



Geoloog onder water

HENK DE HAAS
KONINKLIJK NEDERLANDS INSTITUUT
VOOR ONDERZOEK DER ZEE (NIOZ),
TEXEL
HENK.DE.HAAS@NIOZ.NL

Alhoewel verreweg de meeste amateurgeologen zich uitsluitend bezighouden met geologische fenomenen die op het land bereikbaar zijn is er ook op de bodem van de zee genoeg dat het bestuderen waard is. De reden hiervan is natuurlijk logisch: niet iedereen heeft een boot met het bijbehorend gereedschap om op de zeebodem (70% van het aardoppervlak!) rond te kijken en monsters te nemen.

Een relatief kleine groep geologen heeft wel de beschikking over de benodigde apparatuur en houdt zich, o.a. bij het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ), beroepsmatig bezig met het geologisch onderzoek van de zee. In dit artikel probeer ik een idee te geven van hoe een mariengeoloog zijn weg vindt op de zeebodem en zijn monsters verzamelt.

De weg vinden

Wanneer je als geoloog op pad gaat, of je nu amateur bent of beroepsmatig aan de slag gaat, is het altijd van belang om je vondsten en metingen ten opzichte van elkaar en in de omgeving goed te kunnen plaatsen. Waar dat op het land gaat door middel van een papieren of elektronische kaart, een kompas en je ruimtelijke oriëntatie met behulp van landschapskenmerken en eventueel een GPS-ontvanger, is voor de mariengeoloog de luxe van

een nauwkeurige bathymetrische (=topografie van de zeebodem), laat staan geologische kaart vaak niet weggelegd. O ja, en een GPS-ontvanger werkt niet onder water.

Toch moet ook een mariengeoloog nauwkeurig weten waar bodemonsters genomen en metingen verricht worden.

Hoe doet een mariengeoloog dat, de weg vinden op de zeebodem? In dit artikel zal ik een aantal stukken gereedschap laten zien welke de weten-



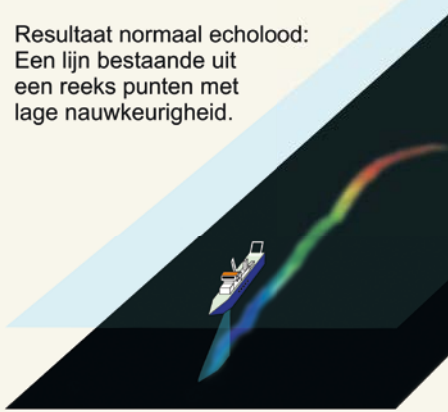
Links:
Normaal echolood (zwarte cirkel = zender en ontvanger, diameter circa 50 cm) in een gestroomlijnde behuizing onder het NIOZ-schip.



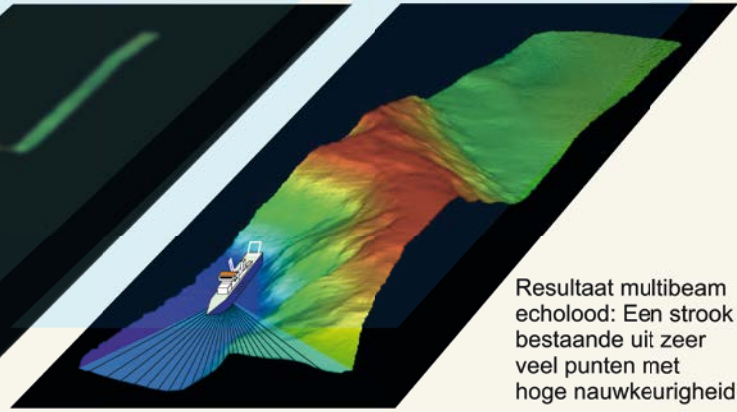
Rechts:
Multibeamecholood (verre rode balk = zender lengte circa 4 meter, nabije balk = ontvanger, lengte circa 2 meter) in een gestroomlijnde gondel onder het NIOZ-schip.



Resultaat normaal echolood:
Een lijn bestaande uit een reeks punten met lage nauwkeurigheid.



Resultaat multibeam echolood: Een strook bestaande uit zeer veel punten met hoge nauwkeurigheid.



Eén geluidsbundel met grote (circa 30°) openingshoek geeft een grote 'voetafdruk' dus weinig detail op de bodem. N.B. vlakke deel en helling vallen binnen de bundel.



Honderden geluidsbundels met kleine (circa 1-2°) openingshoek geeft per bundel een kleine 'voetafdruk' dus veel detail op de bodem. N.B. alleen vlakke deel valt binnen de bundel



Voor beide types echolood geldt dat hoe dieper het water hoe verder de bundel zich verbreedt, dus hoe groter de voetafdruk op de bodem.

AFBEELDING 1. | Schematische weergave van het verschil tussen een klassiek- en een multibeamecholood en de invloed van de openingshoek van de geluidsbundels op de details die uiteindelijk op de kaart te zien zijn. Inzet: foto van een klassiek (enkelvoudige bundel) en een multibeamecholood onder het NIOZ-schip Pelagia.

schap van de mariene geologie (en andere disciplines in het zeeonderzoek) ter beschikking staan om zich op de zeebodem te kunnen oriënteren. Ook kijken we hoe ver weg van het schip (soms kilometers verderop, we hebben het tenslotte over de oceaan waar de bodem kilometers onder ons kan liggen) op precies vooraf bepaalde locaties monsters genomen kunnen worden.

Maar je hebt toch een zeekaart?

Voor gebieden dicht langs de kust is het vaak nog wel mogelijk om aan betrouwbare zeekaarten te komen. Drukbevaren kustgebieden en vaar-routes rond zeehavens zijn vaak wel nauwkeurig in kaart gebracht. Maar wanneer we verder van de kust af gaan of in streken langs de kust komen, toebehorend aan minder welvarende landen waar ze eenvoudig

weg het geld niet hebben om nauwkeurige kaarten te maken, kunnen de fouten in de beschikbare zeekaarten groot zijn. Dat is voor het originele doel van deze kaarten vaak ook helemaal geen probleem. Zelfs het grootste schip ter wereld zal geen gevaar lopen wanneer de aangegeven diepte 100 meter is, maar deze in werkelijkheid slechts 80 is. Op de oceaan zijn afwijkingen tussen de aangegeven diepte in de kaart en de werkelijke waterdiepte van enige tientallen tot honderden meters echt geen uitzondering. Ik ben wel eens in gebieden geweest waar volgens de officiële zeekaart een berg op de zeebodem aanwezig zou moeten zijn die enige honderden meters boven de omringende diepzeebodem uit zou moeten steken. Maar er ter plekke aangekomen bleek dat toch niet zo te zijn. En andersom is het niet ongebruikelijk dat de apparatuur die we vanaf het NIOZ-onderzoeksschip Pelagia aan een kabel naar de zeebodem laten zakken volgens de zeekaart nog een paar honderd meter te gaan heeft maar dan toch onverwacht de bodem raakt. Tenminste als we niet eerst onze eigen kaart gemaakt zouden hebben.

Zeekaarten in kustgebieden zijn doorgaans gebaseerd op nauwkeurige metingen en gemaakt voor een veilige scheepvaart. De aangegeven diepte is vaak niet de exacte diepte op dat ene punt, maar het ondiepste punt in de nabije omgeving. Voor de scheepvaart is dat fijn, want dan zit je altijd aan de veilige kant, maar details in diepteverschillen die voor geologisch onderzoek van belang kunnen zijn zie je er dan dus niet op. En de kaarten van de diepzee, hoe zit het daar mee? Die zijn grotendeels gebaseerd op een combinatie van waterhoogte (met behulp van een radar vanuit een satelliet gemeten afwijking van de gemiddelde



waterstand) en zwaartekrachtmetingen door satellieten en een zeer beperkt aantal metingen met een diepzee echolood vanaf een schip. Uit deze op zich nauwkeurige metingen kan een schatting gemaakt worden van de waterdiepte van elk punt van de oceaan waar alleen de waterhoogte met de satelliet gemeten is, maar die schatting kan er dus tientallen tot honderden meters naast zitten. De algemene structuur, zoals de individuele vulkanen van de Mid-Atlantische Rug, klopt over het algemeen wel, maar details zijn met deze methode niet te bepalen. Voor ons als zeeonderzoekers is dit niet genoeg. Wij willen graag nauwkeurig weten wat de variaties in diepte zijn op de zeebodem, zodat we mogelijke relaties kunnen leggen tussen bijvoorbeeld de aanwezigheid van kleine geultjes, plaatselijke bergen en sedimentaire processen en het leven op de zeebodem.

En dan willen we graag ook nog informatie over het sediment en/of gesteentes waar de bodem uit bestaat.

Methodes

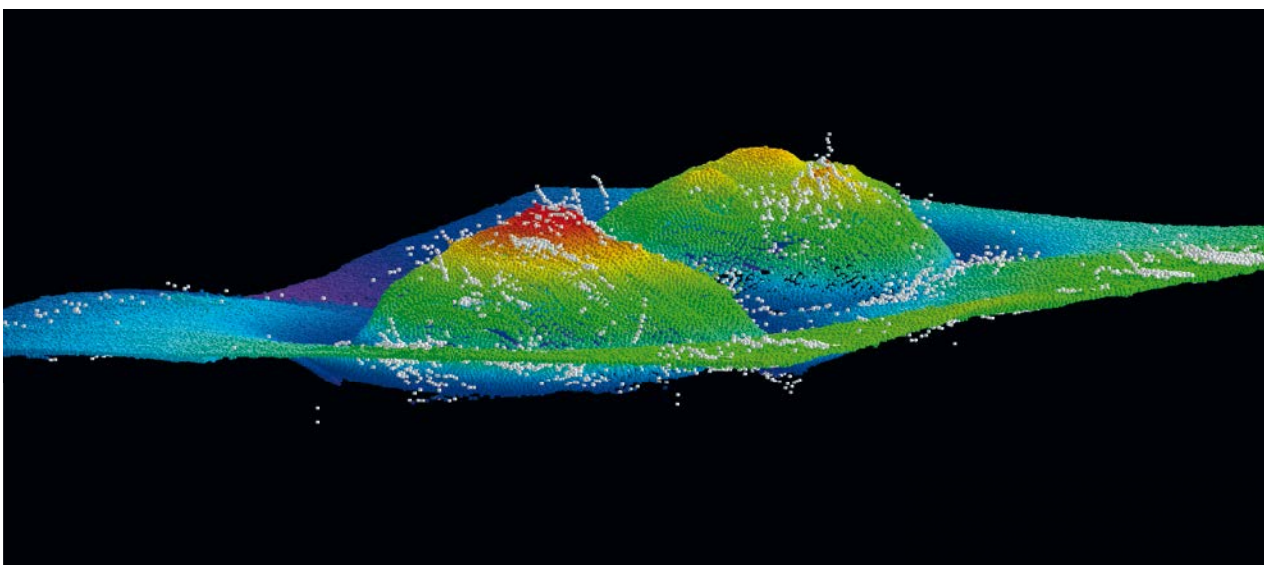
1) Het maken van een dieptekaart – multibeam-echolood

Wij moeten dus om te beginnen onze eigen dieptekaarten maken om überhaupt enig idee te hebben van hoe de wereld er diep onder water uitziet. Maar hoe doe je zo iets?

Hét apparaat om een nauwkeurige dieptekaart te maken is het multibeam-echolood, kortweg multibeam (uit het Engels: multiple = meerdere, beam = bundel). Een traditioneel echolood is simpel gezegd een apparaat dat tegen de bodem van een schip is aangebracht en met regelmaat een geluidspuls (een 'ping') uitzendt. Het geluid plant zich in een brede bundel (als bij een zaklantaarn) voort door het water, weerkaatst op de zeebodem en wordt weer opgevangen. De tijdsduur van heen en weer reizen van het geluid, vermenigvuldigt met de geluidssnelheid door het water geeft de totaal afgelegde afstand van schip naar de bodem en weer terug. Dit delen door 2 geeft dus de waterdiepte. Dergelijke apparatuur vind je standaard op elk schip. Deze methode heeft twee grote nadelen: 1) je krijgt maar één dieptemeting per ping en moet dus heel veel lijnen evenwijdig aan elkaar varen voor een kaart van het werkgebied; 2) de meting is niet erg nauwkeurig, omdat de geluidsgolf zich breed verspreidt kan deze bijvoorbeeld tegen een berghelling weerkaatst worden. Het apparaat meet dan dus niet de diepte recht onder het schip, maar de deels zijwaarts gelegen berg (Afb. 1).

Een multibeam werkt anders. Een precieze beschrijving van de techniek zou hier te ver voeren, maar het komt erop neer dat een ping niet één brede kegel-

vormige geluidsbundel oplevert, maar een paar honderd zeer smalle bundels (openingshoek circa 1 graad, zie Afb. 1) die in een waaivorm onder het schip staan. Omdat de positie van het schip precies bekend is door middel van satellietnavigatie en de hoek waaronder elke bundel uitgestuurd en ontvangen wordt eveneens, kan de multibeam precies uitrekenen op welk stukje van de zeebodem elke individuele dieptemeting gedaan is. Voorwaarde voor een nauwkeurige diepteberekening is data we eerst vanaf het wateroppervlak tot aan de zeebodem de snelheid van het geluid door het water meten (deze verandert namelijk met de diepte). Met een ping doe je dus niet één dieptemeting, maar (afhankelijk van het model multibeam) enige honderden tot meer dan 1500 metingen in een keer op evenzevele punten op de bodem. De metingen behorend bij een ping liggen op een lijn onder het schip met een oriëntatie loodrecht op de vaarrichting, dus van links naar rechts onder het schip door. Dus wanneer het schip vooruitvaart meet je niet slechts de diepte op een lijn onder het schip, maar over een hele strook tegelijkertijd. Al heen en weer varende met deels overlappende stroken (al was je aan het grasmaaien) kun je dus snel het onderzoeksgebied in kaart brengen. Je verzamelt op deze manier heel snel, afhankelijk van de grootte van het onderzoeksgebied, vele honderdduizenden tot tientallen miljoenen meetpunten.



AFBEELDING 2. | Voorbeeld van een 3-dimensionale puntenwolk als voorbeeld van het opschonen van ruwe dieptemetingen. Te zien zijn de moddervulkanen genaamd Yuma en Ginsberg, gelegen voor de westkust van Marokko. Dit beeld bevat ruim 290.000 datapunten. De lichtgrijze punten zijn valse metingen en zijn automatisch d.m.v. een statistische filtermethode door de computer verwijderd (de lichtgrijze punten wijken te veel af van meetpunten in de omgeving).



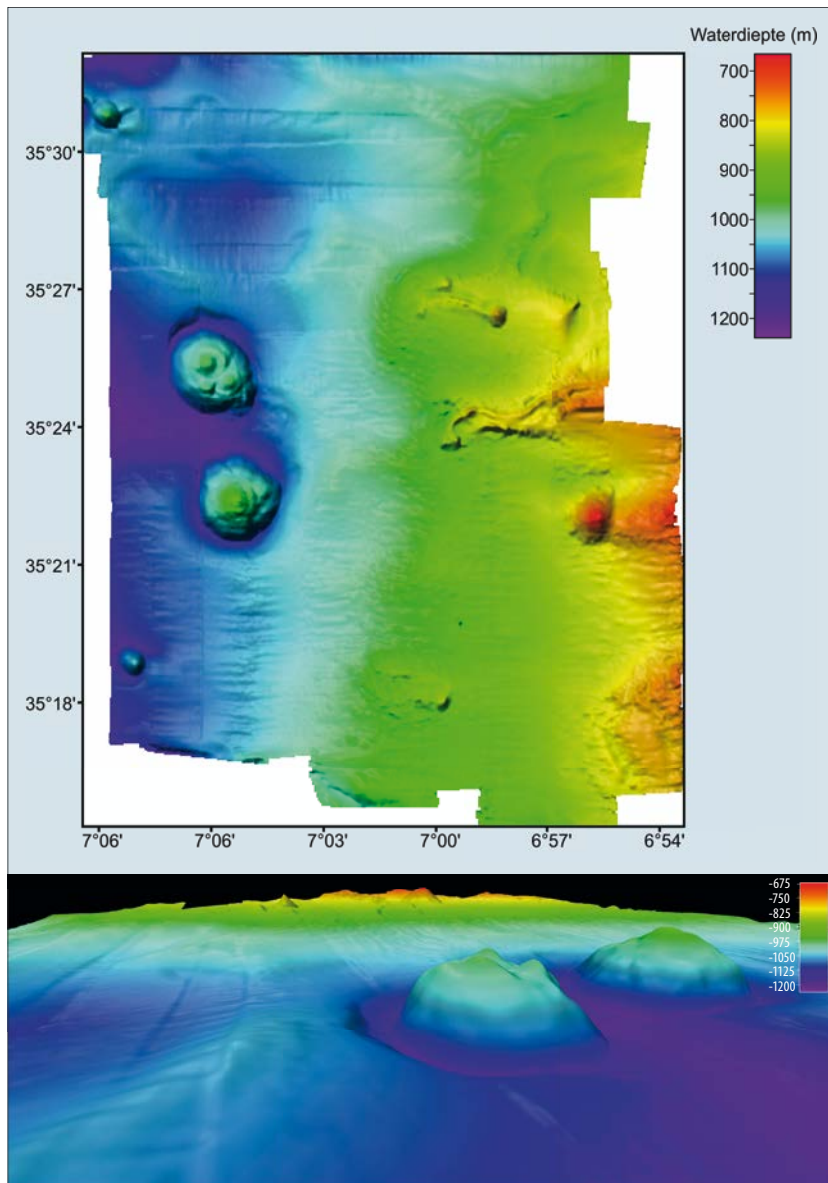
Met computers en software die overigens voor een deel is gebaseerd op computerspelletjes, is het mogelijk om heel snel (deels al tijdens de opname) 2- en 3-dimensionale kaarten van de zeebodem te maken.

Alle datapunten moeten achteraf gecontroleerd worden op betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de meting. Dit gebeurt met speciale computerprogramma's die de onbetrouwbare en foute metingen (ruis) als gevolg van slechts weer, enz. uit de gegevens verwijderen (Afb. 2). Uiteindelijk kan dan een zeer nauwkeurige 2- of 3-dimensionale kaart gemaakt worden (Afb. 3).

2) Het bepalen van de bodemgesteldheid – multibeam-echolood en sidescansonar

Met alleen maar de diepte is een beetje geoloog natuurlijk niet tevreden. Je wilt ook nog het liefst van tevoren weten in wat voor materiaal je de bodembemonsteringsapparatuur laat zaken. Al was het maar om zeker te zijn dat deze in de zachte klei landt die je verwacht en niet op de rotsbodem, die er in werkelijkheid blijkt te zijn en daardoor je apparatuur zwaar beschadigd wordt.

Om snel een idee te krijgen van het soort materiaal waaruit de zeebodem bestaat kun je weer gebruik maken van de multibeam. Het teruggekaatste signaal geeft namelijk niet alleen informatie over de diepte, maar ook over de hardheid van de bodem en daarmee over het type bodemmateriaal. Wanneer het geluid van een ping bij de bodem aankomt zal niet alle energie worden weerkaatst. Een gedeelte zal in de bodem doordringen en geabsorbeerd en gedempt, worden. Hoe zachter de bodem (afhankelijk van watergehalte, kleigehalte, compactheid, enz.) hoe minder energie naar het schip zal worden teruggekaatst. De sterkte van het teruggekaatste signaal voor elk afzonderlijk meetpunt kun je op een kaart weergeven als een grijswaarde. Je kunt dit een beetje vergelijken met het maken van een zwart-witfoto. Een zwak teruggekaatst signaal (waterrijke klei = weinig energie = weinig licht) kun je weergeven als donkergrijs en een sterk signaal (rotsen = veel energie = veel licht) als lichtgrijs. Alle variaties in signaalsterkte daartussenin geef je weer in tussenliggende grijswaarden. Dit levert een kaart op ('zwart-wit-

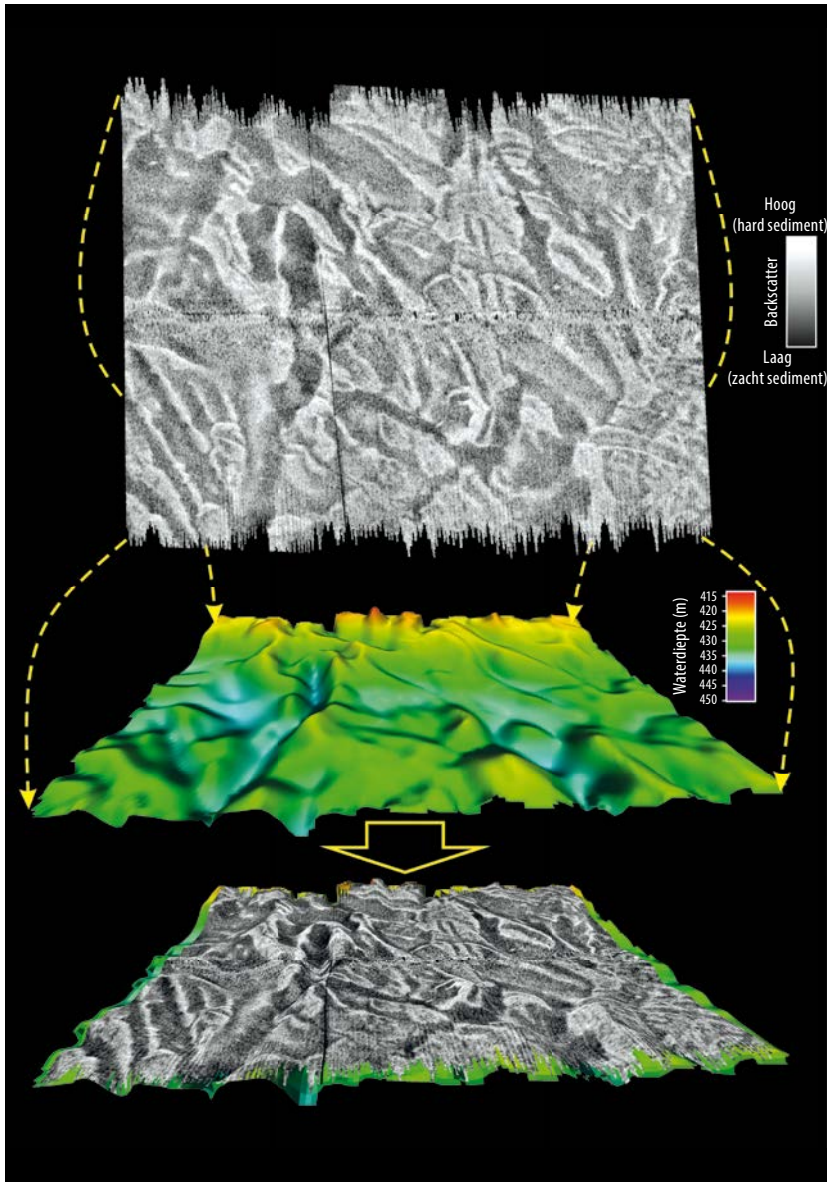


AFBEELDING 3. | Voorbeeld van een deel van de zeebodem als 2- (boven) en 3-dimensionale kaart (onder). De 2D-kaart bestrijkt een oppervlakte van ongeveer 23 x 33 km voor de kust van Marokko. Links op de kaart zijn de moddervulkanen van Afb. 2 herkenbaar. Een 3D-aanzicht zoals op de onderste afbeelding wordt vaak gebruikt om een beter idee te krijgen van de relatieve hoogteverschillen in een gebied en wat bijvoorbeeld de veiligste route zou kunnen zijn om een camera aan een lange kabel vlak over de bodem te slepen.

foto') die je kunt interpreteren als relatieve hardheid en daarmee de samenstelling van de bodem. In de mariene geologie wordt deze techniek aangeduid als 'backscatter'. Wanneer je de dieptegegevens van elk meetpunt combineert met de backscatter kun je een 3D-kaart maken van de bodemhardheid gedrapeerd op de bathymetrie en de mogelijke relatie zien tussen de variaties in waterdiepte en variaties in bodemmateriaal (zie Afb. 4).

Een vergelijkbare techniek om backscatter te bepalen wordt gebruikt in een sidescansonar (weer uit het Engels: zijwaarts aftastende sonar). Vaak wordt deze ingebouwd in een sigaarvormig sleeplichaam, ook wel 'vis' genoemd, en aan een kabel door het schip voortgetrokken. Ook hierbij wordt een waaivormige geluidspuls uitgezonden, maar deze is niet onderverdeeld in afzonderlijke smalle bundels. Het gaat eigenlijk om een continue bundel, die ook bij ontvangst nog als een geheel wordt geregistreerd. Pas bij de verwerking van het signaal door de elektronica van het apparaat wordt dit opgedeeld in kleinere eenheden. Het voordeel hiervan is dat je op deze manier veel kleinere beeldpunten krijgt, en





AFBEELDING 4. | Voorbeeld van de relatie tussen variatie in backscatter als gevolg van variatie in sedimenttype en de bodemtopografie. Wanneer de backscatterkaart (boven) geprojecteerd wordt op een 3D-kaart van de bathymetrie (midden) kunnen we het verband zien tussen in dit geval de korrelgrootteverdeling van het sediment en het patroon van geulen en ruggen. In dit geval betreft het zogenaamde 'ploughmarks' (ploegpatronen). De kaart toont een gebied van ongeveer 2500 x 3300 meter ten zuidwesten van IJsland. Aan het einde van de laatste ijstijd zijn grote aantallen ijsbergen hier aan de grond gelopen en hebben zich daarbij als ploegen door de zeebodem bewogen. Hierbij is het patroon van geulen en ruggen ontstaan. De stroomsnelheid is in de geulen iets lager (luwte van de stroming) dan op de kammen van de ruggen. Hierdoor is na de ijstijd fijnkorrelig sediment in de geulen afgezet. Dit geeft het patroon van lichtgrijze (relatief grofkorrelig sediment, hardere reflector) kammen en donkere (fijnkorrelig sediment, zwakke reflector) geulen. Deze interpretatie is bevestigd met behulp van bodemmonsters.

dus meer detail kunt zien (vergelijk het met twee keer dezelfde digitale foto maar met een verschil in het aantal pixels per inch). Het nadeel is dat dit apparaat geen dieptemeting kan doen en je dus niet kunt zien of een beeldpunt op bijvoorbeeld een berghelling ligt of op een vlakke bodem. Het apparaat gaat altijd uit van een vlakke bodem. In horizontale richting is het beeld dus vaak vervormt. Dit kan de interpretatie van de beelden soms moeilijk maken. Voor verdere uitleg zie Afb. 5.

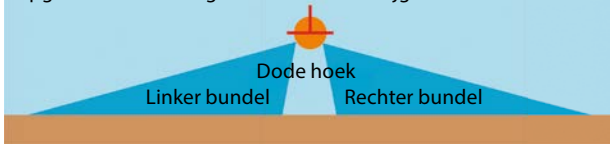
3) Meer detail zien – gesleepte camera en AUV

De hierboven beschreven apparaten zijn doorgaans ingebouwd in het schip (de multibeam) of worden op zekere (veilige) hoogte boven de bodem gesleept (sidescansonar). Dit laatste om te voorkomen dat het apparaat tegen een onderzeese berg of heuvel botst die nog niet gekarteerd is. Het nadeel van het ver van de bodem af hebben van de akoestische apparatuur is dat de resolutie relatief laag is (zie Afb. 1). Wanneer je meer gedetailleerde diepte kaarten of zelfs foto's wilt maken moet je je apparatuur dichterbij de bodem brengen. De eenvoudigste methode om te zien hoe of de bodem er uitziet is een camera aan een kabel naar de bodem laten zakken. Meestal bestaat een onderwatercamerasysteem voor de diepzee uit een stalen frame van buizen met daarin een aantal onderwaterlampen en een of meerdere video- en/of fotocamera's (Afb. 6). De video-opnames en foto's kunnen onderwater in een computergeheugen worden opgeslagen, maar het is afhankelijk van de soort hijskabel van het schip, ook mogelijk om de beelden rechtstreeks via een glasvezel omhoog te sturen. Op die manier kun je live met hoge resolutie video naar de zeebodem kijken (en ook de scheepsbemanning die de kabellier bedient op tijd waarschuwen wanneer het frame tegen een rots dreigt te botsen en de kabel snel een stuk ingehaald moet worden).

De foto- en video-informatie uit een beperkt aantal kleine gebieden kan vervolgens gebruikt worden om van de verschillende 'kleuren' grijs van de backscatterkaart te bepalen welke grondsoort bij welke grijswaarde hoort. Zo kun je met een relatief beperkt aantal foto- en video-opnames de backscatterkaart van je hele onderzoeksgebied omzetten van grijswaarde naar type bodem en dus een geologische (sediment) kaart maken.

Het nadeel van een lange kabel is dat een lange kabel zich niet altijd stabiel gedraagt. Afhankelijk van de soms veranderlijke stroming onder water kan zo'n kabel hoger of lager in de waterkolom gaan liggen of in horizontale zin afwijken van de van tevoren bedachte route (vergelijkbaar met het gedrag van een vlieger met veranderlijke wind). Het is daarom geen goed

Achteraanzicht van een sidescan sonar.
Er worden twee geluidsbundels uitgezonden.
De leegte door de dode hoek wordt vaak kunstmatig opgevuld om een ongestoord beeld te krijgen.



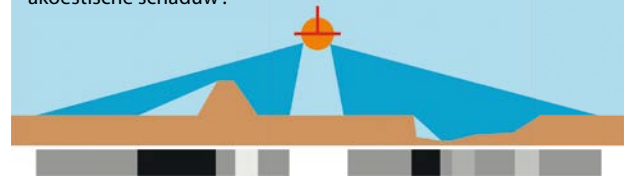
Een helling gericht richting de sonar reflecteert sterker dan een helling van de sonar afgericht.
Resultaat: een egale helling wordt lichter weergegeven op de ene helft en donkerder op de andere helft.



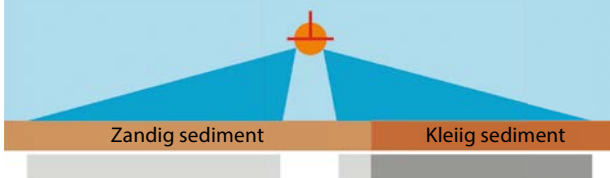
Geluid reflecteert van een horizontale bodem bestaand uit één soort sediment.
Resultaat: egaal grijs plaatje.



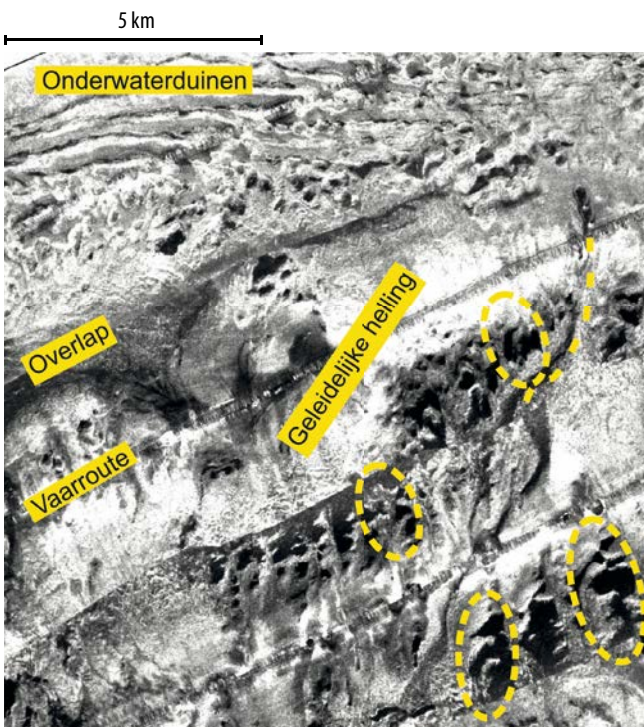
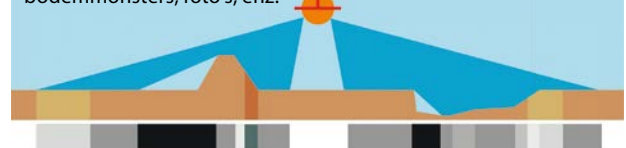
Bergen en dalen zorgen voor hellingen gericht naar de sonar en er van af.
Resultaat: een ingewikkeld patroon van licht en donker en 'akoestische schaduw'.



Klei absorbeert meer geluidsenergie dan zand of stenen.
Gevolg: Van zand komt meer energie terug.
Resultaat: een verschil in grijswaarde.



Een combinatie van hoogteverschillen en verschil in bodem-sediment.
Resultaat: een nog ingewikkelder patroon van licht en donker. Goede interpretatie vereist soms extra informatie van bodemonsters, foto's, enz.



AFBEELDING 5. | De bovenste zes panelen geven uitleg over het basisidee van sidescan sonar (zie eerst de linker, dan de rechter kolom). Het onderste paneel toont een deel van een sidescan sonar kaart gemaakt met een diepzee sidescan sonar en toont een gebied met koudwaterkoralen in de Atlantische Oceaan ongeveer 400 km ten westen van Ierland. De kaart bestaat uit meerdere stroken. Soms zie je duidelijk een scherpe grens in het beeld, dit is de overlap tussen twee stroken. De vaarroute is herkenbaar aan het 'ritssluitingspatroon', dit is het gevolg van het invullen van de dode hoek tussen de linker en rechter geluidsbundel recht onder de sonar (zie eerste paneel bovenaan). (Backscatter processing door Furu Mienis.) De foto in het midden toont een veel gebruikt ontwerp voor een sidescan sonar voor ondiep water: een torpedovormig sleeplichaam. De zwarte balk is een van de zenders/ontvangers voor het geluid (aan de andere kant zit er ook een, foto met dank aan GeoAcoustics).

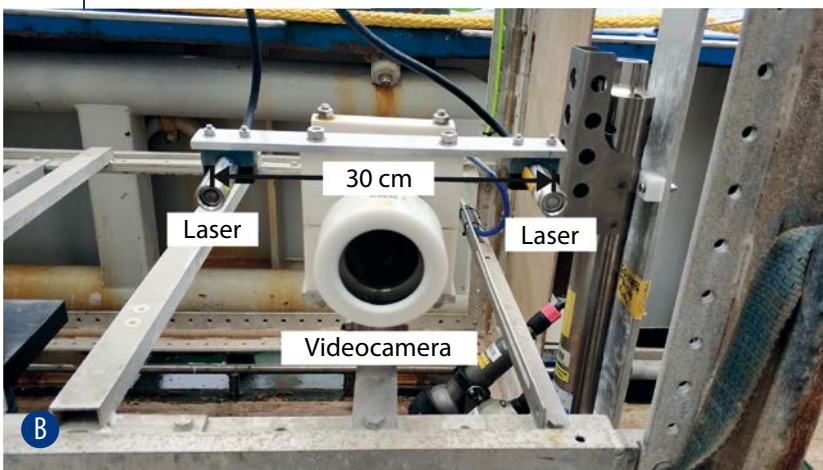
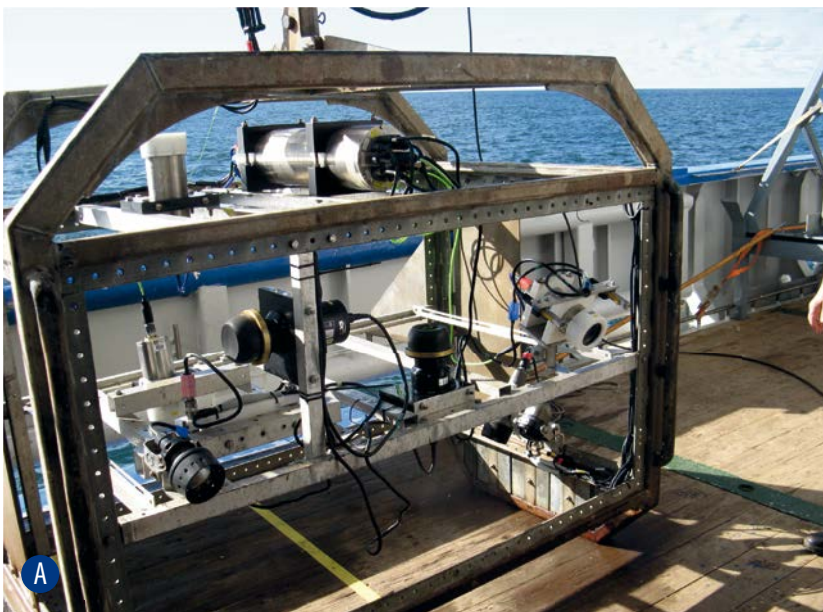


idee om een multibeam of sidescan sonar in een aan een kabel geslept frame te monteren om zo een gedetailleerde dieptekaart van de bodem te maken. Wanneer er daarom eenmaal een kaart met een multibeam aan een schip en/of sidescan sonar gemaakt is en er is behoefte aan een meer gedetailleerde kaart kan er gekozen worden voor het inzetten van een AUV (Autonomous Underwater Vehicle, autonoom onderwater voertuig). Dit is een doorgaans sigaarvormige voorprogrammeerbare onderwaterrobot (Afb. 7) waarin allerhande meetapparatuur, zoals een multibeam voor gedetailleerde dieptemetingen, ingebouwd kan worden. Dit apparaat kan geheel zelfstandig op constante hoogte dicht over de bodem varen en ondertussen de metingen verrichten. Gebaseerd op de eerste multibeamkaart gemaakt door het schip wordt er een gebied gekozen waar men meer van wil weten. In de AUV wordt dan een route ingevoerd

waarlangs de robot gaat varen. Omdat de diepte en de aanwezigheid van bergen en dalen onder water al behoorlijk nauwkeurig bekend is van de eerste kaart kan de AUV tot heel dicht boven de bodem gaan varen zonder dat er gevaar is om ergens tegenaan te botsen. AUV's zijn doorgaans ook voorzien van een voorwaarts gerichte sonar, zodat onverwachte (kleine) obstakels toch 'gezien' worden door de AUV en het voertuig tijdelijk een stukje hoger gaat varen. Vaak wordt ook gesproken over 'vliegen' in plaats van 'varen', omdat de AUV net als een vliegtuig in drie dimensies kan bewegen. De AUV kan behalve uitgerust worden met een hoge resolutie multibeam en/of sidescan sonar ook voorzien worden van een fotocamera die met vaste intervallen gedeeltelijk overlappende foto's maakt die later gebruikt kunnen worden voor een fotomosaïek van de zeebodem. Ook kan het apparaat een videocamera meenemen. Een andere mogelijkheid is het tijdens het vliegen verrichten van metingen aan bijvoorbeeld het zoutgehalte, de temperatuur of de hoeveelheid zuurstof in het water vlak boven de zeebodem. Dit is informatie die van belang kan zijn voor bijvoorbeeld biologisch, chemisch of fysisch oceanografisch onderzoek. De software in de AUV's wordt steeds 'slimmer' zodat de apparatuur zelfstandig onder water nog kan beslissen of en hoe een deel van de vooraf geprogrammeerde route eventueel alsnog gevlogen moet worden omdat er bijvoorbeeld een onverwacht obstakel op de route lag en de metingen als gevolg daarvan niet goed uitgevoerd konden worden.

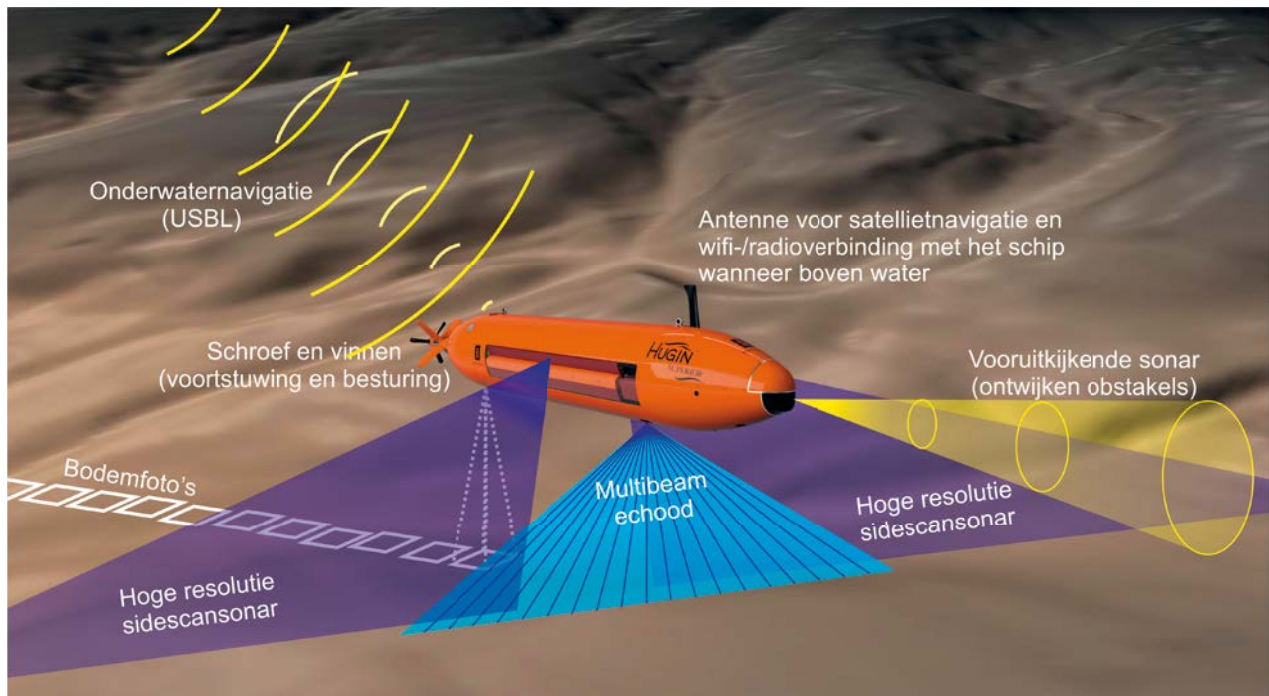
Als alles volgens plan verloopt (en dat is meestal gelukkig het geval) komt de AUV na het voltooiën van het meetprogramma weer naar het wateroppervlak en wordt door het onderzoeksschip weer aan boord genomen. Vervolgens wordt de data gekopieerd, geprocesseerd en geanalyseerd. Na het weer opladen van de batterijen kan er vervolgens weer een nieuwe missie gestart worden.

4) Bodemmonsters nemen – box-corer, multicorer, pistoncorer
Wanneer de bodem in kaart is gebracht en de locaties zijn bepaald waar we graag bodemmonsters willen nemen kunnen we afhankelijk van het



AFBEELDING 6. | A: Foto van een onderwatercameraframe met camera's, lampen, hoge waterdrukbestendige potten voor elektronica (elke 10 meter waterdiepte is ongeveer 1 atmosfeer), lasers voor de schaal van de gemaakte opnamen (foto B) en twee sonars om botsingen met de bodem te voorkomen (in troebel water, waar je maar een paar meter vooruit kunt kijken, kun je met sonar tientallen meters vooruit kijken en zo obstakels zoals rotsblokken vermijden). Foto: Rob Witbaard. B: Wat is de schaal van de foto- en video-opnamen? Omdat het cameraframe niet altijd even hoog boven de bodem hangt kun je vanaf het beeldscherm niet zeggen hoe groot iets precies is. De twee lasers naast de camera staan 30 cm uit elkaar en zenden twee evenwijdige laserstralen uit. Hoe ver het frame ook van de bodem is, de twee lichtpuntjes die je daardoor altijd op de bodem ziet staan altijd 30 cm uit elkaar: je weet dus altijd wat het formaat is van je object in beeld. Foto: Bob Koster.





AFBEELDING 7. | Schematische weergave van enkele van de gebruikelijke sensoren op een AUV voor zeebodemkartering: multibeamechod voor hoge resolutie bathymetrie, sidescanonar voor hoge resolutie informatie over samenstelling van en structuren op de zeebodem en fotomozaiëk voor het beter kunnen interpreteren van de gegevens van de sidescanonar. Alhoewel een AUV vaak beschikt over een intern navigatie systeem (traagheidsnavigatie) is een regelmatig meting van de positie via USBL van belang om afwijkingen in dit systeem te kunnen corrigeren. Wanneer de AUV boven water is kan de radio- of wifiverbinding gebruikt worden om een nieuwe opdracht te programmeren (wanneer er nog genoeg energie in de batterijen van de AUV zit). Foto van de AUV gebruikt met toestemming van de firma Kongsberg.

doel van ons onderzoek kiezen uit verschillende soorten 'bodempappers'. Er bestaan drie veel gebruikte van deze happers, elk in verschillende uitvoeringen, die we aan een kabel naar de zeebodem laten zakken. Wanneer we onderzoek willen doen aan de toplaag van het sediment en relatief veel materiaal nodig hebben kiezen we voor een boxcorer (Afb. 8A). Afhankelijk van het model kunnen hiermee happen uit bodem genomen worden in grootte variërend van ongeveer een kubieke meter tot enkele centimeters diameter. De grootste en kleinste modellen zijn voor speciale toepassingen. De kleinste boxcorer kan zelfs vanaf een rubberboot gebruikt worden. Meestal wordt een model gebruikt dat een monster neemt ter grootte van een flinke emmer tot speciekuip. Een boxcorer heeft als nadeel dat de bovenste cm, waar vaak een dun laagje organisch materiaal op ligt, verstoord raakt. Bij bijvoorbeeld onderzoek aan de (bio)chemische processen in de toplaag van de zeebodem is het van belang dat dit toplaagje bewaard blijft. Het is dan beter om een multicorer (Afb. 8B) in te zetten. Dit is een frame met meerdere circa 10 cm dikke

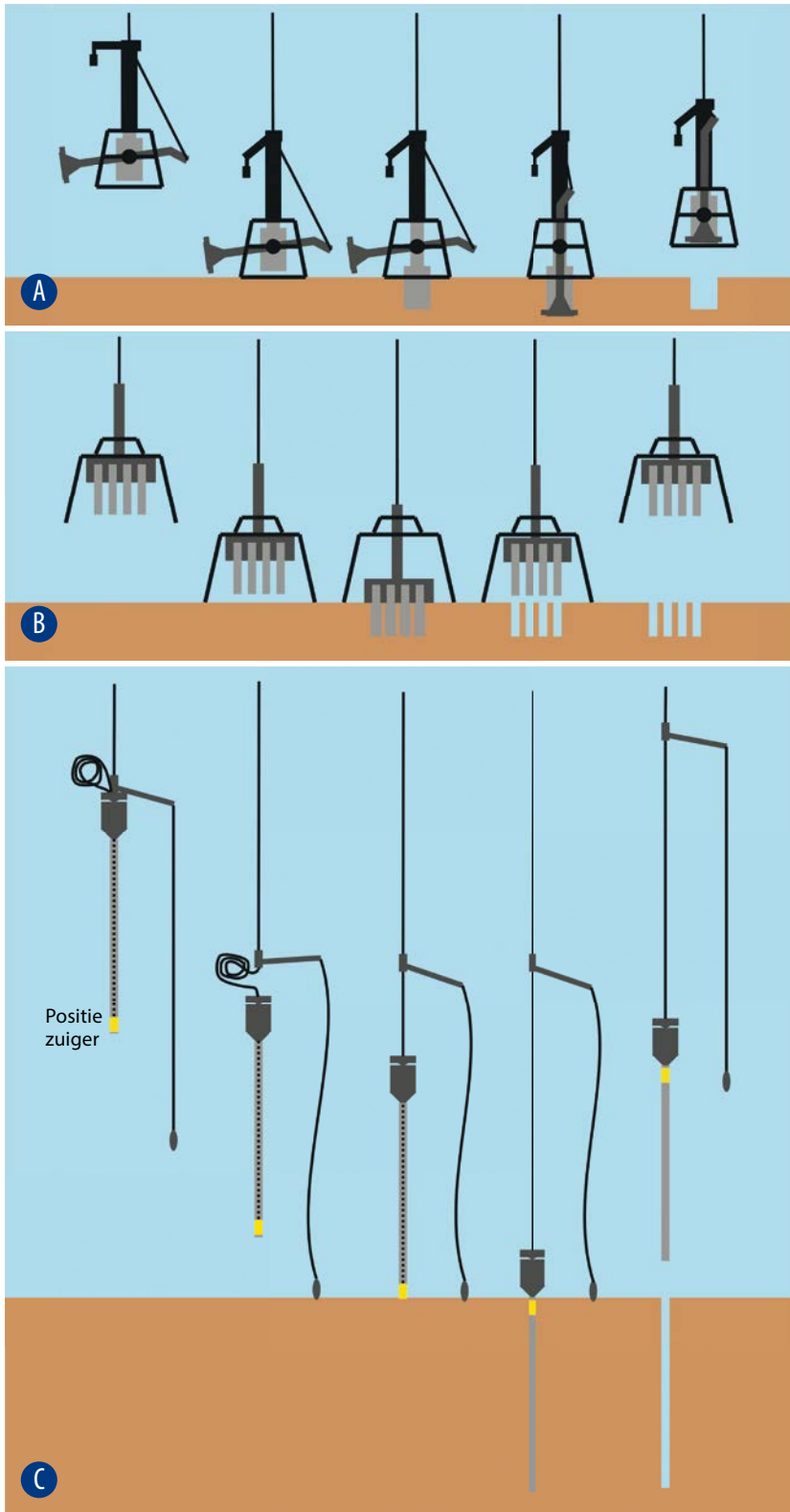
kunststof pijpen die heel voorzichtig in de bodem zakken, waardoor de toplaag niet wegspoelt zoals bij de boxcorer kan gebeuren. Bij geologisch onderzoek over langere tijdschalen nemen we een bodemmonster tot enkele tientallen meters lengte met behulp van een pistoncorer (Afb. 8C). Dit is een lange stalen pijp met daarbovenop een gewicht tot wel een paar duizend kilo. Door het gewicht zakt de pijp de bodem in. In de stalen pijp zit een kunststof binnenpijp die tijdens het indringen in de bodem gevuld wordt met sediment.

5) Monstren en meten op exacte locaties - ROV

Alhoewel de locatie van de gewenste monsterstations met de beschreven karteringsmethodes heel nauwkeurig bepaald kan worden is het met de bovenstaande bemonsteringsmethodes niet mogelijk om op de centimeter nauwkeurig een bodemmonster te nemen, ook al kan de apparatuur voorzien worden van een live videoverbinding. Omdat de bodempappers nu eenmaal aan een lange kabel hangen is het niet mogelijk om deze op de centimeter nauwkeurig te plaatsen. Voor geologisch en chemisch onderzoek aan sediment is dit doorgaans ook niet nodig.

Anders wordt het wanneer we bijvoorbeeld onderzoek doen aan koralen, heetwaterbronnen (black smokers), gaslekkages of andere fenomenen waar de bodemgesteldheid per centimeter anders kan zijn. In die gevallen kunnen we gebruik maken van een ROV (Remotely Operated Vehicle, op afstand bestuurd voertuig, Afb. 9). Alhoewel deze apparaten in verschillende uitvoeringen beschikbaar zijn, zowel in afmeting als ingebouwde sensoren en gereedschap, zijn ze in de basis allemaal vergelijkbaar met een vliegende drone zoals we die in de speelgoedwinkel kunnen kopen: een op afstand bestuurd frame met propellers (schroeven) en een camera. Elke ROV bestaat uit een frame met drijvers, meerdere schroeven, een of meerdere videocamera's en een kabel die verbonden is met het schip. Door de kabel gaan er stroom en signalen voor de besturing, voortstuwing en apparatuur van het schip naar de ROV en worden videosignalen en meetgegevens teruggestuurd. Er bestaan ROV's van nog geen halve meter groot (alleen geschikt voor gebruik in een rustig meertje) tot apparaten van meer dan 2 meter





AFBEELDING 8. | Uitleg over de werking van bodembemonsteringsapparatuur. A) Boxcorer: Boven aan de boxcorer zit een hefboom met een gewicht. Wanneer het frame de zeebodem raakt ontspant de vergrendeling van het hefboompje waardoor de horizontale arm die de bodem onder de emmer trekt ontgrendeld wordt en bij het halen van de kabel de emmer kan sluiten. B) Multicorer: Wanneer de buizen weer uit de zeebodem getrokken worden sluiten armpjes met kleppen door middel van veren razendsnel de onderkant van de buizen af, zodat het sediment er niet meer uit valt. Vanwege de schaal kan dit mechaniek niet in de tekening opgenomen worden. C) Pistoncorer: Langs de buis van de pistoncorer hangt een lange kabel met een klein gewichtje. Zodra dit gewichtje de zeebodem raakt ontgrendelt de hefboom een mechaniek waardoor de pistoncorer een vrije val maakt (het vieren van de kabel door het schip wordt gestopt en het deel losse kabel komt vrij). Door de snelheid dringt de buis enkele meters de zeebodem in. De hijskabel staat strak zo gauw de punt van de buis de zeebodem raakt. De hijskabel loopt door tot het uiteinde van de buis. Aan het einde van deze kabel zit een zuiger ('piston' in het Engels). De buis zakt door, maar de zuiger staat stil. Er ontstaat dus een onderdruk in de buis, waardoor deze beter gevuld wordt met sediment.

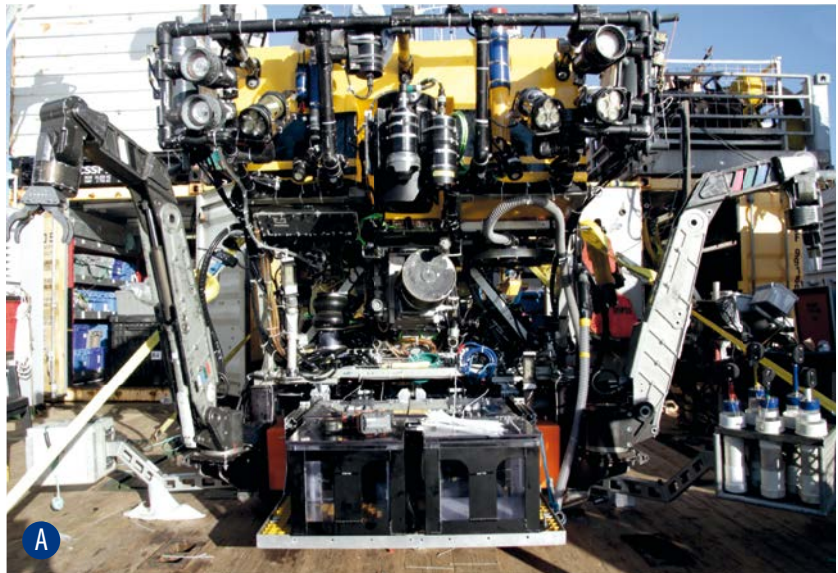


hoog en breed en drie meter lang die ook geschikt zijn voor zwaar werk in de olie- en gasindustrie en om stenen te verzamelen in de diepzee.

De ROV wordt bestuurd vanaf het schip. Omdat een ROV relatief langzaam vaart en via de kabel verbonden is met het schip is het niet erg geschikt om grote afstanden mee af te leggen. Een multibeam of sidescan sonar kan wel ingebouwd worden in een ROV, maar een geheel zelfstandige varende AUV is veel geschikter om zigzaglijnen mee te varen om een gedetailleerde kaart te maken. Een ROV is juist geschikt om in een klein gebied aan het werk te zijn en ter plekke te bepalen waar je precies een meting wilt doen of welk monster (steen, koraaltak, enz.) je wilt hebben en deze te pakken.

Behalve (hoge resolutie) videocamera's en een set goede onderwaterlampen is een ROV doorgaans voorzien van een of twee grijparmen en sensoren voor het meten van de watertemperatuur en zoutgehalte en waterbemonsteringsflessen. Verder kan er, vooral bij de grotere modellen, allerlei soorten meet- en bemonsteringsapparatuur ingebouwd worden. Voorbeelden zijn een thermometer voor zeer hoge watertemperaturen en een 'waterstofzuiger' voor het werk aan heetwaterbronnen, losse pijpjes die met de robotarmen in de zeebodem gedrukt worden om sedimentmonsters te nemen, een bak om stenen of andere monsters te verzamelen, een 'vlindernet' om met een robotarm dieren te vangen, een apparaat om gas te bemonsteren dat uit de zeebodem opborrelt, enz. Het is ook niet ongebruikelijk dat er tijdens een onderzoeksvaartocht ter plekke een (eenvoudig) hulpstuk bedacht wordt zodat het toch mogelijk is om door middel van de robotarm een monster te nemen onder onverwachte omstandigheden of simpelweg omdat je iets nieuws tegenkomt dat je helemaal niet kende.

Een ROV wordt meestal bediend door gespecialiseerd personeel. Bij de grotere ROV's gaat het dan al gauw om meerdere personen: een persoon voor het besturen, iemand die de robotarmen bedient, iemand voor de navigatie en een die de algemene leiding heeft. Vooral de grotere ROV's vragen dus veel personeel (ook voor het dagelijkse onderhoud) en veel ruimte aan dek voor de ROV, de speciale lier met kilometerslange kabel,



AFBEELDING 9. | Foto's van de Canadese ROPOS diepzee-ROV aan boord van het NIOZ onderzoeksschip Pelagia tijdens een vaartocht voor de Duitse geologische dienst (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). De ROV is ongeveer 2,5 meter hoog. A) Vooraanzicht met links een robotarm, onder vooraan een uitschuifbare lade met vier monsterbakken, meerdere hoge kwaliteit video- en fotocamera's, vele hydraulische en elektrische leidingen en vooral heel veel lampen. B) Zijaanzicht van de ROPOS ROV. De geel/zwarte blokken bovenop zijn drijfschuim. Een ROV is zo ontworpen dat hij altijd drijft als de motoren uit staan en komt dus altijd weer boven als je onderwater een stroomstoring hebt (of de kabel breekt af). C) Het dek van de Pelagia staat vol met apparatuur uitsluitend om met de ROV te kunnen werken. Links op de foto een zeecontainer ingericht als controlecentrum voor de ROV, met op het dak reserve-onderdelen. Rechts een container ingericht als ROV-werkplaats. Tussen de containers staat de lier met de speciale ROV-kabel. Deze kabel is de navelstreng van de ROV. Het ophijzen is eigenlijk bijzaak. De kabel is er vooral om de ROV via de koperen aders van stroom te voorzien, de besturingsignalen door te sturen naar beneden en alle gemeten gegevens en foto- en videosignalen door de glasvezelkabels in deze staalkabel naar het schip te sturen. D) Voorbeeld van meten en bemonstering met een ROV. Rechts zie je de klauw van een van de robotarmen. De klauw houdt een sensor vast voor het meten van de watertemperatuur en het opzuigen van water dat uitgestoten wordt door een black smoker (heetwaterbron met opgeloste metalen) in de Indische Oceaan. Foto: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR.





een zeecontainer ingericht als controlecentrum, een werkplaatscontainer en een container met reserveonderdelen. Onderzoekstochten waar een ROV gebruikt wordt zijn dus vaak speciaal bedoeld voor deze ene activiteit en volgen op vaartochten waarbij het gebied eerder verkend is waarbij gebruik gemaakt is van de eerder beschreven apparatuur.

6) Onderwaternavigatie – USBL

Een belangrijk onderwerp is nog niet behandeld: hoe bepalen we de exacte positie van onze apparatuur onder water? (Bijna) iedereen kan tegenwoordig zijn exacte positie op land bepalen met behulp van een draagbare GPS-ontvanger of telefoon. Navigatie per satelliet (GPS is slechts een van de vier (bijna) wereldwijd beschikbare systemen voor satellietnavigatie) is tegenwoordig onderdeel van het dagelijks leven, maar zoals al eerder gezegd werkt dit niet onder water. De radio-signalen van de satelliet dringen niet diep genoeg door in zee water. Onder water maken we gebruik van geluid om de positie van de onderzoeksapparatuur te bepalen. Deze apparatuur wordt aangeduid als USBL (Ultra Short BaseLine, ultrakorte basislijn). Deze naam verwijst naar de afstand tussen de akoestische zenders/ontvangers in de kop van de navigatieapparatuur aan boord van het schip (er bestaat ook een LBL of Long BaseLine-versie waarbij zenders/ontvangers op grotere afstand op de zeebodem geplaatst worden). Net als bij de multibeam moeten we van tevoren nauwkeurig de geluidssnelheid ter plekke door de gehele waterkolom meten om de positieberekening nauwkeurig te kunnen uitvoeren.

USBL bestaat uit twee hoofdonderdelen: een zend- en ontvangerkop (de transceiverkop) die aan een paal onder het schip kan zakken en een ontvanger/zender (transponder) op de apparatuur waarvan we de positie willen weten (Afb. 10). De transceiverkop onder het schip zendt een geluidspuls uit die zich voortplant in het water. Deze puls wordt opgevangen door de transponder. Deze zendt onmiddellijk een puls terug. De transceiverkop onder het schip vangt dit antwoordsignaal weer op. Omdat de transceiverkop bestaat uit vele aparte zenders/ontvangers kan de richting van het binnenkomende geluid bepaald worden (net zoals wij met onze beide oren kunnen horen uit welke richting een geluid komt). De richting van het geluid wordt bepaald ten opzichte van de richting van de boeg van het schip en het horizontale vlak, dus het apparaat meet twee hoeken. De afstand tot het schip wordt berekend uit de geluidssnelheid op elke waterdiepte en de tijd die het geluidssignaal er over gedaan heeft. De combinatie van de beide hoeken en de afstand geeft de positie van de transponder, en daarmee ons apparaat, ten opzichte van het schip. De positie van het schip en de oriëntatie van het schip ten opzichte van het geografische Noorden is bekend door middel van satellietnavigatie en dus kan de computerapparatuur de geografische positie en diepte van het apparaat onder water uitrekenen.

Tenslotte

De hierboven beschreven apparatuur is slechts een deel van de inhoud van de mariengeologische gereedschapskist. Met de in dit artikel beschreven apparatuur is een geoloog in staat om op zee nauwkeurig te bepalen waar hij is en de benodigde monsters te verzamelen. Er bestaat echter nog een heel scala aan meet-, waarnemings- en bemonsteringsapparatuur. Zo is er de vibrocorer. Deze wordt gebruikt voor het nemen van sedimentkernen tot enkele meters lengte en is daarmee vergelijkbaar met de hierboven beschreven pistoncorer. Het verschil is echter dat een vibrocorer geen vrije val maakt, maar met behulp van een ondersteunend frame op de zeebodem gezet wordt en dan door middel van trilbewegingen de bodem inzakt. Op deze manier is het mogelijk harde compacte zanden en zelfs grind te bemonsteren. Een pistoncorer zou bij



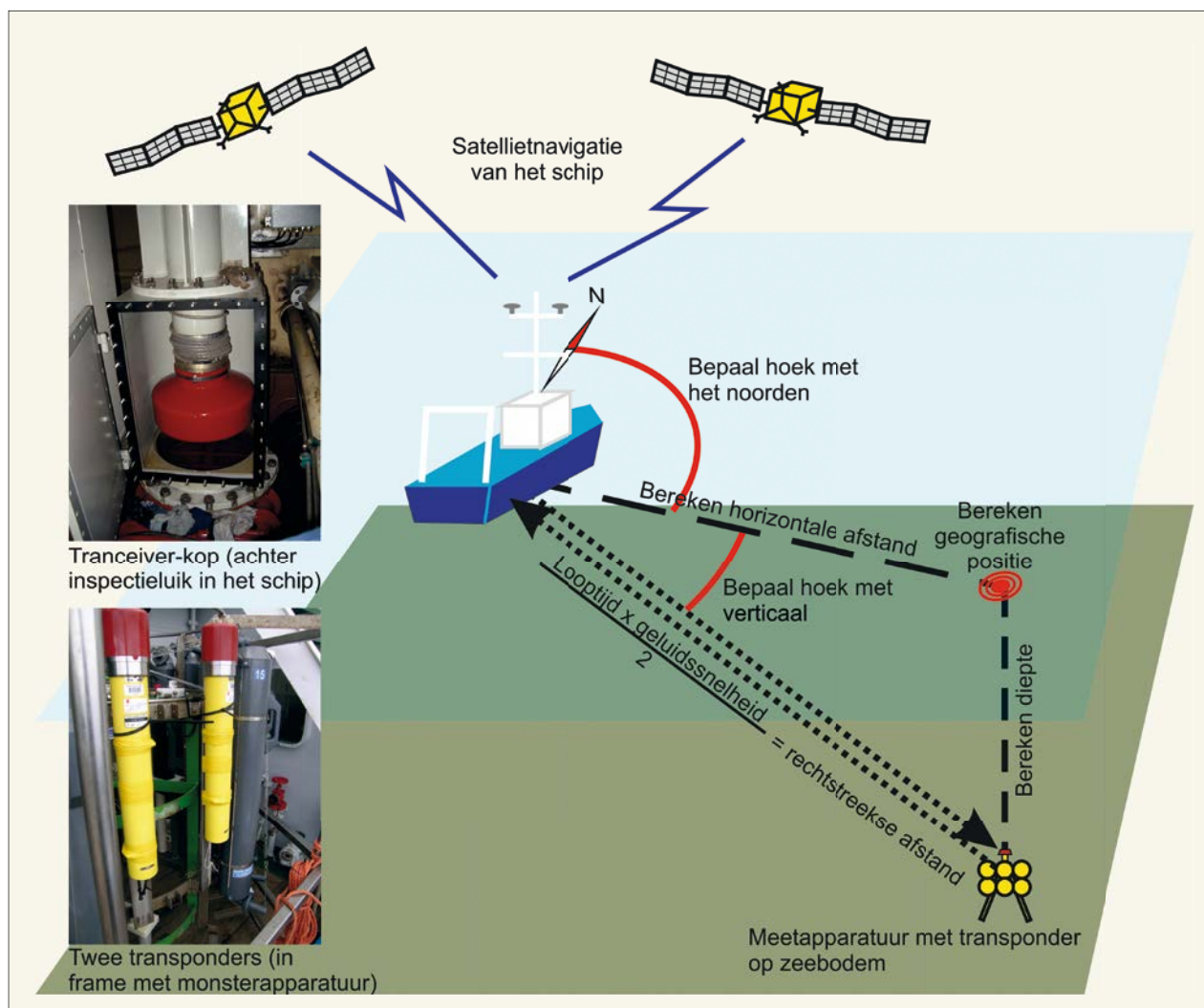
gebruik in dit soort sediment slechts leeg en kromgebogen weer boven water komen. In dit artikel hebben we het alleen gehad over het verkennen van het sedimentoppervlak en bemonsteren van de bovenste meters van de zeebodem. Om verder terug te gaan in de geologische geschiedenis en meer te begrijpen van de diepere ondergrond is seismiek een veel gebruikte methode. Met behulp van een airgun (simpel omschreven een heel groot klappertjespistool aangedreven door perslucht), een sparker (een groep 'onderwaterbougies' waarbij, door de geproduceerde vonk, water verdampt dat een snel uitzettende gasbel vormt) of andere technieken wordt onder water een harde knal geproduceerd. Het geluid verspreidt zich vervolgens door het water richting bodem. Afhankelijk van de frequentie van het geluid dringt het signaal enkele tientallen meters tot enkele kilometers de zeebodem in en weerkaatst daarbij op de sedimentaire

gelaagtheid of zelfs diepliggende stollingsgesteenten. Het weerkaatste geluid wordt opgevangen door middel van hydrofoons (onderwater microfoons, meestal gemonteerd in een streamer, een slang gesleept achter het schip). Terwijl het schip vooruit vaart wordt er op regelmatige afstanden een knal geproduceerd en worden de reflecties van de verschillende gesteentelagen behorende bij elke knal opgevangen. Dit geeft een profiel van de gelaagtheid van het materiaal onder de zeebodem en geeft ons inzicht in de grote en kleine geologische structuren en daarmee de geologische geschiedenis van het zeegebied. Met een meer complete beschrijving van seismische apparatuur en de bewerking en interpretatie van de verkregen gegevens kan een nieuw artikel in Grondboor & Hamer makkelijk volgeschreven worden.

En dan is er natuurlijk ook nog een speciaal voor wetenschappelijk onderzoek ontworpen schip. Net als bij de seismische apparatuur kan ook daarover een volledig artikel zonder problemen gevuld worden.

Dankwoord

De redactie van Grondboor & Hamer wil ik bedanken voor de mogelijkheid om door middel van deze speciale mariene geologie-editie van het tijdschrift de leden van de NGV de kans te geven kennis te maken met deze wat onbekendere tak van de geologie. Tenzij anders aangegeven zijn alle figuren gemaakt door de auteur. Mijn dank aan NIOZ-collega's Furu Mienis, Rob Witbaard en Bob Koster voor het gebruik van gegevens en het beschikbaar stellen van foto's van NIOZ-apparatuur voor de afbeeldingen 5 en 6. Mark Pronk regelde de toestemming voor het gebruik van foto's van de firma's Kongsberg en GeoAcoustics gebruikt in de afbeeldingen 5 en 7. Thomas Kuhn gaf toestemming voor het gebruik van de foto van Afb. 9D gemaakt door de ROV van Afb. 9A-C.



AFBEELDING 10. | Foto's en schematische weergave van een USBL en transponders met uitleg over de werking.