

## Monitoringplan abiotiek

MONS



**Monitoringplan abiotiek**  
MONS

**Auteur(s)**

Anouk Blauw  
Willem Stolte  
Sharon Tatman

## Monitoringplan abiotiek

MONS

<b>Opdrachtgever</b>	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	
<b>Referenties</b>	
<b>Trefwoorden</b>	Monitoring, Noordzee, MONS, hydrodynamiek, chemie

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	31-01-2022
<b>Projectnummer</b>	11207740-0012
<b>Document ID</b>	11207740-001-ZKS-0003
<b>Pagina's</b>	36
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Anouk Blauw	
	Willem Stolte	
	Sharon Tatman	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Anouk Blauw	Peter Herman	Paul Saager	
	Willem Stolte			
	Sharon Tatman			

# Samenvatting

De komende jaren gaat er veel veranderen op de Noordzee. Er worden veel windparken gebouwd om duurzame energie te leveren en klimaatverandering tegen te gaan (energietransitie). Dit betekent dat in de gebieden met de windparken geen bodemberoerende visserij wordt toegestaan. Er worden wel mogelijkheden onderzocht om de windparken te combineren met andere manieren om voedsel te produceren op zee, zoals zeewierkweek (voedseltransitie). Daarnaast wordt de aanwijzing van beschermde gebieden voorbereid waar ook niet mag worden gevist. Tot slot worden er plannen gemaakt voor ingrepen die de natuurwaarde van de Noordzee moeten bevorderen, zoals de aanleg van oesterbanken (natuurtransitie). Deze drie transities zullen naar verwachting grote effecten hebben op het ecologisch functioneren van de Noordzee. Ook klimaatverandering zal waarschijnlijk effecten hebben op het Noordzee-ecosysteem. In het Noordzee-akkoord is afgesproken dat er een onderzoeksprogramma wordt uitgevoerd om te volgen, begrijpen en voorspellen wat de gevolgen van al deze veranderingen zullen zijn voor de Noordzee: Monitoring en Onderzoek Natuurversterking en Soortenbescherming (MONS).

Als onderdeel van MONS is in de voorliggende studie strategische verkenning uitgevoerd van de noodzaak en opties voor een monitoringplan voor abiotische variabelen in de Noordzee. Dit omvat alle variabelen waarvan we verwachten dat ze kunnen veranderen als gevolg van de bovenbeschreven transities en die niet biologisch van aard zijn, dus: meteorologische, fysische en chemische variabelen. We stellen de volgende uitbreidingen voor op de huidige monitoringprogramma's:

- 1) Het meten van een verticaal profiel van temperatuur, saliniteit, troebelheid, chlorofyl fluorescentie, zuurstof en lichtklimaat bij iedere monstername van het MWTL-monitoringprogramma (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands), waarvan de data ook beschikbaar worden gemaakt voor analyse en modelvalidatie. Hiermee kunnen veranderingen in verticale menging en stratificatie zichtbaar worden gemaakt, alsmede de effecten op troebelheid en algengroei.
- 2) Het inrichten van enkele vaste meetlocaties waar over meerdere jaren semi-continu een uitgebreide set variabelen wordt gemeten.
- 3) Het meten langs vaste scheepsroutes met continu metende sensoren waarmee dezelfde set van variabelen wordt gemeten als op de vaste meetlocaties.

Met deze uitbreidingen op de huidige monitoringprogramma's, in combinatie met satellietdata, modeldata en MONS onderzoeksprojecten, zouden de ontwikkelingen in de Noordzee goed kunnen worden gevolgd en begrepen. Zo kan worden gecontroleerd of de draagkracht van het Noordzee-ecosysteem niet wordt aangetast. Met de verbeterde proceskennis en monitoringdata kunnen de bestaande modellen worden verbeterd zodat ze beter geschikt zijn om effecten van transities te voorspellen.

Belangrijke uitgangspunten voor het ontwerp van het monitoringplan waren:

- 1) alle relevante variabelen, van meteorologie tot biota worden zoveel mogelijk op dezelfde locaties gemeten zodat interacties en effectketens met een samenhangende dataset kunnen worden geanalyseerd,
- 2) de vaste meetlocaties sluiten zo veel mogelijk aan bij locaties waar al historische datasets beschikbaar zijn, zodat vergelijking mogelijk is met de toestand van voor de start van het MONS programma. Veel veranderingen zoals klimaatverandering en de aanleg van windparken zijn immers al gaande.
- 3) Sensordata (semi-continue metingen, satellietdata etc.) worden gebruikt om de resolutie te verhogen in ruimte en tijd, maar traditionele in-situ metingen zoals uit MWTL blijven nodig om



de sensordata te kalibreren, aan te sluiten bij historische tijdreeksen en datasets van verschillende platformen (vaste locaties, scheepsroutes en satellieten) te combineren.  
4) Er wordt optimaal aangesloten bij de monitoringprogramma's van onze buurlanden, zodat de datasets internationaal vergelijkbaar zijn en gecombineerd kunnen worden in Noordzee-brede analyses. We kunnen ook sneller innoveren door gebruik te maken van ervaringen in buurlanden.

We zijn er in deze studie vanuit gegaan dat de huidige monitoringprogramma's op de huidige wijze doorlopen. Als de huidige monitoringprogramma's gaan veranderen moet opnieuw worden bezien welke additionele monitoring nodig is om de informatiebehoefte vanuit MONS te dekken.



# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>8</b>
1.1	Achtergrond	8
1.2	Doelstelling	8
1.3	Aanpak	9
1.4	Leeswijzer	9
<b>2</b>	<b>Informatiebehoefte abiotiek MONS</b>	<b>10</b>
2.1	MONS onderzoek met behoefte aan abiotische monitoringdata	10
2.2	Relevante variabelen	12
2.3	Benodigde ruimtelijke en temporele resolutie	15
2.4	Beschikbare abiotische monitoringdata	17
2.4.1	Meteorologische data	17
2.4.2	Fysische data onder water	18
2.4.3	Waterkwaliteit	20
2.5	Wat ontbreekt nog in de huidige monitoring?	23
<b>3</b>	<b>Beschikbare monitoringmethoden</b>	<b>25</b>
3.1	Inleiding	25
3.2	Sensoren	25
3.3	Platforms	25
3.4	Beschikbaarheid van sensoren voor relevante variabelen	26
3.5	Beschikbaarheid en mogelijkheden platforms voor MONS	27
3.5.1	Olieplatforms	27
3.5.2	Meetpalen	27
3.5.3	Windparken	28
3.5.4	Ships of opportunity	28
3.5.5	Boeien	29
3.5.6	Satellieten	29
3.5.7	Alternatieve platforms	30
<b>4</b>	<b>Integratie</b>	<b>32</b>
4.1	Inleiding	32
4.2	Integrale analyse van monitoringdata	32
4.3	Integratie met satellietdata	32
4.4	Integratie met modellen	32
4.5	Combinatie met biotische monitoring	33
4.6	Metingen door buurlanden	34

4.6.1	Engeland	34
4.6.2	Duitsland	35
4.6.3	België	36
4.6.4	Noorwegen	36
4.6.5	Internationale samenwerkingsverbanden	36
<b>5</b>	<b>Monitoringplan</b>	<b>38</b>
5.1	Inleiding	38
5.2	Meetcampagnes per schip	39
5.3	Vaste meetlocaties	39
5.3.1	Waar	39
5.3.2	Wat	40
5.3.3	Hoe	40
5.4	Ferrybox-monitoring	40
<b>6</b>	<b>Discussie en aanbevelingen</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>Referenties</b>	<b>44</b>
	<b>Verklaring van begrippen en afkortingen</b>	<b>46</b>
<b>A</b>	<b>Bronnen van actuele satellietdata</b>	<b>48</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Een gezonde Noordzee is voor iedereen van belang. Nu al vraagt het mariene ecosysteem om bescherming en herstel op basis van bestaand gebruik. Het veranderende gebruik (in vorm en intensiteit) moet passen binnen de ecologische draagkracht en ruimte van de Noordzee. De ecologische draagkracht is randvoorwaardelijk voor het individuele en cumulatieve gebruik van de Noordzee voor verschillende doeleinden, zoals visserij en energieopwekking. Om de Noordzee gezond te maken en te houden is een extra inspanning noodzakelijk de komende decennia.

Beleidsontwikkeling voor bescherming, herstel en duurzaam gebruik wordt bemoeilijkt door een structureel gebrek aan kennis. Dit geldt voor alle componenten van het Noordzee-ecosysteem, dat de komende jaren majeure veranderingen zal ondergaan.

Het Noordzeeakkoord (NZA) beschrijft de uitdagingen van een veranderend gebruik en wil een nieuwe balans vinden. Het schetst een grote behoefte aan een integraal en systematisch onderzoek- en monitoringprogramma dat de basis vormt voor kennis over het functioneren van de Noordzee. Het programma Monitoring-Onderzoek-Natuurherstel-Soortbescherming (MONS) heeft als doel de centrale vraag te beantwoorden *hoe het veranderende gebruik van de Noordzee past binnen de ecologische draagkracht van de Noordzee*. Daarbij staan twee kennisvragen centraal, namelijk

- “*wat de ecologische draagkracht van het Noordzee-ecosysteem is*” en
- “*wat de effecten van de verschillende gebruiksfuncties daarop zijn*”.

(Bijlage 2 in het NZA, OFL (2020).

Daartoe is een integraal en systematisch monitoringprogramma nodig dat zich richt op de fysische, chemische en biologische variabelen die het meest bepalend zijn voor het functioneren van het ecosysteem en op het voorkomen van vogels, vleermuizen, bodemdieren, vissen en zeezoogdieren.

Het MONS-programma geeft een eerste uitwerking van het onderzoek dat de komende tien jaar (vanaf 2022) zal worden uitgevoerd om deze kennisvragen te kunnen beantwoorden. De uitwerking van dit programma verloopt in fasen. In de eerste fase is een lijst met “no regret” onderzoeksprojecten’ in kaart opgesteld waarvoor het onderzoek al op korte termijn kan worden uitgevoerd, gestart en al deels afgerond voor het einde van het jaar 2021. De “no regret” projecten zijn projecten die direct voortvloeien uit het NZA, waarbij de resultaten aan de basis staan van ander onderzoek later in MONS. Het hier beschreven project is een van die “no regret” projecten, zoals vastgesteld in het Noordzee-Overleg (NZO) op 9 juni 2021.

## 1.2 Doelstelling

In deze studie worden uitgangspunten voor een monitoringplan uitgewerkt om de relevante abiotische variabelen te monitoren zodat de centrale kennisvraag voor MONS “hoe beïnvloeden de energietransitie, de voedseltransitie en de natuurtransitie de draagkracht van de Noordzee” kan worden beantwoord. Hiertoe wordt een voorstel gedaan voor **welke** variabelen, **waar**, **wanneer en hoe** zouden moeten worden gemeten. Tevens wordt aangegeven hoe de resulterende monitoringdata kunnen worden gecombineerd met andere (bestaande en binnen MONS nieuw te meten) monitoringdata om de centrale kennisvraag te beantwoorden.



## 1.3 Aanpak

Als input voor de uitwerking van een monitoringplan zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

1. Identificeren van relevante variabelen die moeten worden gemeten, aanvullend op de bestaande monitoring. Deze zijn geselecteerd op basis van eerdere studies en gesprekken met experts die betrokken waren bij WOZEP en bij twee recent toegekende Nationale Wetenschapsagenda (NWA)-projecten: het project 'Calculating the environmental impact of future wind farms' en het project FOOTPRINT. Ook is gekeken naar de huidige monitoring in MWTL.
2. Identificeren van de meest geschikte locaties voor monitoring. Hierbij is gekeken naar welke effecten waar worden verwacht, welke effecten het meest relevant zijn, waar de monitoring praktisch gezien het makkelijkst kan worden gerealiseerd en waar een goede aansluiting op bestaande historische tijdreeksen mogelijk is. Hiervoor zijn rapportages voor eerdere studies (bijv. WOZEP) bekeken en gesprekken gevoerd met experts.
3. Evaluatie van de meest geschikte sensoren voor deze variabelen voor aanvullende semi-continue monitoring. Hierbij is gezocht naar een evenwicht tussen state-of-the-art sensoren, harmonisatie met de buurlanden en prijs-kwaliteitsverhouding. Er is gebruikt gemaakt van eerdere studies en gesprekken met experts.
4. Evaluatie van de meest geschikte platforms: Hierbij spelen de kosten een rol, maar ook de mogelijkheden om onderhoud te plegen, de termijn waarop het platform operationeel kan worden gemaakt, de partners die daarbij nodig zouden zijn en de risico's op technische storingen.
5. Optimalisatie van de link met biotische monitoring. Hiervoor is afgestemd met de no-regret studies die een monitoringplan opstellen voor primaire productie (ID 4) en zoöplankton (ID14).
6. Uitwerken van de benodigde modelontwikkeling om waargenomen trends te interpreteren en te extrapoleren naar andere delen van de Noordzee waar geen monitoring wordt uitgevoerd. Er is overlegd met experts op gebied van Noordzee-modellering bij Deltares en NIOZ: zowel op het gebied van hydrodynamica-, slib-, waterkwaliteits- als ecologische modellering. De inzet van satellietwaarnemingen is ook in beschouwing genomen en besproken met experts op dit gebied.

De resultaten van de bovenstaande activiteiten zijn verwerkt tot aanbevelingen voor een monitoringplan voor abiotische variabelen.

## 1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft welke abiotische variabelen relevant zijn om de MONS kennisvragen te beantwoorden en welke monitoringdata al beschikbaar zijn uit andere monitoringprogramma's. In hoofdstuk 3 wordt beschreven welke sensoren en platforms beschikbaar zijn om deze variabelen te monitoren. Hoofdstuk 4 beschrijft hoe de nieuwe abiotische monitoringdata kunnen worden gebruikt in combinatie met andere gegevensbronnen en modellen om de MONS kennisvragen te beantwoorden. Hoofdstuk 5 beschrijft vervolgens het voorgestelde monitoringplan op basis van de informatie uit de hoofdstukken 2, 3 en 4. Tenslotte beschrijven we in hoofdstuk 6 welke relevante vragen we in deze studie nog niet hebben kunnen oplossen en waar nog nadere studie voor nodig is.

## 2 Informatiebehoefte abiotiek MONS

### 2.1 MONS onderzoek met behoefte aan abiotische monitoringdata

Asjes et al. (2021) beschrijven het overkoepelende doel van het MONS programma als: “Het doel van MONS is om de partijen uit het Noordzee Overleg, en in bredere zin de maatschappij, inzicht te geven in de veranderingen die op de Noordzee kunnen en zullen gaan plaatsvinden als gevolg van de transities die reeds gaande zijn (energie, voedselvoorziening en natuur) gecombineerd met factoren als klimaatverandering, verzuring en autonome veranderingen.” Het rapport beschrijft 141 deelonderzoeken die zijn gedefinieerd om dit doel te bereiken.

We hebben voor elk van deze 141 deelonderzoeken geïnventariseerd in hoeverre zij behoefte hebben aan monitoringdata. Monitoring is hierbij gedefinieerd als metingen over een lange periode (meerdere jaren) op dezelfde wijze, zodat trends kunnen worden gedetecteerd. Voor veel van de MONS-deelonderzoeken worden wel metingen op zee gedaan, maar deze metingen worden maar voor korte tijd gedaan om inzicht te krijgen in een bepaald proces in de Noordzee. Deze metingen noemen we geen monitoring maar onderzoeksmetingen en ze vallen niet binnen de scope van voorliggende studie.

Tabel 2-1 toont de MONS deelonderzoeken die behoefte hebben aan abiotische monitoringdata. Dit geeft een eerste indicatie van de variabelen die gemonitord zouden moeten worden. Strikt genomen vraagt ID4 alleen om monitoring van primaire productie. Maar aangezien voor de monitoring van primaire productie ook abiotische variabelen moeten worden gemeten, zoals het lichtklimaat, hebben we dit onderwerp toch meegenomen in deze studie. In het MONS rapport (Asjes et al., 2021) worden de deelprojecten in meer detail beschreven. Daarnaast hebben we input gevraagd van het projectteam dat de afgelopen jaren heeft gewerkt aan het WOZEP project bij Deltares. In dit project zijn mogelijke effecten van windparken ingeschat op abiotische processen en primaire productie in de Noordzee. Door middel van een workshop hebben we meer gedetailleerde achtergrondinformatie verkregen van de monitoringbehoeften die in dit WOZEP project naar voren zijn gekomen.

Tabel 2-1: Overzicht van MONS deelonderzoeken die behoefte hebben aan abiotische monitoringdata.

ID	Paragraaf in MONS rapport	Omschrijving in MONS projectentabel
2	4.1.1	Nutriënten- en slib dynamiek in de waterkolom: onderzoek richt zich op transport en omvormingen van nutriënten in de waterkolom, en het gedrag van slib in de waterkolom. Het onderzoek richt zich op verschillende tijdschalen: lange-termijn trends d.m.v. analyse RWS-MWTL gegevens; midden- en korte- termijn trends en fluctuaties uit data van de geplande meetstations; veldmetingen tijdens gerichte processtudies.
4	4.1.1	Monitoring Primaire productie: Dit betreft de basale monitoring van de primaire productie op de Noordzee
6	4.1.2.1	Karakterisering van oppervlakte- en bodemstroming, turbulentie en golfregime binnen, in nabijheid van, en ver buiten offshore windparken, over verschillende seizoenen en onder verschillende getij- en meteorologische condities en de doorwerking op hydrodynamiek, slibdynamiek en waterkwaliteitsparameters. Hier kunnen modellentreinen bij ingezet worden. Metingen worden zodanig uitgevoerd dat effecten van windparken onderscheiden kunnen worden van effecten van maricultuur of natuurstimuleringsmaatregelen.
11	4.1.2.2	effecten klimaatverandering (opwarming) op primaire productie en (fyto)plankton compositie

De uitgebreidere omschrijving van de deelonderzoeken in het MONS rapport geeft meer inzicht in de onderzoeksvragen en bijbehorende monitoringbehoefte. De deelonderzoeken ID2 en ID4 vallen onder paragraaf 4.1.1 van het rapport waarin de focus ligt op het beter begrijpen van de processen die de draagkracht van de Noordzee bepalen met behulp van betere monitoringdata. Hiervoor zouden enkele vaste meetlocaties moeten worden ingericht waar “een aantal fysische (saliniteit, temperatuur, pH), biogeochemische (zuurstof, nitraat, fosfaat), en biologische parameters (chlorofyll, fytoplanktensamenstelling en -groei,) op quasi-continue wijze worden bepaald.” Deze monitoringdata hebben tot doel om de systeemkennis te verbeteren, zodat ecosysteemmodellen kunnen worden verbeterd en we effecten van verschillende toekomstscenario's beter kunnen inschatten.

De deelonderzoeken ID6 en ID11 vallen onder paragraaf 4.1.2 van het rapport waarin de focus ligt op het detecteren van effecten van de verschillende transities op de Noordzee. ID6 richt zich op effecten van de aanleg van windparken, beschermde gebieden (waar niet mag worden gevestigd) en het ontwikkelen van aquacultuur in en rond de windparken. ID11 richt zich op de effecten van klimaatverandering.

**ID6** richt zich op het detecteren van verschillen in hydrodynamiek, slibdynamiek en waterkwaliteit tussen gebieden binnen windparken en gebieden buiten windparken. Daarnaast moeten effecten van windparken kunnen worden onderscheiden van effecten door maricultuur en natuurherstel. In de bijbehorende paragraaf in het MONS rapport (Asjes et al., 2021) worden de volgende onderzoeksvragen genoemd:”

1. Wat is de impact van windparken op de hydrodynamiek, nutriënten cyclus, primaire productie en basis van het voedselweb?
2. Wat is de impact van het veranderend menselijk gebruik binnen de windparken?
3. Wat is het effect van windparken op grotere (globale) schaal? Hoe ver buiten de windparken kunnen hun effecten waargenomen worden? Treedt er een cumulatie op van de effecten van afzonderlijke windparken?”

Daarnaast wordt een aantal specifieke kennisleemten genoemd:”

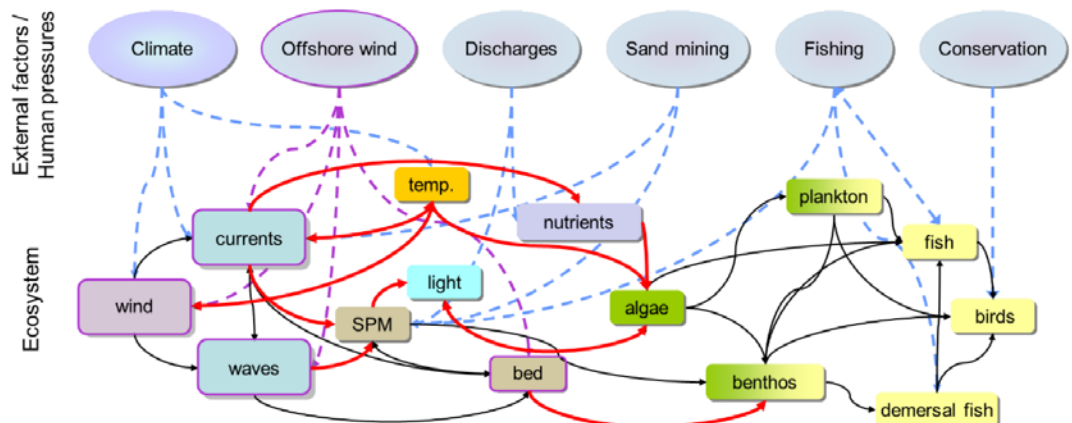
1. Wat zijn de directe effecten van het uitsluiten van visserij (en zandwinning) in windparken op de basis van het voedselweb ?
2. Wat is het effect van de inpassing van maricultuur in een windpark?
3. Wat is het effect van natuurversterkende maatregelen in een windpark?
4. Hoe werken de windparken in op de rol van het bodemecosysteem in relatie tot draagkracht van het ecosysteem in zijn geheel?
5. Hoe kunnen modellen verder worden gekalibreerd bij het ontbreken aan relevante metingen (met name over de diepte)?”

Voor **ID11** staan effecten van klimaatverandering centraal. In het MONS rapport staat voor dit deelonderzoek de volgende onderzoeksvraag gedefinieerd: “De hoofdvraag is hoe ontwikkelt de opwarming van de Noordzee zich, wat zijn de gevolgen voor het fysische systeem, en wat zijn de resulterende effecten op de biochemie en het microbiële/ planktonische voedselweb?” Daarnaast zijn deelvragen geformuleerd omtrent mogelijke effecten op zuurstofloosheid en ‘verzoeting’ en de behoefte aan betere voorspellingen van toekomstscenario's.

Voor alle 4 de deelonderzoeken wordt lange termijn monitoring (onderwerp van dit rapport) gecombineerd met gerichte onderzoeksmetingen en PhD-onderzoek. De langere termijn monitoringdata moeten wel optimaal het PhD onderzoek en modelvalidatie ondersteunen. Parallel aan MONS worden in het NWA project FOOTPRINT ook gerichte veldmetingen uitgevoerd om verschillen in hydrodynamiek, slibdynamiek en plankton te meten tussen gebieden binnen en buiten windparken.

## 2.2 Relevante variabelen

Om inzicht te krijgen in de effecten van de transitie op het Noordzee-ecosysteem moeten zowel de variabelen worden gemeten die beïnvloed worden, zoals de primaire productie, als de variabelen die betrokken zijn in de processen die leiden tot de effecten. Figuur 2-1 toont een overzicht van belangrijke ecosysteemvariabelen en de menselijke activiteiten waardoor ze worden beïnvloed. Vaak worden onderdelen van het ecosysteem indirect beïnvloed via andere onderdelen van het ecosysteem. Bijvoorbeeld: de turbines in windparken kunnen verhoogde turbulentie veroorzaken in het water, waardoor slibconcentraties stijgen, algen minder licht krijgen en dus minder hard gaan groeien. Dit noemen we een effectketen. De effecten van klimaatverandering, offshore windparken, visserij en natuurherstel in de figuur vallen binnen de scope van het MONS programma. Daarnaast kunnen ook zandwinning en riviervrachten effecten hebben op het Noordzee-ecosysteem.



Figuur 2-1: Figuur van de 'effectketens' waarin de relaties tussen verschillende soorten menselijke beïnvloeding worden gekoppeld aan de ecosysteemeffecten die ze kunnen veroorzaken.

Mogelijke effecten van de aanleg van windparken op abiotische variabelen zijn dat er meer turbulentie ontstaat in het water door de stroming rond de palen waarop de windmolens staan. Hierdoor kan lokaal meer slib opwervelen van de bodem (en minder uitzakken op de bodem) waardoor slibconcentraties toenemen en de lichtintensiteit in het water afneemt. Dit kan leiden tot een afname van primaire productie en algenconcentraties. Hierdoor neemt ook de draagkracht van het systeem voor hogere trofische niveaus (zoöplankton, vissen, vogels, schelpdieren, zeezoogdieren etc.) af. Een ander effect kan zijn dat de palen waarop de turbines staan meer hard substraat bieden voor aangroei van mosselen. Met een toename van de graasdruk door mosselen nemen concentraties van algen en slibdeeltjes af, waardoor het water helderder wordt en de primaire productie juist toeneemt. Veranderingen in primaire productie en graasdruk door mosselen veranderen de voedselbeschikbaarheid voor andere grazers, zoals het zoöplankton en indirect ook hogere trofieniveaus, zoals vissen, vogels en zeezoogdieren.

De turbulentie die de turbines veroorzaken in het water kan ook gevolgen hebben voor de verticale menging van het water buiten de windparken. Modelstudies suggereren dat de effecten van verschillende windparken gezamenlijk kunnen leiden tot een afname van de seizoensstratificatie in gebieden zoals de Oestergronden. Een afname van de stratificatie kan weer leiden tot een toename van de primaire productie en een afname van de bezinking van organisch materiaal en slibdeeltjes. Een groot aantal offshore windparken kan er ook voor zorgen dat er zoveel windenergie uit de lucht wordt gehaald dat de windsnelheid wordt geremd. Dit zou dan leiden tot minder hoge golven en minder turbulentie. Een ander mogelijk

effect van windparken kan gaan via een toename van het geluid onder water door de windmolens. Dit zou effect kunnen hebben op het gedrag van zeezoogdieren.

In de windparken wordt ook overwogen om aquacultuur te ontwikkelen: met name de kweek van zeewier. Zulke kwekerijen kunnen remmend werken op de stroming en hebben een sterke invloed op de nutriëntenhuishouding in het water.

Als onderdeel van de natuurtransitie worden beschermde gebieden overwogen, waar niet gevestigd mag worden. In de offshore windparken is bodemberoerende visserij ook niet toegestaan. Hierdoor zal de bodem niet meer worden opgewoeld door boomkorvissers. Op korte termijn zal dit mogelijk tot een afname van de opwerveling van slib zorgen. Op langere termijn kan de bodem zich anders gaan ontwikkelen, met andere benthosgemeenschappen en andere bodemstructuren. Voor de abiotische variabelen kan dit betekenen dat de bodemruwheid verandert en daarmee de stroming en turbulentie. Ook de ontwikkeling van riffen en oesterbanken zou kunnen leiden tot veranderingen in de bodemruwheid en verhoogde filtratie van het water door bentische filterfeeders.

Klimaatverandering kan verschillende effecten hebben op de Noordzee. De stromingen op de oceaan kunnen veranderen waardoor de invloed van de golfstroom op de Noordzee mee zou veranderen. Lokaal zal een verandering van de watertemperatuur effecten hebben op veel chemische en biologische processen die temperatuurafhankelijk zijn. Door de toename van de luchttemperatuur kan de mate van stratificatie toenemen, waardoor er minder nutriënten beschikbaar zijn in de bovenste waterlaag en de primaire productie daar zal afnemen. De frequentie en hevigheid van stormen kunnen veranderen onder invloed van klimaatverandering. Ook de seizoenspatronen in neerslag kunnen veranderen, waardoor de aanvoer van rivierwater naar de zee verandert. Offshore windparken kunnen tegengestelde effecten veroorzaken (lagere windsnelheden en meer menging in de waterkolom), waardoor de combinatie van effecten onbekend is.

Uit de bovenbeschreven mogelijke effecten en Figuur 2-1 komen de volgende groepen van relevante abiotische variabelen naar voren die in veel van de te verwachten effecten een belangrijke rol spelen:

- Meteorologische variabelen (wind, zon, luchttemperatuur etc.)
- Hydrodynamiek (watertemperatuur, saliniteit, golven, stroming etc.)
- Slib
- Licht
- Waterkwaliteit (nutriënten, zuurstof, pH etc.)

Er zijn veel verschillende manieren om de bovenstaande groepen van variabelen te meten. Voor de uitwerking van een monitoringplan moeten de variabelen in meer detail worden omschreven: tot de deelvariabelen die uiteindelijk echt gemeten kunnen worden en kunnen worden verwerkt in data-analyses en modelvalidaties. Tabel 2-2 geeft een overzicht van de meer gedetailleerde variabelen die zouden moeten worden gemonitord om de MONS onderzoeksvragen te beantwoorden met per variabele, een korte onderbouwing waarvoor deze variabele van belang is. Hoewel turbulentie en verticale menging cruciale processen zijn om effecten van windparken te begrijpen staan deze niet in de tabel omdat er op dit moment nog geen bruikbare methoden zijn om deze routinematig te meten.

Tabel 2-2: Overzicht van relevante variabelen om te monitoren met korte onderbouwing waarvoor deze variabele van belang is.

Variabele	Onderbouwing
Windrichting	Effect op stroming en golfklimaat
Windsnelheid	Effect op stroming, golven en uitwisseling van warmte en zuurstof tussen lucht en water
Zoninstraling op het wateroppervlak	Effect op watertemperatuur, menging en stratificatie van het water, lichtklimaat voor algen
Luchttemperatuur	Effect op watertemperatuur en menging en stratificatie van het water
Dauwpunttemperatuur	Effect op watertemperatuur
Watertemperatuur	Effect op menging en stratificatie van het water en chemische en biologische processen (bijv. algengroei)
Golfhoogte	Effecten op turbulentie in het water: menging en opwerveling en uitzakken van slibdeeltjes
Golfperiode	Effecten op turbulentie in het water: menging en opwerveling en uitzakken van slibdeeltjes
Stroomsnelheid	Turbulentie in het water en ruimtelijke patronen van alle watervariabelen
Stroomrichting	Ruimtelijke patronen van alle watervariabelen
Saliniteit	Indicator voor de verspreiding van (nutriëntrijk) rivierwater in de Noordzee
Onderwatergeluid	Mogelijk effect van windparken op zeezoogdieren.
Slibconcentratie	Effect op lichtklimaat
Korrelgrootteverdeling slib	Van belang voor het begrijpen van slibdynamiek
Doorzicht/ lichtextinctie	Wordt voornamelijk bepaald door concentraties slib en algen in het water; van belang om effecten van slib op lichtklimaat te begrijpen
Verdeling van lichtintensiteit over de waterkolom	Effect op algengroei
Nitraat	Voedingsstof voor algen
Ammonium	Voedingsstof voor algen en indicator voor afbraak van organisch materiaal
Ortho-fosfaat	Voedingsstof voor algen
Opgelost silicium	Voedingsstof voor een specifieke groep algen: de diatomeeën (kiezelwieren)
Zuurstof in het water	Indicator voor primaire productie (vs afbraak van organische stof) en van belang voor benthos en vissen
pH	Indicator voor verzuring (door klimaatverandering), primaire productie en afbraak van organisch materiaal
DIC	Indicator voor verzuring (door klimaatverandering), primaire productie en afbraak van organisch materiaal
pCO <sub>2</sub>	Indicator voor verzuring (door klimaatverandering), primaire productie en afbraak van organisch materiaal
Alkaliniteit	Van belang om veranderingen en ruimtelijke patronen in pH en pCO <sub>2</sub> te begrijpen



## 2.3 Benodigde ruimtelijke en temporele resolutie

De temporele resolutie van metingen omvat zowel de benodigde frequentie als de duur van de monitoring. De ruimtelijke resolutie omvat zowel het gebied waarin de metingen zouden moeten worden genomen (domein), als de dichtheid van metingen in horizontale en verticale richting.

De benodigde frequentie en ruimtelijke dichtheid hangt af van de vraag die met de data moet worden beantwoord en van de mate van variabiliteit in ruimte en tijd. Voor variabelen die maar weinig variëren in de ruimte kun je aannemen dat waarnemingen op een locatie ook representatief zijn voor het omliggende gebied. Hetzelfde geldt voor variabelen die maar langzaam veranderen in de tijd, zoals watertemperatuur. Verder hangt de benodigde frequentie af van de patronen die je wilt waarnemen, zoals bijvoorbeeld de verspreiding van de rivierpluim in kustwater, verschillen in primaire productie binnen en buiten windparken, de mate van seizoenstratificatie of lange termijn trends in gemiddelde watertemperatuur in de zomer.

### *Frequentie van monitoring*

De relevante MONS deelonderzoeken voor abiotische monitoring (ID2, ID4, ID6 en ID11, zie tabel 2.1) richten zich op verschillende tijdschalen.

**ID2** richt zich voor de dynamiek van nutriënten en slib op zowel lange termijn trends als midden en korte termijn trends en fluctuaties. De dominante tijdschalen waarop nutriëntenconcentraties variëren zijn de seizoensvariatie en in mindere mate de aanwezigheid van zoet water (uit rivieren) op een bepaalde locatie door variaties in transport en getij. Voor slibconcentraties zijn naast de seizoensvariatie met name de tijdschalen van het getij van belang: de 15-daagse springtij-doodtij cyclus, de 12 uurlijkse cyclus van eb en vloed en de 6-uurlijkse getijcyclus van stroomsnelheid bij de bodem (Blauw et al., 2012; 2018; Pietrzak et al., 2011)

**ID4** richt zich op het meten en verklaren van trends en fluctuaties in primaire productie. Hiervoor zijn onder andere ook abiotische monitoringdata voor nodig. Er worden 3 typen metingen onderscheiden:"

1. Onderzoeksmetingen om onder verschillende omstandigheden de conversiefactor te schatten, waarmee de resultaten uit Fast Repetition Rate Fluorometry (FRRF-) metingen kunnen worden vertaald naar koolstofeenheden.
2. Opbouw van tijdseries van FRRF-metingen op strategische locaties in combinatie met relevante milieuv variabelen om trends te monitoren en te verklaren.
3. Doorvertaling van FRRF-metingen naar kaartbeelden met behulp van modellen en satellietdata."

Voor de abiotische variabelen betekent dit dat de relevante milieuv variabelen (nutriënten, licht, doorzicht, watertemperatuur, zuurstof, pCO<sub>2</sub> en pH) op dezelfde locatie en frequentie worden gemeten als de primaire productie. De dominante tijdschalen voor variaties in primaire productie zijn de seizoensvariatie en de dag-nachtcyclus.

Voor **ID6** geeft de omschrijving van het deelonderzoek aan dat het gaat om: "Karakterisering (...) over verschillende seizoenen en onder verschillende getij- en meteorologische condities." Dit geeft aan dat ook voor dit deelonderzoek zowel de lange termijn trends, seizoensvariatie en korte termijnvariatie op de tijdschaal van variaties in het weer en getijfluctuaties (karakteristieke cyclus van 15 dagen, 12 uur en 6 uur) van belang zijn.

Voor het detecteren van lange termijn trends door klimaatverandering (**ID11**) in fysische, biochemische en planktonische variabelen zou een maandelijks frequentie (zoals in het huidige MWTL-programma) waarschijnlijk voldoende zijn, in ieder geval voor relatief traag

veranderende variabelen zoals watertemperatuur en nutriëntenconcentraties. Voor sterker fluctuerende variabelen, zoals slibconcentraties, chlorofyl-a, primaire productie en algensoortensamenstelling zou een hogere frequentie helpen om de signaal-ruis verhouding te verbeteren (dat wil zeggen het effect van het toevallig wel of niet meten van een piek in de data te verminderen). Hoogfrequente monitoring maakt het ook mogelijk om interacties tussen variabelen beter te bestuderen en modellen nauwkeuriger te valideren.

#### *Duur van de monitoring*

Een belangrijk doel van de MONS monitoring is om te bepalen of er trends zijn in de Noordzee die mogelijk veroorzaakt worden door de transitie die op de Noordzee plaatsvinden. De benodigde duur van de monitoring wordt bepaald door de tijdschaal van de te verwachten trends en de hoeveelheid monitoringdata die nodig is om een signaal waar te nemen, wat significant kan worden onderscheiden van de ruis door natuurlijke variatie.

In het Noordzee-akkoord staat: "Als de Noordzee gezond is, moet bewaakt worden dat zij dit blijft. De ecologische draagkracht is randvoorwaardelijk voor het individuele en cumulatieve gebruik van de Noordzee door verschillende functies". Dit suggereert dat door monitoring moet worden bewaakt dat de draagkracht en gezondheid van de Noordzee niet worden aangetast door verschillende gebruiksfuncties. Dat betekent dat de monitoring moet worden voortgezet zolang de Noordzee in transitie is en er reden is om aan te nemen dat veranderend gebruik (bijv. aanleg van meer windparken) de draagkracht en gezondheid van de Noordzee kan aantasten. Ook effecten van klimaatverandering zullen naar verwachting langer duren dan de 10 jaar waarvoor het MONS programma is opgezet.

Significantie: hoe meer variabiliteit er zit in de data en hoe kleiner de te detecteren verandering, hoe langer je moet monitoren om een significante trend te detecteren. De ruis in de metingen kan mogelijk worden verminderd door te corrigeren voor bekende oorzaken van variabiliteit zoals het getij. Monitoringlocaties die altijd in hetzelfde watertype liggen, dus niet het ene moment in een rivierpluim en het andere moment daarbuiten, hebben relatief minder variabiliteit waardoor trends makkelijker te detecteren zijn.

Door MONS meetlocaties te combineren met bestaande meetlocaties (bijv. MWTL) kunnen metingen uit het verleden ook worden gebruikt voor de trendanalyse, waardoor de lengte van de tijdserie langer is dan wanneer een nieuwe meetlocatie in gebruik wordt genomen.

#### *Domein/ waar meten?*

Overwegingen om te bepalen waar er zou moeten worden gemeten zijn:

- Waar verwachten we de grootste effecten van de transitie en waar de minste effecten?
- Waar kunnen waargenomen effecten het makkelijkst worden geïnterpreteerd? Op locaties waar meerdere veranderingsprocessen tegelijk optreden zal het lastiger zijn om de oorzaak-gevolg relaties te analyseren dan op een locatie waar maar 1 effect optreedt. Ook zijn tijdseries makkelijker te interpreteren als het niet in een gebied ligt met sterke ruimtelijke gradiënten. Bijvoorbeeld op de MWTL-locatie Noordwijk 10 fluctueert de waterkwaliteit sterk doordat er verschillende watertypen (kustrivier en daarbuiten) afwisselend voorkomen tijdens een getijcyclus (Blauw et al., 2010; 2012). Hierdoor is er veel ruis in de data en is het lastiger om trends te detecteren.
- Aansluiting bij bestaande meetlocaties om de nieuwe data te kunnen analyseren in combinatie met historische tijdreeksen.
- Aansluiting bij andere nieuwe monitoringprogramma's (binnen of buiten MONS) om gecombineerde data-analyse mogelijk te maken.

Uit de workshop met het WOZEP-team bij Deltares kwamen als mogelijk interessante gebieden waar relatief grote veranderingen worden verwacht naar voren: de kustrivier,

Oestergronden en de Duitse Bocht. In laatste 2 gebieden treedt in de huidige situatie meestal seizoensstratificatie op tijdens de zomer. Dit zou kunnen veranderen door toegenomen menging door windparken (minder stratificatie) en/ of door klimaatverandering (meer stratificatie). Met meetlocaties waar nu seizoensstratificatie optreedt en waar die mogelijk zou veranderen door offshore windparken en klimaatverandering, zouden zowel de vragen van ID6 als ID11 kunnen worden geadresseerd.

MONS deelonderzoek ID6 vraagt om monitoring waarmee de effecten van windparken kunnen worden onderscheiden van effecten door maricultuur en natuurherstel en waarmee ook effecten buiten de windparken en natuurherstellocaties worden gemeten. Dit zou vragen om monitoring op een redelijk groot aantal locaties, waar verschillende combinaties van effecten van windparken, natuurherstel en maricultuur voorkomen en overige omstandigheden vergelijkbaar zijn. Dit is een uitdaging die misschien beter met gerichte onderzoeksmetingen en/ of satellietdata kan worden opgepakt dan door monitoring op een groot aantal vaste meetlocaties.

#### *Ruimtelijke resolutie*

Bij veel van de te verwachten effecten door de transitie op de Noordzee en klimaatverandering speelt een verandering in verticale menging een belangrijke rol. Veel van de metingen die nu beschikbaar zijn, geven alleen de situatie bij het wateroppervlak weer. Om de te verwachten effecten goed te kunnen monitoren en veranderingen te detecteren en te duiden zouden vooral data over verticale profielen nodig zijn, zoals bijvoorbeeld CTD profielen.

Verschillende effecten zullen op verschillende horizontale schalen optreden. Effecten rond turbines door verhoogde turbulentie en aanwezigheid van benthos op en rond de turbines zullen op ruimteschalen van tientallen tot honderden meters plaatsvinden. Ook effecten van individuele oesterbanken of riffen verwachten we op dergelijke kleine ruimtelijke schalen. Het gecombineerde effect van offshore windparken en mogelijk ook natuurreservaten verwachten we op ruimtelijke schalen van kilometers tot tientallen kilometers. Dus voor het monitoren van deze effecten is een combinatie van monitoringmethoden nodig: methoden die fijnere ruimtelijke schalen kunnen meten van enkele tientallen meters en methoden die veranderingen in ruimtelijke patronen kunnen meten over tientallen kilometers.

## 2.4 Beschikbare abiotische monitoringdata

In deze paragraaf beschrijven we de bestaande monitoringprogramma's in het Nederlands deel van de Noordzee. Monitoring voor MONS wordt verderop in het rapport voorgesteld in aanvulling op de bestaande monitoring, voor zover die de informatiebehoeften uit MONS onvoldoende afdekt.

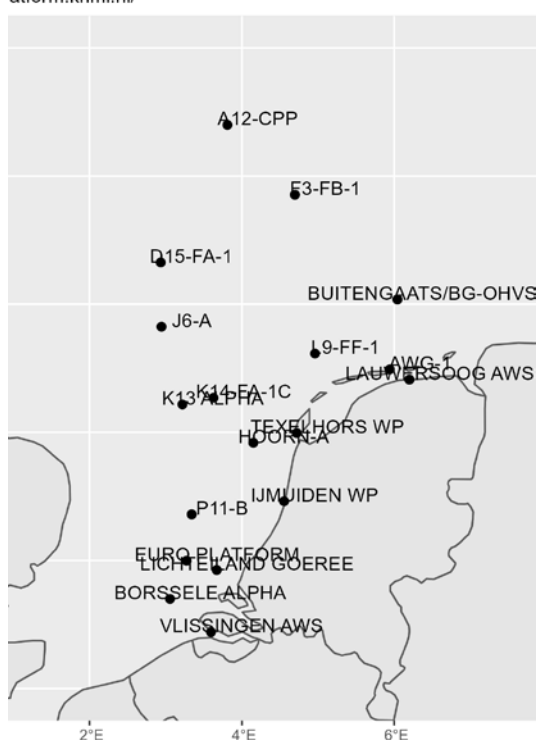
### 2.4.1 Meteorologische data

Meteorologische data worden door het KNMI gemeten op 14 locaties (zie Figuur 2-2). In het meetnet worden iedere 10 minuten automatisch ongevalideerde data beschikbaar gesteld. Gevalideerde data worden als uurgegevens beschikbaar gesteld via: [https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens\\_Noordzee](https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens_Noordzee). De periode waarover de metingen zijn uitgevoerd verschilt per locatie. Veel meetlocaties gaan terug tot de jaren 1980 en 1990.

Variabele	Monitoringprogramma	frequentie	periode
Windrichting	KNMI	uurlijks	Vanaf 1981,verschilt per locatie
Windsnelheid	KNMI	uurlijks	Vanaf 1981,verschilt per locatie
Zoninstraling op het wateroppervlak	KNMI, wordt niet op zeelocaties gemeten, alleen op land	uurlijks	
Luchttemperatuur	KNMI	uurlijks	Vanaf 1981,verschilt per locatie
Dauwpunttemperatuur	KNMI	uurlijks	Vanaf 1981,verschilt per locatie

Een aantal van de monitoringlocaties ligt op olieplatforms die op de rol staan om te worden ontmanteld, waardoor meetreeksen worden beëindigd. Vanuit IDON is een werkgroep gestart om oplossingen voor alternatieve meetlocaties te realiseren zodat stormvloedvoorspellingen ook in de toekomst gevoed kunnen worden met goede meetgegevens (zie bijv. <https://www.noordzeeloket.nl/beleid/interdepartementaal/idon-nieuwsbrief/nr-37/informatiegaten-noordzee>).

1000+ meteo stations  
[atform.knmi.nl/](http://atform.knmi.nl/)



Figuur 2-2: Ruimtelijke verdeling van meteorologische meetlocaties van het KNMI

## 2.4.2 Fysische data onder water

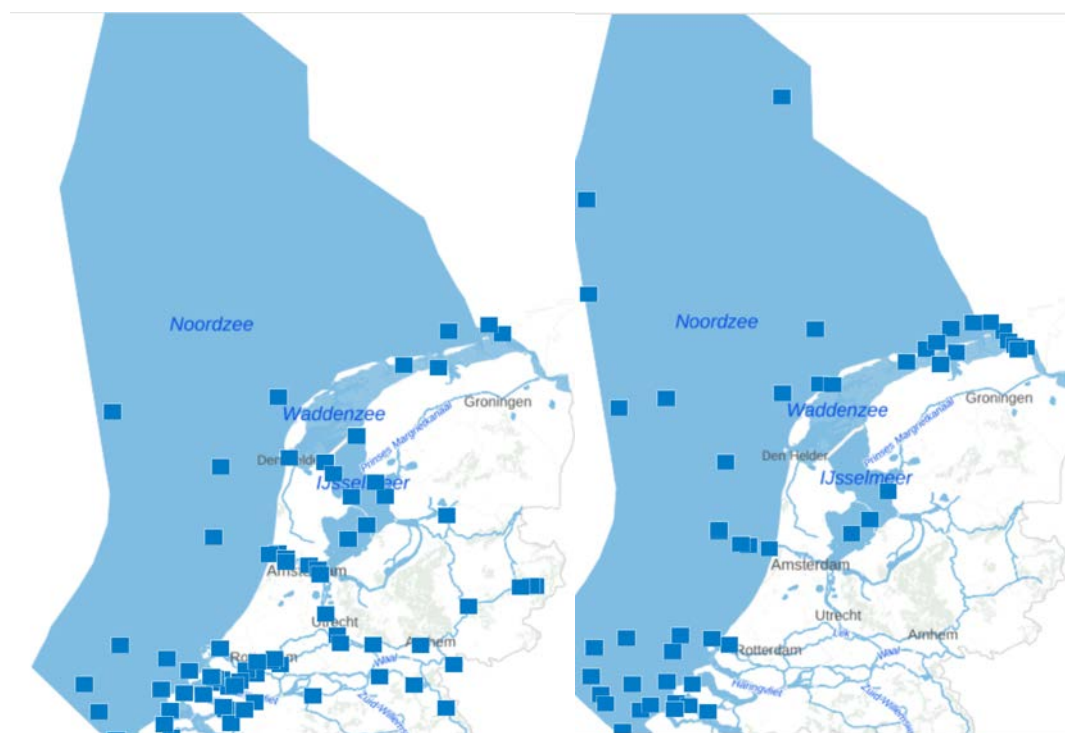
In het Landelijk Meetnet Water (LMW) worden door RWS, vaak in samenwerking met KNMI, verschillende fysische variabelen gemeten voor de ondersteuning van stormvloedvoorspellingen en scheepvaart. Tabel 2-3 geeft een overzicht van de variabelen die in dit programma worden gemeten, met hun karakteristieke meetfrequentie en duur van de tijdreeks. De monitoringlocaties in het LMW worden getoond in Figuur 2-3. Niet alle locaties meten alle fysische variabelen. Met name watertemperatuur, saliniteit en stroming worden maar op een beperkt aantal locaties in de Noordzee gemeten. Twee van de meetlocaties liggen in een windpark: Buitengaats en Borssele. Alle metingen worden iedere 10 minuten aan het oppervlak gedaan. De watertemperatuur en saliniteit in het MWTL

programma (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands) worden ongeveer maandelijks ook als verticale profielen gemeten.

Tabel 2-3: Overzicht van relevante meteorologische data die nu worden gemeten op locaties in de Noordzee en hun ruimtelijke en temporele resolutie (afgeleid van <https://waterinfo.rws.nl/#!/nav/expert/>).

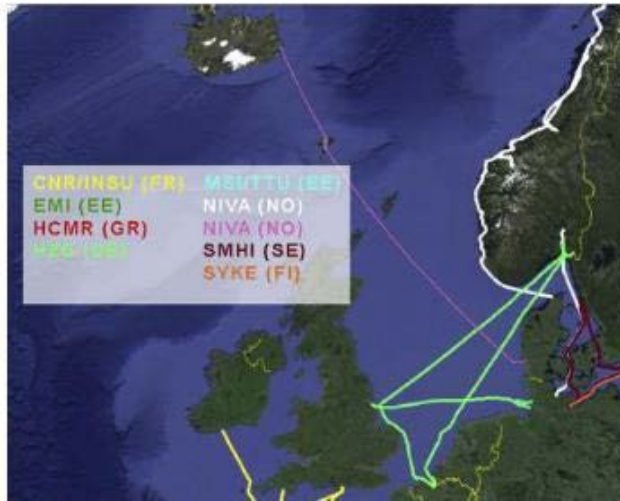
Variabele	Monitoringprogramma	Meetfrequentie	Aantal locaties
Watertemperatuur	LMW en MWTL	10 minuten en maandelijks	13 (LMW), 20 (MWTL)
Golfhoogte	LMW	10 minuten	30 (LMW)
Golfperiode	LMW	10 minuten	30 (LMW)
Stroomsnelheid	LMW	10 minuten	3
Stroomrichting	LMW	10 minuten	3
Saliniteit	LMW en MWTL	10 minuten en maandelijks	3 (LMW, vlakbij de kust), 20 (MWTL)
Onderwatergeluid	Projectmatig JOMOPANS*	continue	18 in 2019

\*Website JOMOPANS project: <https://northsearegion.eu/jomopans>



Figuur 2-3: Meetlocaties in het Landelijk Meetnet Water (LMW van <https://waterinfo.rws.nl/#!/nav/expert/>); links: watertemperatuur, rechts: golfhoogte.

Behalve de metingen door Nederlandse organisaties worden ook metingen aan watertemperatuur en saliniteit gedaan langs vaste vaarroutes met zogenaamde Ferrybox-systemen. Met name de vaarroutes van Cuxhaven (Duitsland) naar Immingham (Engeland) en de vaarroutes van Immingham naar Zeebrugge (België) en van Zeebrugge naar Moss en Halden (Noorwegen) kruisen ook door het Nederlandse deel van de Noordzee (zie Figuur 2-4). Langs deze trajecten zijn metingen beschikbaar sinds respectievelijk 2006 en 2008. Deze tijdreeksen zijn niet ononderbroken: er zitten redelijk wat gaten in de dataset.



Figuur 2-4: Kaart met operationele Ferrybox trajecten in de Noordzee in 2014. De groene trajecten komen door Nederlandse wateren: Het oost-west traject van Duitsland naar Engeland gaat van Cuxhaven naar Immingham. Het driehoekige traject gaat van Zeebrugge (BE) naar Immingham (UK), naar Moss (NO) en Halden (NO).

Satellieten leveren daarnaast ook metingen van watertemperatuur in de oppervlaktelaag van het water en van golfhoogten en waterstanden. Bijlage A geeft meer informatie over welke satellieten relevante informatie leveren en voor welke periode en resolutie.

Met HF-radar (high frequency radar) kunnen stromingspatronen in de oppervlaktelaag worden gemeten tot ongeveer 50 km vanaf het meetstation. De haven van Rotterdam heeft een HF-radar waarmee metingen van de stroming aan de oppervlakte worden gedaan tot enkele tientallen kilometers vanaf de haven. Met de analyse en interpretatie van de HF-radardata is in Nederland nog weinig ervaring opgedaan. In EUROGOOS is een HF-radar werkgroep actief van mensen die in verschillende locaties in het buitenland ervaring hebben met de verwerking van deze data.

Metingen van onderwatergeluid worden nog niet routinematig gedaan. Alleen in het JOMOPANS project zijn metingen uitgevoerd op 18 locaties en is een model gemaakt met de belangrijkste geluidsbronnen en de verspreiding hiervan door het water. Het is nog onduidelijk of de modelresultaten voldoende representatief zijn voor variaties in tijd en ruimte om effecten van onderwatergeluid in windparken op zeezoogdieren te kunnen analyseren.

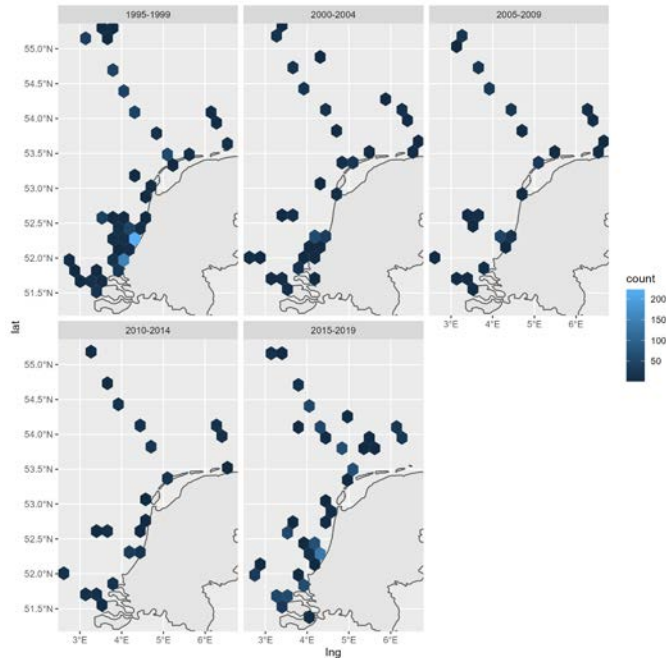
### 2.4.3 Waterkwaliteit

Locaties van het MWTL-programma worden getoond in Figuur 2-6. Niet iedere locatie wordt met dezelfde frequentie bemonsterd. Offshore locaties worden in het algemeen minder vaak bemonsterd dan kustnabije locaties. Bij aanvang van het monitoringprogramma in 1975 omvatte het monitoringprogramma meer locaties en was de meetfrequentie hoger. Vanwege bezuinigingen zijn het aantal locaties en de meetfrequentie in verschillende stappen beperkt.

CTD-profielen worden binnen het MWTL-programma nu alleen gemeten om de diepte van de spronglaag te bepalen. Indien een spronglaag aanwezig is, worden 3 monsters genomen: aan de oppervlakte, bij de bodem, en op de spronglaag. In de huidige gang van zaken wordt de diepte waarop het spronglaagmonster wordt genomen niet meegenomen in de dataverwerking. Zodoende is later niet te achterhalen op welke diepte de spronglaag zich bevond, en waar het monster precies genomen is. Naast temperatuur en saliniteit worden in deze CTD-profielen soms ook andere variabelen gemeten, zoals zwevend stof (backscatter/ verstrooiing van licht), fluorescentie (maat voor algenconcentraties), pH en zuurstof. De CTD-



profielen worden alleen gedaan om de diepte te bepalen waar het monster voor de spronglaag moet worden genomen en alleen op locaties en tijden waar stratificatie te verwachten is. Deze CTD gegevens worden tot op heden niet verwerkt door RWS, en er is ook geen proces dat deze gegevens gemakkelijk beschikbaar maakt. In 2018 is Deltares begonnen om CTD gegevens over de afgelopen jaren op te werken. Dit heeft een schat aan gegevens opgeleverd (Figuur 2-5). Tegelijkertijd is er niet altijd voldoende informatie (metadata) beschikbaar om alle gegevens goed te interpreteren.



*Figuur 2-5: Aantal CTD opnames Rijkswaterstaat per station en per vijfjaarlijkse periode sinds 1995. De data zijn door Deltares opgewerkt. Op de locaties zijn verticale profielen of (korte) oppervlakte tijdseries gemeten van temperatuur en saliniteit. Vooral in de latere metingen is ook zuurstof, pH, turbiditeit (Kd) en licht gemeten.*

De dienst hydrografie meet ook CTD-profielen op de Noordzee, maar deze zijn (nog) niet beschikbaar voor onderzoekers op de Noordzee.

pH wordt sinds 2018 op een preciezere wijze gemeten dan voorheen. In plaats van een sensorbepaling aan boord, die redelijk onnauwkeurig is, voert NIOZ een chemische bepaling uit van pH in hun laboratorium.

Variabele	Meetprogramma	Meetfrequentie	Duur
Slibconcentratie	MWTL	Zie figuur 2.6	1975-nu
Korrelgrootteverdeling slib	-	-	-
Doorzicht/ lichtextinctie		Zie figuur 2.6	Secchi 1975-nu Kd 1995-nu
Verdeling van lichtintensiteit over de waterkolom	MWTL, ondersteunend aan bepaling lichtextinctie maar onderliggende data zijn matig beschikbaar.	Zie figuur 2.6	-
Nitraat		Zie figuur 2.6	1975-nu
Ammonium		Zie figuur 2.6	1975-nu
Ortho-fosfaat		Zie figuur 2.6	1975-nu
Opgelost silicium		Zie figuur 2.6	1975-nu
Zuurstof in het water		Zie figuur 2.6	1975-nu
pH		Zie figuur 2.6	1975-2017 met sensor, sinds 2018 in lab
DIC		Zie figuur 2.6	Sinds 2018
Alkaliniteit		Zie figuur 2.6	Sinds 2018



Figuur 2-6: Locaties van het maandelijks uitgevoerde MWTL monitoringprogramma in 2021

Naast MWTL zijn er ook waterkwaliteitsdata beschikbaar vanuit satellietdata en Ferryboxdata. De laatste data zijn beschikbaar vanuit dezelfde Ferrybox-trajecten die worden getoond in Figuur 2-4, voor de waterkwaliteitsvariabelen chlorofyl fluorescentie, turbiditeit, zuurstof en pCO<sub>2</sub>. Daarnaast is er ook nog een Ferryboxtraject van IJmuiden naar Bergen (Noorwegen) waar alleen pCO<sub>2</sub> wordt gemeten.

Satellietdata van de Noordzee zijn beschikbaar vanuit diverse satellieten met verschillende resoluties. Sentinel-2 heeft een ruimtelijke resolutie van enkele tientallen meters (10 – 60m, afhankelijk van de golflengte van de meting en dus de variabele die geschat wordt), maar is alleen beschikbaar in de nabije kustwateren en met een meetfrequentie van iedere 5 dagen. De originele Sentinel-3 waarnemingen hebben een ruimtelijke resolutie van 250 x 250 m en een dagelijkse meetfrequentie. Veel van de standaard, gratis beschikbare Sentinel-3 dataproducten hebben een resolutie van 1 x 1 km. Voor beide satellieten geldt dat de frequentie van bruikbare meetdata in de praktijk lager is, doordat een groot aantal satellietopnamen verstoord wordt door bewolking. Satellietdata zijn beschikbaar voor de waterkwaliteitsvariabelen chlorofyl-a (indicator voor algenbiomassa) en slibconcentraties. Satellieten kunnen alleen concentraties in de oppervlaktelaag van het water meten: tot zo diep als er voldoende licht komt. In het kader van OSPAR is door verschillende OSPAR-landen, waaronder Nederland, gezamenlijk een satellietproduct voor chlorofyl-a ingekocht, wat is geoptimaliseerd voor de Noordzee en noordoost-Atlantische wateren. Deze data komen binnenkort beschikbaar. De data hebben een ruimtelijke resolutie van 1 x 1 km en zijn vanaf 2016 gebaseerd op de bovengenoemde Sentinel-3 satelliet. Voor eerdere jaren zijn oudere satellieten gebruikt omdat de Sentinel-3 toen nog niet was gelanceerd. Voor de nabije kustzone en overgangswateren is een CMEMs-product beschikbaar met een resolutie van 100 x 100 m voor slib en chlorofylconcentraties.

## 2.5 Wat ontbreekt nog in de huidige monitoring?

Van de meeste benodigde variabelen om het Noordzee-ecosysteem en effecten van de Noordzeetransities en klimaatverandering te analyseren zijn data beschikbaar. De huidige beschikbaarheid van monitoringdata is met name onvoldoende om de onderzoeksvragen van MONS te beantwoorden op de volgende punten:

- De **verticale resolutie** van de metingen is beperkt. De meeste metingen zijn alleen beschikbaar nabij het wateroppervlak. De CTD-profielen die in het MWTL-programma worden uitgevoerd worden niet consequent bij iedere bemonstering gedaan en niet altijd worden alle variabelen gemeten waarvoor sensoren beschikbaar zijn. Bovendien worden de data vaak nog onvoldoende bewaard, op kwaliteit gecontroleerd en beschikbaar gemaakt voor onderzoekers die deze data nodig hebben.
- De **temporele resolutie van waterkwaliteitsvariabelen** in het MWTL-programma is onvoldoende om processen op een kleinere tijdschaal te onderzoeken dan seizoenen en langjarige trends. Ook voor de vergelijking van patronen tussen jaren worden de data met een te lage meetfrequentie gemeten. Vaste meetlocaties met sensormetingen met een vergelijkbare meetfrequentie als de meteorologische en fysische variabelen zouden dit kunnen oplossen.
- De meetprogramma's voor meteorologie, hydrodynamiek en waterkwaliteit hebben **verschillende meetlocaties en meetfrequenties** waardoor het lastig is om relaties tussen deze onderdelen van het ecosysteem met meetdata te analyseren. Een aantal meetlocaties voor meteorologie gaat verdwijnen door ontmanteling van olieplatforms. Als er nieuwe meteorologische meetlocaties worden ingericht verdient het aanbeveling om die ook uit te rusten met sensoren voor fysische en waterkwaliteitsvariabelen, op verschillende diepten, zodat in de toekomst effecten van klimaatverandering en windparken beter en in meer onderlinge samenhang kunnen worden geanalyseerd.
- Er zijn nauwelijks data van **stromingspatronen** en de HF radar data die er zijn worden nog niet gebruikt voor ecosysteemanalyses. Metingen van stroomsnelheid worden op een zeer beperkt aantal locaties gedaan, die dicht bij de kust liggen. Verder offshore is geen informatie beschikbaar over stromingspatronen.
- **Zoninstraling op het oppervlak** wordt nu niet op de Noordzee gemeten. Mogelijk kan dit betrouwbaar genoeg worden afgeleid van satellietdata. Anders zou dit een

nuttige toevoeging zijn aan de bestaande monitoring. Het kan mogelijk ook worden gecombineerd met metingen als op AERONET-locaties, voor validatie van satellietdata.

Mogelijk worden tijdens de onderzoeken in het MONS-programma meer abiotische variabelen geïdentificeerd waarvoor behoefte is aan meer routinematige monitoringdata om ontwikkelingen in het Noordzee-ecosysteem te kunnen volgen. Variabelen waarvan het belang en/ of de mogelijkheden om ze te meten nog onbekend zijn, zijn bijvoorbeeld: onderwatergeluid, bodem-wateruitwisseling van nutriënten en veranderingen in bodemstructuren (zandgolven, biogene riffen etc.).

## 3 Beschikbare monitoringmethoden

### 3.1 Inleiding

Meer en meer fysische en waterkwaliteitsvariabelen kunnen automatisch worden gemeten met sensoren. Dit biedt mogelijkheden voor automatische continue metingen vanaf verschillende platforms zonder dat daar mensen direct bij betrokken zijn, behalve dan voor onderhoud van de systemen en kwaliteitscontrole van de meetresultaten. Sensoren kunnen worden toegepast vanaf verschillende platforms, zoals boeien, steigers, olieplatforms of schepen

### 3.2 Sensoren

Variabelen die tegenwoordig vrij gangbaar zijn om met sensoren te meten zijn: watertemperatuur, saliniteit, zuurstof, algenconcentraties, troebelheid, doorzicht en CO<sub>2</sub>-concentraties opgelost in water. Sensoren voor verschillende andere variabelen worden al wel experimenteel gebruikt maar zijn nog lastig in het gebruik voor operationele doeleinden, zoals sensoren voor nutriënten, soortensamenstelling van algen, pH, alkaliniteit en specifieke soorten van micro-organismen. Er wordt ook gewerkt aan nieuwe sensoren waardoor het aantal variabelen dat met sensoren kan worden gemeten waarschijnlijk in de komende decennia blijft toenemen.

Voor de meeste sensoren geldt dat ze goed gekalibreerd moeten worden. Voor sommige sensoren volstaat een jaarlijkse kalibratie in het laboratorium. Sommige andere sensoren meten een variabele die sterk gecorreleerd is met hetgeen ze beogen te meten, maar niet precies hetzelfde is. Voor slibconcentraties meten sensoren bijvoorbeeld de verstrooiing van licht, wat sterk gecorreleerd is met de concentratie zwevend stof, bepaald door het meten van de toename in drooggewicht van een filter. De verhouding tussen de variabele die de sensor meet en de variabele die hiermee benaderd wordt is niet altijd constant. In dit geval moeten er in het veld regelmatig monsters worden genomen om de goede conversiefactor te bepalen. Bij de Smartbuoys in Engeland worden zulke monsters bijvoorbeeld genomen tijdens onderhoud van de boei. Aan boord van schepen met Ferrybox systemen kunnen soms monsters worden genomen met een auto-sampler voor dit doel.

Ook verschillende soorten camera's kunnen worden gebruikt voor geautomatiseerde monitoring, zoals video-camera's en spectrale lichtmeters. De spectrale lichtmeters zijn vergelijkbaar met sensoren op optische satellieten, maar dan op een platform dicht bij het water, zodat er minder verstoring is door de atmosfeer. Dergelijke meters worden bijvoorbeeld toegepast in AERONET stations voor validatie en optimalisatie van satellietdata.

### 3.3 Platforms

De sensoren kunnen worden gebruikt vanaf verschillende soorten platforms. Ze kunnen op vaste locaties (palen, steigers, boeien) worden gemonteerd waarbij de sensoren ofwel in het water hangen, door het water bewegen of van boven het water naar het water kijken (camera's en lichtmeters). Soms wordt water opgepompt en langs de sensoren gevoerd die op een droge plek staan. Zulke zogenaamde 'flow-through' toepassingen worden veel gebruikt op veerboten en vrachtschepen die een vaste route varen en aan boord van onderzoeksschepen, zoals voor visserijbemonsteringen (bijvoorbeeld door Engeland en Noorwegen). Deze systemen worden Ferrybox-systemen genoemd. Ze worden ook toegepast op vaste locaties, zoals in meetcabines bij boeien, olieplatforms of meetpalen.

Sensoren worden ook toegepast op automatisch voortbewegende platforms, zoals vliegende drones, varende drones, gliders (zwemmen door het water) en automatisch varende scheepjes. In dergelijke gevallen kan het platform op afstand worden bestuurd of wordt een vooraf geprogrammeerde route gevolgd.

Eenvoudige metingen met sensoren bieden ook mogelijkheden voor burgers om metingen te doen. In dit geval is de burger, of zijn telefoon, het platform. Hiermee kan het aantal metingen in tijd en ruimte zonder veel extra kosten worden verhoogd en wordt de burger meer betrokken bij de milieukwaliteit van zijn of haar leefomgeving. Op de Noordzee zouden dit bijvoorbeeld vissers kunnen zijn of recreatieve vaartuigen.

### 3.4 Beschikbaarheid van sensoren voor relevante variabelen

Voorbeelden van variabelen die al lange tijd routinematig met sensoren worden gemeten zijn de meeste meteorologische variabelen in deze studie en waterstanden, watertemperatuur, saliniteit, golfhoogte en golfperiode. Daarnaast worden ook sommige waterkwaliteitsvariabelen regelmatig in situ met sensoren gemeten, zoals bijvoorbeeld in CTD-profielen: slibconcentraties (via backscatter/ lichtverstrooiing), algenconcentraties (via fluorescentie), lichtintensiteit, pH en zuurstof. Daarnaast zijn voor een paar andere variabelen ook sensoren beschikbaar of in ontwikkeling die zouden kunnen worden gebruikt om data in te zamelen met een betere resolutie in tijd (op vaste meetlocaties), in de verticaal (in verticale profielmetingen) en in de ruimte (in Ferrybox-systemen). Veel van deze sensoren vergen nog wel zorgvuldige kwaliteitscontrole en kalibratie. Er treden nog regelmatig technische storingen op en de omzetting van het sensorsignaal naar de doelvariabele (bijvoorbeeld van lichtverstrooiing naar slibconcentraties, is niet altijd eenduidig.

Niet alle variabelen kunnen in-situ met sensoren worden gemeten. Sommige sensoren zijn alleen nog geschikt voor gebruik in laboratoria. Anderen kunnen worden gebruikt in een flow-through opstelling, waarbij water (bijvoorbeeld in een Ferrybox systeem) automatisch langs de sensor wordt geleid, maar waarbij de sensor zelf niet in het water is. Andere sensoren kunnen worden gebruikt in situ, waarbij de sensor zelf in het water hangt. Op sensoren die langere tijd in het water hangen, kan aangroei van algen en bacteriën plaatsvinden waardoor regelmatig onderhoud nodig is.

Tabel 3-1 geeft een overzicht van de sensoren die voor verschillende variabelen beschikbaar zijn om de resolutie te verhogen. Voor de relevante variabelen die al routinematig met sensoren worden gemeten worden niet de sensoren genoemd maar alleen 'standaardprocedure'. Veel informatie over de huidige status van de sensoren is gebaseerd op een rapport van het Jerico-NEXT project (Petersen en Möller, 2017).

Tabel 3-1: Overzicht van sensoren voor relevante variabelen voor MONS

Variabele	Sensor	Commentaar
Windrichting	standaardprocedure	
Windsnelheid	standaardprocedure	
Zoninstraling op het wateroppervlak	standaardprocedure	
Luchttemperatuur	standaardprocedure	
Dauwpunttemperatuur	standaardprocedure	
Watertemperatuur	standaardprocedure	
Golfhoogte	standaardprocedure	
Golfperiode	standaardprocedure	



<b>Stroomsnelheid</b>	standaardprocedure	
<b>Stroomrichting</b>	ADCP en HF radar	
<b>Saliniteit</b>	standaardprocedure	
<b>Onderwatergeluid</b>	Hydrofoon	
<b>Slibconcentratie</b>	Standaardprocedure in Ferrybox	
<b>Korrelgrootteverdeling slib</b>	LISST	Wordt al wel regelmatig voor onderzoeksmetingen gebruikt, nog niet voor routinematige monitoring
<b>Doorzicht/ lichtextinctie</b>	CTD metingen van PAR routinematig. Aanvullend: AERONET/ CIMEL, Wetlabs ACS, PSICAM, Ecowatch	PAR metingen zijn redelijk standaard. Spectrale lichtmetingen (per golflengte) en afzonderlijke metingen en lichtuitdoving en verstrooiing geven meer informatie over de stoffen die het lichtklimaat beïnvloeden (zand, slib, CDOM) en maken combinatie met satellietdata (die altijd spectraal zijn) beter mogelijk.
<b>Verdeling van lichtintensiteit over de waterkolom</b>	PAR sensoren en spectrale lichtmetingen in het water met bijv. RAMSES of TRIOS apparatuur,	
<b>Nitraat</b>		Sensor al wel routinematig gebruikt, maar vraagt nog wel extra aandacht
<b>Ammonium</b>		Nog geen sensor beschikbaar
<b>Ortho-fosfaat</b>		Sensor met kinderziekten
<b>Opgelost silicium</b>		Nog geen sensor beschikbaar
<b>Zuurstof in het water</b>	routinematig	
<b>pH</b>		Beschikbare sensoren zijn weinig nauwkeurig, aan betere sensoren wordt gewerkt.
<b>pCO<sub>2</sub></b>	routinematig	Metingen vergen nog wel veel aandacht van experts.
<b>Alkaliniteit</b>		Metingen vergen nog wel veel aandacht van experts aan boord en regelmatig verversen van reagentia voor de analyses.

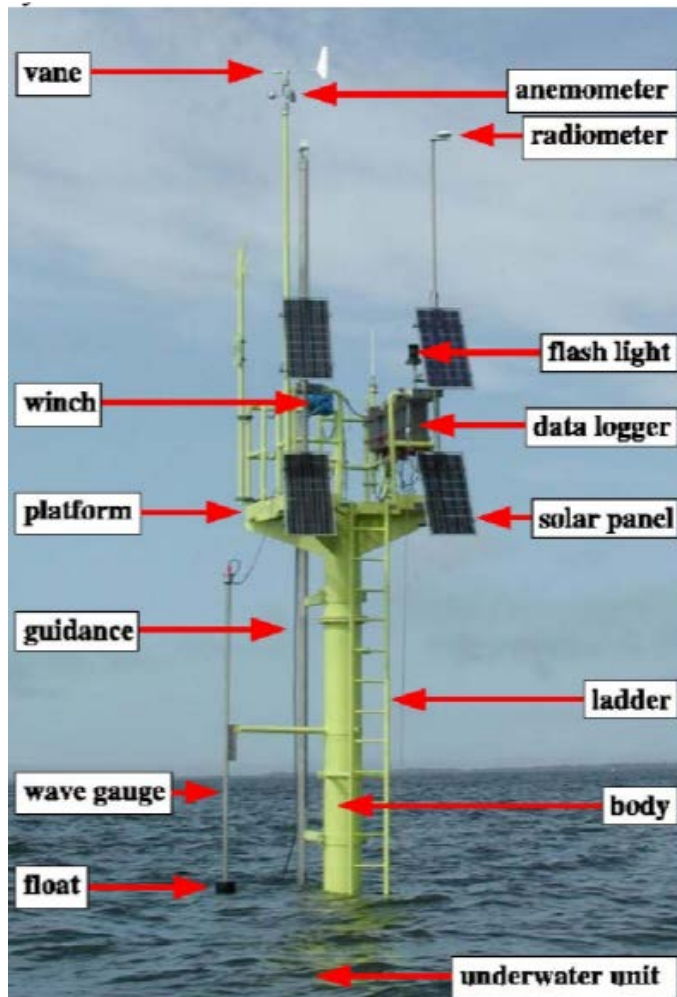
## 3.5 Beschikbaarheid en mogelijkheden platforms voor MONS

### 3.5.1 Olieplatforms

Het KNMI maakt voor monitoring van meteorologie op de Noordzee veel gebruik van olieplatforms. Het voordeel van olieplatforms is dat er voor de metingen gebruik kan worden gemaakt van stroomvoorziening en de aanwezigheid van personeel voor eventuele onderhoudswerkzaamheden. Een aantal olieplatforms wordt op korte termijn buiten gebruik gesteld en opgeruimd. Hierdoor dreigt de informatievoorziening voor weervoorspellingen (en waterstandsvoorspellingen) in gevaar te komen. De werkgroep 'Digitale Noordzee' zoekt daarom in opdracht van IDON naar alternatieven voor dit type monitoringplatform.

### 3.5.2 Meetpalen

Meetpalen worden regelmatig gebruikt om sensoren aan te bevestigen. Ze worden vooral vaak in relatief ondiep water gebruikt, zoals bijvoorbeeld in het Markermeer, de Eems-Dollard en de Waddenzee. In Duitsland worden ze ook gebruikt op locaties in zee, als onderdeel van het COSYNA monitoringnetwerk ([www.hereon.de/institutes/coastal\\_ocean\\_dynamics/cosyna/](http://www.hereon.de/institutes/coastal_ocean_dynamics/cosyna/)).



Figuur 3-1: Foto van een meetpaal op zee uit COSYNA netwerk (Riethmuller et al., 2009)

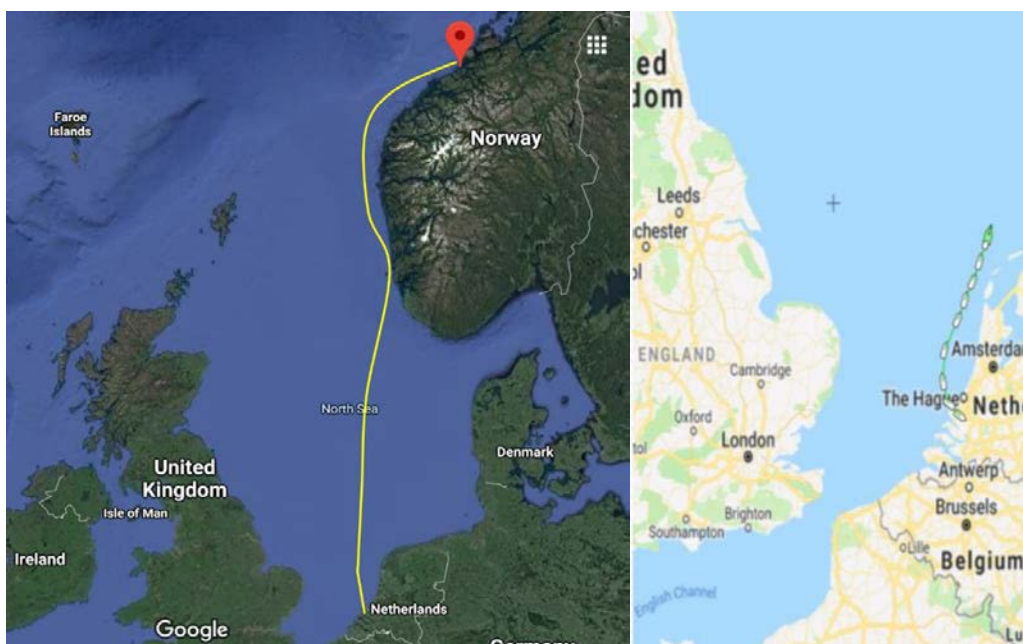
### 3.5.3 Windparken

In windparken worden soms sensoren bevestigd aan transformatiestations in het park waar de stroom uit het park naar land wordt getransporteerd. Het offshore expertisecentrum van de CIV gebruikt deze platforms bijvoorbeeld voor vogelradar en vleermuismicrofoons. De mogelijkheden om andere sensoren op deze platforms toe te passen worden nog onderzocht. Mogelijke voordelen van windparken als platforms voor sensoren zijn dat er stroomvoorziening is en dat er regelmatig personeel voor onderhoud komt. Een nadeel is dat de metingen beïnvloed worden door de turbines. Hierdoor zijn de metingen niet representatief voor wat er in de Noordzee buiten de windparken gebeurt. Om metingen te kunnen uitvoeren in windparken moeten de benodigde specificaties voor de monitoring al in de ontwerpfase van het windpark worden meegenomen, waardoor het enkele jaren kost voor de monitoring kan worden opgestart.

### 3.5.4 Ships of opportunity

Er is een netwerk van schepen die langs vaste routes varen, zoals vrachtschepen en veerboten, die een Ferrybox systeem aan boord hebben waarmee tijdens de vaart automatisch metingen worden gedaan ([www.ferrybox.eu](http://www.ferrybox.eu)). Bestaande trajecten waarlangs dit gebeurt in de Noordzee zijn beschreven in paragraaf 2.4.2. Daarnaast wordt in 2022 een nieuw traject in gebruik genomen van Rotterdam naar enkele havens langs de Noorse kust (bijv. Tananger en Farsund) en via Immingham (Engeland) weer naar Rotterdam (zie Figuur 3-2). Het schip komt ongeveer om de 2 weken aan in Rotterdam. Dit traject wordt geïmplementeerd door het Noorse kennisinstituut NIVA, in samenwerking met RWS. Er is

recent een inlaat in het vrachtschip gemaakt en een kamer ingericht waar een Ferrybox-systeem wordt geïnstalleerd. Hierin worden in eerste instantie de volgende variabelen gemeten met sensoren: temperatuur, saliniteit, chlorofyl fluorescentie, CDOM fluorescentie en turbiditeit. Er is ook een auto-sampler aanwezig, waarmee op vooraf opgegeven locaties of tijden watermonsters kunnen worden genomen. Er is ruimte op het schip om op termijn extra sensoren toe te voegen.



Figuur 3-2: Schets van de route die de nieuwe Ferrybox aan boord van het vrachtschip 'Connector' gaat varen.

De ruimtelijke resolutie van Ferryboxmetingen hangt af van de meetfrequentie van de sensoren (voor veel direct te meten variabelen tussen 10 seconden en een minuut) en van de vaarsnelheid van het schip. Dit resulteert bij de bestaande Ferryboxtrajecten in een ruimtelijke resolutie tussen de 75 en 160 m (Blauw et al., 2017).

### 3.5.5 Boeien

Boeien worden veel gebruikt als platforms voor sensoren op zee. In Engeland bijvoorbeeld onderhoudt CEFAS een netwerk van boeien met sensoren voor fysica en waterkwaliteit. In een samenwerking met RIKZ hebben er een aantal jaren ook boeien gelegen op Nederlandse MWTL-locaties: Noordwijk 2 km (enkele maanden), Noordwijk 10 km (2000-2001) en Terschelling 135 op de Oestergronden (2006 – 2013). Deze data zijn gebruikt voor vele wetenschappelijke studies (o.a. Blauw et al., 2018; Weston et al. 2010). Ook IFREMER wint marine monitoringdata in met boeien, zoals bijvoorbeeld de SMILE boei. NIOZ heeft ook ervaring met het gebruik van boeien voor monitoring op zee.

### 3.5.6 Satellieten

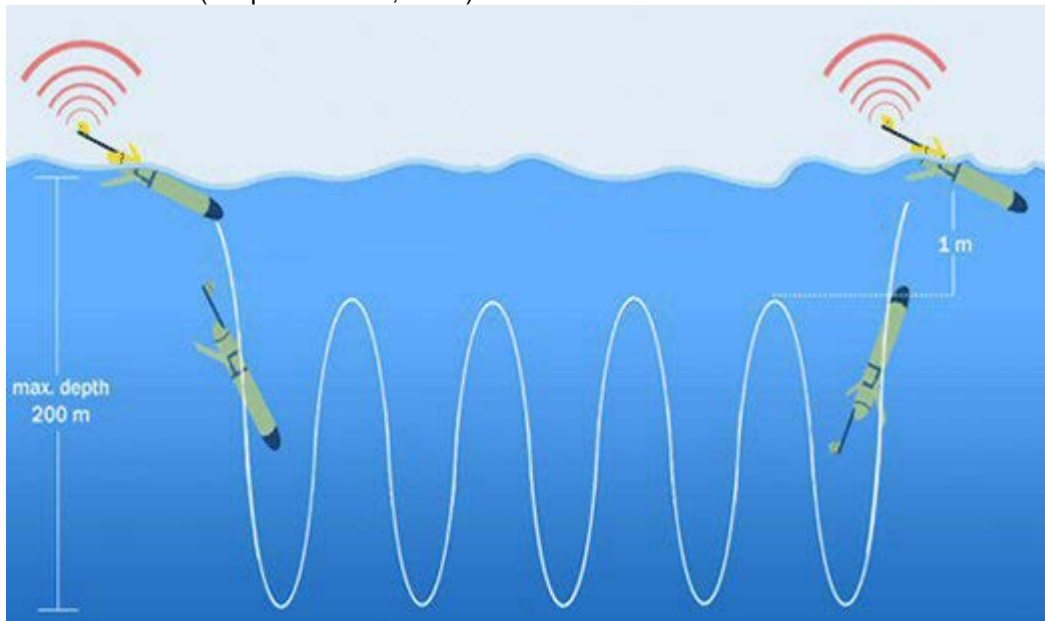
Satellieten cirkelen in een baan om de aarde en hebben sensoren aan boord om waarnemingen van de aarde te doen van grote hoogte. Van de variabelen die relevant zijn voor MONS (tabel 2.1) kunnen een aantal vanuit satellieten worden waargenomen: algenconcentraties (chlorofyl-a), slibconcentraties, golfhoogte en watertemperatuur. Alle waarnemingen vanuit de satelliet betreffen alleen de oppervlaktelaag. Er zijn verschillende bruikbare satellieten in omloop. Voor Europa zijn de meest relevante de Sentinel satellieten uit het COPERNICUS programma van de EU. De satellieten verschillen in de frequentie waarin ze overkomen, de ruimtelijke resolutie van de opnamen en de sensoren die ze gebruiken. Voor optische sensoren, die op basis van waterkleur informatie geven over

chlorofyl-a en slibconcentraties, verschilt ook de golflengten (spectrale banden) waarop de waterkleur gemeten wordt. Dit is bepalend voor de nauwkeurigheid waarmee de concentraties in het water kunnen worden onderscheiden.

Bij het bepalen van de waterkleur vanuit de satelliet vormt de atmosfeer een versturende factor. In de naverwerking van het signaal wat de satelliet waarneemt wordt een 'atmosferische correctie' toegepast om effecten van lichtverstrooiing door bijvoorbeeld waterdamp of aerosolen uit het signaal te filteren. Meetdata van AERONET stations spelen een belangrijke rol in de afregeling van deze atmosferische correctie. Op deze locaties wordt vanaf platforms vlak boven het zeewater de waterkleur en het licht vanuit de atmosfeer gemeten met een optische sensor: CIMEL. RWS heeft een CIMEL sensor aangeschaft om een AERONET locatie in Nederlandse wateren in te richten, zodat satellietproducten optimaal kunnen worden afgeregeld voor de Nederlandse Noordzee. België en Engeland hebben ook AERONET locaties in de Noordzee.

### 3.5.7 Alternatieve platforms

In veel landen zijn er goede ervaringen met **gliders**: een soort zwemmende drone onder water. Ze worden ook vaak AUV's genoemd (automated underwater vehicle). Met scholen van gliders kunnen mesoscale patronen in verticale en horizontale dimensie in kaart worden gebracht. Bij Mallorca worden door SOCIB routinematig gliders gebruikt om de stromingen tussen het eiland en het Spaanse vasteland in kaart te brengen (<https://www.socib.es/?seccion=observingFacilities&facility=glider>). In Nederland is ook geëxperimenteerd met gliders, maar vanwege sterke stroming, drukke scheepvaart en de regelgeving rond onbemande voertuigen op zee zijn de ervaringen met gliders in Nederland nog weinig succesvol. Toch zouden deze mogelijk behulpzaam kunnen zijn om ruimtelijke patronen in windparken op kleine ruimteschalen in beeld te brengen. Deze benadering is bijvoorbeeld gebruikt om mogelijke effecten van windparken op stratificatie in de Duitse Bocht te kwantificeren (Carpenter et al., 2016).

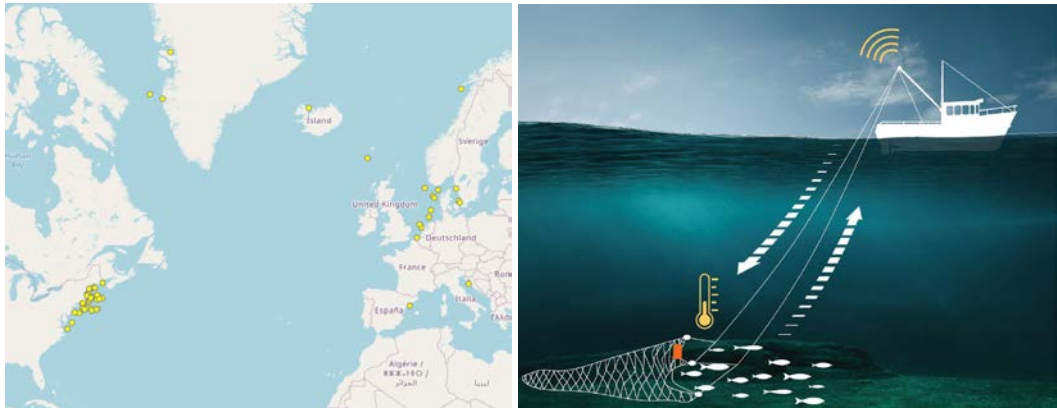


Figuur 3-3: Illustratie van de werking van gliders

Soms worden ook **dieren** gebruikt als platforms om sensoren aan te bevestigen. Dit gebeurt bijvoorbeeld al met zeehonden, vogels, walvissen, haaien en roggen.

**Vissers** zijn vaak voor hun werk op zee en de uitkomsten van het Noordzee-akkoord en MONS zijn voor hen erg belangrijk. Als vissers meewerken aan monitoring voor MONS biedt

dat kansen om hen meer te betrekken bij MONS en kosten en brandstof voor de inzet van monitoringschepen te besparen. Het initiatief 'fishing for data' (van Vranken et al., 2020, <https://berringdatacollective.com/>) organiseert het uitvoeren van oceanografische metingen door vissers tijdens hun visserij-activiteiten. In eerste instantie worden er eenvoudige temperatuursensoren aan de visnetten bevestigd, zodat telkens als er wordt gevist er metingen van de verticaal worden gemaakt tijdens het laten zakken en weer ophalen van de netten. Deze data worden beschikbaar gemaakt via het Europese data portaal 'EMODNET physics' (Figuur 3-4). In Nederland, België, Portugal en Spanje worden op dit moment proefprojecten uitgevoerd en worden sensoren geoptimaliseerd voor dit doel. Op termijn zouden ook andere soorten sensoren kunnen worden toegevoegd aan de variabelen die op deze manier worden gemeten.



Figuur 3-4: Locaties waar nu temperatuurdata van vissersboten in EMODnet physics beschikbaar zijn (links) en een illustratie van hoe de metingen werken (rechts).

Om de dynamiek van zwevend stof in het water te meten worden soms tijdelijke constructies op de zeebodem (**landers**) gebruikt. Dit is bijvoorbeeld gedaan voor de Belgische kust (Baeye et al., 2011) en voor de kust van Egmond (van der Hout et al., 2012). Dit soort platforms worden meestal gebruikt voor tijdelijke monitoring in het kader van onderzoeksprojecten.



## 4 Integratie

### 4.1 Inleiding

Welke geïntegreerde kennisvragen moeten met de data worden beantwoord en welke eisen stelt dat aan de abiotische monitoring?

Relevante kennisvragen voor abiotische monitoring zijn:

- Hoe zullen de stroming en stratificatie worden beïnvloed door ontwikkelingen ten gevolge van de energietransitie, zoals de introductie van structuren op de zeebodem en in de waterkolom?
- Wat zijn de effecten van een veranderende slibdynamiek op primaire productie (lichtklimaat) en het biogeochemisch functioneren van de zeebodem. Naast hydrodynamiek spelen ook de geomorfologie (kleinschalige topografie), de aard van het sediment en de bodemorganismen een rol in de resuspensie/sedimentatie van slib. Deze complexe wisselwerking maakt dat er te weinig inzicht is om het huidige en toekomstige gedrag van slib te begrijpen. Observaties wijzen uit dat het gedrag van slib in het water in de nabijheid van offshore windparken significant verandert, mede door de (pseudo)faeces geproduceerd door de aangroeiende filterfeeders (mosselen). Dit leidt lokaal ook tot veranderingen in de sedimentsamenstelling en daarmee in de nutriëntenhuishouding.

### 4.2 Integrale analyse van monitoringdata

Als je interacties tussen variabelen wilt bestuderen, moeten ze zoveel mogelijk op dezelfde tijd en plaats worden gemeten, voor zover de te gebruiken sensoren dat toelaten. Dit is een belangrijke voorwaarde om een integrale data-analyse mogelijk te maken. Dit kan worden gerealiseerd op de vaste continue meetlocaties, maar ook op de Ferrybox-systemen. Het gebruiken van dezelfde set sensoren als in onze buurlanden is aan te bevelen voor de vaste meetlocaties en de Ferrybox-systemen. Het maakt een integrale analyse mogelijk.

### 4.3 Integratie met satellietdata

De aansluiting tussen in-situ metingen en satellietdata wordt ondersteund door in-situ variabelen te meten die ook door de satellieten worden gemeten, zoals een spectrale monitoring van het lichtklimaat, onder water en vlak boven water (AERONET, zie paragraaf 4.5.3). Hiermee kunnen satellietdata worden gevalideerd en kunnen omgekeerd de veldmetingen in de ruimte worden geëxtrapoleerd met behulp van de satellietdata.

### 4.4 Integratie met modellen

Modellen zijn belangrijke instrumenten om ecosystemen te begrijpen. Ze kunnen worden gebruikt om: 1) te toetsen in hoeverre de huidige kennis van processen in het ecosysteem patronen in waarnemingen kan verklaren, 2) om gemeten data 'slim te interpoleren' tot vlakdekkende informatie, die weer als invoer dient voor bijvoorbeeld modellen van hogere trofische niveaus, 3) korte termijn voorspellingen te doen van hoe het systeem zich gaat ontwikkelen (bijvoorbeeld operationele stormvloedvoorspellingen) en 4) om door te vertalen hoe het ecosysteem zou reageren op veranderingen (scenariostudies).

Bij het gebruik van modellen is het altijd belangrijk om te kunnen inschatten hoe betrouwbaar de modelresultaten zijn. Daarvoor zijn meetgegevens essentieel. De meetgegevens zouden voldoende moeten zijn om alle patronen en processen die belangrijk zijn voor de



modeltoepassing te controleren. In dit rapport (hoofdstuk 2) zijn de variabelen die in het model worden gebruikt meegenomen in de selectie van te meten variabelen. Sommige metingen worden gebruikt als modelinvoer en anderen als validatiedata. Hoe beter de processen in het model (de stappen in de effectketen) kunnen worden gevalideerd met veldmetingen, hoe betrouwbaarder de modelresultaten zijn voor extrapolatie van metingen in ruimte en tijd en doorvertaling naar effecten van toekomstscenario's.

De huidige Deltares-modellen die worden gebruikt voor WOZEP-studies bevatten op dit moment al een groot deel van de relevante abiotische variabelen (tabel 2.1) en processen om de kennisvragen in MONS te beantwoorden. De belangrijkste modelontwikkeling die nog nodig is, is een meer uitgebreide kalibratie en validatie met een uitgebreidere dataset. Aan de hand van de validatieresultaten van het huidige model kan het nodig blijken om de opzet van het model nog iets aan te passen om sommige cruciale processen, zoals bijvoorbeeld: verticale menging, bodem-wateruitwisseling van nutriënten en effecten op de samenstelling van het zwevende stof en op het lichtklimaat beter te reproduceren. Daarnaast zou het voor een integrale analyse van het ecosysteem ook nodig zijn om de biologische processen verder te kalibreren (met name primaire productie) en zoöplankton aan het model toe te voegen. Hogere trofische niveaus als vissen en vogels kunnen niet met de huidige Deltares-modellen worden gemodelleerd. Hiervoor zijn binnen MONS plannen uitgewerkt om een modellentrein te ontwikkelen waarin verschillende soorten modellen kunnen worden gekoppeld en gecombineerd om integrale vragen te beantwoorden (Asjes et al., 2021). Parallel loopt een NWO-onderzoeksproject 'Calculating the environmental impact of future wind farms' waarin ook door NIOZ, in samenwerking met verschillende andere Nederlandse kennisinstituten de effecten van offshore windparken met modellen wordt gesimuleerd.

## 4.5 Combinatie met biotische monitoring

Parallel aan dit monitoringplan voor abiotiek worden monitoringplannen uitgewerkt voor primaire productie (ID 4), zoöplankton (ID14), kleine vis (ID23) en benthos (ID46). Om de beste combinaties van platforms en locaties te bepalen is afgestemd met de wensen vanuit deze monitoringplannen. Abiotische variabelen die van belang zijn voor metingen van primaire productie zijn met name het lichtklimaat onder water, zuurstof en opgelost anorganisch koolstof (DIC, of gerelateerde variabelen als pH, pCO<sub>2</sub> en alkaliniteit, waaruit de beschikbaarheid van opgelost koolstof kan worden afgeleid).

Er zijn geen speciale abiotische data nodig om de biomassa van zoöplankton en kleine vis te schatten. Wel is het voor de monitoring van deze variabelen van belang om informatie te hebben over het leefmilieu waarin de dieren leven. Daarvoor is het aan te bevelen om deze biotische metingen te combineren met gedetailleerde verticale profielen van temperatuur, saliniteit, algen en lichtklimaat. Bij de monitoring van zoöplankton en kleine vis worden soms ADCP-metingen gebruikt om de locaties met hoge concentraties te vinden waar de metingen het beste kunnen worden gedaan. Deze ADCP-data kunnen op hun beurt mogelijk relevant zijn voor het karakteriseren van het fysische milieu. Zoöplanktonmetingen met microscopische videocamera's kunnen mogelijk ook relevant zijn om het lichtklimaat en de deeltjes en vlokkinggrootte van zwevend stof te karakteriseren. Dit pleit allemaal voor het zoveel mogelijk combineren van de verschillende soorten van monitoring: meteorologie, fysica, waterkwaliteit en biologie.

Bij de monitoring van benthos worden vaak op veel locaties bodemmonsters genomen. Deze zouden kunnen worden gecombineerd met monitoring van de bodemsamenstelling en bodemvormen. Deze laatste zijn weer van belang voor de slibdynamiek en hydrodynamica (via bodemruwheid).

## 4.6 Metingen door buurlanden

Als we vergelijkbare technieken en sensoren gebruiken kunnen de Nederlandse metingen goed worden gecombineerd en vergeleken met de monitoringdata uit de buurlanden. In het EU-project Jerico-S3 werken Deltares en RWS al samen met verschillende organisaties in andere Noordzeelanden aan samenhangende monitoring en ecosysteemanalyses van de Noordzee. Ook binnen de samenwerkingsverbanden EUROGOOS en NOOS wordt al met relevante partijen in landen rond de Noordzee samengewerkt.

### 4.6.1 Engeland

Mariene monitoring in Engeland vindt buiten de nabije kustwateren voornamelijk plaats met sensoren. Er is een netwerk met boeien, zogenaamde 'Smartbuoys' waar semi-continu een set van milieuvariabelen wordt gemeten sinds ongeveer het jaar 2000 (<https://www.cefas.co.uk/data-and-publications/smartbuoys/>). Op sommige locaties heeft alleen gedurende een aantal jaar een boei gelegen. Op dit moment liggen er Smartbuoys op 3 locaties (Figuur 4-1). Deze meten nu: temperatuur, saliniteit, licht (PAR) op 1 m diepte, zuurstof, turbiditeit en fluorescentie. In het verleden werden op deze Smartbuoys ook nitraat (TOXn) en licht op 2 m diepte (voor bepaling lichtextinctie) en in sommige perioden ook fosfaat gemeten.

In het verleden hebben ook op een aantal Nederlandse MWTL-locaties Smartbuoys gelegen: Terschelling 135, Noordwijk 10 en Noordwijk 2 km. Dit maakte onderdeel uit van een samenwerking tussen RIKZ en CEFAS, waarbij CEFAS het onderhoud verzorgde van de boeien op Nederlandse locaties. Er waren voor ieder locatie 2 boeien: 1 lag in het water en de ander werd meegenomen naar het CEFAS-lab voor onderhoud. Maandelijks werden de boeien omgewisseld en werden ter plaatse kalibratiemetingen gedaan om de sensormetingen van de boei te vertalen naar meetmethoden die gangbaar zijn voor watermonsters, zoals chlorofyl-a en zwevend stof concentraties. Bij de Smartbuoy op de Oestergronden (Terschelling 135) werden er niet alleen metingen aan de oppervlakte gedaan maar hing er ook een sensor op 35 m diepte om ook de mate van stratificatie te meten en de effecten daarvan op variabelen onder de spronglaag, zoals zuurstofconcentraties. De data van deze Nederlandse en Engelse Smartbuoys zijn gebruikt voor vele wetenschappelijke studies (bijv. Greenwood et al., 2010; van Leeuwen et al., 2015; Blauw et al., 2018)

Naast de Smartbuoys gebruikt Engeland (CEFAS) een Ferrybox onderweg bij alle visbemonsteringen en ze hebben een AERONET locatie voor validatie van satellietdata.



Figuur 4-1: Huidige Smartbuoy monitoringlocaties (rood en geel) en historische Smartbuoy locaties (grijs).

#### 4.6.2

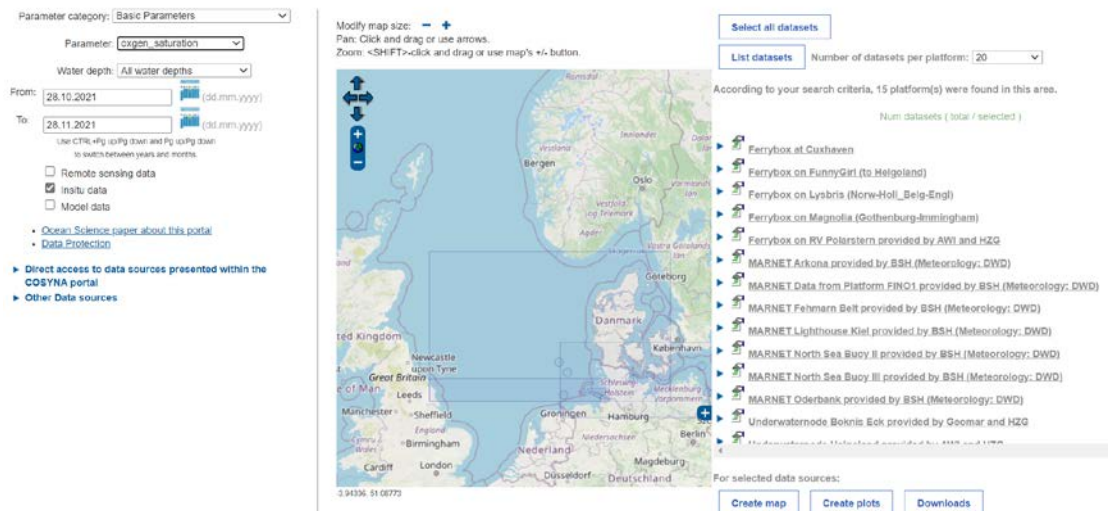
##### Duitsland

Duitsland heeft het COSYNA monitoringprogramma voor zowel de Noordzee als de Oostzee. In dit programma worden zowel vaste meetlocaties bemeten als enkele Ferrybox-trajecten. De data omvatten zowel meteorologische, fysische als enkele waterkwaliteitsvariabelen en zijn publiek toegankelijk via de Cosyna data portal (<http://codm.hzg.de/codm/>). Binnen COSYNA werken verschillende Duitse organisaties, zoals Hereon en BSH samen aan monitoring. Figuur 4-2 toont een screenshot uit dit portal met een weergave van de meetlocaties en Ferrybox trajecten waarvoor data van zuurstof in het water beschikbaar zijn.

### COSYNA data web portal (CODM)

Usage hint: 1. Select Parameter, Time and Area. 2. Select all datasets. 3. Create map, Create plots or Download

Please note that only codm.hzg.de/codm is working correctly, codm.hereon.de/codm works only for th



The screenshot shows the COSYNA data web portal interface. On the left, there are search filters: 'Parameter category' set to 'Basic Parameters', 'Parameter' set to 'oxygen\_saturation', and 'Water depth' set to 'All water depths'. The search period is from '28.10.2021' to '28.11.2021'. There are checkboxes for 'Remote sensing data', 'insitu data', and 'Model data'. Below the filters, there are links for 'Ocean Science paper about this portal', 'Data Protection', 'Direct access to data sources presented within the COSYNA portal', and 'Other Data sources'. On the right, there is a map of the North Sea region with a search area highlighted by a rectangle. A list of datasets is shown on the right side of the map, including 'Ferrybox at Cuxhaven', 'Ferrybox on FunnyGirl (to Helgoland)', 'Ferrybox on Lysbris (None-Holl\_Belg-Engl)', 'Ferrybox on Magnolia (Gotthenburg-Jimingham)', 'Ferrybox on RV Polarstern provided by AWI and HZG', 'MARNET Arkona provided by BSH (Meteorology, DWD)', 'MARNET Data from Platform FINO1 provided by BSH (Meteorology, DWD)', 'MARNET Fehmarn Belt provided by BSH (Meteorology, DWD)', 'MARNET Lighthouse Kiel provided by BSH (Meteorology, DWD)', 'MARNET North Sea Buoy II provided by BSH (Meteorology, DWD)', 'MARNET North Sea Buoy III provided by BSH (Meteorology, DWD)', 'MARNET Oderbank provided by BSH (Meteorology, DWD)', and 'Underwaternode Boknis Eck provided by Geomar and HZG'. At the bottom of the map, there are buttons for 'Create map', 'Create plots', and 'Downloads'.

Figuur 4-2: Screenshot uit de COSYNA portal, waarin vaste monitoringlocaties (MARNET in lijst en cirkels op de kaart) en Ferryboxroutes (als vierkant op de kaart) worden weergegeven.

#### 4.6.3 België

België heeft net als Nederland een vast monitoringnetwerk. Sinds enkele jaren gebruiken ze tussen de meetlocaties een Ferrybox om ruimtelijke gradiënten aan het oppervlak te meten. Daarnaast hebben ze een AERONET locatie op een platform in windpark voor validatie van satellietdata. Dit platform geeft ook hoogfrequente metingen van slibconcentraties in de waterkolom. Verder worden voor onderzoek ook gedetailleerde tijdreeksen van slibdynamiek gemeten met een lander (bijvoorbeeld: Baeye et al., 2011).

#### 4.6.4 Noorwegen

Noorwegen heeft een lange kust en een lage bevolkingsdichtheid. Om een goed beeld te krijgen van de toestand van de zee over het hele gebied wordt veel gebruik gemaakt van Ferrybox-trajecten. Daarnaast voeren ze ook regelmatig bemonsteringen vanaf schepen uit langs vaste trajecten.

#### 4.6.5 Internationale samenwerkingsverbanden

Er zijn verschillende internationale samenwerkingsverbanden die kunnen helpen om de aanvullende monitoringsinspanningen voor MONS te integreren met monitoring in het buitenland:

- OSPAR werkt aan Noordzeebrede ecologische assessments. Hiervoor zijn meetgegevens nodig. Er is gezamenlijk gezocht naar oplossingen om meer en ook meer coherente monitoringgegevens beschikbaar te krijgen, bijvoorbeeld door gebruik van satellietdata.
- Jerico (Joint European Research Infrastructure for Coastal Observatories, [www.jerico-ri.eu/](http://www.jerico-ri.eu/)) is een consortium waarin samen wordt gewerkt aan projecten om mariene monitoring te innoveren en harmoniseren binnen Europa. Er wordt bijvoorbeeld gewerkt aan gezamenlijke sensor-pakketten en gemeenschappelijke procedures voor kwaliteitscontrole van metingen en uitwisseling van expertise.
- Political Declaration on energy cooperation between the North Seas Countries. Dit is een samenwerkingsverband van landen rond de Noordzee aan de implementatie van

offshore windparken (<https://maritime-spatial-planning.ec.europa.eu/practices/political-declaration-energy-cooperation-between-north-seas-countries>)

- EUROGOOS (European Global Ocean Observing System, <https://eurogoos.eu/>) heeft werkgroepen voor diversen soorten metingen waaronder vaste meetlocaties, Ferrybox en HF radardata en een groep specifiek voor kustwateren. Het is een nuttig netwerk voor kennis- en data-uitwisseling. RWS werkt al meer dan 25 jaar samen met de NOOS werkgroep (North Sea Ocean Observing System) onder EUROGOOS operationele services voor waterstanden en stormvloedvoorspellingen, waarbij meetgegevens en modeldata worden gedeeld en gecombineerd.

# 5 Monitoringplan

## 5.1 Inleiding

Het monitoringplan combineert verschillende soorten van monitoring vanaf verschillende platforms. De kern van de abiotische monitoring blijft bestaan uit de lopende metingen in LMW en MWTL. Deze monitoringdata vormen het ankerpunt met de historische monitoringdata voor trendanalyses en vormen ook de ground-truth en kalibratiedata voor aanvullende sensormetingen en modellen.

Aanvullend stellen we voor om de resolutie in tijd en ruimte te verbeteren met behulp van sensormetingen. Sensoren meten vaak niet direct hetzelfde als de historische data die zijn gebaseerd op analyse van watermonsters in het laboratorium. Ze meten vaak een variabele die sterk gecorreleerd is met de variabele die in het laboratorium kan worden gemeten: bijvoorbeeld de verstrooiing van licht (backscatter) als maat voor de concentratie aan zwevend stof (mg/l) in het water. De relatie tussen wat de sensor meet en de doelvariabele is afhankelijk van de samenstelling van het materiaal. Daarom is het belangrijk om tijdseries met sensoren regelmatig te ijken met metingen die op traditionele wijze zijn gedaan. We stellen de volgende aanvullende sensormetingen voor om de resolutie van het monitoringprogramma te verhogen:

- De resolutie in de diepte wordt verhoogd door het meten van verticale profielen van relevante variabelen voor iedere monsternamen van het MWTL-programma
- Op enkele MWTL-locaties worden vaste meetlocaties ingericht waar semi-continu relevante variabelen worden gemeten
- Tijdens de vaartochten van het MWTL-programma meet een Ferrybox onderweg relevante variabelen.
- Een andere Ferrybox meet dezelfde set van variabelen aan boord van een vrachtschip van Rotterdam naar een aantal havens langs de westkust van Noorwegen. In tegenstelling tot de MWTL-transecten meet deze niet alleen trajecten dwars op de kust (van Immingham naar Rotterdam) maar ook parallel aan de kust (van Rotterdam naar het noorden).
- Satellietdata, modeldata en onderzoeksmetingen worden gebruikt in combinatie met de MONS, LMW en MWTL data om de ruimtelijke en temporele resolutie verder te verhogen.

Een andere aanvulling op de bestaande monitoringprogramma's is dat we ernaar streven om alle relevante variabelen voor ecosysteemanalyse, inclusief meteorologie en biotische metingen, op dezelfde tijd en plaats uit te voeren. Een samenhangende dataset is een voorwaarde voor een integrale analyse van het ecosysteem. Dit is met name van belang voor de inrichting van vaste meetlocaties.

Een laatste aanvulling op de bestaande monitoring betreft het meten van aanvullende variabelen die noodzakelijk zijn om de aankomende veranderingen in de Noordzee te begrijpen:

- Samenstelling van zwevend stof (korrelgrootteverdeling en optische eigenschappen). Dit beïnvloedt het gedrag van het slib in de waterkolom en de effecten op primaire productie.
- Karakterisering van het lichtklimaat voor verschillende golflengten. Dit is van belang om de in-situ data goed te kunnen combineren met satellietdata, die ook zijn gebaseerd op optische metingen op verschillende golflengten.



## 5.2 Meetcampagnes per schip

Wij stellen voor dat ee MWTL meetcampagnes worden uitgebreid met CTD-profielen bij iedere monstername, waarbij naast temperatuur en saliniteit ook een standaardset met andere variabelen wordt toegevoegd, zoals zuurstof, lichtintensiteit (PAR en spectraal), pH, fluorescentie (algen) en turbiditeit (slib). Deze data worden dan standaard gearchiveerd en beschikbaar gemaakt, samen met de andere MWTL-data. Ook de diepte waarop het eventuele spronglaagmonster wordt genomen zou goed moeten worden gearchiveerd en beschikbaar gemaakt. Zo mogelijk zou ook een LISST als toevoeging aan deze CTD erg waardevol zijn.

Onderweg tussen de monitoringlocaties stellen wij voor om relevante variabelen (zie Tabel 2-2 voor zover die met sensoren te meten zijn) te meten met een Ferrybox-systeem.

## 5.3 Vaste meetlocaties

### 5.3.1 Waar

MONS vraagt om 2 vaste meetlocaties met hoogfrequente metingen. Dit is onvoldoende om alle gebieden van de Noordzee goed te monitoren. We zien dit als een minimum, en stellen voor om aanvullende vaste meetlocaties in te richten in samenwerking met KNMI en windparken. Aan hun meetlocaties kan ook een beperkte set van sensoren worden toegevoegd, die relatief veel informatie oplevert en weinig onderhoud vraagt.

Overwegingen voor de keuze van locaties voor lange termijn monitoring met hoge frequentie met sensoren:

- Aansluiten op nieuw te ontwikkelen vaste meetlocaties voor meteorologie, zodat alle relevante variabelen op dezelfde locaties worden gemeten en verbanden tussen variabelen en oorzaak-effectrelaties goed kunnen worden geanalyseerd.
- Voor langjarige monitoring gaat de voorkeur uit naar locaties die niet alleen geschikt zijn voor korte termijn effecten metingen van windparken. Hoewel windparken logistiek gezien waarschijnlijk relatief geschikt zijn voor de vestiging van een vaste meetlocatie door beschikbaarheid van stroom, een platform en menselijke aanwezigheid voor onderhoud van sensoren worden deze metingen altijd beïnvloed door de windparken zelf. Er zijn dus ook meetlocaties buiten windparken nodig.
- Aansluiting op bestaande meetlocaties (bijv. MWTL) maakt het mogelijk om trendanalyses over langere perioden te doen, waarbij de nieuwe metingen een voortzetting zijn van bestaande meetreeksen, met een hogere temporele resolutie. Dit is belangrijk omdat een aantal van de transities en klimaatveranderingen al is begonnen voor de start van het MONS-programma. Bestaande historische metingen zijn dus nodig om de effecten van transities en klimaatverandering te detecteren.
- Een locatie die in de huidige situatie seizoensstratificatie heeft, is geschikt om te zien hoe klimaatverandering en windparken de verticale menging en mate van stratificatie beïnvloeden. MWTL-locatie Terschelling 135 op de Oestergronden ligt midden in het gebied dat normaal gesproken in de zomer gestratificeerd is. Op deze locatie zijn ook boeimetingen beschikbaar van 1997 (van Haren 1997) en van de Smartbuoy 2006 – 2013 op 2 diepten. Dit maakt deze locatie zeer interessant om weer als vaste meetlocatie in gebruik te worden genomen. Het ligt ook het noordelijk deel van de Noordzee, waar metingen voor stormvloedvoorspellingen hard nodig zijn.
- Andere relevante gebieden waar we interessante ontwikkelingen verwachten zijn de kustrivier en de Duitse Bocht. De Duitse Bocht wordt mogelijk voldoende afgedekt door de Duitse metingen als onderdeel van COSYNA. In de kustrivier denken we aan Noordwijk 20 km omdat dit nog wel door de kustrivier wordt beïnvloed, maar waar de metingen relatief weinig variabel zijn doordat zoetwaterstratificatie door het getij niet optreedt in dit gebied in tegenstelling tot Noordwijk 10. Op die laatste locatie heeft in

het verleden een meetpost (Meetpost Noordwijk) gestaan en heeft een Smartbuoy gelegen gedurende 2 jaar.

### 5.3.2 Wat

Variabelen te meten met sensoren: routinematig beschikbare variabelen plus:

- Lichtklimaat spectraal voor nader inzicht in lichtklimaat en factoren die dat beïnvloeden (opgelost organisch materiaal, particulier organisch materiaal, fijn slib, zand). Gebruik methoden en sensoren uit satellietdatagemeenschap: zoals wetlab sensoren AERONET locaties.
- pCO<sub>2</sub>
- korrelgroottesamenstelling met LISST
- primaire productie met FRRF en zoveel mogelijk biologische variabelen.

### 5.3.3 Hoe

Er zijn verschillende manieren om een vaste meetlocatie te realiseren. De beste keuze zal afhangen van wat mogelijk en kosteneffectief is: er kan een nieuwe (kardinale) boei in gebruik worden genomen, zoals NIOZ eerder heeft gedaan, mogelijk kan de samenwerking met CEFAS worden hervat om de Smartbuoys weer in gebruik te nemen die al eerder in Nederlandse wateren lagen, of er kunnen vaste meetpalen worden opgericht (in samenwerking met KNMI), op dezelfde wijze als de Duitse meetpalen. Ook vaste meetlocaties op transformatiestations in windparken zijn mogelijk, hoewel deze minder representatief zijn voor de rest van de Noordzee.

Voor de coherentie van de monitoring en voor efficiënt gebruik van bestaande expertise is het verstandig om samenwerking te zoeken met buurlanden bij het uitwerken van vaste meetlocaties: mogelijk kunnen dezelfde sensoren en procedures voor implementatie en kwaliteitscontrole worden gebruikt.

Bij voorkeur zouden op de vaste meetlocaties ook verticale profielen moeten worden gemeten door sensoren op verschillende diepten (zoals Duitse palen) of een sensor die op en neer door de waterkolom beweegt langs een lijn zoals bijv. de wirewalker ([Wirewalker | RBR in Partnership with Del Mar Oceanographic \(rbr-global.com\)](http://Wirewalker.RBR.in.Partnership.with.Del.Mar.Oceanographic.rbr-global.com)).

## 5.4 Ferrybox-monitoring

Om gedetailleerd effecten van transitie op ruimtelijke patronen waar te nemen is het waarschijnlijk te duur en niet kosten-effectief om dat geheel met vaste monitoringlocaties in beeld te krijgen. Veranderingen in slibconcentraties in en rond windparken en veranderingen in de verspreiding van de rivierpluim kunnen beter in kaart worden gebracht met meer ruimtelijke meetmethoden zoals satellietdata en transectmetingen, zoals met Ferryboxsystemen. Deze meten weliswaar alleen in de oppervlaktelaag maar geven wel gedetailleerde informatie over ruimtelijke patronen. Voor grootschaligere patronen van slib, algen en watertemperatuur rond windparken kunnen satellietdata volstaan met een resolutie van 1 x 1 km. Veranderingen in ruimtelijke verspreiding van de rivierpluim kunnen worden gemonitord via saliniteit gemeten met een Ferrybox en patronen in slib en algen via satellietdata. Nabij de kust kunnen deze patronen met de Sentinel-2 satelliet in hogere resolutie van enkele tientallen meters worden geanalyseerd. Voor directe effecten van mosselen op windmolens op slib en algen in de nabije omgeving zouden gerichte gedetailleerde onderzoeksmetingen nodig zijn, zoals die bijvoorbeeld in het FOOTPRINT project worden gedaan. Ook kunnen gliders worden ingezet om ruimtelijke patronen in zowel horizontaal als verticaal in kaart te brengen.

Het nieuwe transect dat begin 2022 in samenwerking met RWS, Deltares en NIVA (Noorwegen) in gebruik wordt genomen biedt goede mogelijkheden voor inzet in MONS. Er

komt een auto-sampler aan boord, waarmee op vooraf opgegeven momenten of locaties monsters kunnen worden genomen voor analyse aan land. Deze kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt voor satellietvalidatie (tijdens overkomst van de satelliet), als kalibratiedata voor de sensordata en als aanvullende meetdata voor variabelen die niet met sensoren kunnen gemeten, zoals nutriënten. De route en meetfrequentie staan in paragraaf 4.6.4. De basisset, waarmee wordt begonnen omvat:

- Temperatuur
- Saliniteit
- Chlorofyl-fluorescentie
- CDOM fluorescentie
- Turbiditeit
- Automatische monsternamen op voorgeprogrammeerde momenten

Er is in het schip ook ruimte voorbereid voor het toevoegen van andere sensoren voor bijv. pCO<sub>2</sub>, pH, primaire productie (FRRF) en fytoplankton soortensamenstelling met een Cytosense sensor.

## 6 Discussie en aanbevelingen

In de voorliggende studie zijn voorstellen gedaan voor monitoring die de benodigde monitoringdata zouden opleveren om de kennisvragen van MONS te beantwoorden. De voorstellen zijn technisch realiseerbaar. Er is nog geen rekening gehouden met financiële, juridische en logistieke randvoorwaarden. Voor de uiteindelijke keuze van de monitoringlocaties, sensoren en realisatie van de vaste meetstations zullen deze randvoorwaarden ook in beschouwing moeten worden genomen en zal er mogelijk geprioriteerd moeten worden.

De uitvoering van de vaste meetlocaties bijvoorbeeld kan op verschillende manieren: een boei, zoals CEFAS in Engeland doet, heeft als voordeel dat er minder constructiewerk nodig is en er weinig verstoring van de waterkolom is, zodat verticale profielen kunnen worden doorgemeten vanuit de boei. Nadeel van een boei is, dat de instrumenten in het water hangen en de Noordzee een ruwe omgeving is. Niet iedere sensor kan hier tegen en de sensoren zullen relatief veel onderhoud vergen (ongeveer maandelijks). Een alternatief is een locatie waarin de instrumenten boven water staan, mogelijk in een afgesloten ruimte, waarbij het water omhoog wordt gepompt naar de sensoren. Combinaties zijn ook mogelijk waarbij er sensoren op verschillende diepten in het water aan de vaste constructie vast zitten en er andere sensoren bovenop het platform staan. Een belangrijk uitgangspunt voor dit monitoringplan is dat alle variabelen op dezelfde locatie worden gemeten, dus zal er overleg nodig zijn, bijvoorbeeld met het KNMI (voor de meteorologische data), Rijkswaterstaat (voor de fysische data) en de monitoringplannen voor biotische data. De werkgroep 'Digitale Noordzee' die wordt opgericht om monitoring op de Noordzee te organiseren bij het ontmantelen van olieplatforms zal ook een belangrijke gesprekspartner zijn. Collega's die in onze buurlanden de monitoring op zee uitvoeren bieden waardevolle operationele kennis over het uitvoeren van continue metingen op zee. Hiervoor kan contact worden gezocht met de individuele instituten in de verschillende landen (CEFAS, Hereon, RBINS, VLIZ, NIVA bijvoorbeeld) en/ of samenwerkingsverbanden daarvan (Jerico-RI en EUROGOOS werkgroepen).

Bij het in gebruik nemen van nieuwe technieken, zoals we in dit monitoringplan voorstellen, is het in de beginfase belangrijk om veel aandacht te besteden aan de kwaliteitscontrole van de metingen en resulterende data. Op basis van eerste resultaten kan een keuze worden gemaakt welke apparatuur er precies voor de toekomst wordt gebruikt en kunnen protocollen voor het gebruik worden aangescherpt. Ook is het aan te bevelen dat de data van de eerste jaren direct in onderzoek worden gebruikt en geanalyseerd om te zien of de metingen logische resultaten geven. Een goede verbinding tussen de mensen die de metingen doen en de mensen die de metingen analyseren is daarbij belangrijk om te zorgen dat er niet langdurig op een verkeerde manier wordt gemeten, waardoor de data later waardeloos blijken. Dit is in het verleden verschillende keren gebeurd. Misschien kunnen PhD-studenten in de beginfase regelmatig mee tijdens monstertochten en zouden er jaarlijkse MONS conferenties kunnen worden georganiseerd waarbij alle mensen die bij de monitoring betrokken zijn worden uitgenodigd. In ieder geval is dit een belangrijke succesfactor voor het slagen van innovatieve monitoring dus moet hier voldoende aandacht aan worden besteed.

Sommige voorstellen in dit monitoringplan zijn relatief makkelijk te realiseren en kunnen snel in gang worden gezet, zoals bijvoorbeeld de verticale profielmetingen tijdens MWTL-vaartochten en de Ferrybox-route tussen Rotterdam en Noorwegen. Andere vragen meer voorbereiding en overleg. Wij stellen voor om de gemakkelijk realiseerbare opties zo snel mogelijk in gang te zetten.

We zijn er in dit onderzoek vanuit gegaan dat het huidige programma's de komende 10 jaren (dus gedurende het MONS programma) op de huidige manier wordt voorgezet. We hebben alleen voorstellen uitgewerkt voor aanvullende monitoring om de vragen van het MONS programma te kunnen beantwoorden. Als de huidige monitoringsprogramma's niet op dezelfde manier doorlopen zou de monitoringstrategie voor MONS abiotiek opnieuw moeten worden uitgewerkt om te zien hoe de MONS informatiebehoefte het beste kan worden afgedekt in combinatie met de aangepaste monitoringprogramma's.

## 7 Referenties

- Asjes, J., Merkus, H., Bos, O.G., Steenbergen, J., Stuijzand, S., van Splunder, I., van Kooten, T., Rivero, S., Vis, G.A.J., 2021. Monitoring en Onderzoek Natuurversterking en Soortenbescherming (MONS)
- Baeye, M., Fettweis, M., Voulgaris, G., & Van Lancker, V., 2011. Sediment mobility in response to tidal and wind-driven flows along the Belgian inner shelf, southern North Sea. *Ocean Dynamics*, 61(5), 611-622.
- Blauw, A.N., Los, F.J., Huisman, J., Peperzak, L., 2010. Nuisance foam events and *Phaeocystis globosa* blooms in Dutch coastal waters analyzed with fuzzy logic., *Journal of Marine Systems* 83 115-126
- Blauw, A.N., Benincà, E., Laane, R.W.P.M., Greenwood, N., Huisman, J., 2012. Dancing with the tides: fluctuations of coastal phytoplankton orchestrated by different oscillatory modes of the tidal cycle., *PLoS ONE* 7(11): e49319
- Blauw, A.N., Rijkeboer, M., Aardema, H., 2017. Strategy for implementation of Ferryboxes for eutrophication monitoring in the North Sea. Deltares rapport 11200531-001
- Blauw, A. N., Benincà, E., Laane, R. W., Greenwood, N., Huisman, J., 2018. Predictability and environmental drivers of chlorophyll fluctuations vary across different time scales and regions of the North Sea., *J. Progress in Oceanography* 161  
<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.01.005> 1-18
- Carpenter, J. R., Merckelbach, L., Callies, U., Clark, S., Gaslikova, L., Baschek, B., 2016. Potential impacts of offshore wind farms on North Sea stratification. *PloS one*, 11(8), e0160830.
- Greenwood, N., Parker, E. R., Fernand, L., Sivyer, D. B., Weston, K., Painting, S. J., Laane, R.W.P.M., 2010. Detection of low bottom water oxygen concentrations in the North Sea; implications for monitoring and assessment of ecosystem health. *Biogeosciences*, 7(4), 1357-1373.
- Petersen, W., Möller, K.O., 2017. Report on the status of sensors used for measuring nutrients, biology-related optical properties, variables of the marine carbonate system, and for coastal profiling, within the JERICO network and, more generally, in the European context. Deliverable 2.2 of the Jerico-next H2020 project ([www.jerico-ri.eu](http://www.jerico-ri.eu)).
- Pietrzak J.D., De Boer G.J., Eleveld M.A., 2011. Mechanisms controlling the intraannual mesoscale variability of SST and SPM in the southern North Sea. *Cont Shelf Res* 31: 594–610, doi: 10.1016/j.csr.2010.12.014.
- Riethmuller, R., Colijn, F., Krasemann, H., Schroeder, F., & Ziemer, F., 2009. COSYNA, an integrated coastal observation system for Northern and Arctic Seas. In *OCEANS 2009-EUROPE* (pp. 1-7). IEEE.
- Van der Hout, C. M., Witbaard, R., Duineveld, G., Groot, L., Bergman, M., 2012. Variability of suspended particulate matter composition at Egmond, The Netherlands. *Particles in Europe*, 1.



Van der Woerd, H.J., Blauw, A., Peperzak, L., Pasterkamp, R., Peters, S., 2011. Analysis of the spatial evolution of the 2003 algal bloom in the Voordelta (North Sea)., *Journal of Sea Research* 65 195-204

van Leeuwen, S., Tett, P., Mills, D., van der Molen, J., 2015. Stratified and nonstratified areas in the North Sea: Long-term variability and biological and policy implications. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(7), 4670-4686.

Van Vranken C, Vastenhoud BMJ, Manning JP, Plet-Hansen KS, Jakoboski J, Gorringer P, et al. 2020. Fishing Gear as a Data Collection Platform: Opportunities to Fill Spatial and Temporal Gaps in Operational Sub-Surface Observation Networks. *Front Mar Sci*. 2020;7

## Verklaring van begrippen en afkortingen

Afkorting	Type	Betekenis
<b>CDOM</b>	Begrip	Coloured Dissolved Organic Matter
<b>DIC</b>	Begrip	Opgelost anorganisch koolstof (totaal CO <sub>2</sub> )
<b>ground-truth</b>	Begrip	In-situ metingen bedoeld voor validatie van satellietmetingen
<b>Kd</b>	Begrip	Uitdovingscoëfficiënt van licht, ook wel extinctiecoëfficiënt genoemd
<b>PAR</b>	Begrip	Photosynthetically Available Radiation
<b>pCO<sub>2</sub></b>	Begrip	Partiele CO <sub>2</sub> spanning in het oppervlaktewater, belangrijk voor water-atmosfeer uitwisseling
<b>PI-curve</b>	Begrip	Photosynthis - Light curve, geeft relatie tussen de twee weer.
<b>ROFI</b>	Begrip	Region of Freshwater Influence, ook wel kustrivier
<b>Spronglaag</b>	Begrip	Diepte waarop verandering van dichtheid met de diepte maximaal is
<b>Stratificatie</b>	Begrip	Gelaagdheid van de waterkolom door verticale temperatuur of saliniteitsverschillen
<b>TOXn</b>	Begrip	Totaal geoxideerd stikstof (nitraat + nitriet)
<b>WMP</b>	Begrip	Windmolenparken
<b>IDON</b>	Bestuursorgaan	Interdepartementaal Directeuren Overleg Noordzee
<b>OFL</b>	Bestuursorgaan	Overlegorgaan Fysieke Leefomgeving
<b>SOCIB</b>	Faciliteit	Coastal Ocean Observing and Forecasting System located in the Balearic Islands
<b>NCP</b>	Gebied	Nederlands deel van het Continentaal Plat
<b>CEFAS</b>	Instituut	Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science
<b>Deltares</b>	Instituut	Deltares, kennisinstituut voor water en ondergrond
<b>Hereon</b>	Instituut	Een van Helmholtz-centra, beheert o.a. COSYNA data
<b>IFREMER</b>	Instituut	Frans Nationaal Instituut voor Zee Onderzoek
<b>KNMI</b>	Instituut	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
<b>NIOZ</b>	Instituut	Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee
<b>NIVA</b>	Instituut	Norwegian Institute for Water Research
<b>RBINS</b>	Instituut	Royal Belgian Institute of Natural Sciences
<b>RIKZ</b>	Instituut	Rijksinstituut voor Kust en Zeeonderzoek, voormalig RWS, gedeeltelijk opgegaan in Deltares
<b>VLIZ</b>	Instituut	Vlaams Instituut voor Zeeonderzoek
<b>ADCP</b>	Instrument	Acoustic Doppler Current Profiler, meet stroompatronen
<b>CIMEL</b>	Instrument	Photometer in gebruik in AERONET, meet o.a. aerosolen
<b>CTD</b>	Instrument	Conductivity Temperature Depth
<b>Ferrybox</b>	Instrument	Meet continue verschillende parameters aan boord in opgepompt water
<b>FRRF</b>	Instrument	Fast Repetition Rate Fluorometry, meet primaire productie
<b>HF-radar</b>	Instrument	High Frequency Radar, meet o.a. stroming en golven

<b>LISST</b>	Instrument	Laser In-Situ Scattering and Transmissometry, meet korrelverdeling zwevende stof
<b>PSICAM</b>	Instrument	Point-Source Integrating Cavity Absorption Meter, meet lichtabsorptie
<b>Smartbuoys</b>	Instrument	Verankerde boei met meetinstrumenten
<b>Wetlabs ACS</b>	Instrument	Underwater spectral absorption and attenuation meter, meet lichtabsorptie
<b>EUROGOOS</b>	Organisatie	European Global Ocean Observing System
<b>Gliders</b>	Platform	Autonoom of voortgetrokken onderwater platform met meetinstrumenten
<b>Landers</b>	Platform	Autonoom platform voor bemonstering en monitoring van de zeebodem
<b>COSYNA</b>	Programma	Coastal Observing System for Northern and Arctic Seas; Duits monitoring netwerk
<b>EMODnet</b>	Programma	European Marine Oceanographic Data Network
<b>LMW</b>	Programma	Landelijk Meetnet Water
<b>MONS</b>	Programma	Monitoring-Onderzoek-Natuurherstel-Soortbescherming
<b>MWTL</b>	Programma	Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands
<b>NWA</b>	Programma	Nationale Wetenschapsagenda
<b>NWO</b>	Organisatie	Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek
<b>NZA</b>	Programma	Noordzeeakkoord
<b>WOZEP</b>	Programma	Wind op Zee Ecologische Monitoring
<b>AERONET</b>	project	AErosol RObotic NETwork, gebruikt Cimel fotometer, voor validatie van satellietbeelden
<b>ID11</b>	project	MONS project over effecten klimaatverandering op plankton en primaire productie
<b>ID14</b>	project	MONS project over zooplanktonmonitoring
<b>ID2</b>	project	MONS project over karakterisering van variabiliteit in slib en nutriënten op verschillende tijdschalen (incl. trends)
<b>ID4</b>	project	MONS project over monitoring van primaire productie
<b>ID6</b>	project	MONS project over karakterisering van oceanografie van de Noordzee (hydrodynamiek, slib en waterkwaliteit) en effecten van windparken
<b>JERICO</b>	Project	Joint European Research Infrastructure for Coastal Observatories
<b>JOMOPANS</b>	Project	Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea
<b>FOOTPRINT</b>	Project	NWO project door NIOZ waarin effecten van offshore windparken worden gemeten ism Belgische partners.

# A Bronnen van actuele satellietdata

	Instrument Type	Sensor	Mission	Organization	Operational Timeline	Spatial resolution	Temporal resolution (days)
<b>Waveheight/ Sea Level</b>	Radar altimeter	KaRIN	SWOT	NASA, CNES	2021 - 2024	250 m - 1 km	21 days
		SRAL	Sentinel-3A, B, C, D	ESA	2016 - 2029	300 m along track/52 km intertrack (in tandem)	27 days
		Poseidon -3, -3B	Jason-2, -3	CNES	2008 - 2021	6 km along track/300 km inter track	10
		AltiKa	Saral	ISRO/CNES	2012 - 2019	90 km inter track	35 days
		ALT	HY-2A - HY-2H	NSOAS, CAST	2011 - 2027	16 km along track/30 km average spacing	1 month
	Radar scatterometer	ASCAT	MetOp-A, -B, -C	EUMETSAT, ESA	2006 - 2024	25-50 km	2 days
		SCA	MetOp-SG B1, B2, B3	EUMETSAT, ESA	2022 - 2042	25 km	1.5 days
		SCAT	HY-2A - HY-2H	NSOAS, CAST	2011 - 2027	50 km	14 days
		SWIM	CFOSAT	CNSA/CNES	2018 - 2021	50-70 km	13 days
<b>Temperature</b>	Medium-resolution spectroradiometer	MODIS	Terra and Aqua	NASA	1999 - 2020	250 m - 1 km	2 days
	Multi-purpose imaging Vis/IR radiometer	MI	COMS	KMA/KARI/ME/MLTM	2010 -	4km	Earth Disk Scanning
	Multi-channel/direction/polarisation radiometer	SLSTR	Sentinel-3A, -3B, -3C	ESA/EUMETSAT	2016 - 2038	1km (TIR)	1 day
			Meteosat third generation: MTG	ESA/EUMETSAT	2023 - ?	3 km	3 days
	Multi-purpose imaging MW radiometer	AMSR-2	GCOM-W	JAXA	2012 -	5-50 km	2 days
		MWRI	FY-3A - 3F	2008 - 2026	2011 - 2027	7.5 x 12 km at 150 GHz, 51 x 85 km at 10.65 GHz	1 day

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)