van recente akoestische waarnemingen denken wetenschappers dat de visbiomassa in de schemerzone ten minste tien miljard ton bedraagt. De twee meest voorkomende soorten zijn de borstelmondvissen, de meest voorkomende gewervelde dieren op aarde, en de lantaarnvissen. De populatie van de borstelmondvis loopt in de biljarden. De geschatte biomassa van lantaarnvissen is vele malen groter dan de huidige mondiale visvangst (ca. 100 miljoen ton). Als je de helft ervan oogst en omzet in vismeel voor de aquacultuur en als voeding voor de landbouw, levert dit circa 4,3 kilo dierlijke eiwitten per mens per dag. Omdat de prijs van vismeel sinds juni 2000 bijna verviervoudigd is, wordt het steeds aantrekkelijker deze onbekende schatkist te openen. Daartegenover staat dat deze vissen een uiterst belangrijke klimaatregulerende functie hebben, bij de bestrijding van de gevolgen van de menselijke klimaatopwarming. En er is meer. Hoe ongekend en onbemand ze ook moge zijn, de biodiversiteit in de

schemerzone is een van de meest productieve reservoirs voor mariene, genetische hulpbronnen om bijvoorbeeld nieuwe geneesmiddelen te ontwikkelen.

De bescherming van het leven in de schemerzone is dan ook zeer dringend. Niet in het minst binnen de komende nieuwe internationale wetgeving over biodiversiteit buiten de nationale jurisdictie, in het kader van het huidige zeerechtverdrag. Het is te verwachten dat de (door corona vertraagde) discussies hierover binnen de VN, binnenkort zijn afgerond.

#### MEER LEZEN:

- Mesobot: <https://www.whoi.edu/multimedia/360-video-deploying-mesobot/>
- MINION: <https://www.youtube.com/watch?v=TaNZH1sXGEo>
- Deep-See: <https://twilightzone.whoi.edu/work-impact/technology/deep-see/>
- Belang twilight-zone: <https://twilightzone.whoi.edu/explore-the-otz/value-of-the-otz/>
- Fishing the twilight-zone: <http://www.bbc.com/earth/story/20170113-the-race-to-fish-the-larder-living-in-the-twilight-zone>