



Onderzoeksopzet BACI Zand uit Zee Ameland

Langjarig ecologisch, morfologisch en hydrodynamisch onderzoek naar een 6 m diepe zandwinning

Auteur(s): M.J. Baptist, M.J.C. Rozemeijer

Wageningen University &
Research rapport C039/24

Onderzoekopzet BACI Zand uit Zee Ameland

Langjarig ecologisch, morfologisch en hydrodynamisch onderzoek naar een 6 m diepe zandwinning

Auteur(s) M.J. Baptist, M.J.C. Rozemeijer

Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research
Den Helder / IJmuiden, april 2024

Wageningen Marine Research rapport C039/24

M.J. Baptist, M.J.C. Rozemeijer, 2024. Onderzoeksopzet BACI Zand uit Zee Ameland; Langjarig ecologisch, morfologisch en hydrodynamisch onderzoek naar een 6 m diepe zandwinning. Wageningen, Wageningen Marine Research, Wageningen Marine Research rapport C039/24. 56 p.

Keywords: zandwinning, Noordzee, monitoring, benthos, rekolonisatie, morfologie, sediment

Opdrachtgever Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
T.a.v.: Jos Torreman, Simeon Moons en Jan-Jaap Tukker
Postbus 2232
3500 GE Utrecht

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/660885>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Foto omslag: Een moderne sleeppopperzuiger type Beagle 4 van Royal IHC, Teunis Huibertus van Gebr. van der Lee, in de haven van Scheveningen, fotograaf Martin Baptist.

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research, hierbij vertegenwoordigd door
Drs.ir. M.T. van Manen, directeur bedrijfsvoering

KvK nr. 09098104,
WMR BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

Inhoud

Onderzoeksoepzet BACI Zand uit Zee Ameland	1
Samenvatting	5
1 Inleiding	6
1.1 Opdrachtbeschrijving	6
1.2 Aanpak	7
2 Overwegingen en strategische keuzes	9
2.1 Benthosgemeenschappen en hun drivers	9
2.1.1 Gemeenschappen	9
2.1.2 Drivers	9
2.2 Rekolonisatie van een -6 m zandwinput	10
2.3 Strategische keuzes	11
2.3.1 Nadere evaluatie van de onderzoeksvraag	11
2.3.2 Meerdere gebieden	11
2.3.3 WOT schaaf en langjarige ruimtelijke benadering	12
2.3.4 Voorjaar versus einde zomer	12
2.3.5 Fasering in de tijd	12
2.3.6 Organisatie en management	12
3 Ligging potentieel zandwingebied	14
4 Instrumenten voor de monitoring van de zandwinput	18
4.1 Benthosgemeenschappen en demersale vis	18
4.1.1 Bodemschaaf	18
4.1.2 Box corer	19
4.2 Bodemmorfologie	19
4.2.1 Multibeam sonar	19
4.2.2 Side-scan sonar	19
4.2.3 3D Sand Ripple Profiling Sonar	20
4.3 Sedimenteigenschappen	20
4.3.1 Vibrocore	20
4.3.2 Lakprofielen	20
4.3.3 Korrelgroottesamenstelling	21
4.3.4 ASED	21
4.3.5 Sedimentval	22
4.3.6 SPI-apparaat	22
4.3.7 Redoxmeter	23
4.4 Temperatuur en saliniteit	23
4.4.1 CTD profielen	23
4.4.2 Wirewalker	23
4.4.3 Thermistor string	24
4.5 Stroming, turbulentie, waterhoogte en golven	24

4.5.1	ADCP	24
4.5.2	ADV	24
4.5.3	Drukmeters	25
4.6	Gesuspendeerd sediment en troebelheid	25
4.6.1	Optical Back Scatter	25
4.6.2	Laser In Situ Scattering and Transmissometry (LISST)	25
4.6.3	Gecombineerde parameters	26
4.7	Pelagische vis en zoöplankton	26
4.7.1	WBAT akoestische sonar	26
4.7.2	Flow cytometer	26
4.7.3	ZooSCAN en DNA	26
4.8	Chlorofyl en primaire productie	27
5	Opzet meetplan; locaties en instrumenten	28
5.1	Monitoring met landers uitgerust met sensoren	28
5.1.1	Introductie	28
5.1.2	Instrumentatie	28
5.1.3	Locatie van de landers	30
5.1.4	Onderhoud	30
5.2	Monitoring van de bodemgemeenschap met bodemschaaf en met box corer	31
5.2.1	Locatie monsterstations schaaftrekken	31
5.2.2	Locatie monsterstations box corer	33
5.3	Monitoring van sedimenteigenschappen en sedimentatiesnelheid	34
5.4	Monitoring van verticale profielen van temperatuur	35
5.5	Monitoring van bodemhoogte van het studiegebied	35
6	Opzet meetplan; planning	37
6.1	WP1 (A)biotiek planning	39
6.1.1	Need-to-know	39
6.1.2	Nice-to-know	40
6.2	WP2 Benthos bemonstering planning	41
6.3	WP3 Drukfactoren	42
6.4	WP4 Rapportage planning	43
6.5	WP1-2 Bodemlander onderhoud	44
7	Kwaliteitsborging	45
	Literatuur	46
	Verantwoording	48
	Bijlage 1 Stations schaaftrekken	49
	Bijlage 2 Stations box corers	50
	Bijlage 3 Resultaten workshop 08-04-2024	53
	Landers	53
	Instrumenten	53
	Kwaliteit organisch materiaal	55

Samenvatting

Rijkswaterstaat beheert en onderhoudt de Nederlandse kust door zandwinning in de Noordzee. Dit proces beïnvloedt het bodemleven. Na zandwinning ontstaat een zandwinput die zich biotisch en abiotisch ontwikkelt, met sedimentatie en rekolonisatie van bodemfauna.

Er is weinig bekend over de rekolonisatie en de invloed van abiotische processen bij middeldiepe zandwinning tot 6 m diep onder de zeebodem. Daarom wordt binnen het Programma Kustlijn­zorg het Monitoring en Evaluatie Programma (MEP) "Zand uit Zee" uitgevoerd, met als thema "Rekolonisatie". Dit programma onderzoekt hoe benthosgemeenschappen zich ontwikkelen in relatie tot de kenmerken van het zandwinge­bied en veranderende abiotische condities. Rijkswaterstaat plant een tienjarige Before After Control Impact (BACI)-studie om deze ontwikkelingen en processen nauwkeurig te volgen in een te graven 6 m diepe zandwinput ten noorden van Ameland. Dit document geeft een onderzoeksopzet voor de 10-jarige BACI-studie.

1 Inleiding

1.1 Opdrachtbeschrijving

Rijkswaterstaat (RWS) zorgt voor beheer en onderhoud van de Nederlandse kust. Hiervoor wordt zand gebruikt. Dit zand wordt op de Noordzee in de daarvoor aangewezen zandwingebieden gewonnen. Het winnen van zand heeft effect op de aanwezige fauna van de Noordzeebodem, zoals benthosgemeenschappen en vissen. Bij middeldiepe zandwinning (6 m onder zeebodem) wordt al het bodemleven dat in en op de bodem leeft verwijderd. Wat achterblijft is een zandwinput met een ondergrond zonder bodemleven. Vanuit deze uitgangssituatie zal het zandwingebied een biotische en abiotische ontwikkeling meemaken. In de putten zal naar verwachting sedimentatie plaatsvinden en de bodemfauna zal zich opnieuw vestigen, waardoor na verloop van tijd een nieuwe bodemgemeenschap ontstaat. Over de biologische processen van rekolonisatie en de samenhang met sturende abiotische processen is, met name voor middeldiepe zandwinning, nog maar weinig bekend.

Om te voldoen aan de verplichtingen opgenomen in de Ontgrondingenvergunning is nader onderzoek naar zandwinning noodzakelijk. Hiervoor is binnen het Programma Kustlijnzorg het Monitoring en Evaluatie Programma (MEP) "Zand uit Zee" ingericht. Een van de thema's van het onderzoeksprogramma is "Rekolonisatie". Binnen dit thema worden onderzoeken uitgezet die gezamenlijk antwoord moeten geven op de evaluatievraag:

"Hoe verloopt de ontwikkeling van benthosgemeenschappen van middeldiepe zandwingebieden in relatie tot de karakteristieken van het wingebied en de veranderende abiotische condities?"

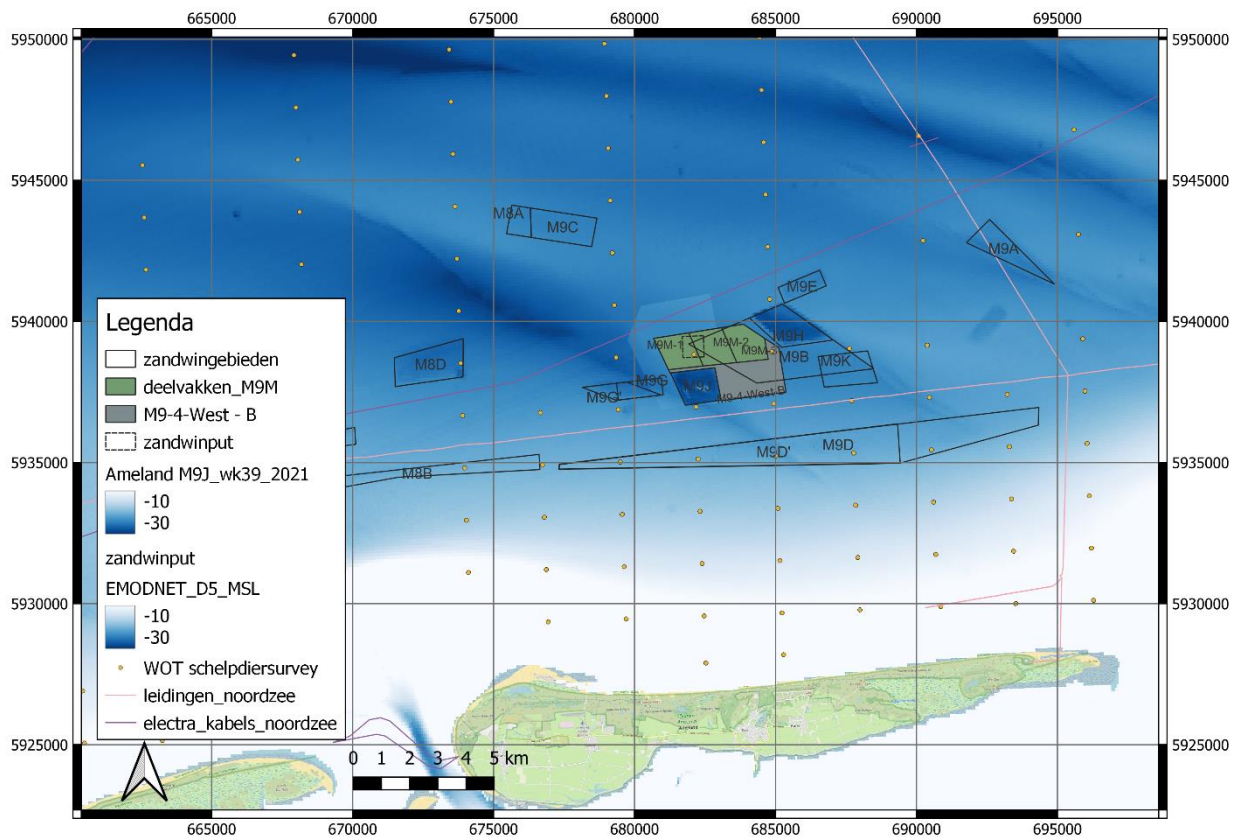
- Kennisvraag 1: Welke benthosgemeenschappen ontwikkelen zich in middeldiepe zandwingebieden na afronding van de zandwinning?
- Kennisvraag 2: Welke factoren bepalen in welke mate de aan te treffen benthosgemeenschappen in middeldiepe zandwingebieden?

Rijkswaterstaat is van plan om een tienjarige Before After Control Impact (BACI)-studie uit te voeren waarin de (a)biotische ontwikkeling en processen in en rond een zandwinput nauwlettend worden gevolgd. De studie bouwt voort op een eerdere chronosequentiestudie waarbij het bodemleven van verlaten zandwinputten is onderzocht (Witbaard & Craeymeersch, 2023).

De winning betreft een 6 m diepe zandwinput met een oppervlakte van ongeveer 750 x 750 m, gelegen ten noorden van Ameland (Figuur 1). De locatie van het BACI-onderzoek is gelegen in het MER zoekgebied M9-4-West - B. Het zoekgebied is, nadat er grondonderzoek gedaan is, omgevormd tot drie zandwinvakken in het gebied M9M, te weten M9M-1 (west), M9M-2 (midden) en M9M-3 (oost). De planning is om de 6 m diepe put in het najaar van 2025 te graven ten behoeve van een grootschalige zandsuppletie op Ameland. De precieze locatie van de zandwinput is nog onbekend, maar op basis van onder meer archeologische vondsten is een eerste schatting van de locatie gegeven door het gestippelde vierkant aangegeven als 'zandwinput' in Figuur 1.

Er moet rekening mee worden gehouden dat in het gehele (groen ingekleurde) gebied M9M zandwinning zal kunnen plaatsvinden in 2025 en 2026. In de rest van het (grijs ingekleurde) zoekgebied M9-4-West - B zal naar verwachting pas over 4 jaar winning plaatsvinden. Het gebied ten oosten direct grenzend en deels overlappend aan M9M, aangeduid als verlaten vakken M9B, M9H, M9K, is momenteel niet in gebruik. M9B is niet leeg en kan dus in de komende jaren alsnog in gebruik komen, maar op dit moment is er vanuit de commerciële zandwinning geen interesse in. Belangrijk is dat de komende jaren het zeer onwaarschijnlijk is dat direct ten oosten van M9M zand wordt gewonnen. Direct ten zuidwesten van het interessegebied M9M liggen de verlaten vakken M9G en M9G'. M9G' is een alternatief voor M9G, waarbij is aangegeven dat M9G "wordt vervangen door M9G' ivm grof materiaal".

Dit document geeft een onderzoeksopzet voor de 10-jarige BACI-studie.



Figuur 1. Overzicht van het reserveringsgebied voor zandwinning ten noorden van Ameland en de mogelijke locatie van de toekomstige zandwinput voor de BACI studie. Coördinaten in ETRS89 / UTM Zone 31 (EPSG:25831).

1.2 Aanpak

Er zijn twee workshops georganiseerd: een start-workshop en een eind-workshop waarbij het concept plan werd voorgelegd ter review.

1.2.1 Workshop gehouden op 12 december 2023

De eerste stap om te komen tot een onderzoeksopzet was het organiseren van een workshop met experts. De doelen van de workshop waren:

- input verzamelen om tot een goede onderzoeksopzet te komen.
- kansen signaleren voor het inwinnen van additionele data ten behoeve van kennisontwikkeling.
- mogelijke samenwerkingsverbanden verkennen.

De workshop is gehouden op 12 december 2023 te Utrecht. Na een introductie over het onderwerp door Simeon Moons (RWS) en Martin Baptist (WMR) zijn de deelnemers in twee rondes uit elkaar gegaan om een meetprogramma te ontwerpen. In de eerste ronde werden twee deelgroepen gemaakt op basis van de expertise van de deelnemers, te weten deelgroep biotisch en deelgroep abiotisch. In de tweede ronde werden er twee gemengde deelgroepen gevormd. Aansluitend was er een plenaire samenkomst om de eerste schetsen van een multidisciplinair meetprogramma te maken.

Onderwerpen die aan bod kwamen zijn:

- Het aantal meetstations voor benthos en sediment in en buiten de put.
- De timing en frequentie van de benthossurveys, T0 en verder.
- Het aantal frames in en buiten de put.
- De keuze van instrumenten aan de frames.

- De frequentie van onderhoud/vervanging van de instrumenten.
- Aansluiting bij andere meet- en monitoringprogramma's.
- Additionele metingen en onderscheid in need-to-know en nice-to-know.

De deelnemende experts waren:

Simeon Moons (RWS, inhoudelijk projectleider Zand uit Zee)

Tim Schellekens (RWS, boxcorer, ecomodellen)

Tom Koppenol (RWS, co-projectleider Zand uit Zee)

Martin Baptist (WMR, inhoudelijk projectleider OR ELSE)

Marcel Rozemeijer (WMR, co-projectleider OR ELSE)

Johan Craeymeersch (WMR, schaaf, benthos)

Rob Witbaard (NIOZ, schaaf, benthos)

Dick van Oevelen (NIOZ, plankton, foodweb)

Lodewijk van Walraven (WMR, plankton, foodweb)

Johan van der Molen (NIOZ, fysica, ecomodellen)

Ralf van Hal (WMR, vis)

Sytze van Heteren (TNO, sediment, geologie)

Wouter Kranenburg (hydrodynamische modellen)

Anke Engelberts (RWS, benthosmonitoring)

Jan Jaap Tukker (RWS, contractadviseur Kustlijnzorg)

Jos Torreman (RWS, contractmanager Zand uit Zee)

De resultaten van de workshop vormden de basis voor het schrijven van een onderzoeksopzet. Een eerste concept versie is opgeleverd op 16 februari 2024. In diverse iteraties met de opdrachtgever is de onderzoeksopzet aangepast.

1.2.2 Workshop gehouden op 8 april 2024

Op 8 april 2024 werd een tweede workshop gehouden met experts waarin het conceptrapport is voorgelegd en besproken. Deze workshop vond online plaats. Deelnemers waren:

Simeon Moons (RWS, inhoudelijk projectleider Zand uit Zee)

Tim Schellekens (RWS, boxcorer, ecomodellen)

Tom Koppenol (RWS, co-projectleider Zand uit Zee)

Martin Baptist (WMR, inhoudelijk projectleider OR ELSE)

Marcel Rozemeijer (WMR, co-projectleider OR ELSE)

Rob Witbaard (NIOZ, schaaf, benthos)

Bram van Prooijen (TUDelft, fysica, instrumenten)

Ruurd Jaarsma (Nortek, instrumenten)

Johan van der Molen (NIOZ, fysica, ecomodellen)

Thijs van Kessel (Deltares, slib)

Wouter Kranenburg (hydrodynamische modellen)

Jan-Willem Mol (RWS, instrumenten)

Jan Jaap Tukker (RWS, contractadviseur Kustlijnzorg)

Jos Torreman (RWS, contractmanager Zand uit Zee)

Alfred de Jong (RWS, instrumenten)

Naar aanleiding van de tweede workshop is de onderzoeksopzet verder aangepast. De belangrijkste resultaten staan in Bijlage 3 Resultaten workshop 08-04-2024. Een finaal concept is naar de opdrachtgever gestuurd op 14 april 2024. Het finaal concept is door de opdrachtgever gebruikt voor het maken van een begroting en het verkennen van inkoopvoorwaarden. Hieruit bleken beperkende randvoorwaarden te komen die de uiteindelijke opzet van het meetprogramma beïnvloeden. Er is voor gekozen om het advies voor de onderzoeksopzet zoals deze in april was opgesteld, niet te herijken aan deze randvoorwaarden.

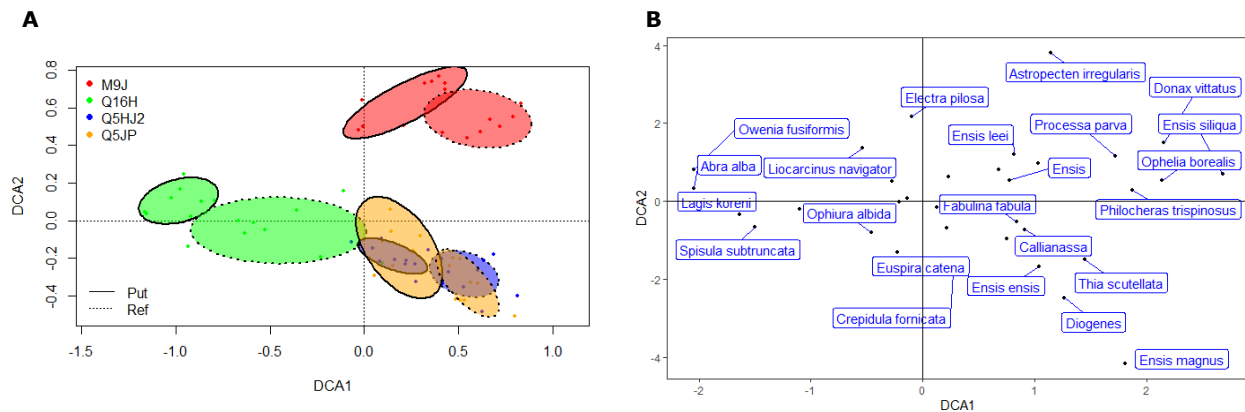
2 Overwegingen en strategische keuzes

2.1 Benthosgemeenschappen en hun drivers

2.1.1 Gemeenschappen

Qua benthosgemeenschappen zijn er langs de Nederlandse kust twee gradiënten: 1) **kustlangs** van zuid naar noord en 2) **kustdwars**, van kust naar zee. In kustlangse richting zagen Witbaard & Craeymeersch (2023) drie verschillende benthische gemeenschappen in de zandwijnzone (Figuur 2 aangegeven door 1. de rode kleur, 2. de groene kleur en 3. overlappende oranje en blauwe kleur). Een eerdere studie van De Mesel et al. (2011a,b) stelden een *Abra alba* gemeenschap vast langs bijna de gehele kustzone of in ieder geval het grootste deel. Een tweede was een *Spisula solida* gemeenschap, voorkomend bij grovere sedimenten nabij Texel en Vlieland. Kustdwars bestaat er een gradiënt van varianten van de *Abra alba* gemeenschap met dicht bij de kust hogere kans op grote broedval van *Spisula subtruncata*. (De Mesel et al., 2011).

Er is een risico dat bij keuze van referentiegebieden een gebied wordt gekozen met een andere gemeenschap dan in het impactgebied (Witbaard & Craeymeersch, 2023). Boven de Waddeneilanden in de relevante kustzone nabij Ameland lijkt de bodemdiergemeenschap eenvormig. Een tijdige bemonstering (in 2024) kan hier duidelijkheid over geven.



Figuur 2. Grafische weergave van een detrended correspondence analyses (DCA) op grond van de dichtheden en samenstelling van de macrofauna. Er is een onderscheid gemaakt tussen de Put en Referentie samples in ieder gebied. A Ligging van de stations in het ordinaatstelsel met 95% betrouwbaarheidselipsen voor de verschillende groepen die onderscheiden zijn. B; Relatieve positie van het voorkomen van soorten in dezelfde twee-dimensionale ordinaatruimte. Hiermee ontstaat een idee over de soorten die bijdragen aan de geobserveerde verschillen tussen de gebieden. Bron: Witbaard & Craeymeersch (2023).

2.1.2 Drivers

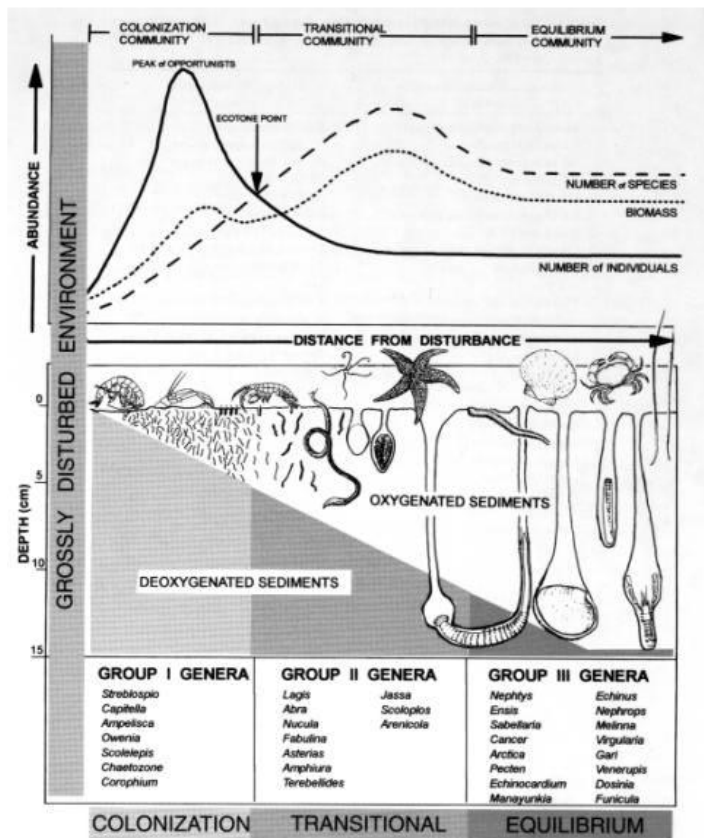
Bij analyses over grotere ruimtelijk schalen is een gemeenschapssamenstelling (overleving oudere dieren en recruitment) het resultaat van synergetische effecten van talrijke factoren zoals voedselbeschikbaarheid, detritus, watertemperatuur, competitie, predatie, hydrodynamische stress en veranderende watermassa's door de Noord Atlantische Oscillatie en rivierinput (Hunt & Scheibling, 1997, van Hoey et al., 2005, 2007, Reiss & Kröncke, 2011). Bijvoorbeeld een verhoogde stormintensiteit leidt tot directe schade en sterfte en ook een hogere resuspensie van sedimenten. Hierdoor verandert de voedselbeschikbaarheid voor macrofaunasoorten, evenals de stabiliteit van het sediment. Koude winters kunnen leiden tot reductie in aantallen en diversiteit (van Hoey et al., 2007)

Op lokale schaal wordt de variabiliteit veroorzaakt door de lokale processen als voedselbeschikbaarheid, sedimentsamenstelling en -veranderingen (gemiddelde korrelgrootte, slibgehalte, organisch stof gehalte, voedingskwaliteit van het organische stof, slibgehaltes waterkolom, lokale verschillen in recruitment (Pearson & Rosenberg, 1978, Rosenberg, 2001, Van Hoey et al., 2007, de Jong, 2016, Witbaard & Craeymeersch, 2023, Goedefroo et al., 2023).

Concluderend, vele processen kunnen de recruitment van jong benthos en de overleving van oudere dieren bepalen en lokale *drivers* zijn zeer belangrijk.

2.2 Rekolonisatie van een 6 m diepe zandwinput

Rekolonisatie van ondiepe winpunten (-2 m onder de zeebodem) is binnen de context van de zanderige oostelijke Noordzee, de grunderige westelijke Noordzee en het Kanaal goed onderzocht (Nedwell et al., 1998, Van Dalfts en Essink, 2001; Rozemeijer, 2009). Het voornaamste mechanisme achter rekolonisatie is het complex van larventransport, settlement en recruitment. Over het algemeen is het een patroon van eerste settlement van typisch koloniserende soorten (r-strategen) als wormen, daarna volgen binnen één tot twee jaar langerlevende soorten en alle soorten nodig voor een complete gemeenschap (Figuur 3) (Pearson & Rosenberg, 1978, Newell et al., 1998, Rosenberg, 2001). Het herstel in de jaren daarop is vooral in aantallen en biomassa. De rekolonisatie gebeurt vooral door settlement van larven uit de waterkolom. Aanvullende mechanismen zijn overleving en migratie. Het uiteindelijk herstel lijkt in 4 tot 6 jaar voltooid als de leeftijdsopbouw en de complexiteit van de gemeenschap en opbouw van de bodem gelijkwaardig zijn aan de omliggende sedimenten. De *drivers* op lokaal niveau (sectie 2.1.2) zijn de sturende factoren voor de gemeenschappen die gaan verschijnen.



Figuur 3. Grafische weergave van de ecologische successie die kenmerkend is voor benthische gemeenschappen met een gradiënt aan omgevingsverstoring. In de zeer verstoorde omgevingen (aan de linkerkant van het diagram) kunnen maar weinig organismen overleven maar die kunnen dat wel een hoge bevolkingsdichtheid bereiken. Naarmate de stabiliteit van de omgeving toeneemt, worden de opportunistische soorten (r-strategisch) worden vervangen door een grotere soortenvariëteit, inclusief langzamere groeiende K-strategisch soorten (figuur uit Newell et al., 1998).

In de 6 m diepe winputten op het NCP werden andere gemeenschappen aangetroffen dan in de direct nabij gelegen zeebodem. Grote verschillen werden gevonden in slibgehalte en organisch stofgehalte van het sediment in de putten (toegenomen t.o.v. de omgeving). In de putten waren "deposit feeders" en "surface deposit feeders" dominant, tekenen van verstoring. Dit was waarschijnlijk gekoppeld aan de depositie van slib en organisch stof. Afhankelijk van de putvorm kunnen hydrodynamische processen een rol spelen (Witbaard & Craeymeersch, 2023). Gezien het feit dat er veel deposit feeders worden gevonden zijn ook effecten op het percentage organisch materiaal en kwaliteit van het organische materiaal (voedingswaarde) (Pearson & Rosenberg, 1978, Rosenberg, 2001).

Hypothese: in de 6 m diepe winput is een hogere depositie van slib en organisch materiaal. Daardoor wordt de gemeenschap na verloop van tijd bepaald door deposit feeders.

Aangezien slib en organisch stof gehalte in de bodem zeer belangrijke factoren lijken te zijn is het relevant om de bodemopbouw te volgen van de bovenste 50 cm. In een beperkte aanpak is dat in grovere lagen (iedere 5 cm) en alleen op korrelgroottes en slib- en organisch stofgehaltes. In een gedetailleerde aanpak is dat in fijnere lagen (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 mm, daarna elke 5 cm tot 50 cm diepte) en met bepaling van slib- en organisch stofgehaltes inclusief de kwaliteit van het organisch stof: C-gehalte en chlorofyl-gehalte en C/N ratio. Hoge chlorofyl- en N-gehaltes staan voor hoge kwaliteit voedsel.

Daarnaast is het nodig om met behulp van landers grip te krijgen op hydrodynamische processen zowel als slib- en algenconcentraties in de waterkolom door de tijd heen. Landers dienen geplaatst te worden vóór de winning (Referentiegebied, Control)m in de put en na de winning om een idee te krijgen hoeveel algen beschikbaar waren en worden, en hoeveel algen en slib bezonken in de 6 m diepe winput.

Eventueel kan ook aandacht besteed worden aan het karakteriseren van het slib (geologisch en of chemisch) om te achterhalen wat de oorsprong is van het slib dat extra achterblijft in de put (te beginnen met stalen op -6 m tijdens T0).

2.3 Strategische keuzes

2.3.1 Nadere evaluatie van de onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag "*Hoe verloopt de ontwikkeling van benthosgemeenschappen van middeldiepe zandwingebieden in relatie tot de karakteristieken van het wingebied en de veranderende abiotische condities?*" is voor verschillende tijdvensters uitlegbaar. Men zou het jaarlijkse recruitmentproces **intra-annueel** (binnen het jaar) kunnen volgen door hoog frequent boxcorers te nemen en dat relateren aan de abiotiek. Anderzijds kan een **inter-annuele** benadering (tussen de jaren) gekozen worden waarbij over meerdere jaren heen wordt gekeken.

Settlement van larven en recruitment (overblijvende levensgemeenschap na de zomer) zijn onregelmatige processen die vaak worden bepaald door toevallige omstandigheden, zowel van het moment (wel of niet een storm), de periodes ervoor (te koude of te warme voorgaande winters en zomers) en welke gemeenschappen zich nabij de plek van interesse (referentie- en winningsgebied) bevinden. Het bestuderen van recruitmentprocessen geeft inzicht in de gebeurtenissen in enig jaar. Om daar meer probabilistisch (gebaseerd op kansberekeningen) iets over te kunnen zeggen, zullen dan vele replica's (jaren) nodig zijn om uit de verschillende processen relaties en zelfs voorspellingen te kunnen gaan doen (voor een beleidsadvies). En uiteindelijk worden deze recruitment- en rekolonisatieprocessen over de jaren heen uitgemiddeld. Het lijkt daarmee beter over de jaren heen te monitoren en ook meerdere gebieden te monitoren. Deze ruimtelijke aanpak over de jaren heen werd bevestigd door de opdrachtgever in een online meeting van 28-02-2024.

2.3.2 Meerdere gebieden

De variabiliteit in de tijd is wellicht groter dan in de ruimte, m.a.w. twee blanco gebieden kunnen zich anders t.o.v. elkaar gaan ontwikkelen in de tijd. Om die reden is het noodzakelijk (wenselijk?) om meerdere gebieden te monitoren in plaats van slechts één Impact gebied en één Controle gebied. We denken dat we met meerdere

gebieden meer grip krijgen op de lange termijn processen die uiteindelijk de langjarige gemeenschappen bepalen.

We stellen voor om te meten in de winput (Impactgebied) en dit te vergelijken met de nabijgelegen omgeving (Controlegebied). Daarnaast zijn er twee bestaande winputten nabij. Het volgen van deze winputten geeft inzicht in het verloop van de processen door de tijd heen en geeft inzicht in de variabiliteit van deze processen. Het is verder belangrijk grip te krijgen op wat er gebeurt in een gebied dat in natuurlijke staat 5 - 6 m lager ligt dan de omringende zeebodem. Die mogelijkheid dient zich aan in de natuurlijke bodemvorm ten westen van het wingebied. Hier treden mogelijk andere sedimentatieprocessen op dan in de 6 m diepe winpunt (onder invloed van grotendeels dezelfde condities vanwege de nabije ligging). Aangezien sedimentkwaliteit (korrelgrootteverdeling, slibfractie en organisch stofgehalte) waarschijnlijk een belangrijkere sturende factor is voor de benthosgemeenschap dan waterdiepte, hebben we op deze manier meer grip op de ontwikkelingen in de winput in relatie tot de processen rondom sedimentkwaliteit en resulterende benthosgemeenschappen.

2.3.3 WOT schaaft en langjarige ruimtelijke benadering

Eén Controlegebied voor de ongestoorde zeebodem levert beperkte informatie gezien de grote variabiliteit in de ontwikkelingen van het benthos in tijd en ruimte. Dit kan ondervangen worden door nog meer Controlegebieden aan te wijzen. Echter, de wijde omgeving van het studiegebied wordt sinds 1993 jaarlijks bemonsterd met een schaaft om de samenstelling van schelpdieren vast te stellen (zie Figuur 1 en ook https://shiny.wur.nl/Schelpdiermonitor_Kust/). Een aanpak is om aan te sluiten bij dit WOT programma naar schelpdieren in de kustzone (Troost et al., 2023) en een deel van het BACI programma uit te laten voeren met de WOT bodemschaaft. Dit heeft als voordeel dat er een set data wordt gegenereerd die vergeleken kan worden met een langjarige, hoge resolutie data set van het WOT programma. Dit kan zeer veel informatie over sturende processen leveren.

Indien wordt gekozen voor de inzet van een Triple D- schaaft is het raadzaam om in ieder geval toch een T0 en een T3 en T6 te doen met een WOT schaaft als aanvullend programma. Daarnaast kan deze WOT schaaft inzet waarschijnlijk goedkoper worden uitgevoerd omdat hij geïncorporeerd kan worden in een lopend programma. Daardoor kan hij ook meerdere jaren gedaan worden en wordt een hogere resolutie in de tijd verkregen.

2.3.4 Voorjaar versus einde zomer

Het WOT programma richt zich op de lente, vroege zomer om een voorspelling te kunnen doen voor het beschikbare schelpdierbestand van de zomer. Dit geeft een beeld van wat er de winter heeft overleefd en wat aan schelpdieren gesetteld is. Voor het bepalen van groei en overleving is het ook noodzakelijk te weten wat de dichtheden en biomassa's na de zomer zijn. Daarom is het nodig om ook aan het eind van de zomer te monstren. Dat levert meer inzicht in de zomerse overlevingsprocessen van het benthos (recruitment).

2.3.5 Fasering in de tijd

Naar verwachting treden de grootste veranderingen in de abiotiek (sedimentkarakteristieken) vooral in de eerste jaren op. Daarom zal de bodemlander in ieder geval worden ingezet in jaar T0, T1 en T3 met T2 als Nice to have. Tegelijkertijd met het bodemlander-onderhoud kan naburig met een boxcorer gesampled worden om de recruitmentprocessen te volgen (bv 5 samples per locatie, Reiss & Kröncke, 2005). Daarna is de verwachting dat bij T6 een situatie is bereikt met alle varianten van functionele groepen en niches gevuld (Newell et al., 1998). Dat is ook een belangrijk meetpunt (Need to have). Eventueel is dan T9 een punt waarop ook de leeftijdsopbouw van de gemeenschap is genormaliseerd (Nice to have). Er kan ook dorgemeten worden. Op T12 zal de leeftijdsopbouw in ieder geval tot een evenwichtssituatie zijn gekomen (Need to have). Ook T21 is een belangrijk eindpunt (Need to have) met T18 als Nice to have.

2.3.6 Organisatie en management

Gezien de tijdsdruk is het noodzakelijk dat RWS een vast realisatieteam heeft dat de aanbesteding gaat organiseren.

Taken zijn:

- Het voorbereiden en aanbesteden van de inkopen
- Raamcontractanten inkopen voor standaard monitoring
- Laten vervaardigen van de landers
- Aanschaf benodigde apparatuur
- Regelen scheepstijd
- Regelen Triple D schaaf en boxcorer
- en verder

Het lijkt ons verstandig dit team uit te breiden met deelnemers van WMR waarbij wij ons focussen op:

- Zoeken partij voor het doen van het onderhoud van de landers.
- Verdere finetuning aan te schaffen apparatuur samen met RWS (Z&D en CIV) en de partij die het onderhoud gaat doen.
- Samen met deze partij contacten leggen met de RWS CIV experts die al veel met de landers gewerkt hebben en het kennisoverdrachtproces organiseren en uitvoeren.
- Organiseren plannings voor expedities.
- Opstarten en organiseren consortiumvorming.

Dit kan bv in tweewekelijks ontmoetingen waarbij de stand van zaken wordt doorgesproken en resultaten van acties worden doorgenomen. Dit lijkt ons een efficiënte en ook noodzakelijke manier van opereren gezien het dringende tijdstraject.

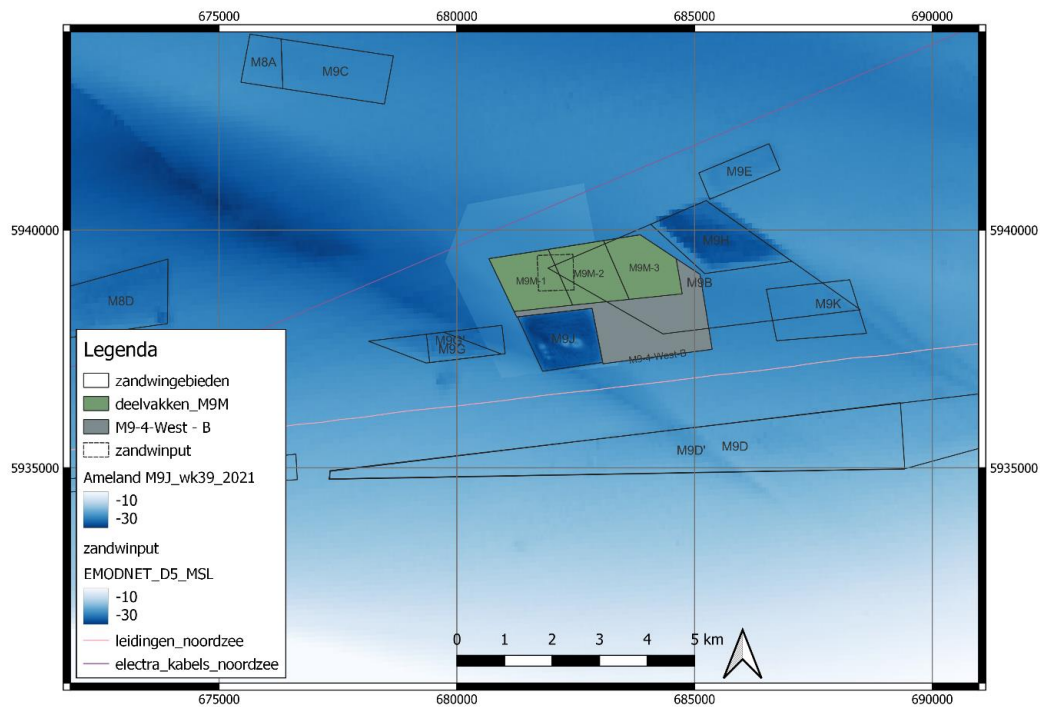
3 Ligging potentieel zandwingebed

Het potentiële zandwingebed met een rechthoekige of vierkante vorm met een afmeting van ongeveer 750 bij 750 m ligt 12 km ten noorden van Ameland, Figuur 4 (gestippeld vierkant). De lokale waterdiepte is ongeveer 23.5 m onder NAP. Ter plaatse van de nieuw te graven zandwinput zijn op 8 en 9 februari 2022 bodemschaaf en boxcore monsters verzameld in het onderzoeksgebied met de MS Arca. Er werden met de bodemschaaf 8 stations bemonsterd in de put en 8 referentiestations buiten de put (Witbaard & Craeymeersch, 2023), Figuur 5. Voorafgaand hieraan werd de bathymetrie van M9J en de omgeving ingemeten in week 39 van 2021.

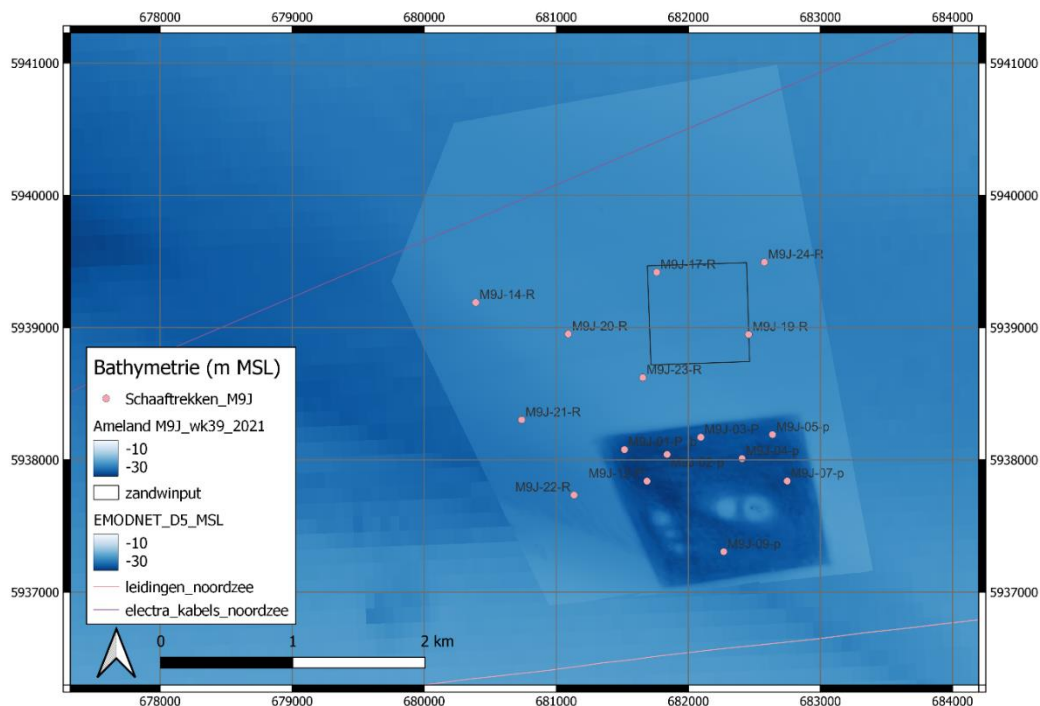
Zo'n 0.5 km ten zuiden van het geplande zandwingebed ligt een bestaande zandwinput met afmetingen van ongeveer 1.5 x 1.2 km en een windiepte van 4-6 m onder de zeebodem. Deze zandwinning, met code M9J, is gegraven in 2020. De zuidelijke rand van M9J ligt iets meer dan 500 m van een leiding die door de Noordzeebodem loopt. Twee diepteprofielen zijn gegeven in Figuur 6 en Figuur 7. De bodem van M9J is niet vlak, mede vanwege de aanwezigheid van wrakken.

Op zo'n 2 km ten noordoosten van de oostelijke rand van het geplande zandwingebed ligt een bestaande zandwinput met afmetingen van ongeveer 2 x 1.2 km en een windiepte van 5 m onder de zeebodem. Deze zandwinning met code M9H is gebruikt voor suppletiezand en is gegraven in het jaar 2011. Een diepteprofiel is gegeven in Figuur 8. Het westelijke deel is iets dieper dan het oostelijke deel.

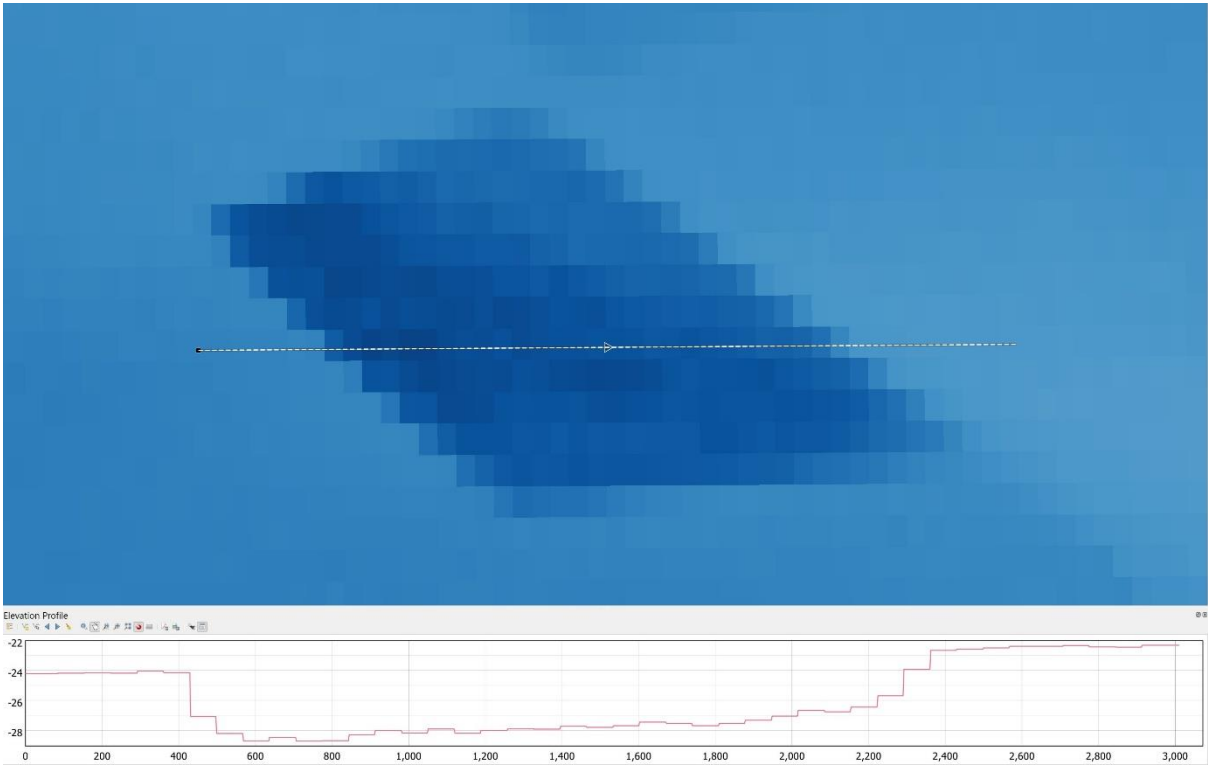
Op zo'n 5 km ten westen van de geplande zandwinning ligt een natuurlijke geul. Een diepteprofiel is gegeven in Figuur 9. De maximale diepte van deze geul is overeenkomstig met de maximale diepte van de zandwinputten, te weten 29 m onder NAP. Het hoogteverschil tussen het diepste punt en de omgeving is kleiner, zo'n 3.5 m, en de dwarsdoorsnede heeft een minder steil profiel dan een kunstmatig gegraven winput.



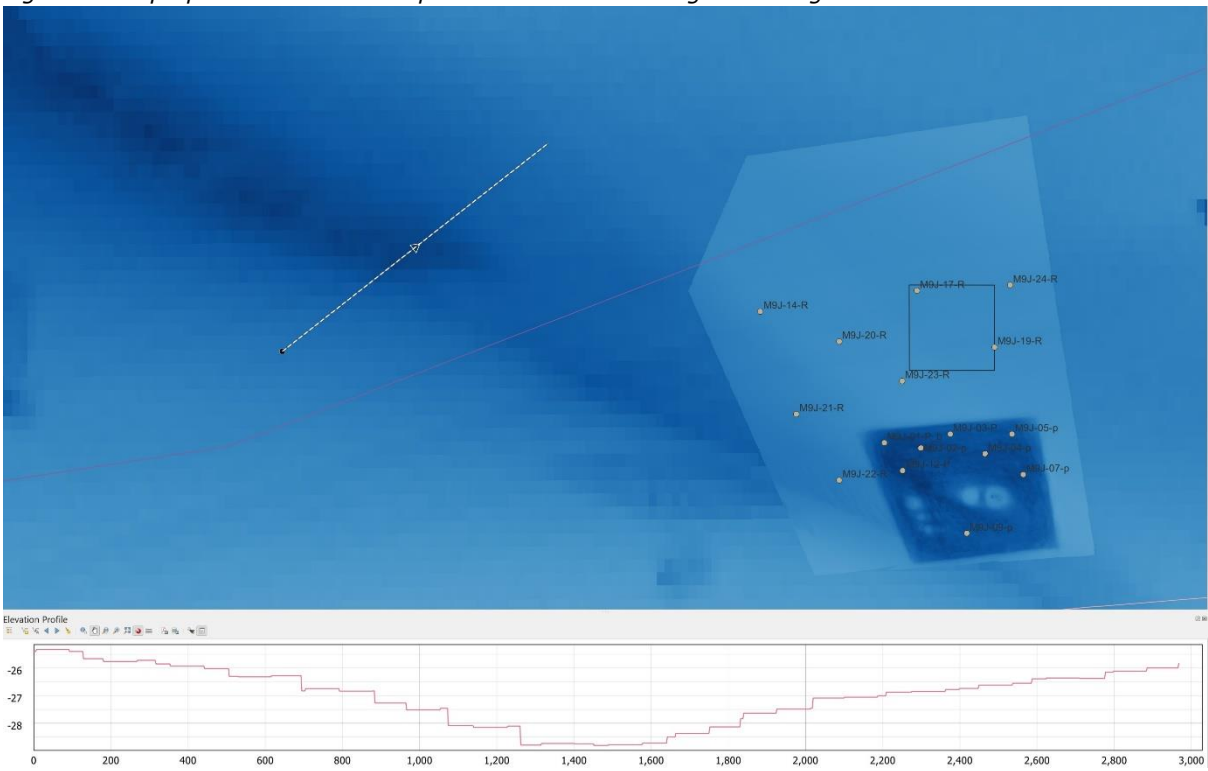
Figuur 4. Mogelijke locatie toekomstige zandwininput Ameland (zwart gestreept vierkant) ten opzichte van de bredere omgeving. Bathymetrie zeebodem opname 2021 door RWS en bathymetrie uit EMODNET vak D5. Verschillen in kleur tussen beide weergaven van bathymetrie zijn het gevolg van verschillende bathymetrische opnames zonder correcties voor referentiehoogte. Coördinaten in ETRS89 / UTM Zone 31 (EPSG:25831).



Figuur 5. Mogelijke locatie toekomstige zandwininput Ameland (zwart omljnd vierkant). Bathymetrie zeebodem opname 2021 door RWS, bathymetrie uit EMODNET vak D5 en ligging middelpunten van schaaftrekken februari 2022. Verschillen in kleur tussen beide weergaven van bathymetrie zijn het gevolg van verschillende bathymetrische opnames zonder correcties voor referentiehoogte. Coördinaten in ETRS89 / UTM Zone 31 (EPSG:25831).



Figuur 8. Diepteprofiel door zandwinput in M9H met een lengte van ongeveer 3000 m.



Figuur 9. Diepteprofiel door de natuurlijke geul ten westen van de geplande zandwinning met een lengte van ongeveer 3000 m.

4 Instrumenten voor de monitoring van de zandwinput

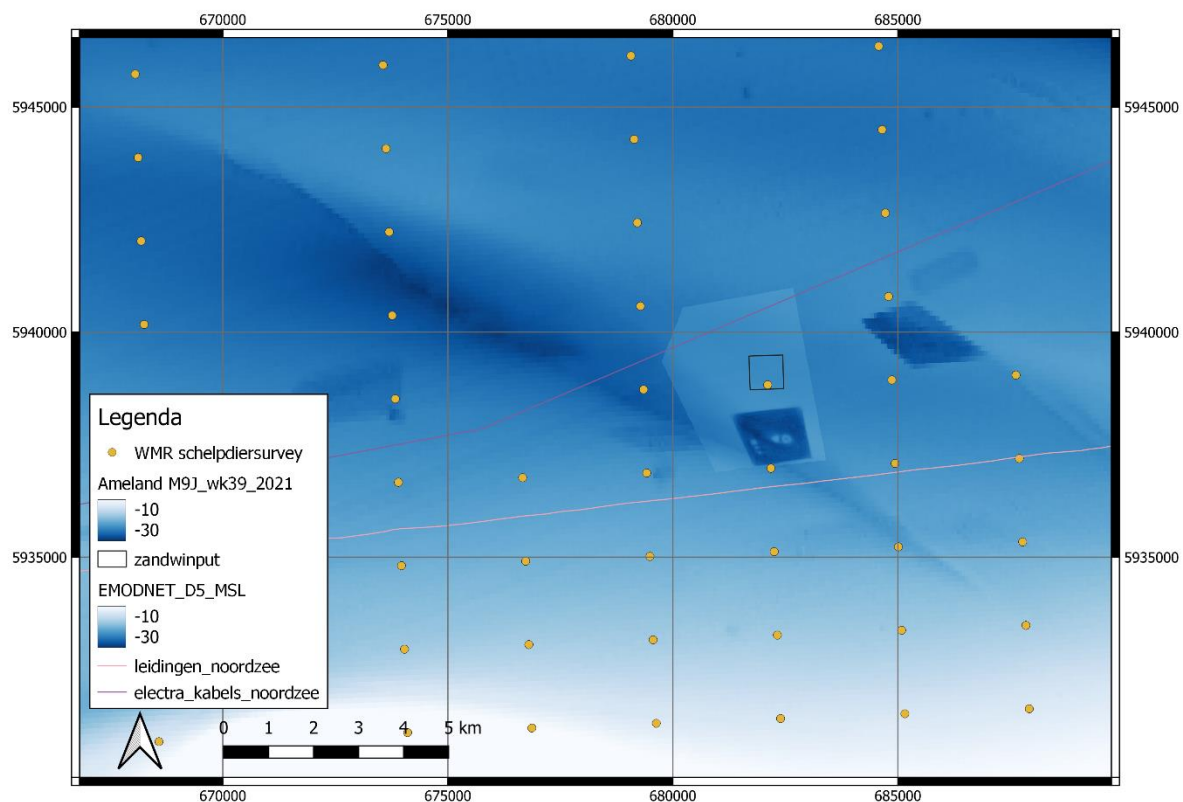
4.1 Benthosgemeenschappen en demersale vis

De studie richt zich primair op de ontwikkeling van benthosgemeenschappen in middeldiepe zandwinputten; dit is een need-to-know. Hiervoor zijn met name een bodemschaaf en een box corer geschikt.

4.1.1 Bodemschaaf

Met een bodemschaaf wordt een strook sediment gestoken uit de zeebodem. Een bodemschaaf is ontworpen om kwantitatief monsters te nemen van grotere, vaak meer verspreide en langlevende in- en epifauna zoals schelpdieren en ander bodemleven en is geschikt voor grotere individuen (> 5 mm). Hiernaast wordt ook vis in lage aantallen bijgevangen. Het gaat dan om zandspiering, grondels, maar ook kleinere platvissen zoals schol, tong en schar. De betrouwbaarheid van deze 'visvangsten' is discutabel.

Wageningen Marine Research gebruikt een bodemschaaf voor de jaarlijkse WOT-survey van schelpdieren in de Noordzeekustzone. Deze datareeks kan mede dienen als referentiedata voor de geplande zandwinning omdat er vele stations in de nabijheid van de geplande zandwinlocatie liggen en omdat hiermee langjarige grootschalige trenddata bekend is, Figuur 10. N.B. Tijdens de WOT-survey worden alleen bijgevangen zandspieringen geregistreerd.



Figuur 10. Mogelijke locatie toekomstige zandwinput Ameland (zwart omlijnd vierkant) met ligging monsterstations van WMR schelpdiersurvey. Bathymetrie zeebodem opname 2021 door RWS, bathymetrie uit EMODNET vak D5. Verschillen in kleur tussen beide weergaven van bathymetrie zijn het gevolg van verschillende bathymetrische opnames zonder correcties voor referentiehoogte. Coördinaten in ETRS89 / UTM Zone 31 (EPSG:25831).

Een geavanceerde bodemschaaf is de Triple-D (Deep Digging Dredge) van NIOZ (Bergman en Van Santbrink, 1994). De Triple-D (LxBxH 2,40x2,70x1,60 m; gewicht 1200 kg; sleepsnelheid 3 knopen) snijdt een strook van 20 cm diep uit het sediment met een breedte van 20 cm. De lengte van de track wordt gecontroleerd door een odometer die een pneumatisch openings/sluitingsmechanisme activeert. Het sediment spoelt door de 7x7 mm mazen van een 6 m net achter de sleepbak. De vangst wordt aan dek gesorteerd en gedetermineerd. Omdat dit een groot instrument is, is een groot schip nodig zoals de Arca of de Pelagia. De WOT-schaaf is kleiner en lichter en kan worden gebruikt op kleinere schepen zoals de Rijksrederijsschepen Isis of Terschelling maar ook andere schepen.

4.1.2 Box corer

Een box corer is een instrument dat wordt gebruikt voor het bemonsteren van de zeebodem om informatie te verzamelen over bodemdieren en sedimentkenmerken. Het bestaat uit een rechthoekig frame met een open bodem en een meestal cilindrische koker die het monstergebied omsluit. Bij het nemen van een monster wordt de box corer vanaf een schip naar de zeebodem gelaten. Zodra het de bodem bereikt, drukt de cilindrische buis zich in de zeebodem. Vervolgens wordt de box corer omhoog getrokken, waarbij het monster wordt opgesloten.

In de veldcampagne voor de chronosequentiestudie naar middeldiepe zandwinputten is bemonsterd met een Reineck box corer van 0.078 m². Na afkoppelen van de ketel worden foto's gemaakt van het bovenaanzicht en het zijaanzicht. Uit het box core monster wordt met een sedimentsteekbuis een monster genomen voor het bepalen van sedimenteigenschappen. Vervolgens wordt het gehele monster gezeefd over een stalen zeef met een maaswijdte van 1 mm. Er wordt een foto genomen van de zeefrest met organismen en vervolgens worden de benthische organismen geconserveerd voor determinatie in een laboratorium (Schellekens & Van Son, 2022).

4.2 Bodemmorfologie

4.2.1 Multibeam sonar

Voor het meten van de bodemmorfologie kan gebruik worden gemaakt van multibeam opnamen inclusief de inzet van backscatter. Multibeam-sonarsystemen worden ingezet om gedetailleerde kaarten te genereren van de zeebodem en de onderliggende morfologische kenmerken. Een multibeam-sonarsysteem zendt een reeks smalle akoestische stralen (beams) uit naar de zeebodem, meestal vanaf een schip. Deze stralen worden uitgezonden met een brede dekkingshoek, zodat een groot gebied gelijktijdig kan worden bestreken. Wanneer de akoestische stralen de zeebodem raken, worden ze teruggekaatst naar het sonarsysteem. De tijd die het duurt voordat het signaal terugkeert, en de intensiteit ervan, worden gemeten. Door de reistijd van de akoestische signalen te meten, kan het multibeam-systeem de diepte van de zeebodem nauwkeurig bepalen. Hiermee wordt een gedetailleerd driedimensionaal model van de bodemtopografie gecreëerd. Naast de dieptemeting wordt ook de backscatter gemeten. Backscatter verwijst naar de intensiteit van het gereflecteerde akoestische signaal. Deze informatie geeft inzicht in de akoestische eigenschappen van de zeebodem, zoals de hardheid, samenstelling en textuur. De verzamelde gegevens worden gebruikt om gedetailleerde kaarten van de zeebodem te genereren. Deze kaarten tonen niet alleen de topografie, maar ook informatie over de bodemsamenstelling en structuur.

4.2.2 Side-scan sonar

Side-scan sonar is een geavanceerde sonartechniek die wordt gebruikt om beelden te genereren van de zeebodem en objecten op de bodem. In tegenstelling tot multibeam sonar, dat zich richt op het meten van dieptepunten met behulp van een reeks akoestische stralen, stuurt side-scan sonar akoestische signalen zijwaarts uit. Deze stralen verlichten een brede strook op de zeebodem. Wanneer de akoestische stralen objecten op de zeebodem raken, worden ze teruggekaatst naar het sonarsysteem. De intensiteit en reistijd van het gereflecteerde signaal worden gemeten. De verzamelde gegevens tonen variaties in reflectiviteit, waardoor verschillende bodemkenmerken en objecten zichtbaar worden. Side-scan sonar is bijzonder geschikt voor het detecteren van objecten zoals wrakken, stenen, biogene riffen en andere structuren op de zeebodem.

4.2.3 3D Sand Ripple Profiling Sonar

Een speciale toepassing van sonar voor bodemmorfologie is een 3D Sand Ripple Profiling Sonar. Dit is een sonarsysteem dat is ontworpen om gedetailleerde informatie te verstrekken over de morfologie van zandgolven op de zeebodem. Deze golven, ook wel ripples genoemd, ontstaan door de interactie tussen stroming en sedimenttransport op de zeebodem. Een 3D Sand Ripple Profiling Sonar zendt akoestische signalen uit naar de zeebodem vanaf geringe hoogte (1 m) boven de bodem vanaf een meetframe of lander. Wanneer de akoestische signalen de zeebodem bereiken, worden ze teruggekaatst naar het sonarsysteem. Een 3D sonar draait 360° om zijn as en scant de zeebodem rondom. Het sonarsysteem analyseert de teruggekaatste signalen en genereert een profiel van de zeebodem. Dit profiel geeft inzicht in de ruimtelijke variaties en de kenmerken van de zandgolven, inclusief hoogte en afstand tussen de golven.

4.3 Sedimenteigenschappen

4.3.1 Vibrocore

TNO Geologische Dienst doet de aanbeveling om vibrocores te nemen in de gegraven winput. Een vibrocore is een instrument dat wordt gebruikt voor het bemonsteren van sedimenten op de zeebodem. Omdat het sedimentmonster binnen de buis wordt bewaard, minimaliseert dit de verstorend van het monster tijdens het omhoog halen naar het oppervlak. Deze methode wordt vaak gebruikt in marien onderzoek om informatie te verkrijgen over de samenstelling, structuur en geschiedenis van de zeebodem. Een vibrocore bestaat uit een holle buis met aan de onderkant een trilmechanisme. De vibrocore wordt vanaf een schip naar de zeebodem gelaten. Het bestaat meestal uit een langwerpige buis, ook wel de 'core tube' genoemd, die langzaam naar beneden zakt. Eenmaal op de zeebodem aangekomen, wordt het trilmechanisme geactiveerd. Dit kan een elektrische trilmotor of hydraulisch systeem zijn. De trillingen helpen de buis in de sedimenten te dringen. Terwijl de buis trilt, dringt deze in de zeebodem en neemt het sedimentmonster in de buis op. Het monster wordt ingesloten in de core tube zonder dat het sedimentmateriaal wordt verstoord. Na het voltooiën van de monsternamen wordt de vibrocore weer omhoog getrokken naar het oppervlak. Eenmaal aan boord kan de core tube worden geopend, en het sedimentmonster kan worden uitgenomen voor analyse.

Vibrocores steken maximaal tot een diepte van 5 – 5.5 m onder de zeebodem. Wanneer er een put is gegraven van 6 m onder de zeebodem kan door het nemen van vibrocores lokaal een inzicht worden verkregen in de zeebodem tot 11 m diepte ten opzichte van de omgeving. Het is verder aan te bevelen om vibrocores te nemen in de reeds aanwezige winputten ten zuiden en ten noordoosten van de toekomstige winput. Hiermee kan het inzicht in de 9-11 m diepe bodemlagen vergroot worden. Op één vaardag kunnen zo'n 20 vibrocores genomen worden. Met zeven cores per put is een goede ruimtelijke dekking verkregen.

In het kader van het Kustgenese 2 programma zijn vibrocores genomen aan de buitenzijde van de Ameland buitendelta (Van der Spek et al., 2022a). Deze werden 10-15 km ten zuidwesten van de toekomstige zandwinput genomen.

4.3.2 Lakprofielen

Het nemen van lakprofielen is een proces dat gedetailleerde informatie verschaft over de korrelgroottesamenstelling van sedimentlagen op de zeebodem. Eerst wordt een box corer gebruikt om een boorkern van de zeebodem te verkrijgen. Deze boorkern bevat verschillende lagen sediment, elk met een eigen korrelgroottesamenstelling. De boorkern wordt soms in secties verdeeld om individuele monsters te verkrijgen van verschillende dieptes. Elke sectie van de boorkern wordt vervolgens geïmpregneerd met een gekleurde lak. Deze lak vult de poriën en ruimtes tussen de sedimentkorrels op, waardoor de korrelgroottes duidelijk zichtbaar worden. De lak wordt toegestaan om volledig uit te harden, waardoor een harde, kleurrijke replica van de sedimentlaag ontstaat. Deze replica staat bekend als een lakprofiel. Het lakprofiel kan vervolgens worden geanalyseerd met behulp van een microscoop of beeldanalysetechnieken. De kleuren en structuren in het lakprofiel verschaffen informatie over de verschillende korrelgroottes in de oorspronkelijke sedimentlaag.

Voor het bepalen van de korrelgroottesamenstelling van het sediment in de zandwinput kan het beste gewerkt worden met een vierkante box core met een verwijderbare zijkant. Het hiermee gestoken sedimentprofiel kan worden gefotografeerd en er kunnen lakprofielen van worden gemaakt. De lakprofielen geven een gedetailleerd beeld van de sedimentlagen over de verticaal, Figuur 11. Door het nemen van box cores en lakprofielen over de looptijd van de monitoring kan de mate van opslibbing en menging van slib worden bepaald in de bodem van de zandwinput. Een mogelijk nadeel aan het gebruik van lakprofielen van een slibbige bodem is dat de lak niet goed kan doordringen in de fijnkorrelige afzettingen. Meestal blijven er wel wat grotere deeltjes achter in de lak, zoals vezeltjes, zeeëgelstekels e.d. en meestal is er wel een kleurverschil te zien (Ad van der Spek, *pers. comm.*).

Na drogen en afnemen van een lakprofiel kunnen ook monsters worden genomen van de verschillende sedimentlagen op verschillende dieptes om de korrelgrootteverdeling te bepalen in samenhang met een lakprofiel. In het kader van het Kustgenese 2 programma zijn box cores genomen bij de Ameland buitendelta voor de bepaling van korrelgrootte en voor het maken van lakprofielen (Van der Spek et al., 2022b).

A. van der Spek et al.

Ocean and Coastal Management 230 (2022) 106367

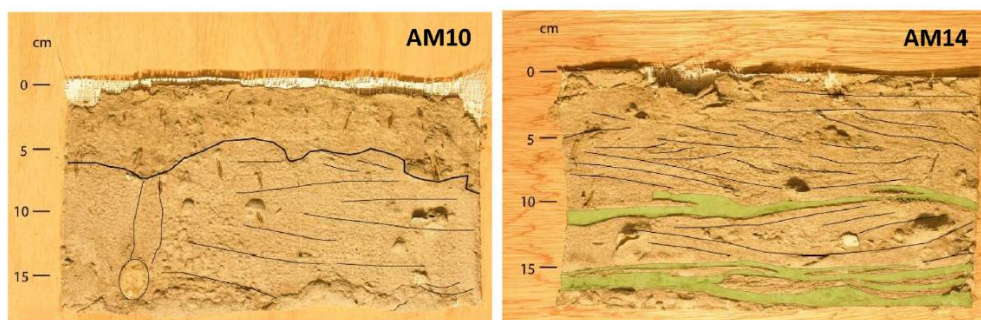


Fig. 20. Lacquer peels of box cores AM10 (11.7 m depth), left, and AM 14 (17.8 m depth), right, from the Ameland Inlet study area. Peel AM10 shows a muddy top layer that is completely homogenised by burrowing and that erosively overlies cross-bedded sand. In the top layer abundant juvenile American jack-knife clams occur. The left side of the panel shows a downward escape burrow of a Common Heart Urchin, with the dead animal (oval) at the end. Peel AM14 shows structures such as bi-directional foresets which indicate two current directions. The alternation of sand and clay layers (yellow) is caused by changing current velocities: sand is transported by (strong) currents, clay settles during calm periods.

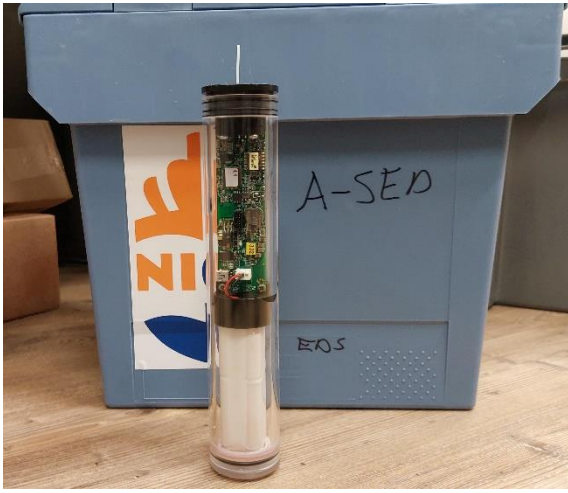
Figuur 11. Twee lakprofielen van de buitendelta van Ameland. Figuur uit: Van der Spek et al. (2022b).

4.3.3 Korrelgroottesamenstelling

Sedimentmonsters van de bovenste 3 - 8 cm kunnen worden genomen uit een box corer monster met een sedimentsteekbuis waarna de korrelgrootte wordt geanalyseerd met een Malvern particle sizer om kwantitatieve informatie over de korrelgroottesamenstelling en slibgehalte te bepalen (Schellekens & Van Son, 2022). Het is ook mogelijk om een dieper monster (~40 cm) te steken en elke 5 cm een deelmonster te maken voor een korrelgroottebepaling over de verticaal. Uit dit monster kan ook een organisch stofgehalte bepaald worden.

4.3.4 ASED

Een instrument om de sedimentatie-erosie van de bodem met hoge frequentie te volgen vanaf een lander is een Acoustic Surface Elevation Dynamics (ASED) sensor ontwikkeld door NIOZ, Figuur 12. Dit is een sensor voor een hydro-akoestische dieptemeting vanaf een vaste positie vlak boven het bed. Een beschrijving en toepassing is beschreven in Willemsen et al. (2022). Een hydro-akoestische meting van de bodemhoogte kan ook worden uitgevoerd door een ander akoestisch instrument zoals een ADV (zie paragraaf 4.5.2).



Figuur 12. Foto van een ASED sensor.

4.3.5 Sedimentval

Een instrument om de sedimentatie te bepalen is de sedimentval. Een sedimentval is in essentie een apparaat dat is ontworpen om sedimentdeeltjes in het water te vangen terwijl ze naar de zeebodem zakken. Het bestaat vaak uit een frame met daaraan bevestigde containers of buizen waarin het sediment wordt opgevangen. De sedimentval wordt op de gewenste locatie op de zeebodem geplaatst. Dit kan gebeuren door de sedimentval vanaf een schip of ander vaartuig te laten zakken. De containers of buizen van de sedimentval worden geopend, waardoor ze sedimentdeeltjes kunnen opvangen terwijl ze naar beneden zakken. Na een bepaalde periode, die vaak wordt bepaald op basis van de onderzoeksdoelstellingen, worden de containers of buizen gesloten om verdere sedimentatie te stoppen. De sedimentval wordt voorzichtig omhoog gehaald, waarbij het opgevangen sedimentmonster veilig wordt bewaard. Het verzamelde sedimentmonster kan vervolgens worden geanalyseerd om informatie te verkrijgen over de samenstelling, deeltjesgrootteverdeling en andere kenmerken van het sediment op die specifieke locatie. Een nadeel aan een sedimentval in een kustomgeving is dat het gevoelig is voor het invangen van de zeebodem opgewerveld sediment.

4.3.6 SPI-apparaat

Een instrument om in situ bodemprofielen te fotograferen is de Sediment Profile Imagery (SPI). SPI is een waardevolle techniek in mariene wetenschappen omdat het onderzoekers in staat stelt om gedetailleerde informatie te verzamelen over de structuur van de zeebodem. De beelden die worden verkregen met SPI bieden inzicht in de verticale opbouw van sedimentlagen en de variabiliteit van bodemkenmerken en organismen.

Een SPI-apparaat bestaat uit een speciale camera die is bevestigd aan een frame of een buis. Deze camera is zo ontworpen dat deze sedimentprofielen in de zeebodem kan vastleggen. Het SPI-apparaat wordt voorzichtig op de zeebodem geplaatst op de plek waar het bodemprofiel moet worden gefotografeerd. Het SPI-apparaat wordt eerst naar beneden gelaten in de zeebodem. Na het activeren van de camera wordt het langzaam omhoog getrokken. Terwijl het omhoog komt, maakt de camera continu foto's van het bodemprofiel. Sommige systemen kunnen ook een lichtbron bevatten om de beelden te verhelderen, vooral in donkere omgevingen. De verkregen beelden worden later geanalyseerd om informatie te verschaffen over de samenstelling van het sediment, de bodemtextuur, de aanwezigheid van organismen en andere relevante bodemkenmerken. Tijdens het proces wordt vaak aanvullende informatie vastgelegd, zoals diepte, locatie en andere omgevingsvariabelen, om de verkregen beelden te koppelen aan specifieke parameters.



Figuur 13. Foto van een SPI. Bron: <https://www.newfields.com/sediment-profile-imaging/>

4.3.7 Redoxmeter

Voor het bepalen van zuurstofverzadiging van de bodem kan gebruik worden gemaakt van een redoxmeter. De redoxpotentiaal van de bodem geeft een indicatie van reductie en oxidatie. Bij een positieve waarde is er veel zuurstof in de bodem (geoxideerde staat), bij een negatieve waarde is er weinig zuurstof in de bodem (gereduceerde staat). Deze meting kan het beste uitgevoerd worden door een sensor direct na het nemen in een boxcoremonster te steken.

4.4 Temperatuur en saliniteit

4.4.1 CTD profielen

Het bepalen van verticale profielen in de waterkolom voor temperatuur(-stratificatie) en saliniteit kan met een CTD instrument. Dit instrument moet hiervoor door de waterkolom bewegen. Een gebruikelijke methode is het laten zakken van het instrument vanaf een schip (downcast), meestal met een snelheid van zo'n 0.5 m/s. De conductiviteit, druk en temperatuur worden dan real-time afgelezen of opgeslagen. Soms wordt dit gecombineerd met het nemen van watermonsters door middel van Niskin bottles bij het ophalen van het instrument (upcast).

4.4.2 Wirewalker

Het is ook mogelijk om een stand-alone systeem te maken waarbij de CTD-sensor 'automatisch' naar boven en naar beneden beweegt aan een lange kabel die is bevestigd aan een boei en een anker. De energie voor de beweging wordt gehaald uit de golfenergie van de boei. Dit instrument wordt een Wirewalker genoemd (<https://rocklandscientific.com/products/moored-systems/wirewalker/>). De Wirewalker is ook geschikt voor andere sensoren, zoals zuurstofmeter, fluorometer, OBS en ADCP.

4.4.3 Thermistor string

Een ander instrument om een temperatuurprofiel te bepalen is de thermistor string. Een thermistor string bestaat uit een reeks thermistoren; temperatuursensoren gebaseerd op de weerstand van halfgeleidende materialen. Deze sensoren zijn bevestigd aan een kabel die verticaal in het water wordt gehangen, vaak vanaf een boei. De thermistoren meten op verschillende dieptes de watertemperatuur. De temperatuurinformatie wordt via de kabel naar de oppervlakte overgebracht, waar deze kan worden geregistreerd en opgeslagen voor verdere analyse. Thermistor strings worden vaak gebruikt voor langdurige monitoring om seizoensgebonden en klimatologische veranderingen in de oceaantemperatuur te volgen.

4.5 Stroming, turbulentie, waterhoogte en golven

4.5.1 ADCP

Met het plaatsen van landers op de zeebodem kunnen diverse sensoren worden geïnstalleerd voor het meten van stroomsnelheid, turbulentie, waterhoogte en golven, zoals met een ADCP. Een ADCP maakt gebruik van de akoestische Doppler-verschuiving om informatie te verkrijgen over de beweging van deeltjes in het water, meestal sediment. Een ADCP zendt periodieke akoestische pulsen uit in de vorm van geluidsgolven in het water. Deze pulsen worden uitgezonden in een bepaalde frequentie. Wanneer deze geluidsgolven de deeltjes in de stroming tegenkomen, worden ze teruggekaatst naar het instrument. De snelheid waarmee deze geluidsgolven worden teruggekaatst, verschilt afhankelijk van de beweging van de deeltjes. De Doppler-verschuiving, die wordt waargenomen in de frequentie van de teruggekaatste geluidsgolven wordt gebruikt om de snelheid van de deeltjes in het water te berekenen langs de akoestische bundel. Door de meting uit te voeren vanaf een lander met een *upward looking* ADCP kan een driedimensionaal profiel van de stroomsnelheid gemaakt worden, waardoor inzicht ontstaat in de stromingspatronen binnen het waterlichaam. Naast de stroomsnelheid kan een ADCP ook informatie verschaffen over turbulentie in het water, wat belangrijk is voor het begrijpen van waterbewegingen op kleinere schaal. Door de veranderingen in de tijd van de afstand tot de wateroppervlakte te meten, kan een ADCP de waterhoogte nauwkeurig bepalen. Sommige ADCP-modellen zijn uitgerust met specifieke functies voor het meten van golven, waaronder golfhoogte, golflengte en golfperiode.

Een geavanceerd instrument voor de combinatie van deze variabelen is de Nortek Signature-1000 (<https://www.nortekgroup.com/products/signature-1000>). Hierbij moet er worden opgelet dat dit instrument 'five beams' in plaats van de gebruikelijke 'four beams' heeft hetgeen mogelijk eisen stelt aan de opbouw van het meetframe om geen hinder te hebben van de palen van het frame.

Op een lander kan ook een *high resolution downward looking* ADCP worden ingezet die opnamen maakt van de stroomsnelheid nabij de zeebodem en de orbitaalsnelheid van golven aan de zeebodem.

4.5.2 ADV

Een Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) is een instrument dat wordt gebruikt voor het meten van turbulentie in water. Net als een ADCP zendt de ADV korte pulsen akoestische signalen uit naar de stroming in het water die worden weerkaatst door deeltjes in het water, zoals sediment of kleine organismen. De beweging van deze deeltjes beïnvloedt de frequentie van de teruggekaatste signalen door het Doppler-effect. Door de Doppler-verschuivingen van meerdere signalen te analyseren, kan de ADV de fluctuaties in de stroomsnelheid meten, wat een indicatie geeft van turbulentie in het water. ADV's hebben vaak meerdere meetpunten langs de akoestische as, wat hen in staat stelt om turbulentie in drie dimensies te meten. Een ADV meet turbulentie op een lokaal niveau, waarbij het zich richt op kleine schaalverschijnselen, terwijl een ADCP de stroomsnelheid op een groter schaalniveau meet en bijvoorbeeld informatie geeft over de stroomsnelheid in een diepteprofiel. ADV meet turbulentie in meerdere richtingen langs de akoestische as waar ADCP de stroomsnelheid voornamelijk in de stroomrichting meet waarin het is georiënteerd. Golfboei

Voor het meten van golven kan een golfboei worden gebruikt. Een golfboei is ontworpen om nauwkeurige metingen te doen van golfkenmerken, zoals golfhoogte, golflengte, golfperiode en golfrichting. Een golfboei bestaat uit een drijvend boeisysteem dat op het wateroppervlak drijft. Dit boeisysteem is vaak voorzien van stabilisatoren om ervoor te zorgen dat de boei stabiel blijft, zelfs bij ruwe zeeegang. In de boei zijn sensoren

bevestigd die de bewegingen van de boei meten als gevolg van de passerende golven. Deze sensoren kunnen versnellingsmeters, gyroscopen en druksensoren omvatten. De sensoren registreren de bewegingen van de boei en zetten deze om in gegevens over golfkenmerken. Deze gegevens worden opgeslagen in een datalogger aan boord van de boei. Veel moderne golfboeien zijn uitgerust met telemetriesystemen, waarmee de verzamelde gegevens naar een ontvangstation aan de wal worden verzonden. Dit kan gebeuren via satellietcommunicatie, radiosignalen of andere draadloze technologieën. Eenmaal aan wal kunnen de verzamelde gegevens worden geanalyseerd om gedetailleerde informatie te verschaffen over de golven in het meetgebied. Golfboeien worden vaak aangedreven door zonne-energie of batterijsystemen, waardoor ze langdurige metingen kunnen uitvoeren, zelfs in afgelegen zeegebieden.

Op een lander kan ook een *downward looking* ADV worden ingezet die opnamen maakt van de bodemhoogteveranderingen.

4.5.3 Drukmeters

Om ruimtelijke variatie in golfparameters te meten is het mogelijk om meerdere drukmeters op de zeebodem te installeren. Veranderingen in golfhoogte resulteren in veranderingen in de waterhoogte en daarmee veranderingen in de waterdruk. Wanneer een drukmeter frequent genoeg een meting uitvoert (bv. 10 Hz) kunnen golven worden uitgelezen. Meerdere drukmeters geven informatie over het golfveld. Een correctie van de drukmetingen voor atmosferische druk is benodigd. Dat kan het beste gebeuren aan de hand van een (of meerdere) lokale druksensoren boven water. Sommige ADCP-modellen (zie boven) zijn uitgerust met specifieke functies voor het meten van golven.

4.6 Gesuspendeerd sediment en troebelheid

4.6.1 Optical Back Scatter

Troebelheid van het water kan gemeten worden met een Optical Back Scatter (OBS) sensor. Deze kan ook aan een Wirewalker bevestigd worden. Een Optical BackScatter (OBS) sensor is ontworpen om de troebelheid van water te meten door verstrooid licht te detecteren. Eens OBS-sensor zendt een gerichte lichtbundel uit in het water. Dit licht doordringt het water en botst met de deeltjes die aanwezig zijn in het water, zoals sediment, algen of organisch materiaal. Wanneer het licht de deeltjes raakt, wordt een deel van het licht verstrooid in verschillende richtingen. Dit fenomeen staat bekend als backscattering (terugverstrooiing). De hoeveelheid verstrooid licht is gerelateerd aan de concentratie en de aard van de deeltjes in het water. Een detector in de OBS-sensor vangt het verstrooide licht op. De intensiteit van het verstrooide licht wordt gemeten en omgezet in een signaal dat correleert met de troebelheid van het water. Voordat de metingen worden uitgevoerd, wordt de OBS-sensor gekalibreerd om ervoor te zorgen dat de gemeten signalen nauwkeurig worden omgezet naar troebelheidseenheden.

4.6.2 Laser In Situ Scattering and Transmissometry (LISST)

Een LISST-sensor maakt gebruik van laserlicht om de verstrooiing en transmissie van licht door deeltjes in water te meten. De LISST-sensor zendt een laserlichtbundel uit in het water. Dit laserlicht doordringt het water en raakt de aanwezige deeltjes. Wanneer het laserlicht deeltjes in het water raakt, wordt een deel van het licht verstrooid in verschillende hoeken. De mate van verstrooiing is afhankelijk van de grootte van de deeltjes: grotere deeltjes veroorzaken meer verstrooiing. Een ander deel van het laserlicht wordt geabsorbeerd en getransformeerd door de deeltjes, wat resulteert in veranderingen in de intensiteit van het licht dat door het water reist (transmissie). De LISST-sensor bevat detectors die het verstrooide licht en de transmissie meten. Deze metingen worden gebruikt om informatie te verkrijgen over de grootteverdeling van de deeltjes in het water. De gemeten gegevens worden geanalyseerd met behulp van algoritmen en kalibraties om de deeltjesgrootteverdeling af te leiden. De resultaten worden vaak weergegeven als een histogram dat de frequentie van de verschillende deeltjesgrootteklassen laat zien. Voor nauwkeurige metingen wordt de LISST-sensor gekalibreerd met standaarddeeltjes van bekende grootte voordat deze wordt ingezet. Zie ook [https://www.coastalwiki.org/wiki/Optical_Laser_diffraction_instruments_\(LISST\)](https://www.coastalwiki.org/wiki/Optical_Laser_diffraction_instruments_(LISST)).

4.6.3 Gecombineerde parameters

Met een multi-parameter probe (MPP) kunnen meerdere parameters met één instrument gemeten worden. Een MPP is uitgerust met meerdere sensoren die verschillende waterparameters kunnen meten. Deze sensoren zijn typisch ontworpen voor het meten van parameters zoals druk, temperatuur, geleidbaarheid, zuurstofgehalte, pH, turbiditeit (OBS) en chlorofylgehalte. Een mogelijk instrument hiervoor is de YSI EXO-series Multiparameter Sonde (<https://observator.com/products/ysi-exo-series-multiparameter-sonde/>).

4.7 Pelagische vis en zoöplankton

4.7.1 WBAT akoestische sonar

Voor het monitoren van dichtheden pelagische vis (en zoöplankton) kan gebruik worden gemaakt van een autonome akoestische sensor die aan een lander op de zeebodem wordt bevestigd en omhoog kijkt in de waterkolom. Een dergelijk instrument zendt periodieke akoestische pulsen uit in het water. De akoestische pulsen worden teruggekaatst wanneer ze botsen met objecten in het water, zoals zoöplankton en vissen. De teruggekaatste geluidsgolven bevatten informatie over de locatie en beweging van deze organismen. Sensoren in het akoestische instrument detecteren en analyseren de teruggekaatste geluidssignalen. Door de tijd die het duurt voordat het signaal terugkomt en de intensiteit ervan te meten, kan het instrument informatie verstrekken over de diepte, dichtheid en grootte van de organismen. Door herhaaldelijk akoestische pulsen uit te zenden en te ontvangen tijdens het bewegen door het water, kan het instrument een verticaal profiel genereren dat informatie geeft over de verspreiding van zoöplankton en vissen op verschillende diepten. Een mogelijk instrument hiervoor is de WBAT Simrad DW350 in bezit van Wageningen Marine Research.

4.7.2 Flow cytometer

Een flow cytometer is een geavanceerd instrument dat wordt gebruikt voor het analyseren van deeltjes in een vloeistof op basis van hun fysische en chemische eigenschappen. Het wordt vaak ingezet voor het meten van deeltjesgrootte en het identificeren van zoöplankton. Een watermonster wordt geïnjecteerd in de flow cytometer, waar het in een dunne, continue stroom door een capillair beweegt. De flow cytometer zorgt ervoor dat de deeltjes in het monster één voor één langs een laserstraal stromen. Dit zorgt ervoor dat elk deeltje individueel wordt belicht, wat cruciaal is voor de nauwkeurigheid van de metingen. De belichting met een laserstraal veroorzaakt fluorescentie bij de deeltjes, wat betekent dat ze licht uitzenden nadat ze zijn blootgesteld aan de laser. Specifieke detectoren vangen de uitgezonden fluorescentie op. Verschillende typen cellen of deeltjes zullen verschillende fluorescentiekenmerken vertonen, waardoor ze kunnen worden geïdentificeerd en onderscheiden op basis van hun fluorescerende eigenschappen. Hierbij kan ook een combinatie gemaakt worden van foto's van de deeltjes. De elektronica van de flow cytometer analyseert de fluorescentiepatronen en genereert gegevens over de deeltjesgrootte en samenstelling van het monster. Deze gegevens worden vaak weergegeven in de vorm van histogrammen of scatterplots, eventueel in combinatie met foto's. Een mogelijk instrument hiervoor is de Cytosub van het Nederlandse bedrijf CytoBuoy <https://www.cytobuoy.com/products/cytosub/>.

4.7.3 ZooSCAN en DNA

Een ZooSCAN systeem maakt gebruik van scantechnologie met aangepaste verlichting en een waterdichte scanruimte waarin vloeibare zoöplanktonmonsters kunnen worden geplaatst. De scanner maakt een hoge-resolutie, digitaal beeld en het monster kan zonder beschadiging worden teruggewonnen. Deze digitale beelden kunnen vervolgens worden onderzocht door middel van beeldanalyse. Hoewel de resolutie van de gedigitaliseerde zoöplanktonbeelden lager is dan het beeld dat wordt verkregen met een binoculair microscoop, heeft deze techniek zich meer dan voldoende bewezen voor grote monsterreeksen (Van Walraven et al. 2023). De identificatie van zoöplanktonsoorten wordt gedaan door automatische vergelijking van het beeld van elk individueel dier in het gescande beeld met een bibliotheekdataset die kan worden samengesteld voor elke individuele survey of geïmporteerd uit een eerdere survey.

Een ZooSCAN kan worden ingezet vanaf een schip, bijvoorbeeld bij het onderhoud van de landers. Het kan in het kader van deze studie vooral gericht zijn op larven van bodemdieren/vissen. Het is aan te bevelen om

monsters te nemen op verschillende dieptes (met Niskin bottles) om een profiel van de dichtheid aan larven van bodemdieren en/of vissen te bepalen. Als alternatief en/of aanvulling kan het watermonster door middel van DNA metabarcoding met verschillende markers geanalyseerd worden om de zooplankton samenstelling te bepalen.

4.8 Chlorofyl en primaire productie

De chlorofylconcentratie in de waterkolom wordt vaak gemeten met een apparaat dat een fluorometer of chlorofylfluorometer wordt genoemd. Deze werken volgens het principe van fluorescentie, dat is de emissie van licht door een stof die licht of andere elektromagnetische straling heeft geabsorbeerd. Chlorofyl-a, het primaire fotosynthetische pigment in planten en algen, zendt fluorescentie uit wanneer het wordt opgewekt door licht van een specifieke golflengte. Een typisch proces bestaat uit het schijnen van een specifieke golflengte van licht op het watermonster dat chlorofyl bevat. De chlorofylmoleculen absorberen een deel van deze lichtenergie en zenden het vervolgens weer uit bij langere golflengten, waardoor fluorescentie ontstaat. De intensiteit van deze fluorescentie wordt vervolgens gemeten door de fluorometer en deze correleert met de concentratie chlorofyl in het watermonster.

Voor het meten van primaire productie in de waterkolom kan gebruik worden gemaakt van een Fast Repetition Rate Fluorometry (FRRF) sensor. Dit is een geavanceerde techniek die is ontworpen om de efficiëntie van fotosynthese in algen te meten door het monitoren van chlorofylfluorescentie. De FRRF-sensor zendt herhaaldelijk korte flitsen van zeer intens licht uit naar het fotosynthetische organisme, zoals algen of fytoplankton. Het intense licht induceert chlorofylfluorescentie in de fotosynthetische organismen. Chlorofyl is het pigment dat verantwoordelijk is voor het absorberen van licht tijdens fotosynthese. De FRRF-sensor detecteert het fluorescente licht dat wordt uitgestraald door het chlorofyl. Dit fluorescerende licht is een maat voor de fotosynthetische activiteit van het organisme. De metingen van chlorofylfluorescentie worden geanalyseerd in de vorm van fluorescentietransiënten, die de reactie van het fotosysteem op de flitsen van licht weergeven. Deze transiënten verschaffen informatie over de fotosynthetische efficiëntie, energieoverdracht en fotofysica van het chlorofyl. Op basis van de verzamelde gegevens kan de primaire productie van het fotosynthetische organisme worden berekend. FRRF kan real-time gegevens verkrijgen over de fotosynthetische activiteit van het fytoplankton in zee.

5 Opzet meetplan; locaties en instrumenten

5.1 Monitoring met landers uitgerust met sensoren

5.1.1 Introductie

Voor het monitoren van variabelen gedurende lange tijd vanaf één locatie zal het gebruik van landers worden ingezet. Een lander of bodemframe dient als een platform om verschillende meetinstrumenten en sensoren op een locatie op de zeebodem te plaatsen. De lander kan worden uitgerust met camera's, sonars, watermonsters, sedimentcorers, etc. Een lander wordt vanaf een schip in zee neergelaten. Na het uitvoeren van metingen en het verzamelen van gegevens wordt het weer opgehaald. Tussentijds kan de lander worden opgehaald voor onderhoud of vervanging van de instrumenten. Het systeem is meestal voorzien van verankeringsmechanismen, zoals gewichten of pinnen, om het stevig op de zeebodem te positioneren en voorkomen dat het wegspoelt door stroming of golven. Sommige landers hebben stabilisatiemiddelen, zoals poten of vinnen, om ervoor te zorgen dat het instrument horizontaal op de zeebodem rust. Een lander kan communicatiemiddelen bevatten, zoals akoestische modems, om gegevens in realtime terug te sturen naar het onderzoeksschip of een controlestation aan de oppervlakte. Ook kan het een boei bevatten met een akoestische release die gebruikt wordt om de locatie van de lander terug te vinden.

5.1.2 Instrumentatie

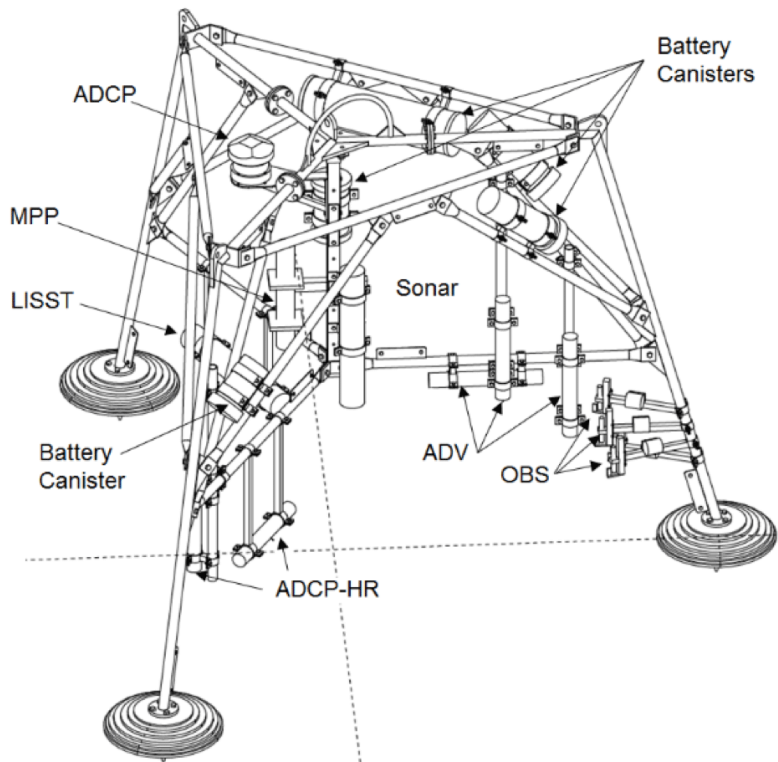
Voorgesteld wordt om in de basis uit te gaan van dezelfde instrumenten die werden gebruikt in de veldcampagne voor de pilotsuppletie buitendelta Ameland, zoals beschreven in Van Prooijen et al. (2020), Figuur 14, met een aantal aanpassingen (Tabel 1). Een lander met drie poten, zoals hier afgebeeld, is stabiel dan met vier poten.

Drie OBS sensoren werden gebruikt door Van Prooijen et al. (2020) op verschillende hoogtes; het is aan te bevelen om te onderzoeken of de hoogtegradiënt groter gemaakt kan worden, bijv. 30, 80, 140 en 200 cm. Daarnaast is het aan te bevelen om gebruik te maken van OBS sensoren met ingebouwde fluorometer. Rob Witbaard (NIOZ) gebruikt instrumenten van de Japanse fabrikant Alec, voorzien van een ruitenwischer, die goed bevallen.

Een *upward-looking* ADCP werd toegepast door Van Prooijen et al. (2020) om het profiel van stroomsnelheid over de waterkolom te meten. Het is aan te bevelen om een ADCP in te zetten met acoustic backscatter (ABS), zoals de Nortek Signature-1000 (of -500). Dit kan namelijk een proxy geven voor de hoeveelheid zwevend stof in de gehele waterkolom. Opgemerkt moet worden dat de gevoeligheid het hoogst is voor zanddeeltjes en dat net als bij een OBS, het nodig is het signaal te kalibreren aan referentiemetingen voordat dit aan zwevend stof concentratie gekoppeld kan worden. Omdat het signaal naast veranderingen in concentratie ook gevoelig is voor veranderingen in sedimenteigenschappen, moet de relatie tussen ABS en referentiemetingen met enige regelmaat opnieuw opgesteld worden. Desondanks kan dit waardevolle inzichten geven, omdat deze data in hoge verticale resolutie en hoge frequentie in profielen over de waterkolom kan worden gemeten en dergelijke informatie past zeer goed in dit onderzoeksprogramma. De Signature-1000 is bovendien uitgerust met specifieke functies voor het meten van golven, waaronder golfhoogte, golflengte en golfperiode.

Een *downward-looking* ADV werd toegepast door Van Prooijen et al. (2020) om de bodemhoogteveranderingen te meten. Zowel de Nortek Vector ADV als de Nortek ADCP kunnen gebruikt worden voor bodemhoogtemetingen. De nieuwe Nortek Signature-1000 ADCP heeft meer mogelijkheden, hierbij is het mogelijk om een signaal op 3 verschillende akoestische frequenties uit te sturen. Deze toepassing is nog nieuw, maar uitermate interessant om inzicht te krijgen in diverse verticale bodemlagen.

Op sommige landers bij het Ameland project werd een 3D Sand Ripple Profiling Sonar geplaatst waarmee de lokale bodemmorfolgie in detail wordt bemeaten. Dit is een **nice-to-know**. Een andere **Nice-to-know** toevoeging is een WBAT *upward looking* sonar voor het waarnemen van vis en zoöplankton.



Figuur 14. Configuratie van de instrumenten op een lander zoals gebruikt in de veldcampagne voor de buitendelta suppletie Ameland. Figuur uit: Van Prooijen et al. (2020).

Tabel 1. Instrumenten op de lander.

Bepaling	Type	Merk	Hoogte	Need or nice	Opmerkingen
Turbiditeit & chlorofyl combi	OBS + fluorimeter	ALEC Compact-CLW	30, 80, 140 en 200 cm	Need	Advies workshop
Deeltjesgrootte	LISST	Sequoia LISST-100X particle size analyser	60 cm	Need	Advies workshop
Sedimentatie / erosie	ADCP downward	Nortek Signature1000	30 cm	Need	Advies workshop : beste instrument
Waterkolom, stroming, zwevend stof, golven	ADCP upward	Nortek Signature1000	200 cm	Need	Advies workshop : beste instrument
Multi parameter probe	EXO-series	YSI	130 cm	Need	Advies workshop
Bodemmorfolgie	3D Sand Ripple Profiling Sonar	Marine Electronics (type 2001)	100 cm	Nice	
Pelagische vis en zoöplankton	WBAT	Simrad Wideband autonomous transceiver	200 cm, omhoog kijkend	Nice	

5.1.3 Locatie van de landers

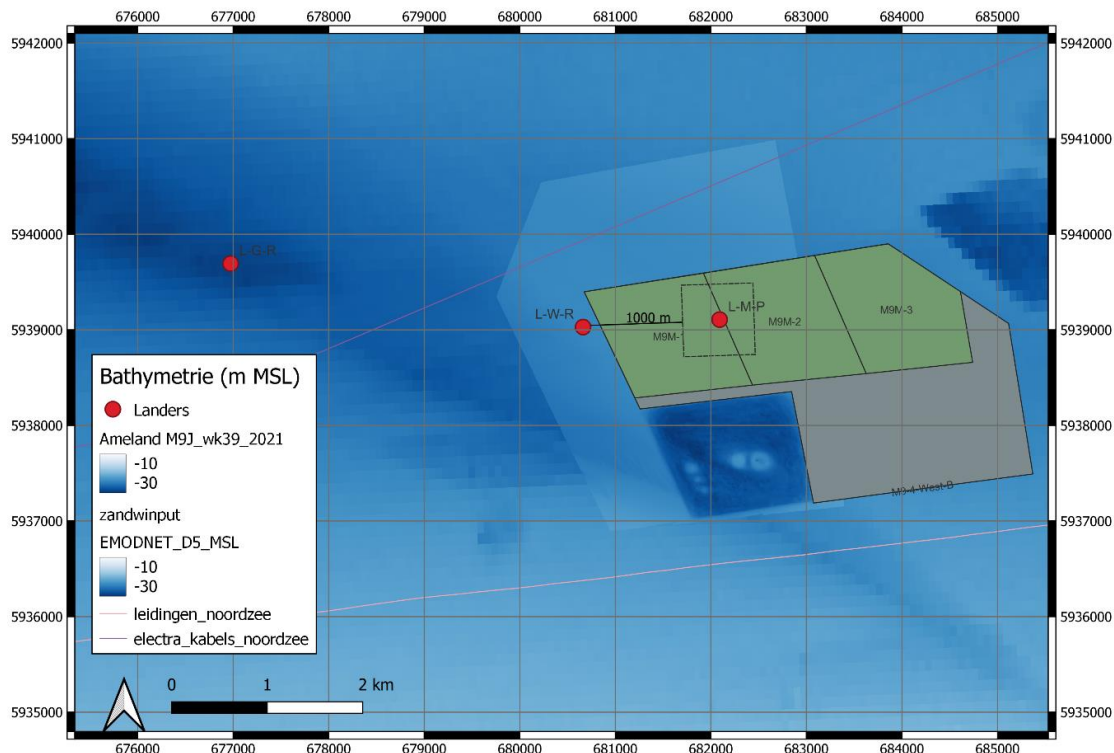
Er wordt voorgesteld drie landers te plaatsen, een in de put, een buiten de put als referentie en een in de natuurlijke diepe geul als referentie, Figuur 15. De lander buiten de put wordt op een afstand van 750-1000 m geplaatst in het verlengde van de stromingsrichting en buiten het invloedsgebied van de zandwinningen in M9M. Hiermee kan worden onderzocht of er lij-effecten zijn op de stromings- en turbulentiepatronen. De lander in de natuurlijke geul zal gebruikt worden om te onderzoeken of de flauwere helling in het bodemprofiel vergeleken met een gegraven winput een wezenlijk verschil maakt in stroming, turbulentie en andere parameters.

5.1.4 Onderhoud

De sensoren op de landers moeten regelmatig onderhouden worden, met name in de zomerperiode, zie planning. Het meest ideaal voor het onderhoud is om voor elke lander een complete tweede set te hebben (dus zes landers in totaal). Hiermee kan namelijk snel een wisseling worden uitgevoerd waarna er zo'n 3 weken de tijd is om de instrumenten uit te lezen en te onderhouden. Hoewel de aanschaf van 3 extra landers veel geld kost, is er een besparing in de scheepstijd mee te halen.

Wanneer er drie landers zijn die één voor één aan boord worden gehesen moet rekening worden gehouden met een geruime tijd aan onderhoud per lander. Het uitlezen van de data kan enkele uren duren, en ook het schoonmaken en controleren van de instrumenten neemt tijd in beslag. Hiermee zal de benodigde scheepstijd toenemen tot 2 - 3 dagen. Sowieso zal een ook bij drie complete landers een reserve pool van instrumenten moeten klaarstaan. Daarnaast zijn de omstandigheden aan boord vaak ook nog belemmerend om droog en schoon te werken.

Een ander schema is mogelijk en dat is om de instrumenten bijvoorbeeld op maandag op te halen en aan land te brengen, vervolgens dinsdag en woensdag onderhoud te plegen en donderdag of vrijdag terug te plaatsen. Naast kosten voor scheepstijd levert dit steeds gaten op in de waarnemingen.



Figuur 15. Locaties van drie landers. Bathymetrie zeebodem opname 2021 door RWS en bathymetrie uit EMODNET vak D5. Verschillen in kleur tussen beide weergaven van bathymetrie zijn het gevolg van verschillende bathymetrische opnames zonder correcties voor referentiehoogte. Coördinaten in ETRS89 / UTM Zone 31 (EPSG:25831).

Tabel 2. Geografische locaties van de landers in ETRS89 / UTM Zone 31 (EPSG:25831).

Lander	Lon x	Lat y
L-W-R	680662	5939028
L-M-P	682091	5939107
L-G-R	676972	5939693

5.2 Monitoring van de bodemgemeenschap met bodemschaaf en met box corer

Het nemen van monsters met de bodemschaaf en box corer is fundamenteel voor dit onderzoek; deze technieken leveren **need-to-know** gegevens op. Vanzelfsprekend is het belangrijk om voldoende monsters te nemen zodat er een representatief beeld van de bodemgemeenschap gegeven kan worden. Om het aantal monsters vast te stellen kan gebruik worden gemaakt van een power analyse. Echter, het nemen van monsters is tijdrovend en daarmee duur. In dit meetplan wordt uitgegaan van praktisch haalbare monsternames per dag. Uitgegaan wordt van het nemen van maximaal 10-12 schaaftmonsters per dag voor de NIOZ schaaft en maximaal 30-32 monsters per dag voor de WMR-schaaft. Er wordt in onderstaande uitgegaan van drie werkbare dagen in een surveyweek, met een totaal van 32 monsters voor respectievelijk een surveyweek NIOZ met een groot schip zoals de Arca of de Pelagia of één vaardag WMR met een klein schip zoals de Isis of Terschelling.

Voor het nemen van monsters met de box corer wordt uitgegaan van het nemen van 30-32 monsters per dag. Er wordt in onderstaande uitgegaan van drie werkbare dagen in een surveyweek, met een totaal van 92 box corer monsters.

De meetcampagnes voor het schaven en voor het boxcoren kunnen niet gezamenlijk worden uitgevoerd. Er zijn verschillende teams voor nodig en er is geen tijd voor extra activiteiten. Dit betekent dat er mogelijk twee surveyweken nodig zijn.

5.2.1 Locatie monsterstations schaaftrekken

In de proefopzet ligt de nadruk op de nieuw te graven put in vergelijking met de directe omgeving. Er wordt gekozen voor een zelfde opzet als in de chronosequentiestudie met 8 monsters in de put en 8 monsters nabij de put als referentie voor de directe omgeving. In aanvulling hierop worden 5 monsters genomen in de diepe delen van de natuurlijke geul. Tevens worden in de beide bestaande zandwinputten - met verschillende ontwikkelingsduur - monsters genomen, te weten 6 monsters in M9J en 5 monsters in M9-4. Dit brengt het totaal op 32 monsters. Voor het uitvoeren van het veldwerk is een prio-ladder van kracht:

PRIO 1: De 8 monsters in de put;

PRIO 2: De 8 monsters nabij de put als referentie;

PRIO 3: De 5 monsters in de natuurlijke geul als referentie;

PRIO 4: De 11 resterende monsters gelijk verdeeld over de twee bestaande winputten.

Voor de 8 referentiestations in de omgeving van de geplande zandwinput is ervoor gekozen om zoveel mogelijk dezelfde locaties te bemonsteren als gebruikt voor de chronosequentiestudie. Echter, stations die gelegen zijn in het zandwingebied M9M worden verplaatst naar buiten dit gebied. De monsteropzet is nu dat er 4 stations ten westen en 4 stations ten noorden van de zandwinput liggen die dienen als referentiestations.

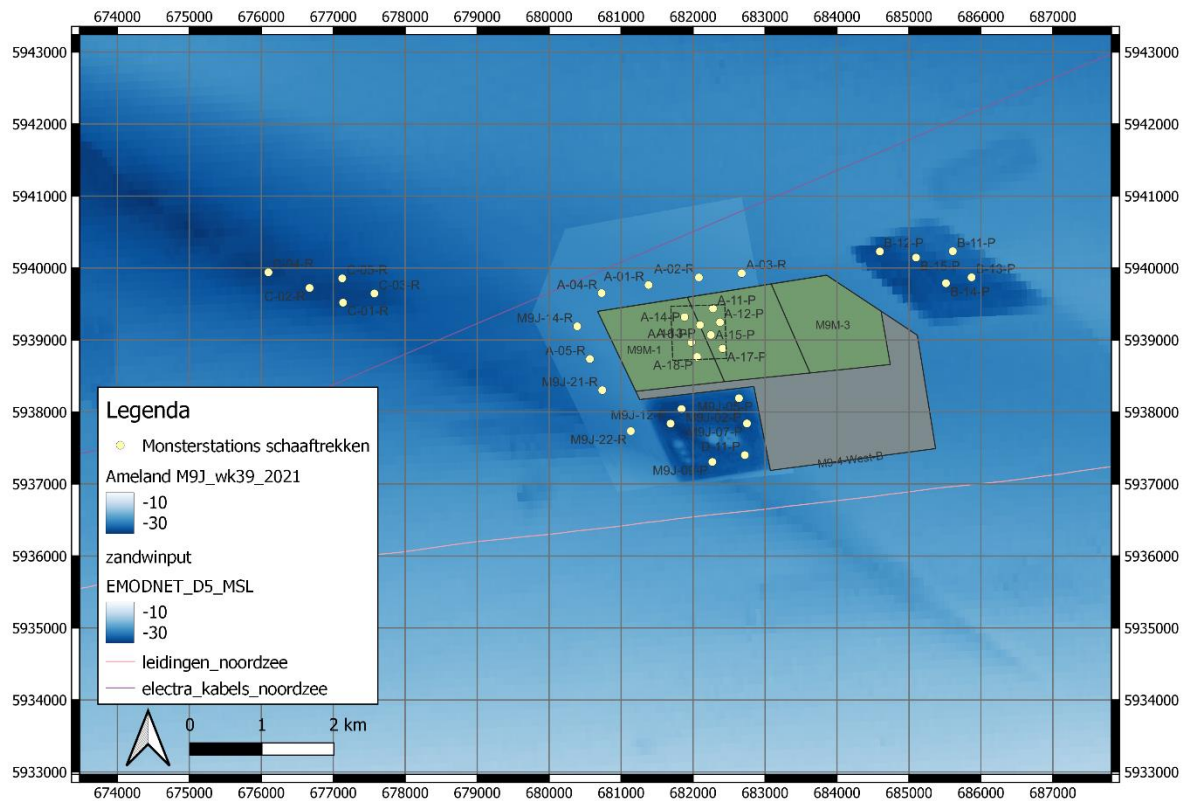
De locaties van 8 monsterstations in de te graven put zijn bepaald met QGIS door een random trekking van 8 stations binnen de contour van de geplande zandwinput waarbij als extra parameter is gekozen voor een minimale onderlinge afstand van 200 m. Wanneer na het graven de exacte positie bekend is, kan eenzelfde methode worden gedaan voor het bepalen van de stations. Deze monsters kunnen ook als T0 worden gedaan.

De locaties van de 5 stations in de bestaande zandwinput M9-4 is met dezelfde random methode bepaald.

Voor de 6 stations in de bestaande put M9J is er voor gekozen om in principe dezelfde locaties te selecteren als gebruikt bij de chronosequentiestudie en twee stations te laten afvallen. Monsterstation M9J-04-p valt af omdat ten gevolge van de lokale bodemstelling het monstern hier moeilijk ging (opmerking in Witbaard & Craeymeersch: *Grijze schelpen, kokkels met klei, oude wadbodem. Lier en Aframe hebben moeite*). Monsterstation M9J-01-P_b valt af vanwege de ligging in de (noordwestelijke) hoek van de put. Monsterstation M9J-03-P is afgefallen, of eigenlijk verschoven naar een positie in het zuidelijke deel van de put.

Er zijn 5 stations gekozen in de natuurlijke geul ten westen van de geplande zandwinput als referentiestationen voor diepe locaties.

De locaties van de 32 monsterstations voor het nemen van monsters met een bodemschaaf zijn weergegeven in Figuur 16. De geografische locaties van de stations voor schaaftrekken zijn opgenomen in Bijlage 1.



Figuur 16. Locaties van 32 monsterstations voor schaaftrekken. Bathymetrie zeebodem opname 2021 door RWS en bathymetrie uit EMODNET vak D5. Verschillen in kleur tussen beide weergaven van bathymetrie zijn het gevolg van verschillende bathymetrische opnames zonder correcties voor referentiehoogte. Coördinaten in ETRS89 / UTM Zone 31 (EPSG:25831).

Voorgesteld wordt de schaaftbemonstering tweemaal per jaar uit te voeren; in het voorjaar en in het najaar. Dit is belangrijk om groei en overleving van schelpdieren vast te stellen. Hiermee sluit de voorjaarsmeting goed aan op de bodemschaafmonsters van de WMR schelpdiersurvey die al elk jaar worden genomen, Figuur 1. Tijdens de WMR schelpdiersurvey kunnen de 32 aanvullende monsters tegen geringe meerkosten worden genomen met het Rijksrederijvaartuig Isis. De werkzaamheden kunnen worden verricht in één vaardag.

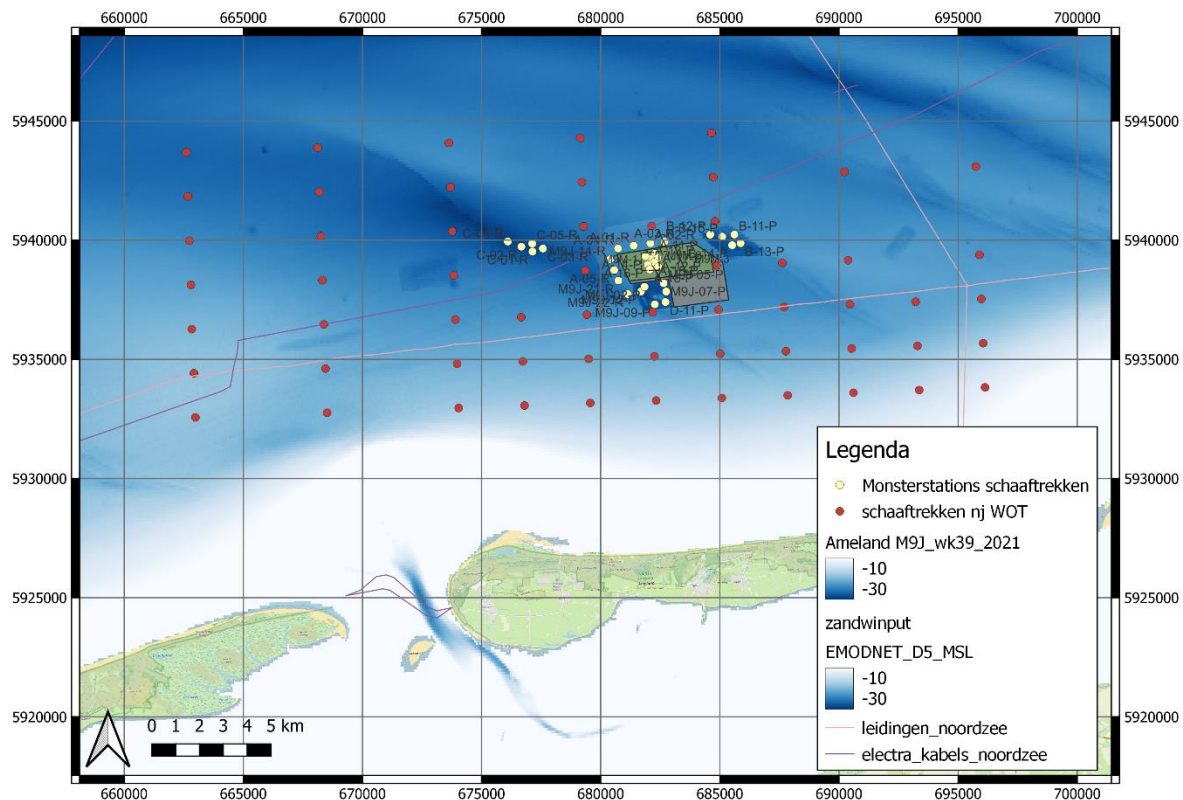
Bij inzet van de Triple D schaaft kost het 3 a 4 scheepsdagen (exclusief varen).

In de najaarsmeting worden dezelfde 32 stations bemonsterd plus aanvullend 60 geselecteerde stations uit het grid van de WMR schelpdiersurvey, Figuur 17. Deze stations dienen als vergelijkingsmateriaal voor trendmatige wijzigingen op grotere schaal en voor ruimtelijke verschillen op grotere schaal. De najaarsbemonstering kan uitgevoerd worden in één surveyweek met de WMR-schaaft door het

Rijksrederijvaartuig Terschelling¹. Of het kan worden uitgevoerd in drie surveyweken met de NIOZ-schaaf door een groter vaartuig als de Arca of de Pelagia.

Mocht de Triple-D schaaf worden ingezet is het raadzaam ook een voorjaarsmeting te doen aan het grid voorgesteld in Figuur 17 (lokatie WOT metingen).

Speciale aandacht verdient zandspiering. Deze is in de voorjaarssurvey in minder grote aantallen te verwachten omdat de zandspiering dan in overwegend de waterkolom zit, maar in de najaarssurvey zitten ze overwegend in de bodem.



Figuur 17. Locaties van de 32 monsterstations voor schaaftrekken plus 60 aanvullende WOT stations in het najaar. Bathymetrie zeebodem opname 2021 door RWS en bathymetrie uit EMODNET vak D5. Verschillen in kleur tussen beide weergaven van bathymetrie zijn het gevolg van verschillende bathymetrische opnames zonder correcties voor referentiehoogte. Coördinaten in ETRS89 / UTM Zone 31 (EPSG:25831).

5.2.2 Locatie monsterstations box corer

In de (te graven) put zijn 25 box corer stations random gekozen met een minimale onderlinge afstand van 50 m. Wanneer de exacte putlocatie bekend is, kan deze procedure opnieuw worden gedaan. In totaal zijn 31 monsterstations gekozen als referentiestations buiten het zandwinkvak M9M. De stations liggen zoveel mogelijk ten westen en ten noorden ervan, nabij de locaties van de schaaftrekken. Vijf stations zijn gekozen ten zuiden van het zandwinkgebied. In de bestaande winput M9J zijn 12 stations gekozen uit de reeds bemonsterde stations in de chronosequentiestudie. In de bestaande winput M9-4 zijn 12 stations random gekozen met een minimale afstand van 50 m tot elkaar. Nog eens 12 referentiestations zijn gekozen in de diepe natuurlijke geul ten westen van de zandwinkput.

Voor het uitvoeren van het veldwerk is een prio-ladder van kracht:

PRIO 1: De 25 monsters in de put;

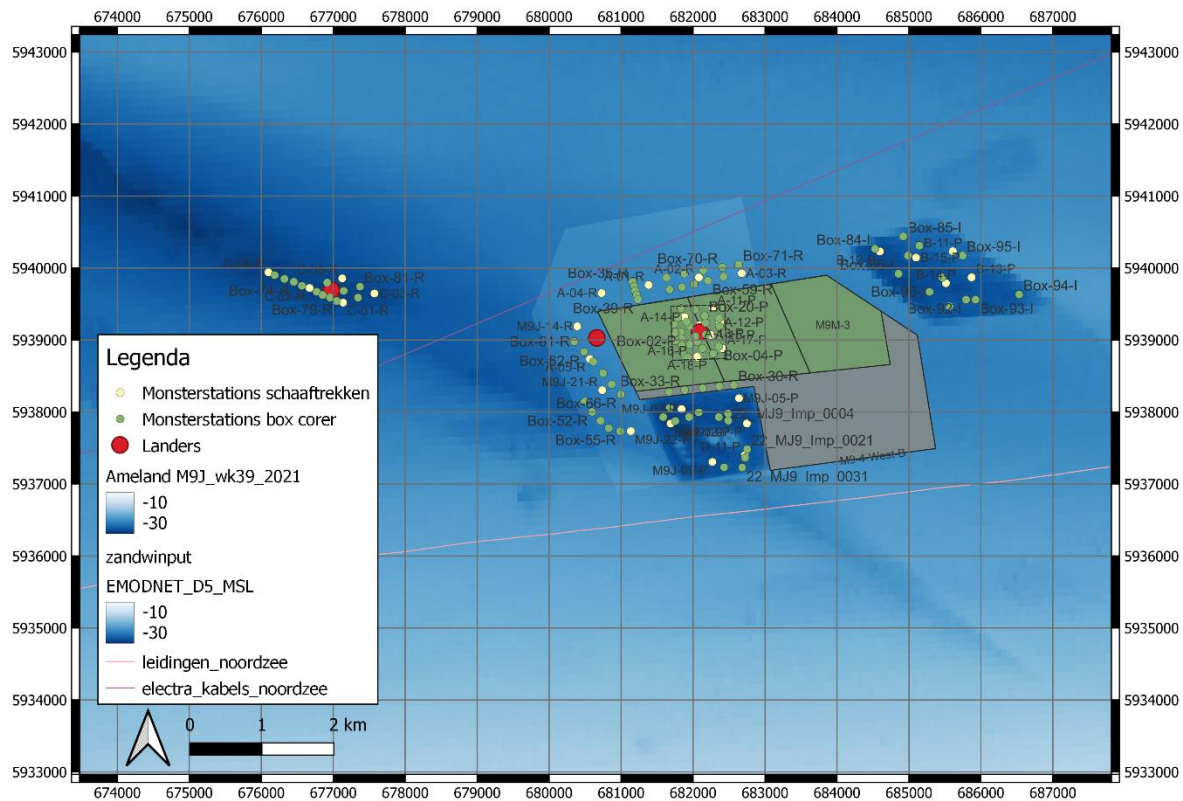
PRIO 2: De 31 monsters nabij de put als referentie;

¹ Er dient rekening mee gehouden te worden dat er een andere lier moeten worden geïnstalleerd, zoals ook is gebeurd ten behoeve van de WMR-schaaf bemonsteringen ten noordwesten van Borkum.

PRIO 3: De 12 monsters in de natuurlijke geul als referentie;

PRIO 4: De 24 resterende monsters gelijk verdeeld over de twee bestaande winputten.

De locaties van de 92 monsterstations voor het nemen van monsters met een box corer zijn weergegeven in Figuur 18. De geografische locaties zijn opgenomen in Bijlage 2.



Figuur 18. Locaties van 92 monsterstations voor box cores, 32 stations schaaftrekken en 4 landers. Bathymetrie zeebodempname 2021 door RWS en bathymetrie uit EMODNET vak D5. Verschillen in kleur tussen beide weergaven van bathymetrie zijn het gevolg van verschillende bathymetrische opnames zonder correcties voor referentiehoogte. Coördinaten in ETRS89 / UTM Zone 31 (EPSG:25831).

5.3 Monitoring van sedimenteigenschappen en sedimentatiesnelheid

Voor het bepalen van sedimenteigenschappen zullen in elk geval sedimentsteekbuismonsters gestoken worden in elke box corer monster waarna de korrelgrootte wordt bepaald in het lab met een laser particle sizer. Er zullen diepere steekbuizen genomen worden van de bovenste 30 cm, en dan wordt elke 5 cm apart geanalyseerd. Dit is een **need-to-know** bepaling.

Als **nice-to-know** is een nadere onderverdeling in kleinere lagen mogelijk. Rob Witbaard (NIOZ) adviseert laagdiktes van 0-10 mm, 10-20 mm, 20-30 mm, 30-40 mm, 40-50 mm en dan pas iedere 50 mm (NB in een Teams meeting op 12-04-2024 met Rob Witbaard aangepast op eerdere voorkeur). Hierbij kan er met meer nauwkeurigheid worden gekeken naar de versheid van organisch materiaal en het onderscheid in refractair en labiel organisch materiaal (Groenewold & Dankers, 2002).

Het nemen van lakprofielen is aanbevolen als **nice-to-know**. Omdat het maken van lakprofielen tijdrovend is, kan dit mogelijk niet gecombineerd worden met de box corer survey. Bovendien houdt de lak niet goed op waterrijke slibbige lagen.

Aan de lander kan een downward looking high resolution ADCP bevestigd worden waarmee met hoge frequentie de lokale bodemhoogte bemeten kan worden. Dit is een **need-to-know**.

Het nemen van vibrocores is aanbevolen als een **nice-to-know**. Hiermee kan een inzicht worden verkregen in de sedimentsamenstelling (en slibgehalte) in de bovenste zes meter met sediment die weggegraven gaat worden.

Het maken van opnamen met een SPI-apparaat is een **nice-to-know**.

Het gebruik van een sedimentval is een **nice-to-know**.

5.4 Monitoring van verticale profielen van temperatuur

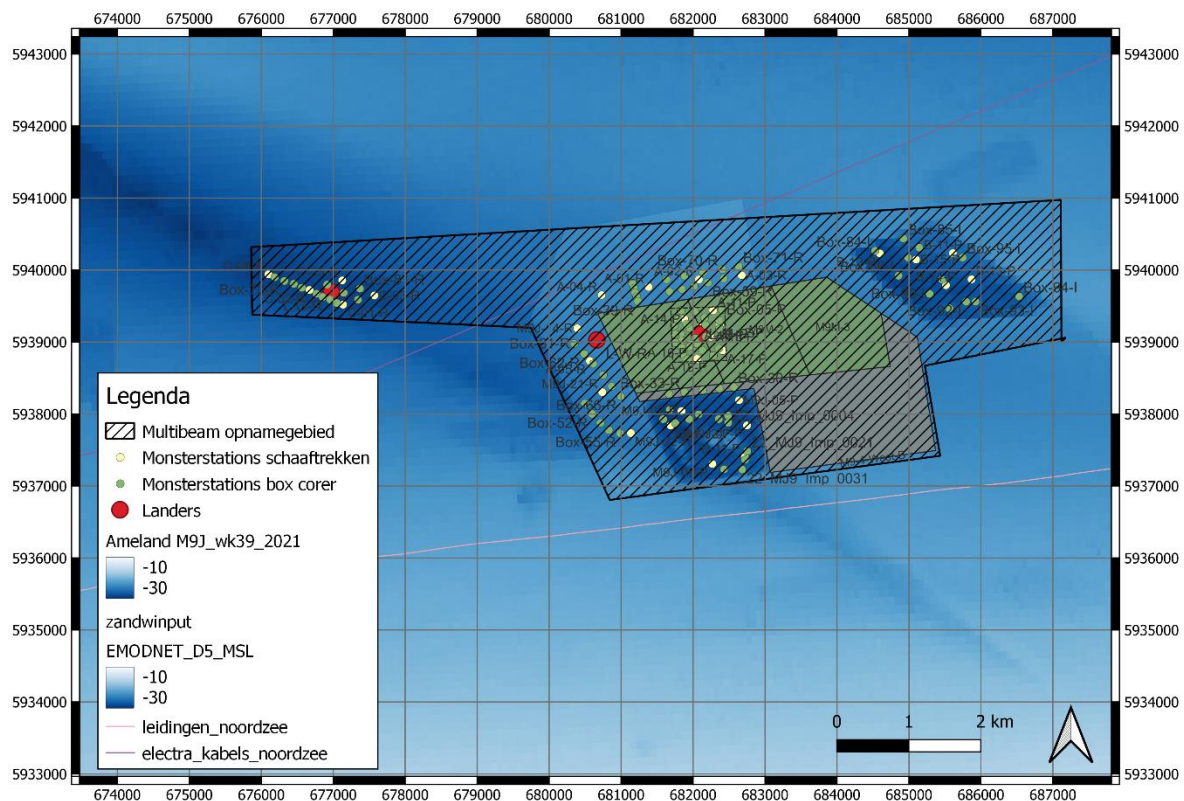
Het meten van een CTD-profiel vanaf een schip in de zomerperiode is een **need-to-know**. Deze metingen kunnen gecombineerd worden met het nemen van watermonsters op verschillende dieptes met Niskin bottles en een analyse van de larven van bodemdieren in de waterkolom door middel van een Zooscan en/of DNA analyse. Dit is **nice-to-know**.

De inzet van een wirewalker met CTD en andere sensoren is nuttig omdat deze een zomer lang continu kan meten om te bepalen wanneer er stratificatie zou kunnen optreden. Aanbevolen is minimaal een OBS en een zuurstofmeter toe te voegen, alles kan gecombineerd worden in MPP. Een wirewalker kan worden ingezet op T1 en T2. Een wirewalker is **nice-to-know**.

Als alternatief kan een thermistor string worden ingezet als **nice-to-know** of kan een mooring line worden geïnstalleerd met daaraan vast HOBO data loggers (uit Australië) als **nice-to-know**.

5.5 Monitoring van bodemhoogte van het studiegebied

Het monitoren van de veranderingen in bodemhoogte met multibeam sonar is **need-to-know**. Het aanzetten van de verzameling van data over backscatter is **nice-to-know**. Het in te meten gebied zal alle meetstations voor schaaftrekken en box corer monsters moeten omvatten, Figuur 19.



Figuur 19. Multibeam opnamegebied gearceerd. Bathymetrie zeebodem opname 2021 door RWS en bathymetrie uit EMODNET vak D5. Verschillen in kleur tussen beide weergaven van bathymetrie zijn het gevolg van verschillende bathymetrische opnames zonder correcties voor referentiehoogte. Coördinaten in ETRS89 / UTM Zone 31 (EPSG:25831).

6 Opzet meetplan; planning

De planning bestaat uit vier lijnen, apart behandeld op de vier volgende bladzijdes en een meer gedetailleerde planning voor het bodemlander onderhoud. Achtereenvolgens komen:

1. WP1 Abiotiek planning
2. WP2 Benthos bemonstering planning
3. WP3 Drukfactoren
4. WP4 Rapportage planning
5. WP1-2 Bodemlander onderhoud

De planning volgt een systematiek van drie jaar. De eerste drie jaar hoogfrequent omdat dan de eerste en grootste veranderingen plaatsvinden qua abiotiek (met name korrelgrootte) en ecologie (van kolonisatie naar een meer rijpe climaxsituatie behorende bij de dynamiek van de locatie). De tweede serie begint op 6 jaar. Het is te verwachten dat de rekolonisatie na 5 à 6 jaar qua soorten en biodiversiteit een climaxsituatie heeft bereikt waarna de gemeenschap een opbouw krijgt met meerdere oudere individuen.

Het ritme van monstereen gaat verder in stappen met **need-to-know** metingen en **nice-to-know** metingen. Deze worden voor het overzicht in Tabel 3 gegeven.

Tabel 3. Overzicht van Need-to-know en Nice-to-know bepalingen.

WP	Need-to-know	Techniek
1.0	Bathymetrie (opvulling, taludvorming)	multibeam
1.1	Sedimentsamenstelling (korrelgrootte, slibgehalte, organisch stof gehalte, schelpenresten) -> boxcore	Steekbuizen in boxcores max 35 cm
1.2	Sediment in water (korrelgrootte, troebelheid) -> lander	OBS & LISST
1.3	Turbulentie, stroomsnelheden, golven -> lander	ADCP
1.4a	Zuurstofverzadiging, saliniteit en temperatuur, lichtintensiteit, suspended matter, chlorofyl -> lander	MPP
1.4b	Temperatuur en saliniteit diepteprofiel -> vanaf schip	CTD-profiel
1.5	Zuurstofverzadiging bodem / redox reactie diepte -> boxcore	probe in boxcores
1.6a	Sedimentatie/erosie bodem -> lander	Downward ADCP
1.6b	Orbitaalbeweging golven nabij de bodem -> lander	Downward ADCP
1.7	Hydrodynamisch modelstudie (bodempligging ruimtelijk interpoleren/extrapoleren, meetresultaten landers)	Delft3D
WP	Nice-to-know	Techniek
1.0a	Bathymetrie (opvulling, taludvorming)	multibeam
1.0b	Bathymetrie backscatter	multibeam met backscatter
1.1a	Sedimentsamenstelling in meer detail (0-10 mm, 10-20 mm, 20-30 mm, 30-40 mm, 40-50 mm en dan iedere 50 mm).	Steekbuizen in boxcores max 50 cm

WP	Need-to-know	Techniek
1.2a	Sediment in water -> lander	ADCP acoustic backscatter
1.8	Slibkarakterisering Vibrocore tot 6 m (korrelgrootte, slibgehalte)	Vibrocore
1.9	Slibkarakterisering Vibrocore tot 6 m (isotopen, metalen)	Vibrocore
1.10	Bodemkenmerken en objecten	side-scan sonar
1.11	Bodem morfologie detail -> lander	3D Sand Ripple Profiling Sonar
1.12a	Bodemopbouw verticaal bovenste 40 cm -> boxcore	lakprofielen
1.12b	Bodemopbouw verticaal bovenste 40 cm -> directe waarneming	SPI
1.13	Bodemopbouw verticaal bovenste paar cm -> lander	ADCP
1.14	Sedimentatie op de bodem	sedimentval
1.15	Temperatuur en saliniteit diepteprofiel -> 's zomers	WireWalker
1.16a	Temperatuur diepteprofiel -> 's zomers	thermistorstring
1.16b	Temperatuur, Saliniteit -> 's zomers	Mooring line met HOBO loggers
1.17	Golven	Golfboei
1.18	Pelagische vis en zooplankton -> lander	WBAT
1.19a	Deeltjes en zooplankton in water -> lander	flow cytometer
1.19b	Deeltjes en zooplankton in water -> schip	ZooSCAN en DNA
1.20	Primaire productie van chlorofyl -> lander	FRRF

6.1 WP1 (A)biotiek planning

6.1.1 Need-to-know

			2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
			T0		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
WP	Need-to-know	Techniek	prior	post											
1.0	Bathymetrie (opvulling, taludvorming)	multibeam	inpeiling	uitpeiling	x		x			x				x	
1.1	Sedimentsamenstelling (korrelgrootte, slibgehalte, organisch stof gehalte, schelpenresten) -> boxcore	Steekbuizen in boxcores max 35 cm	x	x	x		x			x				x	
1.2	Sediment in water (korrelgrootte, troebelheid) -> lander	OBS & LISST	x		x		x								
1.3	Turbulentie, stroomsnelheden, golven -> lander	ADV & ADCP	x		x		x								
1.4a	Zuurstofverzadiging, saliniteit en temperatuur, lichtintensiteit, suspended matter, chlorofyl -> lander	MPP	x		x		x								
1.4b	Temperatuur en saliniteit diepteprofiel -> vanaf schip	CTD-profiel	x	x	x		x			x				x	
1.5	Zuurstofverzadiging bodem / redox reactie diepte -> boxcore	probe in boxcores	x	x	x		x			x				x	
1.6a	Sedimentatie/erosie bodem -> lander	Downward ADCP of ASED	x		x		x								
1.6b	Orbitaalbeweging golven nabij de bodem -> lander	Downward ADCP	x		x		x								
1.7	Hydrodynamisch modelstudie (bodempligging ruimtelijk interpoleren/extrapoleren, meetresultaten landers)	Delft3D						x							x

6.1.2 Nice-to-know

			2024	2025		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
			T0			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
WP	Nice-to-know	Techniek	prior	post												
1.0a	Bathymetrie (opvulling, taludvorming)	multibeam					x		x	x		x	x	x		
1.0b	Bathymetrie incl. backscatter	multibeam met backscatter	inpeiling	uitpeiling	x			x			x					x
1.1	Sedimentsamenstelling (korrelgrootte, slibgehalte, organisch stof gehalte, schelpenresten) -> boxcore	Steekbuizen in boxcores max 35 cm					x				x					x
1.1a	Sedimentsamenstelling (korrelgrootte, slibgehalte, organisch stof gehalte, schelpenresten) in meer detail (0-1 mm, 1-5 mm, 5-10 mm, 10-20 mm, 20-30 mm, 30-40 mm, 40-50 mm en dan pas iedere 50 mm) -> boxcore	Steekbuizen in boxcores max 35 cm					x				x					x
1.2	Sediment (korrelgrootte, troebelheid) in water -> lander	OBS & LISST					x				x					x
1.2a	Sediment (korrelgrootte, troebelheid) in water -> lander	ADCP acoustic backscatter					x				x					x
1.3	Turbulentie/stroomsnelheden in water -> lander	ADV & ADCP					x				x					x
1.4a	Zuurstofverzadiging waterkolom, saliniteit en temperatuur, lichtintensiteit, suspended matter, chlorofyl -> lander	MPP					x				x					x
1.5	Zuurstofverzadiging bodem / redox reactie diepte -> boxcore	probe in boxcores					x				x					x
1.8	Slib karakterisering Vibrocore tot 6 m (korrelgrootte, slibgehalte)	Vibrocore		x												
1.9	Slib karakterisering Vibrocore tot 6 m (isotopen, metalen)	Vibrocore		x		x		x								
1.10	Bodemkenmerken en objecten	side-scan sonar		x	x											
1.11	Bodem morfologie detail -> lander	3D Sand Ripple Profiling Sonar		x		x		x			x					
1.12a	Bodemopbouw verticaal bovenste 40 cm -> boxcore	lakprofielen		x	x	x		x			x					x
1.12b	Bodemopbouw verticaal bovenste 40 cm -> directe waarneming	SPI		x	x	x		x			x					x
1.13	Bodemopbouw verticaal bovenste paar cm -> lander	Nortek Signature1000		x		x		x			x					
1.14	Sedimentatie op de bodem	sedimentval		x	x	x		x			x					x
1.15	Temperatuur en saliniteit diepteprofiel -> 's zomers	WireWalker				x		x								
1.16a	Temperatuur diepteprofiel -> 's zomers	thermistorstring		x	x	x										
1.16b	Temperatuur, Saliniteit diepteprofiel -> 's zomers	Mooring line		x	x	x										
1.17	Golven	Golfboei		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.18	Pelagische vis en zooplankton -> lander	WBAT		x		x		x			x					
1.19	Deeltjes en zooplankton in water -> lander	flow cytometer		x		x		x			x					
1.20	Primaire productie van chlorofyl -> lander	FRRF		x		x		x			x					

6.2 WP2 Benthos bemonstering planning

WP	Need-to-know	Techniek	instituut	2025		2026		2027		2028		2029		2030		2031		2032		2033		2034		2035	
				T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Lente	Eind zomer	Lente	Eind zomer	Lente	Eind zomer	Lente	Eind zomer	Lente	Eind zomer	Lente
				Lente	Eind zomer	Lente	Eind zomer	Lente	Eind zomer	Lente	Eind zomer	Lente	Eind zomer	Lente	Eind zomer	Lente	Eind zomer	Lente	Eind zomer	Lente	Eind zomer	Lente	Eind zomer	Lente	Eind zomer
2.0	Vergelijking NIOZ schaaaf WMR Schaaf	bodemschaaf (2x)	WMR + NIOZ		2 weken																				
2.1a	Rekolonisatie monitoring	WOT-bodemschaaf	WMR	1 dag		1 dag	1 week			1 dag	1 week					1 dag	1 week							1 dag	1 week
2.1b	Rekolonisatie monitoring	TripleD-bodemschaaf	NIOZ	1 week		1 week	1 week			1 week	1 week					1 week	1 week							1 week	1 week
2.2	Rekolonisatie monitoring	Reineck Box Corer	Raamcontract ant?	1 week	1 week	1 week	1 week			1 week	1 week					1 week	1 week							1 week	1 week
	Nice-to-know	Techniek																							
2.3	Referentiestations aanvulling rekolonisatie monitoring	WOT-bodemschaaf	WMR					1 dag	1 week			1 dag	1 week	1 dag	1 week			1 dag	1 week	1 dag	1 week	1 dag	1 week	1 dag	1 week
2.4	Referentiestations aanvulling rekolonisatie monitoring	TripleD-bodemschaaf	NIOZ					1 week	3 weken			1 week	3 weken	1 week	3 weken			1 week	3 weken	1 week	3 weken	1 week	3 weken	1 week	3 weken
2.5	Rekolonisatie monitoring	Reineck Box Corer	Raamcontract ant?					1 week	1 week			1 week	1 week	1 week	1 week			1 week	1 week	1 week	1 week	1 week	1 week	1 week	1 week

6.3 WP3 Drukfactoren

			2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2040	2043	2045	2046	2047
			T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T15	T18	T20	T21	T22	
WP	Nice-to-know	Techniek																			
3.0	Visserijdruk modelleren/AIS-data analyseren			1						1				1							
3.1	Zandwinning en andere bodemberoering in omgeving in kaart brengen			1						1				1							

6.4 WP4 Rapportage planning

			2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2040	2045	2046	2047
			T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T15	T20	T21	T22	
WP	Need-to-do	Techniek																		
	4.0 Onderzoeksopzet		1																	
	4.1 Voortgangsrapportage/meetrapport			1	1		1			1				1						
	4.2 data analyse spatio temporele statistiek					1	1			1	1			1	1					
	4.3 Synthese rapport (incl evaluatie)							1				1				1				
PhD	Abiotiek								1	2	3	4								
PhD	Biotiek								1	2	3	4								
postdoc	Abiotiek			1	2	3	4													
postdoc	Biotiek			1	2	3	4													

7 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV.

Literatuur

- Brothers, N.P.; Cooper, J.; Løkkeborg, S. (1999). The incidental catch of seabirds by longline fisheries: worldwide review and technical guidelines for mitigation. FAO Fisheries Circular. No. 937. Rome, FAO. 1999. FIIT/C937. ISSN 0429-9329
- Bærum KM, Anker-Nilssen T, Christensen-Dalsgaard S, Fangel K, Williams T, Vølstad JH (2019) Spatial and temporal variations in seabird bycatch: Incidental bycatch in the Norwegian coastal gillnet-fishery. PLoS ONE 14(3): e0212786. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212786>
- Bergman, M.J.N. & Van Santbrink, J.W. (1994). A new benthos dredge ('triple-D') for quantitative sampling of infauna species of low abundance. Netherlands Journal of Sea Research 33(1): 129-133.
- Cianchetti-Benedetti, M., Dell'Omo, G., Russo, T., C. Catoni & P. Quillfeldt (2018) Interactions between commercial fishing vessels and a pelagic seabird in the southern Mediterranean Sea. BMC Ecol 18, 54 (2018). <https://doi-org.ezproxy.library.wur.nl/10.1186/s12898-018-0212-x>
- Clark Bethany L, Freyðis Vigfúsdóttir, Mark J Jessopp, Julian M Burgos, Thomas W Bodey, Stephen C Votier (2020). Gannets are not attracted to fishing vessels in Iceland—potential influence of a discard ban and food availability. ICES Journal of Marine Science 77: 692–700, <https://doi-org.ezproxy.library.wur.nl/10.1093/icesjms/fsz233>
- Coolen, J.W.P, Van Der, Babeth Weide, Cuperus Joël, Maxime Blomberg, Van, Godfried W.N.M Moorsel, Marco A Faasse, Oscar G Bos, Steven Degraer, and Han J Lindeboom. 2020. "Benthic Biodiversity on Old Platforms, Young Wind Farms, and Rocky Reefs. Ices Journal of Marine Science 77 (3): 1250–65.
- De Mesel, I., Craeymeersch J., Schellekens T., van Zweeden C., Wijsman J., Leopold M., Dijkman E., Cronin K. (2011a) Kansenskaarten voor schelpdieren op basis van abiotiek en hun relatie tot het voorkomen van zwarte zee-eenden. IMARES Wageningen UR Rapport C042/11.
- De Mesel, I., Craeymeersch J., Schellekens T., van Zweeden C., Wijsman J., Leopold M., Dijkman E., Cronin K. (2011b) BIJLAGEN Kansenskaarten voor schelpdieren op basis van abiotiek en hun relatie tot het voorkomen van zwarte zee-eenden. IMARES Wageningen UR Rapport C042/11.
- Degraer, S., D.A. Carey, J.W.P. Coolen, Z.L. Hutchison, F. Kerckhof, B. Rumes, and J. Vanaverbeke. 2020. Offshore wind farm artificial reefs affect ecosystem structure and functioning: A synthesis. Oceanography 33(4):48–57, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.405>.
- EU Commission Decision (2017) 2017/848 of 17 May 2017
- Groenewold, S., & Dankers, N.M.J.A. (2002). Ecoslib; de ecologische rol van slib. Alterra.
- Hunt, Heather & Scheibling, Robert. (1997). Role of early post-settlement mortality in recruitment of benthic marine invertebrates. Marine Ecology-progress Series - MAR ECOL-PROGR SER. 155. 269-301. [10.3354/meps155269](https://doi.org/10.3354/meps155269).
- ICES Special Request Advice (2019) Advice physical loss and physical disturbance on benthic habitats. ICES Advice 5-12-2019
- Newell R.C., Seiderer L.J., Hitchcock D.R. (1998). The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the seabed. Oceanography and Marine Biology: an Annual Review 36: 127-178.
- Pearson, T.H., Rosenberg, R. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanography Marine Biology Annual Review 16: 229-311.
- Reiss H., Kröncke I.A. (2005). Seasonal variability of infaunal community structures in three areas of the North Sea under different environmental conditions. Estuarine, Coastal and Shelf Science 65: 253-274.
- Rosenberg, R. 2001. Marine benthic faunal successional stages and related sedimentary activity. Scientia Marina 65 (suppl 2) 107-119.
- Rosenberg, R. 2001. Marine benthic faunal successional stages and related sedimentary activity. Scientia Marina 65 (suppl 2) 107-119.
- Rozemeijer M.J.C., de Kok J., de Ronde J.G., Kabuta S., Marx S., van Berkel. G. (2013). Het Monitoring en Evaluatie Programma Zandwinning RWS LaMER 2007 en 2008-2012: overzicht, resultaten en evaluatie. IMARES Wageningen UR rapport C181/13, Deltares rapport 1207903-000-ZKS-004.
- Schellekens, T., & L. van Son (2022). Zand uit Zee chronosequentie; Veldrapportage Boxcore-campagne. Amsterdam, Eurofins AquaSense.

-
- van der Spek, A., Forzoni, A., & Vermaas, T. (2022a). Holocene deposits at the lower shoreface and inner shelf of the Dutch coast. *Ocean & coastal management*, 224, 106203.
- van der Spek, A., van der Werf, J., Oost, A., Vermaas, T., Grasmeijer, B., & Schrijvershof, R. (2022b). The lower shoreface of the Dutch coast—An overview. *Ocean & coastal management*, 230, 106367.
- Van Hoey G., Vincx M., Degraer S. (2007). Temporal variability in the *Abra alba* community determined by global and local events. *Journal of Sea Research* 58: 144-155.
- Van Hoey Gert, Magda Vincx, Steven Degraer (2005). Small- to large-scale geographical patterns within the macrobenthic *Abra alba* community. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64: 751-763, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.03.022>.
- van Prooijen, B.C., Tissier, M.F., De Wit, F.P., Pearson, S.G., Brakenhoff, L.B., Van Maarseveen, M.C., ... & de Looff, H. (2020). Measurements of hydrodynamics, sediment, morphology and benthos on Ameland ebb-tidal delta and lower shoreface. *Earth System Science Data Discussions*, 2020, 1-18.
- Van Walraven, L., Couperus, B., Jak, R. G., & Keur, M. C. (2023). Vaarverslag MONS-monitoring pelagische vis en zoöplankton. Wageningen Marine Research report C049/23.
- Willemsen, P.W., Horstman, E.M., Bouma, T.J., Baptist, M.J., Van Puijenbroek, M.E., & Borsje, B.W. (2022). Facilitating salt marsh restoration: the importance of event-based bed level dynamics and seasonal trends in bed level change. *Frontiers in marine science*, 8, 793235.
- Witbaard R., Duineveld G.C.A., Bergman M.J.N., Witte H.I.J., Groot L., Rozemeijer M.J.C. (2015). The growth and dynamics of *Ensis directus* in the near-shore Dutch coastal zone of the North Sea. *Journal of Sea Research* 95: 95-105.
- Witbaard R., G.C.A. Duineveld & M. Bergman (2011). Environmental monitoring off the coast of Egmond in 2010. NIOZ Report 2011-project 2624
- Witbaard R., G.C.A. Duineveld & M. Bergman (2012). Progress report on the study into the dynamics and growth of *Ensis directus* in the near coastal zone of Egmond, in relation to environmental conditions in 2011. NIOZ report 2012-project 2735.
- Witbaard R., G.C.A. Duineveld & M. Bergman (2013). The final report on the growth and dynamics of *Ensis directus* in the near coastal zone off Egmond, in relation to environmental conditions in 2011-2012. NIOZ report 2013-2, 79pp.
- Witbaard, R. & Craeymeersch, J.A.M. (2023). Littekens op de zeebodem: Een onderzoek naar de faunistische effecten op lange termijn van diepe zandwinning voor de Nederlandse kust. NIOZ Royal Institute for Sea Research, NIOZ report 2023-01.

Verantwoording

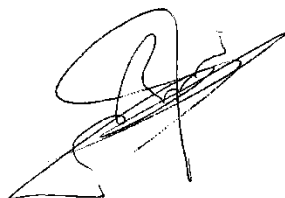
Rapport C039/24

Projectnummer: 4312100149

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research.

Akkoord: Johan Craeymeersch
Senior onderzoeker

Handtekening:



Datum: 20-06-2024

Akkoord: Maarten Mouissie
Businessmanager

Handtekening:



Datum: 20-06-2024

Bijlage 1 Stations schaaftrekken

Geografische locaties van de monsterstations voor schaaftrekken in ETRS89 / UTM Zone 31 (EPSG:25831).

Station	Lon x	Lat y
A-01-R	681381	5939764
A-02-R	682081	5939869
A-03-R	682676	5939926
A-04-R	680728	5939652
A-05-R	680566	5938736
A-11-P	682277	5939437
A-12-P	682374	5939245
A-13-P	682097	5939208
A-14-P	681881	5939318
A-15-P	682247	5939070
A-16-P	681977	5938968
A-17-P	682411	5938881
A-18-P	682055	5938765
B-11-P	685610	5940233
B-12-P	684596	5940230
B-13-P	685870	5939870
B-14-P	685514	5939788
B-15-P	685098	5940145
C-01-R	677135	5939519
C-02-R	676670	5939722
C-03-R	677571	5939646
C-04-R	676097	5939940
C-05-R	677124	5939856
D-11-P	682719	5937400
M9J-02-P	681839	5938040
M9J-05-P	682638	5938190
M9J-07-P	682749	5937839
M9J-09-P	682268	5937305
M9J-12-P	681687	5937838
M9J-14-R	680390	5939190
M9J-21-R	680737	5938302
M9J-22-R	681134	5937734

Bijlage 2 Stations box corers

Geografische locaties van de monsterstations voor box corers in ETRS89 / UTM Zone 31 (EPSG:25831).

Station	Lon x	Lat y
22_MJ9_Imp_0002	682487	5937879
22_MJ9_Imp_0004	682485	5937977
22_MJ9_Imp_0006	682358	5937928
22_MJ9_Imp_0007	682078	5937994
22_MJ9_Imp_0011	681674	5938056
22_MJ9_Imp_0014	681584	5937928
22_MJ9_Imp_0017	681752	5937873
22_MJ9_Imp_0020	681944	5937929
22_MJ9_Imp_0021	682753	5937483
22_MJ9_Imp_0027	682722	5937363
22_MJ9_Imp_0031	682683	5937228
22_MJ9_Imp_0037	682430	5937230
Box-01-P	681737	5939225
Box-02-P	681830	5939107
Box-03-P	681839	5939019
Box-04-P	682359	5938910
Box-05-P	682405	5939449
Box-06-P	682059	5938975
Box-07-P	682029	5939050
Box-08-P	682026	5939423
Box-09-P	681955	5938936
Box-10-P	682132	5938883
Box-11-P	682174	5939237
Box-12-P	681844	5938921
Box-13-P	682280	5938808
Box-14-P	681950	5939193
Box-15-P	681786	5939311
Box-16-P	682178	5939076
Box-17-P	681854	5938828
Box-18-P	681754	5938991
Box-19-P	682361	5939300
Box-20-P	682159	5939336
Box-21-P	681748	5939105
Box-22-P	681924	5938760
Box-23-P	682370	5939185
Box-24-P	681834	5939436
Box-25-P	681911	5939251
Box-30-R	682566	5938374
Box-31-R	682362	5938354

Station	Lon x	Lat y
Box-32-R	682133	5938330
Box-33-R	681883	5938302
Box-34-R	681666	5938276
Box-35-R	681160	5939808
Box-36-R	681179	5939746
Box-37-R	681194	5939685
Box-38-R	681215	5939627
Box-39-R	681233	5939564
Box-51-R	680495	5938146
Box-52-R	680598	5938000
Box-53-R	680712	5937877
Box-54-R	680829	5937774
Box-55-R	680987	5937731
Box-56-R	681673	5939699
Box-57-R	681845	5939733
Box-58-R	682014	5939778
Box-59-R	682205	5939823
Box-60-R	682423	5939881
Box-61-R	680349	5938977
Box-62-R	680486	5938834
Box-63-R	680612	5938696
Box-64-R	680749	5938539
Box-65-R	680869	5938385
Box-66-R	680996	5938245
Box-67-R	681631	5939868
Box-68-R	681880	5939920
Box-69-R	682141	5939967
Box-70-R	682406	5940008
Box-71-R	682634	5940048
Box-72-R	676185	5939899
Box-73-R	676319	5939848
Box-74-R	676451	5939808
Box-75-R	676562	5939753
Box-76-R	676768	5939670
Box-77-R	676851	5939624
Box-78-R	676954	5939590
Box-79-R	677046	5939541
Box-80-R	676914	5939796
Box-81-R	677369	5939742
Box-82-R	677343	5939587
Box-83-R	677143	5939682
Box-84-l	684529	5940267
Box-85-l	684921	5940438
Box-86-l	684855	5939921
Box-87-l	685144	5940310
Box-88-l	684987	5940172

Station	Lon x	Lat y
Box-89-l	685462	5939866
Box-90-l	685287	5939669
Box-91-l	685562	5939469
Box-92-l	685794	5939560
Box-93-l	685925	5939560
Box-94-l	686532	5939632
Box-95-l	685745	5940172

Bijlage 3 Resultaten workshop 08-04-2024

Op 08-04-2024 werd het eerste conceptvoorstel (BACI -6 Ameland v240325.pdf) besproken met een groep deskundigen van NIOZ, TUDelft, Rijkswaterstaat, Deltares, Nortek, TNO & WMR. Hieronder volgen de belangrijkste conclusies.

Landers

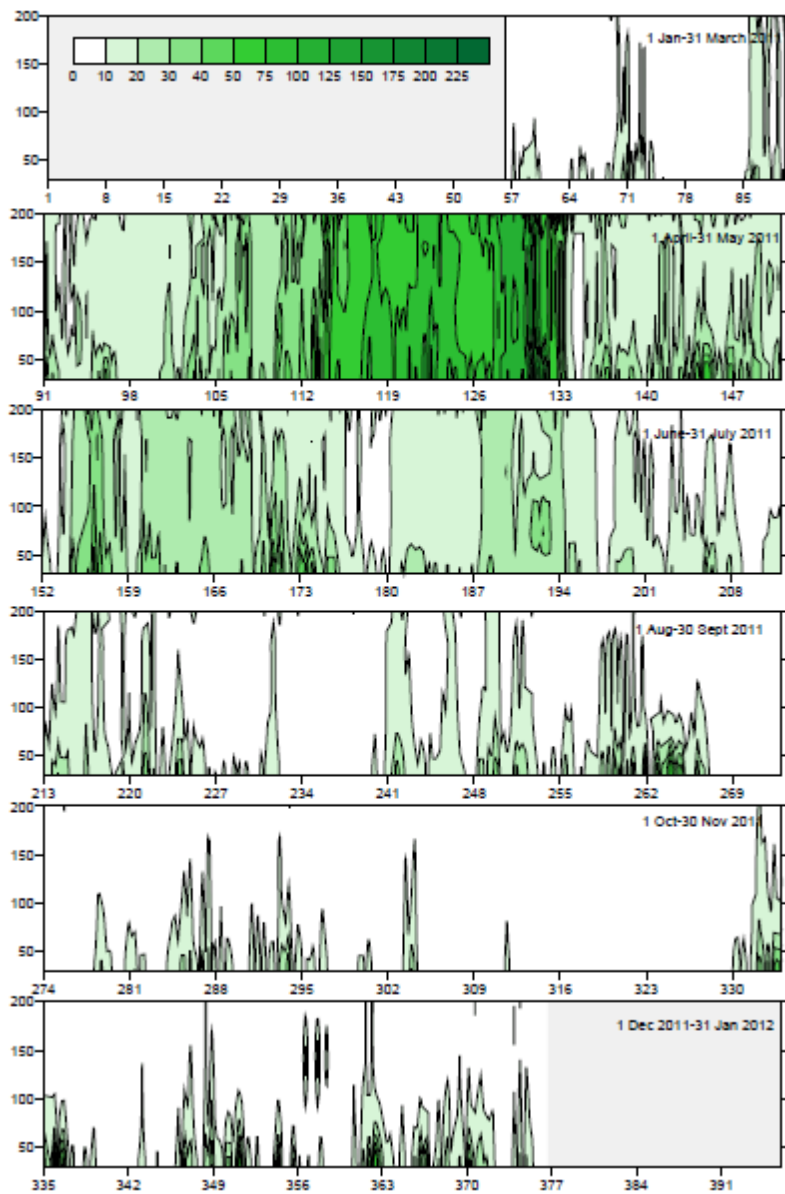
De landers zijn 3 x 3 x 2 m (L x B x H). Dat is ruim zat voor veel apparatuur. Er is veel ervaring mee: de driepoot is erg robuust. Een vierpoot is getest maar voldoet minder (minder stabiel).

Als een lander wordt bovengehaald, kost het veel tijd om de apparatuur schoon te maken, accu's te vervangen en de data uit te lezen (dan wel via een kabel, dan wel door de opslagkaart er uit te halen). Het onderhoud van één lander kan oplopen tot 8 uur of meer waarbij meerdere mensen tegelijkertijd werken. Dit houdt in dat de kosten snel oplopen bij meerdere landers: in een voorzichtige schatting zou onderhoud aan boord ~€ 200.000 per jaar duurder zijn dan de lander ieder keer te verwisselen met een vervangende lander en de opgehaalde lander aan de wal te onderhouden. Dit prijsvoordeel gecombineerd met de hogere bedrijfszekerheid vanwege minder kans op verwaaidagen, minder uitloop door golven, grotere zekerheid dat de data daadwerkelijk binnengehaald worden en meteen veilig opgeslagen, maken een benadering met 6 landers te prefereren boven 3 of 4 landers.

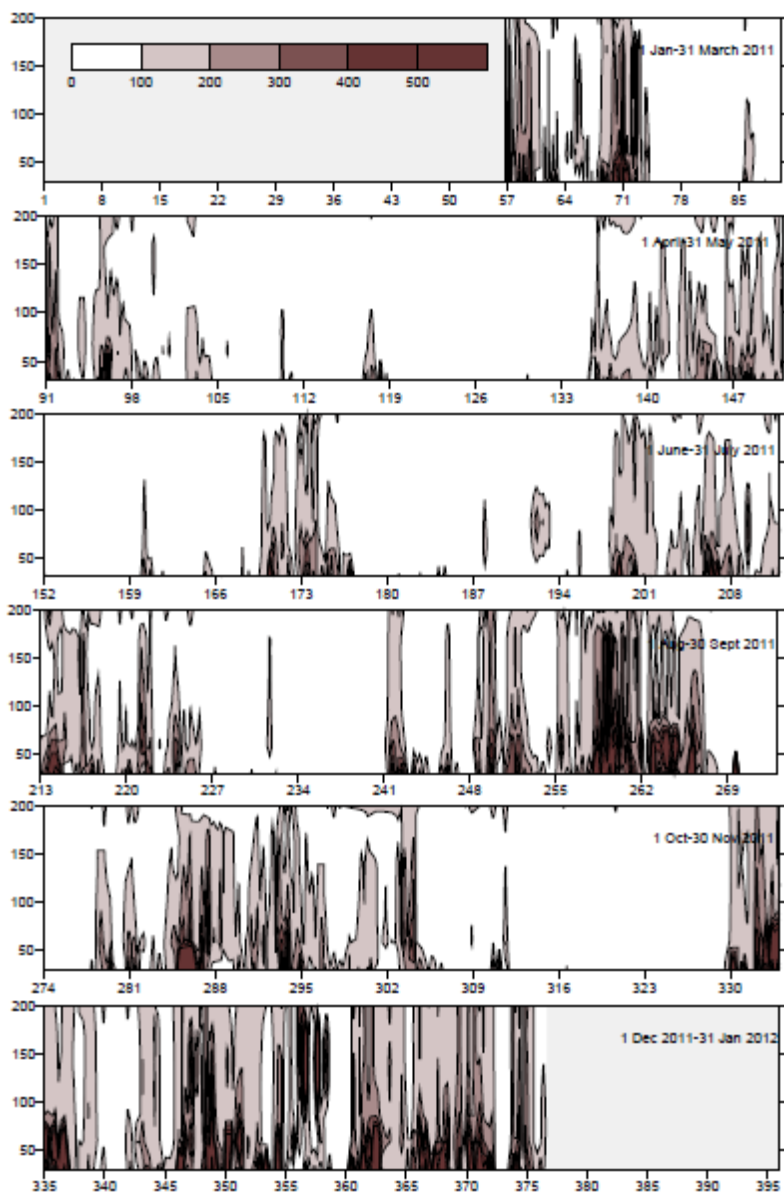
Instrumenten

OBS

Voor de OBS werd een apparaat gesuggereerd dat gelijktijdig troebelheid en fluorescentie optisch meet: de ALEC Compact-CLW (<http://ocean.jfe-advantech.co.jp>). Tijdens het Monitoring en Evaluatie Programma Zandwinning RWS LaMER 2007-2012 (Rozemeijer et al., 2013) werden de ALECs op vier hoogtes boven de bodem geplaatst, namelijk 30, 80, 140 en 200 cm, met ruitenwissers om de vervuiling onder controle te houden. De meting op de laagste hoogte (30 cm) werd uitgevoerd met de oneindige versie van het instrument, omdat deze met hogere troebelheid om kan gaan (Witbaard et al., 2011, 2012, 2013, 2015). Zie ook secties 4.6.1 en 5.1. Dit geeft als voordeel dat beide componenten (slib en algen) op hetzelfde moment op dezelfde plek worden gemeten. Het geeft de mogelijkheid profielen te maken als Figuur 20 en Figuur 21.



Figuur 20. Contour plots van Chlorofyl concentratie in de tijd. X-as: dagnummer sinds 1-1-2011, (figuur uit Witbaard et al., 2012).



Figuur 21. Contour plots van gesuspendeerd concentratie in de tijd, resolutie vooral < 500mg/l. X-as: dagnummer sinds 1-1-2011, (figuur uit Witbaard et al., 2012).

ADV en ADCP

Beide apparaten werden als functioneel gezien voor het volgen van de bodemdynamiek. Hierbij werd extra aandacht gevraagd voor de modernere ADCP zoals de Nortek Signature-1000 (<https://www.nortekgroup.com/products/signature-1000>). Dit type instrument benadert een ideale combinatie van de mogelijkheden. Zie verder secties 4.5 en 5.1.2.

Kwaliteit organisch materiaal

Aangezien de hypothese is dat de winputten veel slib en organisch materiaal accumuleren, is het ook wenselijk om daar meer aandacht aan te besteden. Dit kan door meer frequent laagjes sediment te bemonsteren. Daarnaast kan het organisch materiaal gekarakteriseerd worden met metingen als Totaal C, Chlorofyl en C/N ratio bepalingen. Dit geeft een indicatie voor de kwaliteit van het voedsel. In de planning voor de lander, sectie 6.5, worden suggesties gedaan voor deze metingen (in verschillende intensiteiten. Zie ook sectie 5.3.

Wageningen Marine Research
T +31 (0)317 48 70 00
E marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Bezoekersadres:

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden



Wageningen Marine Research levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
