

Gedegen, innovatieve en verbindende monitoring
van het waddengebied

FACTSHEET AKOESTISCHE METHODEN
MONITORING VAN ONDERWATERBODEMS MET OOG OP IMPACT BODEMVISSERIJ

Henko de Stigter

NIOZ

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	4
2	AKOESTISCHE METHODEN	5
2.1	Specificiteit en nauwkeurigheid	7
2.2	Inzetbaarheid en leverbetrouwbaarheid	9
2.3	Uniformiteit	9
2.4	Regionale geschiktheid.....	9
2.5	Continuïteit	10
2.6	Prijs/kwaliteit.....	10
2.7	Toepassingskader monitoring binnen probleemaafbakening.....	10
3	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	13
4	REFERENTIES	14

1 INLEIDING

Binnen huidige surveys van habitats en bodemleven in de Waddenzee blijven grote delen van het sublitoraal volledig buiten beeld. Oorzaak is het ontbreken van een effectieve methode waarmee veranderingen van de onderwaterbodem met voldoende resolutie in ruimte en tijd gevolgd kunnen worden. Alleen op plaatsen met sublitorale mosselpopulaties van voldoende omvang om interessant te zijn voor mosselzaadvisserij worden periodiek bodemmonsters verzameld voor het bepalen van mosseldichtheid en populatieopbouw (van Stralen, 2012; van Stralen et al., 2014).

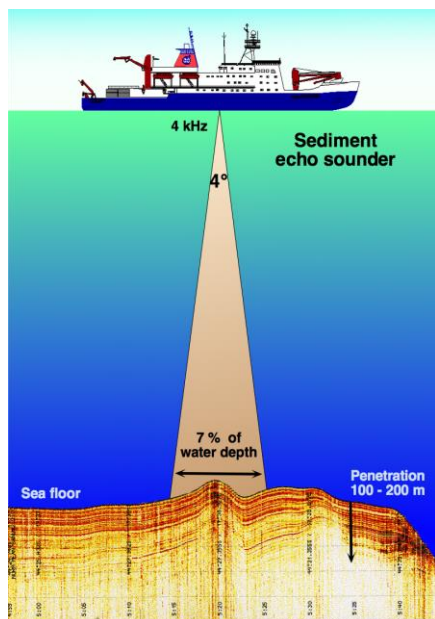
Van het totale areaal van de internationale Waddenzee van 6725 km² maakt het sublitoraal met 2325 km² ruim eenderde van het oppervlak uit. Voor het relatief diepe westelijke deel van de Nederlandse Waddenzee is het sublitorale deel naar verhouding nog groter. Door het systematisch ontbreken van betrouwbare gegevens van een zo groot deel van de Waddenzeebodem is het feitelijk onmogelijk een goede schatting te maken van totale bestanden aan bodemfauna, met consequenties voor ecosysteem/draagkrachtmodellen zoals benodigd voor duurzaam beheer van het Waddengebied. Door het ontbreken van systematische opnames van samenstelling en structuur van de sublitorale zeebodem kunnen ook geen betrouwbare uitspraken gedaan worden over veranderingen (of afwezigheid daarvan) van de zeebodem als gevolg van bodemvisserij of andere menselijke activiteiten.

Waar conventionele bodembemonstering met voldoende resolutie in ruimte en tijd te kostbaar is, en zicht op de sublitorale bodem door het bovenliggende troebele water belemmerd wordt voor optische of radar remote sensing technieken, kunnen akoestische technieken als echo sounding en sidescan sonar die veel minder hinder ondervinden van troebelheid van het water ingezet worden. In hoeverre deze technieken in principe antwoord kunnen geven op bepaalde monitoringvragen, en in hoeverre huidige meetprogramma's met inzet van akoestische technieken ook daadwerkelijk kunnen voldoen aan monitoringbehoeften, wordt in de volgende paragrafen behandeld.

Specifieke aandacht van sublitorale monitoring betreffen voorkomen, areaal, dichtheid en populatieopbouw van schelpdierbanken door de tijd heen, waarbij focus ligt op structuurvormende soorten als mossels en oesters. Daarnaast meer algemeen het voorkomen en areaal door de tijd heen van verschillende sublitorale (sub)habitats en habitatbepalende structuren zoals Zeemosvelden en Sabellariariffen wat betreft organismen en harde substraten zoals schelp-, klei- en veenbanken. Kleinschaliger bodemstructuren als golf- en stroomribbels en structuren gevormd door gravende organismen zijn in principe te dynamisch van aard om onderwerp van reguliere monitoring te zijn. Centimeter- tot decimeterschaal stroomribbels in een getijdegeul kunnen door bodemvisserij maar ook door sterke stroming kortstondig afgevlakt worden, maar zullen in het tijdsbestek van een enkel getij opnieuw gevormd worden. Hetzelfde geldt voor kleinschalige biogene structuren gevormd door gravende organismen, voor zover de fauna die deze structuren produceert tenminste niet zelf verstoord wordt.

2 AKOESTISCHE METHODEN

Singlebeam- en multibeam echosounding en sidescan sonar maken gebruik van onder water uitgezonden geluidsgolven die zich van de geluidsbron af voortplanten in water, en waarvan de reflectie vanaf voorwerpen met afwijkende voortplantingssnelheid voor geluid gedetecteerd wordt. Bij echosounding, ontwikkeld voor het bepalen van waterdiepte als standaard navigatiehulpmiddel aan boord van schepen en voor het karteren van waterdiepte, wordt de afstand tussen geluidsbron en detector aan boord van een schip en de reflecterende zeebodem berekend uit de looptijd van het uitgezonden en gereflecteerde akoestische signaal en de gemeten of aangenomen voortplantingssnelheid van geluid in water. In de meest gangbare toepassing, aangeduid met de term singlebeam echosounding, wordt gebruik gemaakt van een enkele gerichte akoestische bundel waarmee de diepte recht onder het schip wordt bepaald (Figuur 1). Verfijning van de akoestische techniek en de ontwikkeling van steeds snellere computers maakte ontwikkeling van multibeam echosounding mogelijk, waarbij een brede strook bodem onder het schip bestreken wordt met een waaier van akoestische bundels. Uit het teruggekaatste signaal kan in één keer een compleet diepteprofiel langs de geïsonificeerde strook (*swath*¹) bepaald worden. Vanwege de veel bredere bedekkingsgraad van multibeam echosounding is deze techniek bij uitstek geschikt voor karteringsdoeleinden. Er is wel een beperking in ondiep water omdat de breedte van de swath smaller wordt naarmate waterdiepte onder het opnameapparaat afneemt, en er daardoor meer raaien gevaren moeten worden om een vlakdekkende opname te verkrijgen.

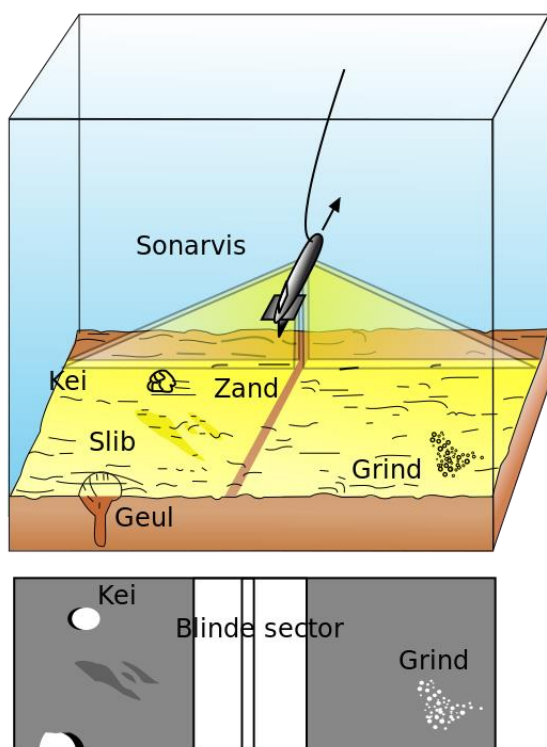


Figuur 1. Echosounding (single beam) (bron: Wikipedia.nl)

¹ 'swath', in oorsprong duidend op de baan die met een slag van zeis of sikkel gemaaid wordt, is de generieke term voor akoestische opnames van een hele strook ineens met behulp van een waaier van akoestische bundels (multibeam), in tegenstelling tot opname van een enkel punt met behulp van een enkele bundel (singlebeam).

Naast waterdiepte kan uit de aard van het teruggekaatste akoestische signaal ook informatie afgeleid worden over de aard van de onderwaterbodem. Van een vlakke harde bodem bestaande uit zand of grind of schelpen zal een relatief sterke echo terugkomen, terwijl van zachte slibrijke en onregelmatige bodems een afgezwakte en diffuse echo terugkomt. Ook kunnen echo's terugkomen van structuren in de ondergrond. Gebaseerd op de verschillende reflectiviteit van onderwaterbodems voor verschillende frequenties van het gebruikte bronsignaal zijn diverse specifieke toepassingen ontwikkeld voor akoestische classificering en kartering van onderwaterbodems. Het echosignaal geregistreerd bij singlebeam en multibeam echosounding is potentieel ook bruikbaar voor deze doeleinden, en met name bij gangbare multibeam systemen wordt naast waterdiepte ook akoestische reflectiviteit gekarteerd, waarbij gecorrigeerd wordt voor verzwakking van het signaal afhankelijk van weglengte door het water en invalshoek van de akoestische bundel.

Ook bij sidescan sonar (Figuur 2) wordt reflectiviteit van de onderwaterbodem of voorwerpen in het water boven de bodem in beeld gebracht. Verschil met echosounding is dat de looptijd van de akoestische puls niet wordt geregistreerd maar alleen de intensiteit en richting van het gereflecteerde signaal. De resolutie van sidescan sonar is echter aanzienlijk groter² waardoor structuren in betrekkelijk groot detail waargenomen kunnen worden. De techniek wordt veel ingezet voor het controleren van de bodem van vaarwegen en langs trajecten voor aanleg van pijpleidingen of kabels op aanwezigheid van obstakels.



Figuur 2. Sidescan sonar (bron: Wikipedia.nl)

² Door een nauwere openingshoek voor registratie van gereflecteerd signaal is resolutie van sidescan sonar in het vlak loodrecht op de akoestische bundel hoger dan voor multibeam.

2.1 Specificiteit en nauwkeurigheid

Nauwkeurigheid en oplossend vermogen van singlebeam en multibeam echosounding gemeten langs de richting van de uitgezonden puls worden primair bepaald door de gebruikte frequentie en de snelheid waarmee opeenvolgende pulsen worden uitgezonden. Voor ondiepwatersystemen zoals gebruikt voor reguliere diepteopnames in Nederlandse kustwateren liggen deze voor vlakke reflectoren loodrecht op de akoestische bundel in de orde van centimeters. De nauwkeurigheid en oplossend vermogen nemen af naarmate het reflecterende oppervlak onregelmatiger is of onder een schuinere hoek wordt geïnsonificeerd. In richtingen loodrecht op de akoestische bundel is het oplossend vermogen doorgaans minder hoog, in kustwateren in de orde van centimeters tot decimeters, evenredig aan de mate waarin de akoestische bundel breder wordt op toenemende afstand van de bron. In principe kunnen met singlebeam en multibeam echosounding bodemverheffingen of verdiepingen van enkele centimeters waargenomen worden, met een doorsnee van enkele centimeters tot decimeters (zie bv. Ernsts et al., 2006). In de Waddenzee bijvoorbeeld sedimentaire structuren als megaribbels, zandgolven, uitslijtingsgaten, grote stenen, blootgespoelde veenbanken, of biogene structuren als schelpdierbanken en sabellariariffen. Kleinschalige golf- en stroomribbels, afzonderlijke bioturbatiestructuren en afzonderlijke schelpen vallen buiten het oplossend vermogen.

Veel meer echter dan door de intrinsieke eigenschappen van het gebruikte systeem wordt de uiteindelijke nauwkeurigheid voor dieptemetingen van echosounding bepaald door de nauwkeurigheid waarmee horizontale en verticale positie en oriëntatie van het echosoundersysteem vastgesteld kunnen worden, en door de mate waarin variatie in voortplantingssnelheid van geluid in water wordt meegerekend. Wiegmann et al. (2002) geven een uitvoerig overzicht van bronnen van onnauwkeurigheid in dieptebepalingen. Bij opnames vanaf ca. 2000 worden horizontale en verticale positie tot op centimeters nauwkeurig bepaald met RTK plaatsbepaling en wordt gebruik gemaakt van bewegingssensoren waardoor gecorrigeerd kan worden voor bewegingen van het opnameplatform. Bij oudere opnames van voor 1990 werd de horizontale positie bepaald door radiopeiling, en werd de verticale positie ten opzichte van gemiddeld zeeniveau gecorrigeerd met behulp van getijcurven van nabijgelegen peilstations. Correctie voor scheepsbewegingen vond niet of in geringe mate plaats. Systematische verschillen in gemeten waterdiepte die toe te schrijven zijn aan verschillende opnamemethoden kunnen oplopen tot meerdere decimeters.

De verwerking van de ingewonnen waterdieptes in dieptekaarten, waarbij lege vakken tussen opeenvolgende met singlebeam opgenomen meetraaien worden ingevuld door interpolatie, zijn een verdere bron van onnauwkeurigheid. De onnauwkeurigheid neemt toe naarmate het terrein waarover geïnterpoleerd wordt meer geaccidenteerd is. Verschillen tussen geïnterpoleerde en feitelijk gemeten waterdiepten kunnen oplopen tot meerdere decimeters.

Met de huidige stand van meettechniek is er weinig verschil meer in opnamenauwkeurigheid tussen singlebeam en multibeam echosounders. Vanwege de volledige dekking die multibeam echosounding biedt zou deze techniek voor monitoring van onderwaterbodems veruit de voorkeur verdienen boven singlebeam

echosounding aangevuld met interpolatie. Met het oog op kostenbesparing houdt RWS voor de periodieke vaklodingen in Nederlandse kustwateren echter vast aan minder dure singlebeam opnames. De consequentie hiervan is dat alleen de originele opnames langs meettraaien een betrekkelijk hoge nauwkeurigheid en oplossend vermogen bieden, maar de door interpolatie geconstrueerde dieptekaarten met 20x20 m grid geven zelfs grootschalige structuren als zandgolven en schelpenbanken niet betrouwbaar weer.

Voor wat betreft akoestische reflecties van singlebeam en multibeam echosounding bestaat er voor Nederlandse kustwateren geen gestandaardiseerde methode voor systematische inwinning en toepassing. Met het oog op kostenbesparing worden akoestische reflectiedata doorgaans niet bewaard. Uit een aantal recente studies (Van Lancker et al., 2012; Troost et al., 2013) blijkt de potentie van het gebruik van akoestische reflecties van multibeamopnames voor karteren van schelpdiervoorkomens, waarbij een (matig) correlatief verband wordt waargenomen tussen reflectiekenmerken en door middel van bodembemonstering gekwantificeerde schelpdierdichtheden. Nader onderzocht moet worden of de reflectiekenmerken direct verband houden met de aanwezigheid van specifieke soorten schelpdieren of met schelpdieren in het algemeen, of met bepaalde sedimenttypen waarin de onderzochte fauna bij voorkeur voorkomt. Troost et al. (2013) geven aan dat voorspellingen van faunavoorkomens op basis van reflectiedata altijd gevalideerd moeten worden met gelijktijdig uitgevoerde conventionele bemonstering. Gebruik van reflectiedata wordt ook bemoeilijkt door het feit dat de reflectiekenmerken sterk afhankelijk zijn van de instellingen van het echosoundersysteem en de gebruikte dataverwerkingssoftware (bv. Roche en Degrendele, 2010). Voor een meer algemeen gebruik zou een gestandaardiseerde opname en verwerking een vereiste zijn.

Sidescan sonar geeft relatief gedetailleerde beelden van de onderwaterbodem met centimeterschaal resolutie, en wordt algemeen ingezet voor het detecteren van voorwerpen en structuren onder water. De techniek leent zich in principe goed voor het in kaart brengen van onderwaterbodems met sterk ontwikkelde driedimensionale structuur, zoals zandige bodems met stroomribbels en schelpdierbanken. De weergave van voorwerpen en hun akoestische schaduwen door sidescan sonar is echter sterk afhankelijk van de aanvaarrichting van het surveyschip en de invalshoek van de sonarbundel en daarom niet in detail reproduceerbaar in verschillende surveys. Daarnaast resulteert vlakke projectie van de sonarbeelden op geaccidenteerde zeebodem in onnauwkeurigheden in de plaatsbepaling. In de nieuwste generatie sidescan sonars wordt dit bezwaar ondervangen door de techniek te combineren met gedetailleerde meting van bodemtopografie met behulp van multibeam echosounding. Pilot-studies met gangbare sidescan sonarsystemen in de Waddenzee tonen evengoed de potentie van deze techniek aan voor het in kaart brengen van schelpdierbanken (e.g. van Overmeeren et al., 2006; 2009). Waargenomen correlaties tussen reflectiekenmerken en dichtheden van schelpdieren kunnen mogelijk benut worden voor kwantificeren van schelpdiervoorkomens (e.g. Jansen et al., 2013).

2.2 Inzetbaarheid en leverbetrouwbaarheid

Alle hier genoemde akoestische technieken worden uitgevoerd vanaf een varende platform, gewoonlijk een schip met geringe diepgang, waarbij opnameapparatuur in een vaste opstelling aan het platform wordt bevestigd of in geval van sidescan sonar onder of achter het platform gesleept wordt. De minimale waterdiepte waarbij de technieken ingezet kunnen worden wordt uiteraard primair bepaald door de diepgang van het varende platform en de positie van de opnameapparatuur. Voor subtidaal delen van de Waddenzee levert dit geen beperkingen op, alleen opnames op de grens van intertidal en subtidal zullen bij hoog water uitgevoerd moeten worden. Voor vlakdekkende multibeam echosounding geldt daarnaast dat de breedte van de geïsonificeerde strook onderwaterbodem evenredig toe- of afneemt met de waterdiepte onder het opnameapparaat, afhankelijk van de maximale openingshoek van de uitgezonden waaier van akoestische bundels. Voor de huidige generatie ondiepwater multibeams wordt een maximale breedte gehaald van 10 maal de waterdiepte onder het opnameapparaat. In ondiep water moeten daarom veel meer raaien gevaren worden dan in diep water om een zelfde areaal vlakdekkend op te nemen, wat een praktisch bezwaar kan betekenen voor het uitvoeren van vlakdekkende opnames. De dekkingsgraad van sidescan sonar wordt, afhankelijk van de gebruikte frequentie van het akoestische signaal, primair beperkt door de reikwijdte van het signaal. Voor ondiepwatersonar bedraagt de reikwijdte doorgaans enkele tientallen meters naar beide kanten van het opnameplatform. Wanneer echter het sonarapparaat dicht boven de bodem wordt gesleept, wat wenselijk is voor het behalen van een optimale beeldresolutie, kan het zijwaartse zicht van de sonar beperkt worden door onderwatertopografie.

Voor alle opnametechnieken geldt dat relatief rustig weer bevorderlijk is voor de opnamekwaliteit, zowel vanuit oogpunt van de navigatie als ook voor het verkrijgen van een goede signaal/ruisverhouding.

2.3 Uniformiteit

Singlebeam echosounder opnames van de gehele Waddenzee worden met zesjaarlijkse intervallen uitgevoerd in het kader van vaklodingen van RWS. De gebruikte methoden voor opname en dataverwerking zijn goed gestandaardiseerd en gedocumenteerd. Omdat opnames gespreid over meerdere jaren en gedurende verschillende jaargetijden worden uitgevoerd kan vergelijking van opeenvolgende vaklodingen alleen inzicht geven in veranderingen op langere termijn, met een mogelijke bias door seizoenale variatie in sedimentatie en erosie (e.g. Elias en Wang, 2013). Akoestische reflectiedata worden vanwege de extra kosten voor processing en opslag niet bewaard.

Voor de Waddenzee bestaat geen regulier meetprogramma voor het uitvoeren van multibeam echosounding noch voor sidescan sonar surveys.

2.4 Regionale geschiktheid

Singlebeam echosounding opnames uitgevoerd in het kader van periodieke vaklodingen van RWS zijn niet vlakdekkend maar worden uitgevoerd langs parallelle raaien met een onderlinge afstand van 200 m. Door middel van interpolatie worden dieptekaarten geconstrueerd met 20x20 m gridcellen. Analyse

van langs raaien opgenomen akoestische reflectiedata, indien beschikbaar, zou een globale indicatie kunnen geven van verschillende bodemtypen, waaronder mogelijk ook sublitorale schelpdierbanken. Voor oplossen van kleinschaliger structuren voor monitoringdoeleinden zou een veel dichtere spatiëring van opnameraaien nodig zijn, of beter nog toepassing van een vlakdekkende opname met multibeam echosounding of sidescan sonar.

2.5 Continuïteit

Singlebeam echosounding opnames van de Waddenzee worden sinds 1987 met zesjaarlijkse intervallen uitgevoerd. Door progressieve verbetering van de opnamenauwkeurigheid zijn de gegevens van opeenvolgende vaklodingen niet zonder meer vergelijkbaar (e.g. Elias en Wang, 2013). Voor monitoringdoeleinden zou een frequentere opname uitgevoerd binnen eenzelfde jaargetijde nodig zijn.

2.6 Prijs/kwaliteit

Vanwege de noodzakelijke intensieve inzet van schepen voor het uitvoeren van echosounding en sidescan surveys is akoestische monitoring van onderwaterbodems relatief duur. Om die reden zijn in opdracht van RWS diverse studies uitgevoerd naar meer efficiënte en kostenbesparende opnametechnieken voor het voldoen aan de wettelijke verplichting voor het periodiek vaststellen van de ligging van kustlijn en zeebodem. Het achterhalen van de werkelijke kosten van akoestische opnames blijkt niet eenduidig mogelijk te zijn, en de verschillende studies geven daarom sterk verschillende kostenschattingen. Wiegmann et al. (2002) noemen bijvoorbeeld een prijs voor inwinnen en primaire dataverwerking van € 33 per kilometer raai voor singlebeam en € 74 per kilometer raai voor multibeam. In een meer recente studie noemen Perluca et al. (2006) een totaalprijs van k€ 686 die RIKZ betaalde voor opname van 690 km² met singlebeam, wat uitgaande van 200 m slagafstand tussen raaien neerkomt op een substantieel hogere prijs van € 200 per kilometer raai. De totaalprijs blijkt grotendeels bepaald door het totale aantal van 170 vaardagen vermenigvuldigd met de dagprijs van het schip a k€ 4. Primaire dataprocessing vond plaats aan boord en was in de prijs meegerekend. Volledige dekking met multibeam echosounding, rekenend met een breedte van 20 m die in water van gemiddeld 2,5 m diep met een ondiepwatermultibeam bestreken kan worden, valt een orde van grootte hoger in kosten uit, gemakshalve aannemend dat met een zelfde snelheid gevaren wordt als met singlebeam. Ter vergelijking, tijdens experimentele kartering van schelpdierbanken in de Waddenzee met behulp van sidescan sonar (van Overmeeren, 2006) werd in nog geringere waterdiepte een opnamebreedte van rond 100 m gehaald. De kosten voor primaire opname zullen daarmee globaal het dubbele zijn als voor de singlebeam opnames zoals uitgevoerd voor periodieke vaklodingen.

2.7 Toepassingskader monitoring binnen probleemafbakening

De beschikbare akoestische technieken lijken in principe goede mogelijkheden te bieden voor het onderscheiden en in kaart brengen van decimeterschaal en grotere habitatbepalende sedimentaire en biogene structuren, en in combinatie met validatie door middel van bodembemonstering lijkt er ook potentie te zijn voor globale kwantificering van dichtheden van bodemfauna. Kleinschaliger sedimentaire

en biogene structuren vallen buiten het oplossend vermogen van deze technieken, maar zoals al aangegeven in de inleidende paragraaf zijn deze structuren ook te dynamisch van aard om in een regulier monitoringprogramma meegenomen te worden. Waar opnames van kleinschalige bodemstructuren toch gewenst zijn kan onderwaterfotografie en video uitkomst bieden. Door gebruik te maken van een zoetwaterlens, een ingesloten volume gedistilleerd water tussen camera en object, kunnen ook in troebel water heldere beelden verkregen worden (e.g. Spink en Read, 2015). Onderstaande tabel geeft een overzicht van beschikbare technieken en hun geschiktheid voor monitoring van onderwaterbodems in de Waddenzee.

Tabel 1. Overzicht van beschikbare technieken en hun geschiktheid voor monitoring

Onderwaterbodem sublitoraal Waddenzee	Verandering onder invloed van natuurlijke en antropogene processen	Akoestische monitoringstechniek
Samenstelling: slib, zand, grind, schelpen(gruis)	Vergroving en verfijning o.i.v. seizoenale afwisseling van stormachtig en rustig weer, op langere termijn door geulmigratie. Vergroving o.i.v. aanhoudende bodemvisserij	Sbeam en Mbeam (bodembrelectiviteit)
Samenstelling/morfologie: geconsolideerde klei- en veenbanken	Blootspoelen of begraven raken van banken onder los sediment door stormen of langere termijn geulmigratie	Sbeam en Mbeam (bodembrelectiviteit en reflectiviteit), sidescan sonar
Morfologie: vlakke bodem, cm- en dm-schaal golf- en stroomribbels	Continue verandering van ribbelpatronen o.i.v. stroming en golfwerking, snel herstel na afvlakking door o.a. bodemvisserij	cm-schaal structuren niet te onderscheiden; dm-schaal structuren: Sbeam en Mbeam (bodembrelectiviteit), sidescan sonar
Morfologie: zandgolven	Migratie van zandgolven over termijn weken, maanden en langer o.i.v. getijstrooming	Sbeam en Mbeam (bodembrelectiviteit), sidescan sonar
Morfologie: cm-schaal biogene structuren	Toename structuur door (seizoenale) activiteit bodemfauna, afvlakking door stormen en bodemvisserij	cm-schaal structuren niet te onderscheiden
Samenstelling/Morfologie: dm- en grotere schaal biogene structuren: banken van schelpdieren, Sabellaria, etc.	Seizoenale en langere termijn verandering door populatieaanwas en sterfte, afbraak door stormen en bodembevising	Sbeam en Mbeam (bodembrelectiviteit en reflectiviteit), sidescan sonar

Hoewel akoestische technieken in principe goede mogelijkheden bieden voor monitoring van relevante kenmerken van onderwaterbodems, lijken de mogelijkheden binnen de huidige praktijk van singlebeam echosounding van de Waddenbodem uitgevoerd in opdracht van RWS uitermate beperkt. Redenen zoals in het voorgaande besproken zijn dat i) werkelijk vlakdekkende opnames met multibeam en sidescan sonar niet structureel worden uitgevoerd, ii) de uit geïnterpoleerde singlebeam opnames geconstrueerde dieptekaarten relatief onnauwkeurig zijn, iii) opeenvolgende opnames met relatief lange tussenpozen van enkele jaren worden uitgevoerd, en iv) akoestische reflectiedata niet standaard worden bewaard.

Een eerste stap op weg naar inzet van akoestische technieken voor monitoringdoeleinden in de Waddenzee zou het systematisch bewaren van de

singlebeam akoestische reflectiedata kunnen zijn, zoals volgens Troost et al. (2013) momenteel wel gebeurt voor opnames in de districten Zeeland en Zuid-Holland. Dit vereist geen extra inspanningen wat betreft vaartijd, al zijn met verwerking, opslag en analyse van de reflectiedata wel kosten gemoeid. De winst zou liggen in het beschikbaar komen van een uitgebreid en relatief dicht netwerk van akoestische reflectiviteitsmetingen van de Waddenzeebodem. Overlap van dit netwerk met lokaties waar periodiek opnames verricht worden van sediment en bodemfauna, bijvoorbeeld de inventarisaties van sublitorale mosselen uitgevoerd in opdracht van de producenten organisatie mosselcultuur, bieden mogelijkheden tot onderzoek van verbanden tussen bodemreflectie en sedimenttype en bodemfauna. In het ideale geval zouden globale voorkomens en areaal van schelpdierbanken en andere habitatvormende structuren geschat kunnen worden op basis van het netwerk van reflectiedata.

Overschakeling van singlebeam naar multibeam echosounding voor de periodieke diepteopnames van RWS zou een aanzienlijke vooruitgang betekenen voor monitoring van onderwaterbodems. Ook wanneer vastgehouden zou worden aan het gebruikelijke stramien van meetraaien met 200 m interval dan zou per raai toch een strook van gemiddeld 20 m breed in relatief detail opgenomen worden, wat veel uitgebreidere mogelijkheden biedt voor het inventariseren van sedimentaire en biogene structuren dan de lijnen opgenomen met singlebeam. Hoewel er volgens analyse van Wiegmann et al. (2002) voldoende scheeps capaciteit is voor het uitvoeren van multibeam opnames, zijn het de verveelvoudiging van kosten voor opname en dataverwerking en -opslag die RWS nu nog weerhouden om over te schakelen op multibeam. Het is echter niet uitgesloten dat dit op termijn toch zal gebeuren vanwege andere monitoringbehoefte, bijvoorbeeld van bodemdaling in relatie tot gas- en zoutwinning onder de Waddenzee. De onnauwkeurigheid van de huidige diepteopnames is vele malen groter dan de te verwachten effecten van bodemdaling, waardoor bodemdaling in feite niet vast te stellen is (Elias en Wang, 2013).

In het ideale geval vanuit monitoringperspectief zou het gehele sublitoraal van de Waddenzee dekkend opgenomen moeten worden met gecombineerde multibeam en sidescan sonar opnames, met opslag van alle data inclusief akoestische reflecties, en ook nog eens met een frequentie die het mogelijk maakt veranderingen van de zeebodem van jaar tot jaar te volgen. Op basis van vlakdekkende opnames van waterdiepte en bodemstructuur, gecombineerd met conventionele bemonstering van sediment en bodemfauna, zouden voorspellende habitatmodellen ingezet kunnen worden om schattingen te maken van voorkomen en dichtheden van bodemfauna.

3 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Concluderend kan gesteld worden dat de weg van de actuele ontoereikende opnamepraktijk naar wat er idealiter op monitoringgebied haalbaar zou zijn verloopt via intensivering in ruimte en tijd van de opname inspanning, toepassing van vlakdekkende opnametechnieken, gebruik van optimale verwerkingssoftware, en ongelimiteerde dataopslag. Validatie van met akoestische technieken afgeleide bodemkarakteristieken door middel van conventionele bodembemonstering lijkt blijvend noodzakelijk. Haalbaarheid is daarmee vooral een kwestie van beschikbaarheid van voldoende budget.

Binnen de huidige context van periodieke diepteopnames in de Waddenzee lijkt het systematisch bewaren van de singlebeam akoestische reflectiedata een eerste voor de hand liggende stap naar verbetering van de monitoringmogelijkheden.

4 REFERENTIES

- Elias, E. & Wang, Z.B., 2013. Abiotische gegevens voor monitoring effect bodemdaling. Deltares Rapport in opdracht van NAM. 67 pagina's.
- Ernstsen, V.B., Noormets, R., Hebbeln, D., Bartholomä, A. & Flemming, B.W., 2006. Precision of high-resolution multibeam echo sounding coupled with high-accuracy positioning in a shallow water coastal environment. *Geo-Marine Letters* 26, 141-149.
- Jansen, J., Kersting, K., de Vries, P., Davaasuren, N., Sneekes, A. & Smaal, A., 2013. Effecten van mosselvisserij op de bodemstructuur, een analyse van Sidescan sonar opnames. IMARES Wageningen UR, Rapport C164/12, 43 pagina's.
- Van Lancker, V., Moerkerke, G., Du Four, I., Verfaille, E., Rabaut, M. & Degraer, S., 2012. Fine-scale geomorphological mapping for the prediction of macrobenthic occurrences of shallow marine environments, Belgian part of the North Sea. In: *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: Geohab Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats*, P.T. Harris and E.K. Baker, Eds., Boston, MA, Elsevier, 251-260.
- Van Overmeeren, R.A., 2006. Sidescan sonar metingen over een vijftal schelpdierbanken in het Balgzand (Waddenzee). TNO Bouw en Ondergrond, Utrecht, Rapport 2006-U-R0199/A, 62 pagina's.
- Van Overmeeren, R., Craeymeersch, J., van Dalen, J., Fey, F., van Heteren, S. & Meesters, E., 2009. Acoustic habitat and shellfish mapping and monitoring in shallow coastal water - Sidescan sonar experiences in The Netherlands. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 85, 437-448.
- Perluka, R., Wiegmann, E.B., Jordans, R.W.L. & Swart, L.M.Th., 2006. Opnametechnieken Waddenzee. Rijkswaterstaat Adviesdienst Geo Informatie en ICT, Delft, Rapport AGI-2006-GPMP-004, 32 pagina's.
- Roche, M. & Degrendele, K., 2010. A surveyor's and cartographer's point of view on the Kongsberg EM3002D multibeam echosounder.
- Spink, J. & Read, L., 2015. Freshwater lens camera system surveys seafloor in high-turbidity waters. *Sea Technology Magazine*, 2015.
- Van Stralen, M., 2012. Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het najaar van 2012. MARINX, Scharendijke, Rapport 2012.124.2, 28 pagina's.
- Van Stralen, M., van den Ende, D. & Troost, K., 2014. Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2014. MARINX, Scharendijke, Rapport 2014.137, 24 pagina's.
- Troost, K., van Asch, M., Baeye, M., Brummelhuis, E., Davaasuren, N., van den Ende, D. & Van Lancker, V., 2013. KBWOT 2012: the use of an acoustic technique in mapping beds of razor clams (*Ensis* sp.). DLO, Centre for Fisheries Research, IJmuiden, Report CVO 13.001, 23 pagina's.
- Wiegmann, N., Perluka, R. & Boogaard, K., 2002. Onderzoek naar efficiency verbetering vaklodgingen. Meetkundige Dienst, Delft, Rapport AGI/110105/GAM010, 27 pagina's.
- Wiegmann, N., Perluka, R., Oude Elberink, S. & Vogelzang, J., RWS-Zeeland Meet Adviesdienst, 2005. Vaklodgingen: de inwintetechnieken en hun combinaties. AGI Rijkswaterstaat, Rapport AGI-2005-GSMH-012, 47 pagina's.