



Sleutelaspect Zoöplankton

Analysedocument voor de basismonitoring Wadden

Auteur(s): Robbert G. Jak & Lodewijk van Walraven

Wageningen University &
Research rapport C030/22

Sleutelaspect Zoöplankton

Analysedocument voor de basismonitoring Wadden

Auteur(s): Robbert G. Jak¹ & Lodewijk van Walraven²

¹ Wageningen Marine Research (WMR)

² Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ)

Wageningen Marine Research
Den Helder, Juni 2022

VERTROUWELIJK Nee

Wageningen Marine Research rapport C030/22

Keywords: Basismonitoring, Waddenzee, Analysedocument, Zoöplankton

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat Noord-Nederland
T.a.v.: Raven Cammenga
Zuidersingel 3
8911 AV Leeuwarden

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/571479>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

© Wageningen Marine Research

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

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

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

A_4_3_1 V32 (2021)

Inhoud

Inleiding	4
Kennisvraag	4
Aanpak	4
Fase 1 De wens & het conceptuele model	5
Conceptueel model	5
Beleids- en beheerdoelen	7
Monitoringdoelen	12
Fase 2 Het wat	14
Monitoring van zoöplankton	14
Wat is gemeten?	14
Wat wordt gemeten?	16
Wat zou gemeten moeten worden?	18
Beschikbare monsters	19
Fase 3 Het hoe	20
Hoe meten	20
Wat meten	20
Indicatoren	21
Hoe vaak meten	22
Fase 4 Het advies	23
Internationaal oppakken	23
Wat en hoe meten	23
Waar en wanneer meten	23
Door wie	24
Vervolgstappen	24
Kwaliteitsborging	25
Literatuur	26
Verantwoording	29
Bijlage 1 Workshops en commentaren	30

Inleiding

De Basismonitoring Wadden wordt door het kernteam basismonitoring uitgewerkt aan de hand van een ambitiedocument. Dit Ambitiedocument Basismonitoring Wadden beschrijft het streefbeeld van de monitoring die gewenst is om inzicht te kunnen krijgen in de mate waarin de hoofddoelstelling voor de Waddenzee uit de derde nota Waddenzee wordt gerealiseerd. Ieder jaar wordt er een aantal kernwaarden uit het ambitiedocument uitgekozen en opgenomen in een jaarplan. Het kernteam basismonitoring maakt voor elk van deze kernwaarden een analysedocument met daarin een advies over de in de basismonitoring op te nemen monitoring. In een analysedocument worden telkens vier fasen doorlopen (Tabel 1).

Tabel 1 Fasering in opstellen analysedocumenten

Fasering	Inhoud per fase
Fase 1 - de wens & het conceptuele model	A. Bepalen van de informatiebehoeften vanuit beheer- & beleidsdoelen. B. Welke zijn meetbare omschrijvingen van die behoeften? C. Welke zijn geschikte indicatoren om vast te stellen in welke mate doelen zijn gerealiseerd?
Fase 2 - het wat	A. Wat wordt er al gemeten? B. Wat moet er nog worden gemeten?
Fase 3 - het hoe	A. Hoe meet je de parameters voor 2.B? B. Zijn die te integreren in bestaande c.q. zijn er aanvullende meetprogramma's nodig?
Fase 4 - het advies	A. Wie gaat er wat meten, waar en wanneer (ruimte en tijdschaal)? B. Wat zijn de kosten?

Kennisvraag

Dit document is opgesteld conform het format voor de analysedocumenten basismonitoring¹. Het doel van het analysedocument is:

- Vaststellen of we datgene monitoren wat we nodig hebben om te kunnen beoordelen of we met het gevoerde beheer de overeengekomen beleidsdoelen bereiken.
- Adviseren over de monitoring die gewenst is, maar nog ontbreekt.
- Het analysedocument beschrijft waar de monitoring niet toereikend is voor het analyseren van de doelen.

Aanpak

Het analyse document is in Fases zoals aangegeven in uitgevoerd. Na Fase 1 en 2 is een conceptrapport opgeleverd dat in een workshop is besproken is en waarop schriftelijke commentaren ontvangen zijn. Na Fase 3 en 4 is nogmaals een workshop gehouden en zijn wederom commentaren ontvangen en verwerkt in dit rapport. Zie voor de betrokken personen en organisaties Bijlage 1.

¹ <https://basismonitoringwadden.waddenzee.nl/hoe/analysedocumenten>

Fase 1 De wens & het conceptuele model

Conceptueel model

Het zoöplankton bestaat uit in water levende organismen die heterotroof zijn; dus hun energie niet uit fotosynthese halen maar uit consumptie van ander organisch materiaal. Het zoöplankton omvat zowel meercellige dieren als eencelligen zoals flagellaten en ciliaten. Zoöplankton beweegt mee met waterstromingen en kan niet "tegen de stroom in zwemmen", alhoewel het meeste zoöplankton zich wel degelijk actief kan verplaatsen. Dit onderscheidt het plankton van dieren als (jonge) vissen en inktvissen, die tot het nekton worden gerekend.

Zoöplankton wordt onderverdeeld in twee groepen:

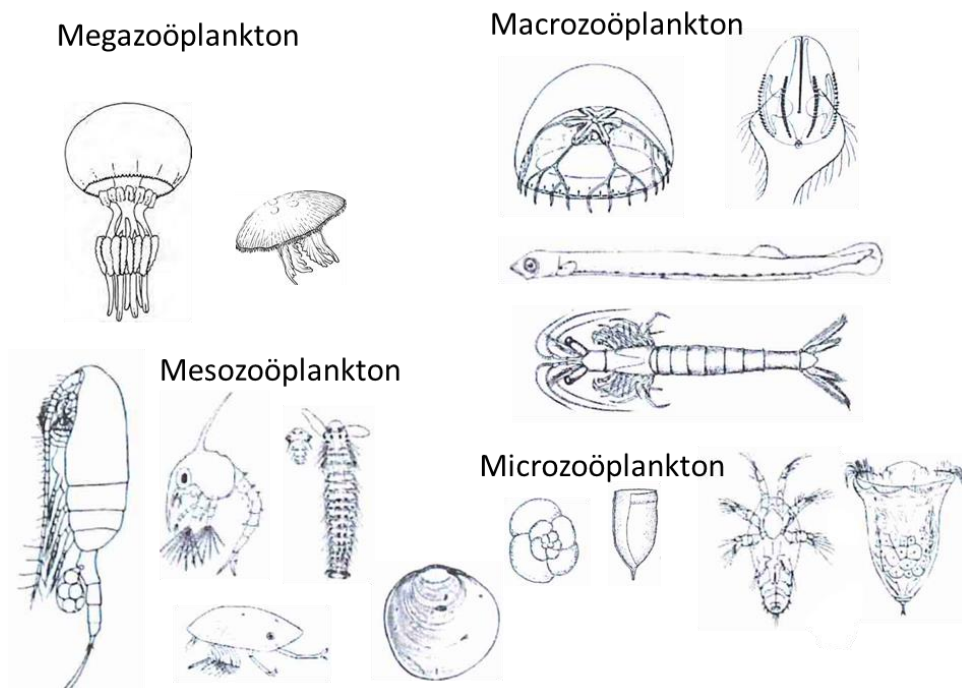
- **holoplankton**; organismen die hun hele leven als plankton doorbrengen, zoals copepoden en veel kwalachtigen, en
- **meroplankton**; organismen die slechts een deel van hun levenscyclus als plankton doorbrengen. Het meroplankton bestaat hoofdzakelijk uit larven van vissen en ongewervelden zoals schelpdieren, wormen, zakpijpen en stekelhuidigen.

Naast deze classificatie worden nog andere systemen gebruikt om zoöplankton te classificeren, wat de grote diversiteit tussen en binnen zoöplanktongemeenschappen weerspiegelt. Indelingen zijn gebaseerd op verschillen in grootte, functie (voedsel), fylogenetische taxonomische en leefgebied.

Op basis van grootte wordt het zoöplankton onderverdeeld in verschillende klassen (Figuur 1):

- Megazoöplankton, 20 tot 200 cm; veelal kwalachtigen
- Macrozoöplankton, 2 tot 20 cm; veelal kwalachtigen, krill, vislarven
- Mesozoöplankton, 0,2 tot 20 mm; copepoden en een breed scala aan andere groepen
- Microzoöplankton, 20 tot 200 µm; ciliaten, rotiferen en allerlei larvenstadia

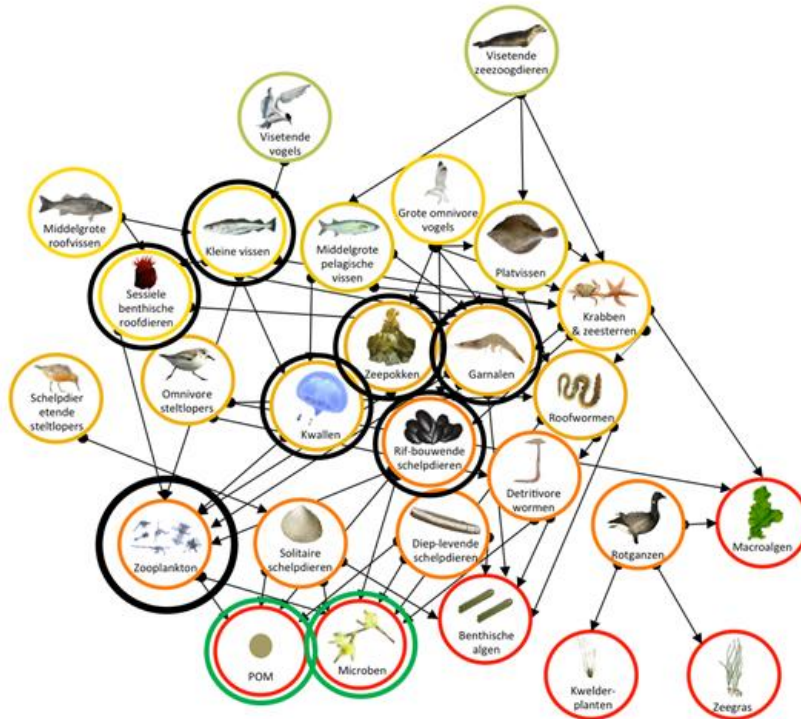
Bovenstaande definities worden in dit rapport aangehouden.



Figuur 1 Voorbeelden van zoöplankton (overgenomen uit Conway, 2012).

De grootte van zoöplankton is belangrijk bij monitoring, aangezien apparatuur voor bemonstering en detectie geschikt moet zijn voor de beoogde (grootte)groep van onderzoek. Naast de fylogenetische taxonomische classificatie worden andere systemen gebruikt om zoöplankton te classificeren, wat de grote diversiteit tussen en binnen zoöplanktongemeenschappen weerspiegelt. Indelingen zijn gebaseerd op verschillen in grootte, functie (voedsel), levenscyclus en leefgebied.

In het voedselweb van de Waddenzee speelt het zoöplankton een belangrijke rol in de doorgifte van de primaire productie naar hogere trofische niveaus (Figuur 2). Een belangrijke predator van zoöplankton wordt gevormd door (kleine) pelagische vis, zoals haring, sprat en zandspiering, die op hun beurt weer gegeten worden door visetende vogels als sterns en duikers en zeezoogdieren als zehonden. Ook maakt zoöplankton deel uit van het voedsel van ongewervelde planktoneters organismen, zoals mosselen, garnalen en (rib)kwallen.



Figuur 2 Verbindingen in het voedselweb van de Waddenzee, met zoöplankton en zijn directe trofische interacties omringd door zwarte dikke lijnen (Figuur aangepast aan <http://penyu.nl/research/>).

Het ecosysteem van de Waddenzee staat bloot aan verschillende stressfactoren (QSR, 2017), waaronder:

- Klimaatopwarming
- (Verminderde) eutrofiëring
- Visserij
- Infrastructuurveranderingen
- Invasieve soorten
- Vervuiling

Factoren die de productie van zoöplankton en de samenstelling van de gemeenschap sturen houden met name verband met (veranderingen in) temperatuur, eutrofiëring en andere vervuiling en gebruiksfuncties die een directe invloed hebben op het voedselweb (visserij, aquacultuur) (Fransz et al., 1992; Jak et al., 1999; Martens & van Beusekom, 2008, Wiltshire et al. 2010, Alvarez-Fernandez et al. 2012).

Veranderingen in het klimaat kunnen leiden tot verschuivingen in de soortensamenstelling van het zoöplankton, door verschuivingen in de geografische verspreiding van soorten en indirect door veranderingen in predatoren (soorten vis) en de seizoensdynamiek van zoöplankton en fytoplankton en de relatie tussen deze trofische niveaus (Philippart et al., 2017).

Ook een intensivering van aquacultuur kan tot veranderingen leiden in de draagkracht van het pelagische systeem van de Waddenzee. Voor mosselteelt geldt dat het fytoplankton dat opgenomen wordt door de mosselen minder beschikbaar komt voor de voedselketen van zoöplankton naar vis en vogels. Andersom geldt dat het zoöplankton en andere fytoplankton begrazers ook voedsel voor kweekcultures wegnemen, al is hier nog weinig kwantitatieve kennis over. Door Jansen et al. (2019) wordt letterlijk het volgende gesteld: "Zoöplankton, sponzen en zakpijpen filtreren ook algen uit het water. Over de biomassa van deze groepen is echter geen informatie bekend, niet in de westelijke Waddenzee en ook niet in de Oosterschelde. Wanneer er veranderingen in zoöplankton biomassa opgetreden zijn, kunnen die de relatie tussen voedsel, vleesgehalte en bestandsgrootte [van schelpdieren] hebben beïnvloedt."

Voor zeewierteelt geldt dat nutriënten in mindere mate beschikbaar zullen zijn voor het fytoplankton dat door het zoöplankton wordt gegeten met vergelijkbare gevolgen. Het is daarom belangrijk om zicht te hebben op de ontwikkeling van het zoöplankton op de langere termijn als indicator voor de voedselstromen in het ecosysteem.

Daarnaast kunnen ook invasieve soorten van belang zijn als predator en/of voedselconcurrent van zoöplankton of vis, zoals de invasieve ribkwal *Mnemiopsis leidyi* (Kellnreitner et al. 2013, van Walraven et al. 2017) waarvan het dieet overlapt met dat van vissen als sprat en haring. Van visserij en infrastructurele veranderingen zijn indirecte effecten te verwachten (Purcell, 2012). Overbevissing van zoöplanktivore (vis)populaties kan gevolgen hebben voor andere componenten van het voedselweb. Een toename aan hard substraat zoals kustverdediging en windparken kan leiden tot een toename in zoöplankton waarvan een deel van de levenscyclus bentisch is, dat wil zeggen aan de bodem gebonden is, zoals geldt voor veel kwalachtigen.

Beleids- en beheerdoelen

Voor kustwateren en de Noordzee zijn verschillende (internationale) richtlijnen en verdragen van toepassing. Hoewel er voor de Waddenzee nog geen verplichtingen gelden voor monitoring zijn er wel ontwikkelingen die wijzen op het belang om zoöplankton op te nemen in een monitoring programma. Deze worden hieronder beschreven.

KRW – Kader Richtlijn Water

Met de implementatie van de EU Kaderrichtlijn Water (KRW) moeten EU-lidstaten de ecologische toestand van oppervlaktewateren classificeren volgens gestandaardiseerde procedures. De dichtheid en samenstelling van fytoplankton is een van de belangrijkste indicatoren bij het bepalen van de ecologische kwaliteitsstatus, met name in relatie tot de impact op de ecologie van overgangs- en kustwateren door menselijke input van nutriënten (voornamelijk anorganische stikstof). Zoöplankton is niet opgenomen als een ecologische kwaliteitsparameter. Tot dusver volgen de EU-lidstaten het beleid inzake de minimumvereisten, zonder monitoring van zoöplankton. Er zijn wel vissoorten opgenomen als onderdeel KRW-maatlat voor de beoordeling van de ecologische waterkwaliteit. Hiertoe behoren een aantal zoöplanktivore soorten vis die onderdeel vormen van de KRW-maatlat voor de Eems-Dollard:

- de diadrome soorten spiering en fint,
- de mariene juveniele soorten haring en wijting,
- en de zoetwatersoort pos.

Ook macrobenthos maakt onderdeel uit van de KRW-maatlat. Het gaat daarbij niet om specifieke soorten maar om scores gebaseerd op gemeenschapsniveau, zoals dichtheid, biomassa en aantal soorten. De meeste macrobenthossoorten in het mariene milieu hebben een larvestadium dat opgroeit als onderdeel van het zoöplankton. Daarnaast maken de volwassen stadia van verschillende soorten gebruik van zoöplankton als voedselbron (o.a. Lehane & Davenport, 2006).

Zoöplankton is gevoelig voor verschillende drukfactoren die voor de Waddenzee kunnen voorkomen, zoals:

- hoge concentraties zwevend stof,
- toxische stoffen en
- zuurstofloosheid.

Daarnaast reageert de samenstelling en seizoensdynamiek van zoöplankton gemeenschappen op veranderingen in temperatuur, de komst van invasieve soorten en veranderingen in de mate van eutrofiëring.

KRMS - Kader Richtlijn Mariene Strategie

De KRMS verplicht de EU-lidstaten om het niveau van antropogene effecten op hun mariene systemen in te schatten met behulp van 11 descriptor. Strikt genomen is de KRMS niet van toepassing op de Nederlandse Waddenzee (wel het Duitse – en Deense deel), maar dit zou in de toekomst kunnen worden aangepast. De Europese Mariene Strategie heeft een directe relatie met de waterkwaliteit van de Waddenzee. In de toestandsbeschrijving van het Europese mariene milieu wordt de eutrofiëring van de Waddenzee specifiek genoemd.

Verschillende van de KRMS-descriptoren hebben betrekking op zoöplankton:

- Descriptor 1: Biodiversiteit
- Descriptor 2: Niet-inheemse soorten
- Descriptor 4: Mariene voedselwebben
- Descriptor 5: Eutrofiëring

TMAP - Trilateral Monitoring and Assessment Programme

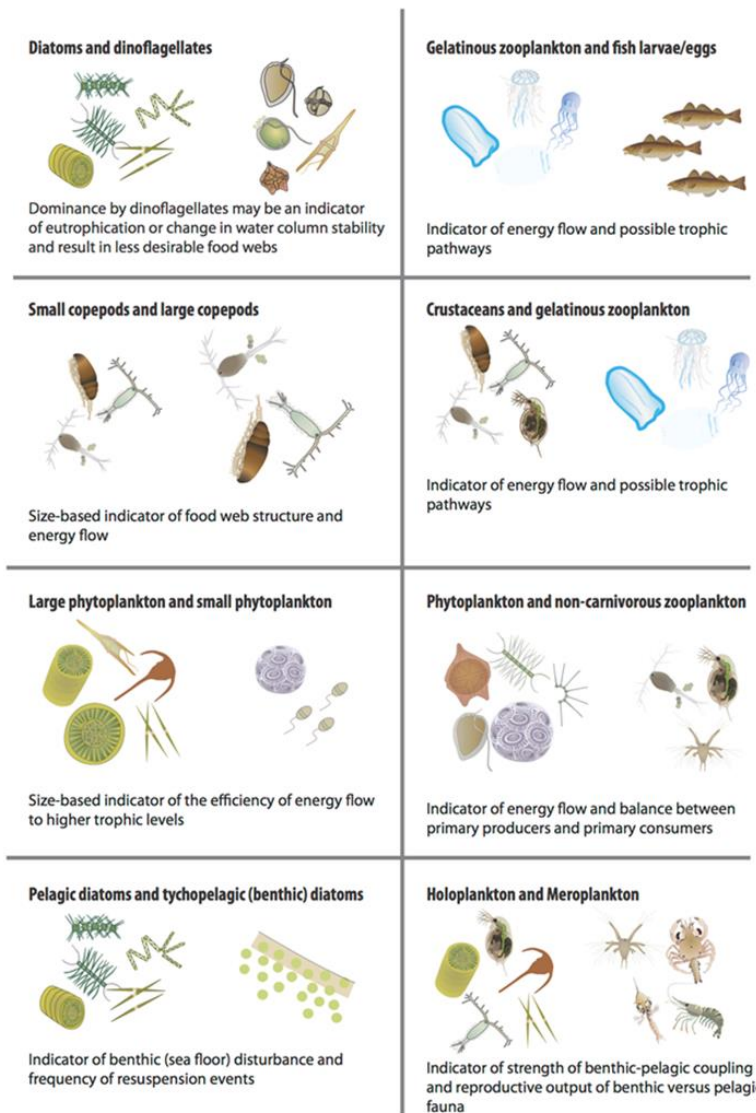
Hoewel TMAP-onderzoek veel onderwerpen bestrijkt, is zoöplankton niet opgenomen, en op de website worden ook geen verwijzingen of discussies naar dit onderwerp gemaakt. TMAP publiceert kwaliteitsstatusrapporten en een TMAP-handboek. Dit laatste biedt het kader voor toekomstige technische aanpassingen en aanpassingen van de monitoring van de Waddenzee.

OSPAR – Oslo and Paris Convention

Er zijn binnen OSPAR verschillende indicatoren voor zoöplankton in ontwikkeling om concrete invulling te geven aan deze descriptoren. Relevante parameters om te monitoren zijn soortensamenstelling, verspreiding, en seizoensvariatie.

Binnen OSPAR is een planktonindicator ontwikkeld, die gebaseerd is op het groeperen van plankton met dezelfde functionele eigenschappen om de respons van de planktongemeenschap op factoren, zoals nutriëntenbelasting door menselijke activiteiten en klimaatgestuurde veranderingen, te kunnen volgen. De focus ligt daarbij op het identificeren van veranderingen in biodiversiteit in de tijd, en veel van deze indicatoren zijn opgenomen in de beoordelingen. De grote uitdaging voor OSPAR is hoe ervoor te zorgen dat de indicatoren toepasbaar zijn op regionale schaal en reageren op veranderingen in druk.

De ontwikkeling van indicatoren richt op met name op “plankton lifeform pairs” waarbij veranderingen in de verhouding tussen twee functionele groepen als indicator dient (OSPAR, 2017; OSPAR, 2018; Figuur 3). Het gaat dan bijvoorbeeld om verandering in de verhouding tussen holoplankton en meroplankton als indicator voor de benthisch-pelagische koppeling en de reproductie output van benthische versus pelagische fauna. Andere paren worden gevormd door gelatineus zoöplankton (kwalachtigen) versus vis-larven en –eieren, kreeftachtig versus gelatineus zoöplankton, fytoplankton versus niet-carnivoor zoöplankton en kleine en grote copoden. Deze laatste op grootte gebaseerde indicator geeft een beeld van de voedselwebstructuur en energiestromen in het pelagisch systeem. Zoöplanktivore vis heeft veelal een voorkeur voor grotere individuen en een afname van de gemiddelde lengte van het zoöplankton duidt op een toename van zoöplanktivore vis, terwijl een toename van de gemiddelde lengte een aanwas van piscivore vis indiceert (Gorokhova et al., 2016). Zodoende ontstaat inzicht in de structuur en trofische efficiëntie van het pelagische voedselweb (Ndah et al., 2022).



Figuur 3 Levensvormen van plankton en hun ecologische rol (uit OSPAR, 2017).

HELCOM - Helsinki Commission

HELCOM (Baltic Marine Environment Protection Commission - Helsinki Commission) is het bestuursorgaan van het Verdrag inzake de bescherming van het mariene milieu van het Oostzeegebied, bekend als het Verdrag van Helsinki. De Waddenzee maakt geen onderdeel uit van HELCOM, maar HELCOM kan wel als referentie gebruikt worden vanwege het feit dat zoöplankton onderdeel uitmaakt van de monitoring in de Oostzeelanden.

Binnen het thematische actieplan voor Biodiversiteit wordt zoöplankton ook gemonitord en maakt het als zodanig deel uit van de holistische beoordeling die HELCOM uitvoert om een overzicht te krijgen van de gezondheid van ecosystemen.

HELCOM heeft een indicator ontwikkeld voor zoöplankton die inzicht moet geven in de rol in de voedselketen, als schakel tussen de primaire productie en pelagische vis. De geschiktheid van het zoöplankton als voedsel voor vis neemt toe als de biomassa én de gemiddelde lichaamsgrootte hoog is. De HELCOM zoöplankton indicator MSTS (Zooplankton Mean Size and Total Stock) is dan ook gebaseerd op de groottestructuur van de zoöplanktongemeenschap in relatie tot de totale zoöplanktonbiomassa en -abundantie.

Streefbeeld Waddenzee

Als onderdeel van het programma "Naar een rijke Waddenzee" is een "advies concretisering streefbeeld onderwaternatuur Waddenzee" opgesteld (van Beek et al., 2021, zie ook Figuur 4). Hierin wordt met name de rol van het zoöplankton in het voedselweb benoemd: "Zoöplankton heeft een

belangrijke rol als trofische schakel tussen primaire producenten en hogere consumenten in de voedselketen." Gesteld wordt ook dat zoöplanktondichtheden afnemen als visprederende vissen ontbreken, waardoor (zoö)planktonetende vis meer kans krijgt. Doordat de graasdruk van het zoöplankton op fytoplankton dan afneemt kan het aandeel algen relatief groot worden.

Er worden vanuit het streefbeeld geen indicatoren genoemd, maar naast biomassa en productie is ook graasdruk een belangrijke parameter.



Figuur 4 Illustratie van de gewenste onderwaternatuur van de Waddenzee, met zoöplankton in het linker kader in de rechterbovenhoek van de figuur.

Natura 2000

Het zoöplankton is geen doelsoort voor bescherming onder Natura 2000 en maakt ook geen onderdeel uit van een Habitattypen. Er zijn echter wel verbindingen met onder Natura 2000 beschermde soorten van de Waddenzee. Zoals uit Figuur 2 al blijkt zijn er via de predatie van zoöplankton door vis en ongewervelden ook relaties met hogere trofische niveaus, vooral met visetende vogels. Voor de Waddenzee gaat het vooral om sterns (grote stern, visdief, noords stern, dwergstern) en duikende viseters (fuut en aalscholver). Een van de ecologische vereisten voor het behalen van de doelstellingen van deze vogelsoorten is een voldoende voedselbeschikbaarheid in de vorm van (pelagische) vis, die zich op hun beurt vooral voeden met zoöplankton.

Deze voedselrelaties vormen onderdeel van de Kernopgave 1.03 voor de Waddenzee, vanwege de rol als kinderkamerkraamkamer voor vis (van Overstroomde zandbanken en biogene structuren) en heeft ook indirect een relatie met Kernopgave 1.13 (voortplantingshabitat, waaronder voor de eerder genoemde vis-etende vogels).

Daarnaast produceren veel ongewervelde bodemdieren eieren en larven die voor enige tijd (meestal enkele weken tot enkele maanden) in de waterkolom verblijven en daardoor ook deel uit maken van het zoöplankton. Dit wordt meroplankton genoemd en bevat soorten die als typische soorten van Habitattypen H1110 (permanent overstroomde zandbanken) en H1140 (slik- en zandplaten) zijn geselecteerd.

Tabel 2 Als typische soorten vermelde ongewervelde bodemdieren met larven die deel uit maken van het zoöplankton, voor habitattypen H1110A (boven) en H11140A (onder)

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Soortgroep	Categorie*
Zandzager	<i>Nephtys hombergii</i>	Borstelwormen	Ca
Groene zeeduizendpoot	<i>Alitta virens</i>	Borstelwormen	Ca
	<i>Spio martinensis</i>	Borstelwormen	Ca
Schelpkokerworm	<i>Lanice conchilega</i>	Borstelwormen	Ca
Nonnetje	<i>Macoma balthica</i>	Weekdieren	Cab
Strandgaper	<i>Mya arenaria</i>	Weekdieren	Cab
Mossel	<i>Mytilus edulis</i>	Weekdieren	Cab
Kokkel	<i>Cerastoderma edule</i>	Weekdieren	Cab

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Soortgroep	Categorie*
Schelpkokerworm	<i>Lanice conchilega</i>	Borstelwormen	Cab
Zandkokerworm	<i>Spiophanes bombyx</i>	Borstelwormen	Cab
	<i>Nephtys cirrosa</i>	Borstelwormen	Ca
	<i>Nephtys hombergii</i>	Borstelwormen	Ca
	<i>Magelona papillicornis</i>	Borstelwormen	Ca
Gewone zwemkrab	<i>Liocarcinus holsatus</i>	Kreeftachtigen	Ca
Gewone heremietkreeft	<i>Pagurus bernhardus</i>	Kreeftachtigen	Ca
Hartegel	<i>Echinocardium cordatum</i>	Stekelhuidigen	Ca
Gewone slangster	<i>Ophiura ophiura</i>	Stekelhuidigen	Ca

* Ca = constante soort met indicatie voor goede abiotische toestand; Cb = constante soort met indicatie voor goede biotische structuur; Cab = constante soort met indicatie voor goede abiotische toestand en goede biotische structuur

Programmatiese Aanpak Grote Wateren

De ambitie van de PAGW is om gebieden meer in samenhang te versterken en verbindingen te leggen, zoals overgangen van land naar water, en tussen zoet en zout. Een verhoging van de natuurlijke dynamiek zou dan de robuustheid van het samenhangend netwerk van grote wateren versterken en, waardoor effecten van klimaatverandering en drukfactoren op het milieu beter opgevangen kunnen worden. Hierin zijn ook de samenhang in doelstellingen vanuit Natura 2000 en de KRW ondergebracht. Vanuit de PAGW zijn geen directe doelen met betrekking tot zoöplankton gesteld.

Agenda voor het Waddengebied 2050

Deze agenda vormt een concretisering van verschillende doelen. Het is een visiedocument waar verschillende belanghebbende partijen vormgeven aan de bescherming en ontwikkeling van het Waddengebied, met daaraan gekoppeld een uitvoeringsagenda. Hoewel zoöplankton alleen expliciet genoemd wordt in het streefbeeld voor de Eems-Dollard (zie citaat hieronder), is ook de rol van de voedselketen voor de rest van het Waddengebied van belang om vorm te geven aan het herstel van de visbiomassa. Een vermindering van de troebelheid van het water kan een verhoging van de primaire productie teweegbrengen die als voedsel door het zoöplankton gebruikt kan worden. In de agenda wordt ook gewezen op het belang van basismonitoring en langdurige tijdreeksen, en van onderzoek en kennisontwikkeling. Hierbij is een rol weggelegd voor verschillende ministeries en ook bij initiatiefnemers van projecten of activiteiten.

Citaat: "De hoeveelheid algen in het water en op de bodem van de Eems-Dollard is weer toegenomen. Daarmee (is) er meer voedsel beschikbaar voor zoöplankton, schelpdieren en vislarven, waarvan uiteindelijk weer grotere vissen, vogels en zeezoogdieren profiteren." Deze stelling is overigens alleen waar indien de hoeveelheid algen voordien beperkend was voor de bottum-up productie van hogere trofische niveaus.

Investeringskader Waddengebied 2016-2026

De interprovinciale visie 'Wadden van Allure!' vormt het beleidsmatig uitgangspunt voor dit investeringskader. De twee hoofddoelen van deze visie zijn: 1) het versterken en optimaal kunnen beleven van de fysieke en ecologische kwaliteiten van het Waddengebied, 2) het bieden van ruimte voor (sociaal-) economische ontwikkeling, wonen, werken, recreatie en innovatie. Eén van de uitgangspunten is dat economisch medegebruik niet leidt tot achteruitgang van de milieu- en waterkwaliteit en geen nieuwe beperkingen mag opleveren voor de ecologische functievervulling. Voor de waterkwaliteit wordt hier vooral gekeken naar het fytoplankton. Vaak wordt hierbij uitgegaan van een directe relatie tussen de hoeveelheid nutriënten (fosfaat) en de biomassa van het fytoplankton. Fytoplankton-grazers, zoals zoöplankton, kunnen deze relatie beïnvloeden.

Invasieve soorten

Verordening EU 1143/2014 heeft als doel de introductie, verspreiding en impact van invasieve exoten in Europa te beperken. Voor deze verordening is een lijst met invasieve soorten opgesteld (de "Unielijst") waarvan bezit, handel, kweek, transport en import verboden is. Daarnaast moeten lidstaten aanwezige populaties van soorten op de lijst opsporen en verwijderen indien mogelijk, of anderszins de verspreiding en schade zoveel mogelijk voorkomen (NVWA 2019). De enige in de Waddenzee levende soort op deze lijst die ook in het zoöplankton voorkomt is de Chinese wolhandkrab *Eriocheir sinensis*. Deze soort leeft hoofdzakelijk in zoet water maar plant zich voort in zout of brak water. De larven ontwikkelen zich in het plankton (Bentley 2011).

Het IMO ballastwater verdrag, ingegaan in 2017 (IMO 2010), verplicht schepen tot het nemen van maatregelen ter voorkoming van verspreiding van ongewenste organismen in ballastwater. Schepen kunnen uitzondering van deze maatregel aanvragen volgens binnen HELCOM/OSPAR (2013) afgesproken protocollen, waarbij onder andere een survey van diverse habitats (waaronder het plankton) in havens moet worden uitgevoerd.

De IMO richtlijnen fouling, uitgegeven in 2011 (IMO 2011), geven praktisch advies over te nemen maatregelen om verspreiding van exoten door aangroei op schepen te voorkomen.

KRMS descriptor 2 is gefocust op invasieve soorten en bepaalt dat door menselijk handelen geïntroduceerde uitheemse soorten op niveaus voorkomen die ecosystemen niet negatief beïnvloeden.

De Waddenzee is aangewezen als gebied van 'Outstanding Universal Value' (OUV) door UNESCO. Één van de aanbevelingen van UNESCO was het instellen van een strikt monitoringsprogramma om de introductie van invasieve exoten door ballastwater en aquacultuur te beperken en om dit trilateraal te harmoniseren.

Een compleet overzicht van wetgeving en monitoring op het gebied van invasieve soorten in de Trilaterale Waddenzee wordt gegeven in het "Trilateral Wadden Sea Management and Action Plan for Alien Species (MAPAS), WG-AS & Gittenberger (2019).

Monitoringdoelen

Een belangrijke vraag in de monitoring is wat er precies gemonitord moet worden in relatie tot de doelen vanuit het beleid en beheer, omdat deze voor het zoöplankton (nog) niet zijn vastgelegd.

Het doel van Basismonitoring Wadden is drieledig²:

- De beheerder helpen bij de uitvoering van zijn taken door inzicht te geven in de toestand en trends;
- De monitoring omvormen van een op vergunningverlening en uitvoering van wettelijke taken gerichte monitoring, naar effectieve en efficiënte systeemgerichte monitoring;
- Het toegankelijk maken van alle beschikbare informatie en monitoringgegevens over het Waddengebied, waardoor de gebruiker zicht heeft op het volledige Waddensysteem.

Bovenstaande doelen moeten zorgen voor een beter inzicht in het ecosysteem als geheel. Het wordt eenvoudiger om te controleren of beheerinspanningen effectief zijn en of beheer- en beleidsdoelen

² <https://basismonitoringwadden.waddenzee.nl/wat-en-wie/wat-doen-we>

worden bereikt. Ook het zicht op de verhouding tussen menselijk gebruik en de staat van het Waddengebied verbetert door integrale, systeemgerichte basismonitoring.

Hieruit kan afgeleid worden dat de monitoring van het zoöplankton in staat moet zijn om inzicht in de rol van het zoöplankton in het ecosysteem te verwerven en om trends te signaleren die in relatie staan tot beheerinspanningen en/of resultaat zijn van ecosysteemeffecten die een gevolg zijn van menselijk gebruik. Veelal zal echter aanvullend onderzoek nodig zijn om de gewenste kennis en inzichten te verwerven.

Er zijn geen geconcretiseerde doelen ten aanzien van zoöplankton vanuit het beleid- of beheer van de Waddenzee geformuleerd. Wel is aangegeven dat het zoöplankton een belangrijke rol speelt in het functioneren van het Waddenecosysteem. De rol van het zoöplankton is tweeledig. Enerzijds begraast het fytoplankton en concurreert daardoor met op en in de bodem levende (schelp) dieren die ook afhankelijk zijn van fytoplankton. Anderzijds vormt het een voedselbron voor vooral pelagische vis en ook ongewervelde organismen in de waterkolom (bv. kwallen) en in en op de waterbodem (bv. mosselen, garnalen). Verder zorgt het zoöplankton als detritivore en via de "microbiële loop" voor een efficiënt hergebruik van zwevend stof en opgelost organisch materiaal. Het vormt daarmee een belangrijke schakel in de doorgifte van de primaire productie naar hogere trofische niveaus. Indirect heeft het daarom invloed op soorten waarvoor wel concrete doelen zijn gesteld (o.a. Natura 2000, KRW, KRM). Als voorbeelden kunnen vogelsoorten genoemd worden die zoöplanktivore vis eten, waaronder grote stern, visdief, noordse stern, dwergstern, fuut, aalscholver, grote zaagbek, middelste zaagbek en zwarte stern. Daarnaast vormt zoöplankton een belangrijke voedselbron voor verschillende vissoorten, waaronder fint, spiering, haring, wijting en pos.

Naast de functie van zoöplankton in het voedselweb zijn ook aspecten van de structuur van de zoöplanktongemeenschap zoöplanktongemeenschap van belang; in relatie tot biodiversiteit in algemene zin; met betrekking tot de larvale stadia van bodemdieren waarvoor wél concrete doelen zijn gesteld en voor de detectie van invasieve soorten die in het zoöplankton aanwezig kunnen zijn (zowel holoplankton als meroplankton).

Mogelijke indicatoren

De volgende meetbare indicatoren voor monitoring kunnen inzicht in de ecologische rol en de biodiversiteit van het zoöplankton verwerven:

- Soortensamenstelling
- Biomassa/abundantie
- Seizoensdynamiek in abundantie

Uit deze informatie kan, in samenhang met de monitoring van andere biotische en abiotische parameters, inzicht worden verkregen in de relaties met (andere) componenten van het ecosysteem:

- Begrazing fytoplankton
- Voedsel voor vis en andere organismen (en indirecte doorwerking naar hogere trofische niveaus)
- Invasieve soorten

Fase 2 Het wat

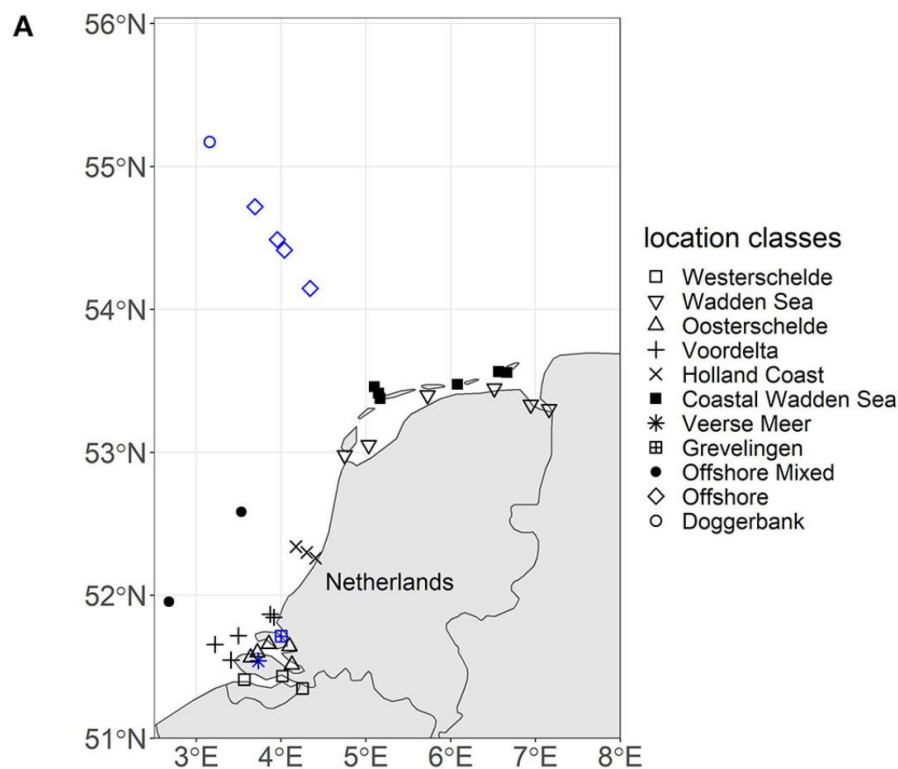
Monitoring van zoöplankton

Wat is gemeten?

Hieronder wordt een beknopt overzicht gegeven van uitgevoerde projecten en monitoring in de Waddenzee.

De meeste kennis over de verspreiding van zoöplankton in de (Nederlandse) Waddenzee stamt uit onderzoek eind jaren '70 en begin jaren '80 van de vorige eeuw (Fransz & van Arkel, 1983). Fransz toonde aan dat het mesozoöplankton in de westelijke Waddenzee werd gedomineerd door calanoïde roeipootkreeftjes en polychaete larven. Door Baretta en Malschaert (1988) is onderzoek gepubliceerd uitgevoerd in het Eems estuarium. Ook dit onderzoek is uitgevoerd in begin jaren '70 en toont de verschillen in mesozoöplanktonsamenvatting als functie van de temperatuur (seizoen) en saliniteit (locatie in het estuarium). Enkele andere studies waren gericht op kleinere delen van de Waddenzee, zoals die van George (1996) in het Duitse deel. Uit dit onderzoek blijkt het belang van meroplankton, dat wil zeggen de larven van bentische soorten die in de Waddenzee voorkomen. Roeipootkreeftjes (copepoden) waren vooral dominant waar Noordzeewater de Waddenzee binnenkomt.

Van 1990 – 2014 is in opdracht van RWS microplankton bemonsterd in een groot aantal Nederlandse kustwateren (Schneider et al. 2020), waaronder meerdere locaties in en bij de Waddenzee. In april/mei en augustus/september bestond het microplankton voornamelijk uit fytoplankton, en in juni en juli voornamelijk uit protozoöplankton. Geconcludeerd werd dat mixotroof plankton (dat zowel plantaardig als dierlijk voedsel consumeert) in troebele kustwateren geen belangrijk deel uitmaakt van het plankton.



Figuur 5. Monsterlocaties voor microzoöplankton uit Schneider et al. 2020.

Voor de (Duitse) Waddenzee is slechts één tijdreeks beschikbaar. Zoals beschreven in Martens (1995) is vanaf 1975 zoöplankton bemonsterd bij het Waddeneiland Sylt in de noordelijke Waddenzee (List Tidal Basin). Twee-wekelijks is hier bemonsterd door 35 liter water met emmers van het oppervlak te verzamelen en over een 76µm gaas te filteren. Martens en van Beusekom (2008) rapporteerden de tijdreeks van 1984-2005. Tussen de jaren blijkt er een hoge variabiliteit in maandelijkse gemiddelde biomassaniveaus te bestaan. Desondanks werden trends waargenomen die verband houden met de stijging van de temperatuur van het zeeoppervlak. In de eerste plaats begon de ontwikkeling van roeipootkreeftjes eerder in het seizoen en was de biomassa in de late zomer (september) nog steeds hoger dan in eerdere jaren. Op Sylt is ook onderzocht in hoeverre begrazing door microzoöplankton van belang is in ondiepe kustsystemen zoals de Waddenzee (Loebl & van Beusekom, 2008). Hier werd geconcludeerd dat begrazing van microzoöplankton het hoogst is in de zomer en tijdens de *Phaeocystis* bloei. De voorjaarsbloei van diatomeeën werd niet door het microzoöplankton gecontroleerd. Recent is op Sylt de invasieve copepode *Oithona davisae* gevonden (Cornils & Wend-Heckman 2015). Deze is in 2021 ook in het Grevelingenmeer gevonden door het NIOZ door L. van Walraven en is waarschijnlijk ook al in de Nederlandse Waddenzee aanwezig.

De Wolf (1989) heeft een studie gedaan naar de variatie in zoöplanktondichtheden in de westelijke Waddenzee. Zelfs in het snelstromende Marsdiep was er een duidelijke variatie te zien op kleine schaal in ruimte en tijd.

Door Fransz is het zoöplankton in de jaren 1973-1978 bemonsterd middels een oblique haul met twee plankton netten met maaswijdtes van 300 µm en 50 µm (Fransz et al., 1992). In 1983 is water vanaf de NIOZ steiger verzameld met trekken met een net van 50 µm of is een volume van 20 l opgepompt water over dit net gegoten (zie Fransz et al., 1992; Enserink 1986). In 1990 is zoöplankton verzameld door 60 liter water over een 200 µm en 100 µm net te gieten. In 1991 is zoöplankton verzameld met een gekalibreerd 50µm net vanaf schepen (Daan 1987, Fransz 1988).

Het meest recente onderzoek naar zoöplankton in de westelijke Waddenzee is een toegepaste studie naar de mogelijke impact van de experimentele Blue Energy centrale op de Afsluitdijk. Hiervoor zijn van 2016 – 2019 bij en in de centrale monsters genomen van vislarven en zoöplankton. Voor mesozoöplankton werd twee keer 10 liter water gefilterd over een 50 µm zeef, waarna het plankton levend op hoofdgroepen werd geteld. Voor vislarven werd een aangepast waterfilter gebruikt met een maaswijdte van 1 mm waarmee een deel van het door de centrale ingenomen water werd geleid. Opvallend in deze studie was dat het grootste deel van de biomassa aan zoöplankton vrijwel het hele jaar uit meroplankton (larven) bestond. De gevonden seizoenspatronen kwamen grotendeels overeen met die gevonden door Fransz e.a. in de jaren 1973 – 1978, alhoewel de abundantie van copepoden lager was dan in de jaren 70, mogelijk door de aanwezigheid van de Amerikaanse ribkwal.

In 2009-2010 is door WMR (toen nog IMARES) in de westelijke Waddenzee geëxperimenteerd met het bemonsteren van mesozoöplankton met een Autonomous Plankton Sampler (APS), waarbij een Continuous Plankton Recorder (CPR) aan boord van een veerboot (MS Vlieland) is geïnstalleerd en water vanuit de romp van het schip werd aangezogen (Couperus et al., 2016). Met name de oriëntatie van het innamepunt van het water bleek bepalend voor de bemonsteringsefficiëntie van het zoöplankton. Het zoöplankton bestond voornamelijk uit copepoden, naupli, en larven van krabben en zeepokken.

Sinds 2006 worden er op de NIOZ-steiger op Texel met variabele frequentie (van maandelijks tot twee keer per week) watermonsters van 2 L genomen om de aanwezigheid en fenologie van schelpdierlarven te volgen. Omdat de larven van de verschillende soorten morfologisch moeilijk te onderscheiden zijn worden de monsters met DNA-technieken geanalyseerd op de aanwezigheid van DNA van kokkels, Japanse oesters, Amerikaanse zwaardschedes, nonnetjes, strandgapers en mosselen. De data levert waardevolle informatie op over de seizoenspatronen van in voorkomen van schelpdierlarven in relatie tot omgevingsvariabelen en voedselbeschikbaarheid (Philippart et al. 2014).

Ook aan het grotere zoöplankton, kwalachtigen en vislarven, is het nodige aan onderzoek gedaan, beginnende met een onderzoek door Verwey (1942) naar de soortensamenstelling van schijfkwallen in de Waddenzee. Begin jaren 80 zijn er studies uitgevoerd naar de rol van de oorkwal *Aurelia aurita*

(van der Veer 1985) en zeedruif *Pleurobrachia pileus* (van der Veer & Sadée, 1984; Kuipers et al. 1990) als predator van mesozöoplankton en vislarven. Ook de intrek van vislarven zelf in de Waddenzee is uitgebreid onderzocht, voornamelijk voor platvislarven (o.a. van der Veer et al. 2000; 2009, Bolle et al. 2009). Over de verspreiding van pelagische vislarven zoals haring en sprat is echter weinig bekend.

Waarnemingen van de invasieve Amerikaanse ribkwal *Mnemiopsis leidyi* in de Waddenzee en mogelijke gevolgen hiervan voor zoöplankton en pelagische vis (Faasse & Bayha 2006; Gittenberger et al. 2008) leidden tot een hernieuwde interesse in het zoöplankton van de Waddenzee en met name de rol van kwalachtigen. Nadat in 2009 de Amerikaanse ribkwal zeer talrijk bleek in de Waddenzee (van Walraven et al. 2013) startte in 2010 een 4-jarig EU project "MEMO" waarin de impact van de Amerikaanse ribkwal werd onderzocht. Hiervoor en ook voor het project "ZKO vis" is van 2009 – 2012 het voorkomen van kwalachtigen in de westelijke Waddenzee gemonitord (van Walraven et al. 2017). De graasdruk van de Amerikaanse ribkwal op het zoöplankton bleek erg hoog te zijn; vooral in late zomer en najaar is de soort de dominante predator van zoöplankton in de westelijke Waddenzee. Ook in de Duitse Waddenzee is de impact van de Amerikaanse ribkwal onderzocht; in 2010 bij Sylt bleek de graasdruk van de Amerikaanse ribkwal op zoöplankton beperkt, maar was er wel grote overlap in dieet met dat van de haring (Kellnreitner et al. 2012).

Uit een analyse van 50 jaar aan kwallengangsten in de NIOZ fuik op Texel (van Walraven et al. 2015) bleek dat de vangsten van de meest algemene soorten kwallen waren afgenomen in de tijd. Ook was het seizoenspatroon van de kwallen veranderd; sommige soorten arriveerden eerder in het jaar of waren langer aanwezig.

Wat wordt gemeten?

Op Texel wordt de monitoring van het voorkomen van schelpdierlarven vanaf de NIOZ steiger (Philippart et al. 2014) nog steeds uitgevoerd (K. Philippart pers. med.), evenals de monitoring van kwallengangsten in de NIOZ fuik.

Een nog lopend programma is Waddentools Swimway, waarin onderzocht wordt wat de bottlenecks zijn voor vis in de Waddenzee en hoe daar door middel van beheer iets aan gedaan kan worden. Een onderdeel daarvan richt zich op kleine pelagische vis (haring, sprat, zandspiering). Voor deze vissen vormt zoöplankton het hoofbestanddeel van het voedsel. Onderzocht wordt onder meer welk zoöplankton precies door welke vissoorten gegeten wordt. Het zoöplankton (en vis) wordt vanaf maart 2020 tot en met februari 2021 maandelijks bemonsterd op twee locaties in de Waddenzee; het Marsdiep en het Westgat. Vanaf een schip wordt op 3 m diepte 100 liter water opgepompt en het zoöplankton wordt opgevangen in een 200 µm net. De soortensamenstelling wordt geanalyseerd met behulp van DNA metabarcoding en de kwantiteit met behulp van beeldanalyse (Zooscan).

Verder wordt er voor zover wij weten op dit moment geen zoöplankton bemonsterd in de Nederlandse Waddenzee.

In de Westerschelde wordt mesozöoplankton gemonitord in het kader van het MONEOS monitoringprogramma (Bijkerk & Brochard, 2021). Hierbij wordt vanaf 2016 in de zomerperiode door RWS op vier locaties zoöplankton verzameld door filtratie van 30, 35 of 200 liter oppervlaktewater over een 50 µm zeef. De individuen in de op lugol geconserveerde monsters worden door Bureau Waardenburg tot op groepsniveau geïdentificeerd, geteld en gemeten, waarna de biomassa wordt berekend. Doel van de monitoring is inzicht te krijgen in de dichtheid en biomassa van het mesozöoplankton op hoofdgroepniveau en van de sleutelsoort *Eurytemora affinis*, voor een evaluatie van het hoofdthema Natuurlijkheid in het bijzonder het ecologisch functioneren van het watersysteem.

Ook in het Haringvliet wordt nabij de Kier zoöplankton bemonsterd, maar het gaat hier vooral om bemonsteringen in zoetwater met het doel om inzicht te krijgen in het effect van de overgang tussen zoet en zout water die met de Kier beoogd wordt. (Soesbergen, 2021).

Duitsland

In het Duitse Waddengebied wordt zoöplankton gemonitord door verschillende partijen. Om een overzicht te krijgen van Duitse monitoring zijn er gesprekken gevoerd met diverse partijen:

Op 8-12-2021 is er een overleg geweest met Dr. Justus van Beusekom van Helmholtz Zentrum Hereon die informatie gaf over de stand van zaken wat betreft zoöplanktonmonitoring in Duitsland. Hij vertelde ons wat er in Duitsland aan monitoring wordt gedaan en verwees door naar o.a. contactpersonen bij de twee deelstaten waaronder de Duitse Waddenzee valt.

Met Jeanette Göbel van LLUR (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume) is emailcontact geweest.

Op 22-12-2021 is er een overleg geweest met Dr. Lena Rönn van Flussgebietsmanagement Übergangs-/Küstengewässer NLWKN (Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz). Zij noemde ook dat men bezig is met de ontwikkeling van de eerder beschreven OSPAR indicatoren.

Bovengenoemde contactpersonen noemden verder Annika Grage en Karin Heyer van BSH (Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie), Johannes Rick van Wattenmeerstation Sylt en Maarten Boersma van AWI als relevante contactpersonen op het gebied van zoöplanktononderzoek en -monitoring. Met Maarten Boersma is in het kader van MONS Noordzee een gesprek geweest (zie Jak et al. 2022).

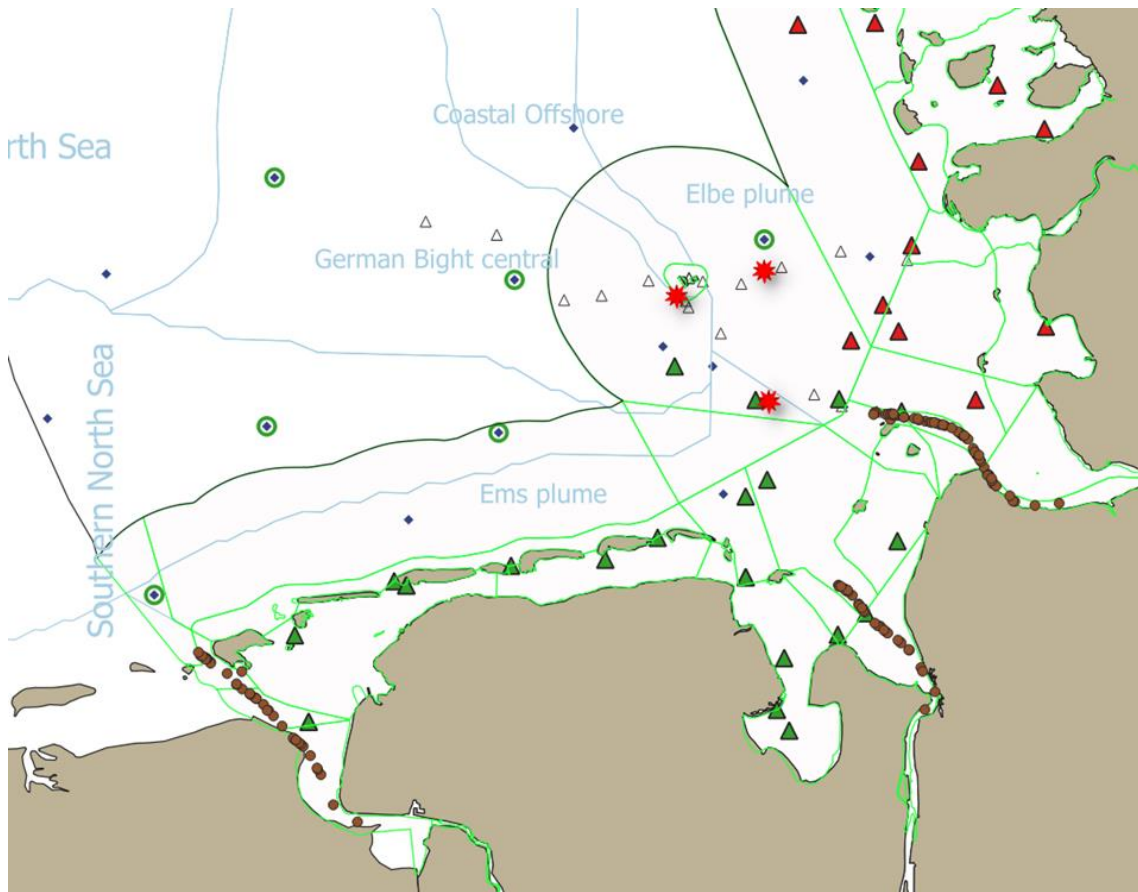
Uit de gesprekken met de Duitse collega's komt naar voren dat de zoöplanktonmonitoring in de Duitse Bocht, inclusief de Waddenzee, gefragmenteerd is en dat er door de verschillende partijen verschillende methoden worden gebruikt en verschillende bemonsteringsfrequenties worden aangehouden. Er liggen echter plannen om in 2022 de zoöplanktonmonitoring in de Duitse bocht tussen verschillende instituten en beheerders te harmoniseren. Ook vinden alle personen die wij hebben gesproken dat afstemming met de Nederlandse monitoring zeer gewenst is. Dit zou eventueel binnen TMAP kunnen.

De huidige Duitse monitoring bestaat uit:

- Bemonsteren grid:
 - Nedersaksen: Sinds 2015 bemonstering van maart – oktober op fytoplanktonstations, verticale trekken tot 10 m diepte met 150 µm WP2 net en daarnaast trekken met een 500 µm net.
 - Schleswig-Holstein: Vanaf 2017, oblique (v-vormige) trekken met 150 µm en 500 µm netten.
- Vaste monsterpunten:
 - AWI Sylt: Twee-wekelijkse bemonstering; 35 liter oppervlaktewater wordt over 76 µm gaas gefilterd.
 - Bij Norderney wordt elke maand bemonsterd met een 150 µm WP2 net.

Verder is er een pilot geweest met monsternamen voor detectie van invasieve exoten met DNA metabarcoding op een transect van Wilhelmshaven naar de Doggersbank (Uhlir et al., 2021).

De bemonsterde grids zijn te vinden in onderstaande figuur, het aantal monsterpunten is vrij groot. Opvallend is dat er ook een monsterpunt in de Eemsmonding ligt, voor de Eemshaven.



Figuur 6. Kaart met overzicht van monsterpunten van Duitse partijen. Meest relevant zijn hier de rode driehoeken (meetpunten LLUR) en groene driehoeken (meetpunten NLWKN, verkregen via Lena Rönn).

Denemarken

Over de monitoring in de Deense Waddenzee kon geen informatie worden gevonden. Voor Denemarken kan er nog contact worden opgenomen met Jörg Dutz van Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemuende (IOW).

Wat zou gemeten moeten worden?

Hierboven is al beschreven dat monitoring in staat moet zijn om trends vast te stellen in:

- Soortensamenstelling, aanwezigheid exoten
- Biomassa, abundantie en grootteverdeling
- Seizoensdynamiek

Eventuele trends kunnen een gevolg zijn van factoren als klimaatveranderingen, veranderingen in de trofische status van het systeem als geheel, vormen van gebruik die biomassa aan het systeem onttrekken (bv. visserij) of doordat voedselstromen in het voedselweb veranderen (bv. als gevolg van aquacultuur, de introductie van invasieve soorten, toe- of afname van andere componenten van het ecosysteem).

Concrete indicatoren voor bovengenoemde parameters voor zoöplankton zijn er niet binnen de KRW. Echter zijn er, zoals hierboven beschreven binnen OSPAR wel indicatoren in ontwikkeling, en wordt er door Duitsland zoöplankton bemonsterd in het kader van een aantal descriptoren van de daar geldende KRMS. De aanbeveling is daarom om bij de keuze van wat er gemeten wordt uit te gaan van deze KRMS descriptoren:

- Descriptor 1: Biodiversiteit
- Descriptor 2: Niet-inheemse soorten
- Descriptor 4: Mariene voedselwebben
- Descriptor 5: Eutrofiëring

Verder is van belang dat de gekozen monitoring afgestemd wordt met die van de overige Waddenzeelands en met de monitoring van zoöplankton op de nabijgelegen Noordzee en het Deltagebied (Westerschelde). In het Verenigd Koninkrijk zijn tests gedaan naar de geschiktheid van de indicator voor bepaling van de mogelijke indicator Copepod Mean Size and Total Abundance (CMSTA), te gebruiken binnen KRM en OSPAR (Pitois et al. 2021). Het idee van deze indicator is dat de gemiddelde copepodengrootte een indicator zou geven van de staat van het voedselweb en de mate van eutrofiëring. Bij toenemende eutrofiëring gaat de gemiddelde grootte van het zoöplankton omlaag. Een hoge gemiddelde grootte van zoöplankton zou zorgen voor efficiëntere transfer van energie naar hogere trofische niveaus omdat pelagische vis hoofdzakelijk op groter zoöplankton foerageert. Deze indicator lijkt ons ook veelbelovend voor de Waddenzee.

Beschikbare monsters

Transect westelijke Waddenzee 2012

In de westelijke Waddenzee is tijdens een pelagische vis bemonstering in 2012 maandelijks gemonsterd van April tot en met Oktober op een transect van het Marsdiep naar het Amsteldiep met NIOZ schip *Navicula*, met een 200 micrometer WP2 standaard net. Deze monsters zijn opgeslagen bij NIOZ en beschikbaar voor eventuele analyse.

Waddenzee 2021-2022

Door Wageningen Marine Research is in de periode maart 2021-februari 2022 op 2 locaties in de Waddenzee (westelijk, oostelijk) maandelijks zoöplankton verzameld in het kader van het Swimway project. Deze monsters zijn geanalyseerd op DNA en met Zooscan gereed gemaakt voor beeldanalyse. De monsters voor Zooscan zijn bij WMR opgeslagen en zouden ook nog microscopisch geanalyseerd kunnen worden.

Fase 3 Het hoe

Hoe meten

Wat meten

Er is geen monitoringprogramma waarbinnen het zoöplankton in het Nederlandse deel van de Waddenzee op een gestructureerd manier wordt gemeten. Dit biedt ruimte om behalve de klassieke methode (netmonsters microscopisch analyseren) ook de toepasbaarheid van innovatieve methoden te overwegen.

In het kader van MONS (Monitoring-Onderzoek-Natuurherstel-Soortbescherming) is recent een voorstel voor monitoring van zoöplankton in de Noordzee opgesteld (Jak et al., 2022). Hierin is een evaluatie opgesteld van verschillende technieken die toegepast kunnen worden bij de monitoring van zoöplankton. De aanbevelingen gedaan in het advies voor MONS voor wat betreft de optimale techniek per toepassing of indicator zijn grotendeels ook van toepassing voor de Waddenzee.

Netbemonstering

Conventionele netbemonstering zal, zeker in het begin van het programma, ook nog uitgevoerd moeten worden om de resultaten van de innovatieve technieken mee te vergelijken en voor vergelijking van gegevens met die van Duitsland en Denemarken. Voor dat laatste bevelen wij aan om voor methoden en maaswijdte het voorbeeld van de Duitse monitoring te volgen, 150 µm. (Dat wijkt af van de standaard van 200 µm van het WP2 net dat in de Noordzee veelal wordt gebruikt, zoals in België en het Verenigd Koninkrijk, zie Jak et al., 2022). Deze maaswijdte van 150 µm wordt door NIOZ ook gebruikt voor zoöplanktonbemonstering in Grevelingenmeer en Oosterschelde. Voor de analyse van zoöplanktonmonsters zijn internationaal een aantal gespecialiseerde laboratoria actief. Wij bevelen aan om ook bij de keuze van laboratoria te kijken of hier een combinatie mogelijk is met Duitsland/Denemarken. Netmonsters kunnen worden genomen door een net verticaal of horizontaal door de waterkolom te trekken, of door het zoöplankton uit opgepompt water in een net te verzamelen. Voor zoöplanktonbemonstering is een nieuwe NEN norm in ontwikkeling: NEN 6517 tellen, determineren en biovolumebepaling van zoöplankton (M. Soesbergen pers. med.).

Met netbemonstering is zowel een hoge taxonomische resolutie mogelijk, als schattingen van lengteverdelingen en biomassa. Het grootste nadeel van netbemonstering is de arbeidsintensieve, specialistische analyse, waardoor de kosten per monster erg hoog zijn. Daarom is deze techniek minder geschikt indien er een hoge resolutie nodig is in ruimte en/of tijd. Ook netmonsters kunnen met beeldanalyse worden geanalyseerd, doormiddel van de ZooScan, een flatbed scanner waar een planktonmonster in gegoten kan worden, wat vervolgens wordt gescand, waarna het plankton automatisch kan worden geclassificeerd. Nadeel hiervan is de lage taxonomische resolutie, vergelijkbaar met *in situ* plankton imaging. De organismen op ZooScan beelden kunnen ook worden opgemeten en de ZooScan kan daarom ook gebruikt worden voor bepalen van parameters als grootteverdeling en biomassa met vergelijkbare resultaten als directe metingen (Cornils et al. 2022).

DNA metabarcoding

Netmonsters kunnen ook gebruikt worden voor DNA metabarcoding om de soortensamenstelling te achterhalen. In tegenstelling tot gebruik voor microscopische analyse dienen de monsters echter niet in formaline maar in ethanol geconserveerd te worden, zodat het DNA niet beschadigd wordt. DNA metabarcoding is geschikt voor de monitoring ten behoeve van KRM descriptor 1 (biodiversiteit) en 2 (niet-inheemse soorten). Met deze methode kan het aanwezige plankton in een monster tot de hoogste taxonomische resolutie worden gedetermineerd en kunnen ook organismen op soortniveau worden gedetecteerd die met morfologische identificatie niet of lastig te onderscheiden zijn zoals juveniele stadia van copepoden en larven van benthos. Met DNA metabarcoding kunnen ook larven van eventuele invasieve benthos-soorten worden gedetecteerd van soorten van moeilijk te

bemonsteren habitats zoals hard substraat en riffen. DNA metabarcoding is minder geschikt voor kwantitatieve bemonstering en/of biomassaschatting, alhoewel de techniek op dit vlak volop in ontwikkeling is.

Er zijn nationaal en internationaal ontwikkelingen in de toepassing van DNA metabarcoding van zoöplanktongemeenschappen. Rijkswaterstaat werkt samen met Naturalis aan de opbouw van een soortenlijst van organismen in de Noordzee in het kader van het ARISE project. Voor zoöplankton zijn tot op heden nog niet veel soorten gesequenced (pers. com. K. Beentjes, Naturalis). De focus ligt vooral op macrobenthos, mede in het kader van het EU Interreg BOLD project. Voor het zoöplankton van zoet water zijn ontwikkelingen bij het NIOO en STOWA.

Momenteel loopt bij WMR een onderzoeksproject (2019-2022) waarbij zoöplanktonmonsters uit de Waddenzee op DNA geanalyseerd worden. Resultaten hiervan komen eind 2022 beschikbaar.

Ook in Duitsland lopen pilots met DNA metabarcoding zoöplanktonmonitoring (Uhlir et al. 2021 en Lena Rönn pers. Comm).

Plankton imaging

Plankton imaging is een techniek waarbij beelden worden gemaakt van een klein volume aan water. De deeltjes op de beelden worden uitgeknipt en kunnen door middel van computeralgoritmen (machine learning) worden geclassificeerd. Doordat per beeld een vast volume aan water wordt gefotografeerd kan met deze techniek de dichtheid van deeltjes en organismen worden geschat. Plankton imaging is erg goed schaalbaar en biedt de mogelijkheid om kostenefficiënt te monstereen met zeer hoge resolutie in ruimte en/of tijd. Plankton imaging kan *in situ* worden toegepast, met een apparaat dat achter een schip wordt gesleept, maar ook aan boord van een schip, waarbij water wordt opgepompt en door een flow cell stroomt waar beelden van het doorstromende water worden gemaakt. De op de beelden aanwezige organismen kunnen ook worden opgemeten, waardoor plankton imaging ook bruikbaar is voor het verzamelen van informatie over lengteverdeling en biomassa. Plankton imaging kan daarom potentieel worden gebruikt voor KRM descriptor 4 (voedselweb) en 5 (eutrofiëring). In Britse wateren wordt plankton imaging al gebruikt voor bepaling van de mogelijke KRM/OSPAR indicator Copepod Mean Size and Total Abundance (CMSTA) (Pitois et al. 2021).

In de Waddenzee zal de troebelheid van het water de inzet van een *in situ* gesleept plankton imaging apparaat lastig maken zeker in gebieden als de Eems-Dollard. Een doorstroomsysteem behoort wellicht wel tot de mogelijkheden. De voor de CMSTA gebruikte Plankton Imager schijnt ook in troebel water gebruikt te kunnen worden (Phil Culverhouse pers. comm.). In het MONS Noordzee advies werd aanbevolen een dergelijk systeem te testen vanaf een vast punt, zoals de NIOZ steiger op Texel. Aangezien dit op de grens tussen Wadden- en Noordzee ligt, is dit voor de Waddenzeemonitoring ook relevant.

Indicatoren

Zeer recent is een overzicht gepubliceerd van indicatoren die voor zoöplankton ontwikkeld zijn en toepasbaar zijn voor de KRM (Ndah et al., 2022). Een belangrijke aanbeveling hier is dat indicatoren ontwikkeld voor een bepaald gebied niet altijd van toepassing zijn op een ander gebied.

Door Ndah et al (2022) zijn indices voor zoöplankton geïnventariseerd in relatie tot bovenstaande descriptor 4 en 5. Twee categorieën van indices zijn daarbij te onderscheiden. De eerste categorie wordt gevormd door biodiversiteitsindices, die een beeld geven van de structuur en trofische efficiëntie van het pelagische voedselweb. Hieronder vallen indicatoren als de eerder behandelde MSTs en plankton lifeform indices. De tweede categorie wordt gevormd door stressindicatoren, welke een beeld geven van de effecten van eutrofiëring, verontreinigingen, klimaatveranderingen en de dynamiek van watermassa's. De evaluatie van Ndah et al. (2022) is uitgevoerd voor de Oostzee en noord Atlantische wateren en onderzocht kan worden of deze ook voor de Waddenzee toepasbaar zijn.

Biodiversiteitsindices

Een algemeen gebruikte biodiversiteitsindex die breed wordt toegepast in de ecologie is de Shannon index, die gebruik maakt van gegevens over samenstelling en dichtheden. Deze index geeft inzicht in de soortenrijkdom.

Daarnaast kan ook inzicht in de biodiversiteit van zoöplankton worden verkregen door de soorten in rangorde van dichtheid te sorteren.

Ook kan een indicator worden toegepast die ontwikkeld is voor benthos, de Benthic Quality Index (BQI), die gebruik maakt van een combinatie van gegevens over soortenaantal (rijkdom), dichtheid en autecologische soorteninformatie (gevoeligheidswaarden). Voor toepassing is informatie nodig over taxonomie, identificatie op soortniveau, soorttelling, en een gevoeligheidsclassificatie van soorten voor verstoringen zoals vervuiling. Voor toepassing voor zoöplankton is nog wel veel ontwikkeling nodig, maar een eerste stap zou gezet kunnen worden door gebruik te maken van de larven van benthossoorten die al geclassificeerd zijn.

Verder zijn er indicatoren die gebruik maken van de biomassa of dichtheid van bepaalde soorten, soortgroepen of functionele groepen en de ratio daartussen, bijvoorbeeld het aandeel van copepoden in het totaal aan zoöplankton.

Graasdruk

Op basis van informatie over de voedselopname van afzonderlijke soorten kan in principe de graasdruk van het zoöplankton op het fytoplankton worden berekend. Er is dan informatie nodig over de specifieke graascapaciteit in relatie tot de biomassa van soorten. Zoals hierboven beschreven is door van Walraven et al. (2017) op deze wijze de graasdruk van de Amerikaanse ribkwal op copepoden bepaald.

In de Oostzee wordt de "De Zooplankton Mean Size and Total Stock" (MSTS) indicator gebruikt binnen HELCOM. Uitgangspunt bij deze indicator is dat een hoge gemiddelde grootte in combinatie met een hoge totale biomassa gerelateerd zou zijn aan zowel een hoge graasdruk als een goede voedselbeschikbaarheid voor pelagische vis(larven) (Gorokhova et al., 2016; HELCOM 2018). Voor zowel gemiddelde grootte als totale biomassa zijn drempelwaarden gedefinieerd. In de Oostzee was gemiddeld zooplanktongewicht gecorreleerd met gemiddeld gewicht van haring (Simm et al 2016). Of de uitgangspunten van de MSTS ook van toepassing zijn op de Waddenzee zou uitgezocht moeten worden aangezien zowel grootteverdeling als biomassa door veel verschillende ecologische stressoren beïnvloed kunnen worden (Ndah et al. 2022).

De Zooplankton Mean Size (Gemiddelde grootte) and Total Stock (Totale biomassa) (MSTS) indicator zoals gebruikt in de Oostzee binnen HELCOM (overgenomen en vertaald uit HELCOM 2018).

Hoe vaak meten

Net als bij Noordzee MONS bevelen we aan om op een klein aantal punten met hoge frequentie te meten; wekelijkse of tweewekelijkse bemonstering vergelijkbaar met de monitoring op Sylt, waarbij de monsters met zowel DNA metabarcoding als ZooScan worden geanalyseerd. In aanvulling hierop kan getest worden met continuummonitoring door middel van Plankton Imaging.

Hiernaast zouden er voor de monitoring van biodiversiteit en aanwezigheid van exoten (KRM descriptor 1 en 2) op een aantal punten verspreid over de Waddenzee monsters genomen kunnen worden. Dit zou idealiter maandelijks moeten gebeuren, maar minimaal tijdens de voorjaars plankton bloei (maart – juni) en najaarsbloei (september). Voor de keuze van de monsterpunten is het belangrijk dat er gestratificeerd wordt op saliniteit (invloed van Noordzeewater en zoet water) en troebelheid zodat de range van waarden goed gedekt wordt.

Fase 4 Het advies

Internationaal oppakken

Er vindt op het moment geen structurele monitoring plaats in de Waddenzee, niet in Nederland en ook niet in Duitsland (Sleeswijk-Holstein, Nedersaksen) en Denemarken. Aangezien ook in die landen interesse bestaat om deze monitoring van de grond te krijgen is het aan te bevelen om een verdere ontwikkeling in trilateraal verband op te pakken, zoals via TMAP (Trilateral Monitoring and Assessment Programme).

Het zoöplankton is een belangrijk onderdeel in de onderwaternatuur van de Waddenzee en draagt bij aan het realiseren van gestelde doelen voor hogere trofische niveaus (vis en visetende vogels) en de kwaliteit van habitattypen (vanwege de planktonische larven van benthosoorten en de betekenis voor de kinderkamer/opgroei functie). Daarnaast heeft het zoöplankton als begrazer van fytoplankton ook invloed op de beoordeling van de eutrofiëring van de Waddenzee.

Wat en hoe meten

In de eerdere fasen is beschreven dat de gewenste informatie tijdseries betreft die inzicht geven in de trends in:

- biodiversiteit, inclusief invasieve soorten
- de rol in het voedselweb als bijdrage aan hogere trofische niveaus (vissen en vis-etende vogels)
- de seizoensontwikkeling in biomassa en soortensamenstelling, voor holoplankton en meroplankton (larven van bodemdieren).

Trends kunnen inzicht geven in veranderingen die optreden als resultaat van factoren als klimaatverandering, eutrofiëring en introductie van invasieve soorten en de gevolgen van veranderingen in het gebruik van de Waddenzee, zoals mosselkweek, aquacultuur (MZI's) en baggerwerkzaamheden.

Biodiversiteit kan het meest nauwkeurig bepaald worden aan de hand van microscopische determinatie van netmonsters en DNA barcoding van netmonsters. Netmonsters kunnen worden verzameld door netten verticaal of horizontaal vanaf een schip door het water te trekken, of door vanaf een schip water op te pompen en met een net te filteren.

Voor de rol in het voedselweb is met name inzicht nodig in de dichtheid en grootteverdeling, waarbij ook de dynamiek in het seizoen van belang is. Informatie kan het meest efficiënt worden verkregen uit plankton imaging (beeld analyse), waarbij doorstroomsystemen kunnen worden gebruikt of scans kunnen worden gemaakt van (net)monsters. Indicatoren voor de voedselbeschikbaarheid voor vis, gericht op de grootte-verdeling van het zoöplankton, zijn ontwikkeld in OSPAR-kader voor de Kader Richtlijn Marien.

Waar en wanneer meten

De samenstelling van het zoöplankton is gekenmerkt door een grote ruimtelijke en temporele variatie. Vanuit de zeegaten wordt water met (zoö)plankton vanuit de Noordzee aangevoerd en bevat vooral holoplankton (o.a. copepoden). Deze veelal fytoplankton-grazende soorten bereiken vooral in het voorjaar hoge dichtheden.

In de ondiepere delen van de Waddenzee kan het zoöplankton met name in het zomerhalfjaar gedomineerd worden door larven van verschillende groepen van bodemdieren.

Voor inzicht in de rol van het zoöplankton in het voedselweb en het ontwikkelen en valideren van indicatoren kan in de uitvoering van de monitoring het best aansluiting worden gezocht bij (bestaande) monitoring in relatie tot eutrofiëring (gericht op het meten van abiotische factoren en fytoplankton) en monitoring van pelagische vis als predator van het zoöplankton. Voor pelagische vis in de Waddenzee bestaat momenteel echter geen gericht monitoringprogramma, alleen ankerkuil bemonstering in Eems-Dollard. Voor deze groep zal ook een analysedocument opgesteld gaan worden.

Voor de monitoring van benthoslarven zou gebruik kunnen worden gemaakt van vaste stations langs de kust, zoals op Texel. Hierdoor is hoog-frequente monitoring relatief eenvoudig realiseerbaar (zonder inzet van schepen) en kan een beeld worden verkregen van de seizoensdynamiek en de variatie daarin over de langere termijn. Nabij Sylt (Duitsland) wordt een dergelijke hoogfrequente monitoring al decennia lang uitgevoerd, maar is een achterstand in de analyse van monsters.

Door wie

Op dit moment is er nog nauwelijks taxonomische kennis beschikbaar in Nederland voor het uitvoeren van microscopische determinatie van zoöplankton. Deze kennis kan weer opgebouwd worden in Nederland, of er kan gebruik worden gemaakt van expertise in het buitenland, zoals in Polen bij het National Marine Fisheries Research Institute. Voor de interpretatie- en kwaliteitscontrole van de monitoringsgegevens is taxonomische kennis ook belangrijk.

DNA metabarcoding voor zoöplankton is recent ingezet bij Wageningen Marine Research, Naturalis en ook in andere landen (o.a. Duitsland en België). Op korte termijn (binnen een jaar) wordt verwacht dat protocollen in de praktijk ingezet kunnen worden voor de analyse van monsters. Een probleem is dat (nog) niet alle soorten in datasets aanwezig zijn om met DNA te kunnen identificeren. Voor uitbreiding van de datasets is taxonomische kennis nodig, zodat DNA materiaal van ontbrekende soorten verzameld kan worden en DNA sequenties kunnen worden opgeslagen. Hiervoor is het nodig dat lokaal (d.w.z. in Nederland) taxonomische kennis aanwezig is aangezien vers materiaal van een bepaalde soort moet worden geïdentificeerd/verzameld, vervolgens in alcohol geconserveerd moet worden en ingevroren bewaard moet worden voor latere DNA analyse. Naturalis e.a. zijn binnen het project ARISE bezig met het opzetten van infrastructuur met als doel elk in Nederland voorkomend meercellig organisme te kunnen identificeren.

Voor Plankton imaging is bij het NIOZ kennis ontwikkeld voor toepassing van in situ apparaten. Voor de Waddenzee zou, vanwege de hoge troebelheid, beter gebruik kunnen worden gemaakt van een doorstroomsysteem met een Plankton Imager. In Nederland moet daar nog ervaring mee worden opgedaan, in het Verenigd Koninkrijk wordt deze techniek al ingezet. Mogelijk dat in Nederland een verdere ontwikkeling zal plaatsvinden in het kader van MONS programma voor de Noordzee. Bij Wageningen Marine Research is ervaring opgedaan met de Zooscan, waarbij (net)monsters met beeldanalyse kunnen worden verwerkt. Deze methodiek wordt in België al ingezet voor monitoring van zoöplankton in het Belgische deel van de Noordzee (Hablützel et al. 2022).

Vervolgstappen

- Trilateraal afstemmen van verdere ontwikkeling van een monitoringprogramma rond om zoöplankton. Met name in Duitsland worden nu ook al acties ondernomen en is al ervaring opgedaan met bemonsteren in de Waddenzee.
- Pilot opzetten met inzet van innovatieve technieken, afgestemd met het aankomende MONS programma, waaronder in het Marsdiep en in samenwerking met Duitsland in de Eems-Dollard. Zo mogelijk aansluiten bij de monitoring van fytoplankton en (pelagische) vis teneinde een integraal beeld van het pelagische voedselweb te krijgen.
- Verder operationaliseren van innovatieve technieken.
- Uitbreiden metabarcoding dataset van zoöplankton, benthossoorten (larven) en (potentiële) invasieve soorten.

Kwaliteitsborging

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

Literatuur

- Alvarez-Fernandez, S., Lindeboom, H., Meesters, E., 2012. Temporal changes in plankton of the North Sea: community shifts and environmental drivers. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 462, 21–38.
- Baretta J.W. & J.F.P Malschaert, 1988. Distribution and abundance of the zooplankton of the Ems estuary (North Sea). *Neth. J. Sea Res.* 22:69-81.
- Bentley, M.G., 2011. The Global Spread of the Chinese Mitten Crab *Eriocheir sinensis*, in: Galil, B.S., Clark, P.F., Carlton, J.T. (Eds.), *In the Wrong Place - Alien Marine Crustaceans: Distribution, Biology and Impacts, Invading Nature - Springer Series in Invasion Ecology*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 107–127. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0591-3_3
- Bijker R., Brochard, C., 2021. Mesozoöplankton in de Westerschelde, 2020. <OEOS Monitoringprogramma. Bureau Waardenburg Rapportnr 21-191. Bureau Waardenburg, Culemborg. 31 pp.
- Bolle, L.J., Dickey-Collas, M., van Beek, J.K., Erftemeijer, P.L., Witte, J.I., van der Veer, H.W., Rijnsdorp, A.D., 2009. Variability in transport of fish eggs and larvae. III. Effects of hydrodynamics and larval behaviour on recruitment in plaice. *Marine Ecology Progress Series* 390, 195–211.
- Conway, D.V.P., 2012. Marine zooplankton of southern Britain. Part 1. A.W.G. John (ed.). Occasional Publications. Marine Biological Association of the United Kingdom. No. 25, Plymouth, United Kingdom, 138 pp.
- Cornils, A., Wend-Heckmann, B., 2015. First report of the planktonic copepod *Oithona davisae* in the northern Wadden Sea (North Sea): Evidence for recent invasion? *Helgoland Marine Research* 69, 243–248.
- Cornils, A., Thomisch, K., Hase, J., Hildebrandt, N., Auel, H., Niehoff, B., 2022. Testing the usefulness of optical data for zooplankton long-term monitoring: Taxonomic composition, abundance, biomass, and size spectra from ZooScan image analysis. *Limnology and Oceanography: Methods* n/a. <https://doi.org/10.1002/lom3.10495>
- Couperus, B., Jak, R.G., Flores, H., Gastauer, S., Fasschler, S., 2016. Towards monitoring zooplankton and small pelagic fish in the Wadden Sea, IMARES Wageningen UR, Report number C094/13. <https://research.wur.nl/en/publications/towards-monitoring-zo%C3%B6plankton-and-small-pelagic-fish-in-the-wadd>
- De Wolf, P., 1989. The price of patchiness. *Helgoländer Meeresunters* 43, 263–273.
- EU (2014) EU Verordening (EU) Nr. 1143/2014 van het Europees Parlement en de Raad van 22 oktober 2014 betreffende de preventie en beheersing van de introductie en verspreiding van invasieve uitheemse soorten, 2014, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1143&from=RO>.
- Faasse, M.A., Bayha, K.M., 2006. The ctenophore *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz 1865 in coastal waters of the Netherlands: an unrecognized invasion? *Aquat. Invasions* 1, 270–277.
- Fransz, H.G., van Arkel, W.G., 1983. Fluctuation and succession of common pelagic copepod species in the Dutch Wadden Sea. *Oceanologica Acta*, Special issue.
- Fransz, H.G., Gonzalez, S.R., Cadée, G.C., Hansen, F.C., 1992. Long-term change of *Temora longicornis* (copepoda, calanoida) abundance in a Dutch tidal inlet (Marsdiep) in relation to eutrophication. *Neth. J. Sea Res.* 30, 23–32.
- George M.R. 1996. Occurrence of meroplanktonic larvae, copepod nauplii and other mesozooplankton during winter months in the German Wadden Sea. *ICES C.M.* 1996/L:14.
- Gittenberger, A., TPS, R.L., Rensing, M., Gittenberger, E., Meyling, A.G., 2008. Risicoanalyse van de Amerikaanse langlob-ribkwal *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865.
- Hablützel, P., Rombouts, I., Dillen, N., Lagaisse, R., Mortelmans, J., Ollevier, A., Perneel, M., Deneudt, K., 2022. Exploring New Technologies for Plankton Observations and Monitoring of Ocean Health. *Oceanog* 34, 20–25. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2021.supplement.02-09>
- HELCOM/OSPAR (2013) Joint harmonised procedure for the contracting parties of HELCOM and OSPAR on the granting of exemptions under the international convention for the control and management of ship's ballast water and sediments, Regulation A-4. Adopted as OSPAR Agreement 2013-09 and by HELCOM Ministerial Meeting Copenhagen 3 October 2013

-
- HELCOM, 2018. HELCOM core indicator report 2018 - Zooplankton mean size and total stock (MSTS).
- IMO (2010) International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (BWM).
[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships'-Ballast-Water-and-Sediments-\(BWM\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships'-Ballast-Water-and-Sediments-(BWM).aspx).
- IMO (2011) Guidelines for the control and management of ships' biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species.
- Jak R.G., N. Dankers & P. Martens, 1999. Zoöplankton. In: Quality Status Report Waddenzee 1999. Rapport RIKZ/2000.08-2000.
- Jak, R., van Walraven, L., van Oevelen, D., 2022. Voorstel voor monitoring van zoöplankton in de Noordzee. Monitoringplan zoöplankton MONS ID14. Wageningen Marine Research report C014/22. <https://www.noordzeeloket.nl/publish/pages/199254/id14-monitoringplan-zooplankton.pdf>
- Jansen, H., Kamermans, P., Glorius, S., van Asch, M., 2019. Draagkracht van de Oosterschelde en westelijke Waddenzee voor schelpdieren Evaluatie van veranderingen in de voedselcondities en schelpdierbestanden in relatie tot de mosselkweek in de periode 1990-2016. Wageningen University & Research rapport 096/19.
- Kuipers, B.R., Gaedke, U., Enserink, L., Witte, H., 1990. Effect of ctenophore predation on mesozooplankton during a spring outburst of *Pleurobrachia-pileus*. Neth. J. Sea Res. 26, 111–124.
- Noges, T., Blank, K., Lauridsen, T. L., Søndergaard, M., Sayer, C., Laugaste, R., Johansson, L. S., Bjerring R., Amsinck, S.L., 2011. Zooplankton as Indicators in Lakes: A Scientific-Based Plea for Including Zooplankton in the Ecological Quality Assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). Hydrobiologia 676:279-297.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10750-011-0831-0>
- Lehane, C., Davenport J., 2002. A 15-month study of zooplankton ingestion by farmed mussels (*Mytilus edulis*) in Banatry Bay, Southwest Ireland. Eust. Coast. Shelf Sci. 145:101-107.
<https://doi.org/10.1007/200227-003-1290-6>
- Kellnreitner, F., Pockberger, M., Asmus, R., Asmus, H., 2013. Feeding interactions between the introduced ctenophore *Mnemiopsis leidyi* and juvenile herring *Clupea harengus* in the Wadden Sea. Biol. Invasions 15, 871–884.
- Kuipers, B.R., Gaedke, U., Enserink, L., Witte, H., 1990. Effect of ctenophore predation on mesozooplankton during a spring outburst of *Pleurobrachia-pileus*. Neth. J. Sea Res. 26, 111–124.
- Lehane, C., Davenport J., 2002. A 15-month study of zooplankton ingestion by farmed mussels (*Mytilus edulis*) in Banatry Bay, Southwest Ireland. Eust. Coast. Shelf Sci. 145:101-107.
<https://doi.org/10.1007/200227-003-1290-6>
- Loebl, M., Van Beusekom, J.E., 2008. Seasonality of microzooplankton grazing in the northern Wadden Sea. Journal of Sea Research 59, 203–216.
- Martens P. 1995. Mesozooplankton in the northern Wadden Sea of Sylt: Seasonal distribution and environmental parameters. Helgolander Meeresunters. 49: 553-562.
- Martens, P., van Beusekom, J.E., 2008. Zooplankton response to a warmer northern Wadden Sea. Helgol. Mar. Res. 62, 67–75. doi: 10.1007/s10152-0070097-0.
- Ndah, A.B., Meunier, C.L., Kirstein, I.V., Göbel, J., Rönn, L., Boersma M., 2022. A systematic study of zooplankton-based indices of marine ecological change and water quality: Application to the European marine strategy framework Directive (MSFD). Ecological Indicators 135: 1-15.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108587>
- NVWA (2019) Unielijst. <https://www.nvwa.nl/onderwerpen/invasieve-exoten/unielijst-invasieve-exoten>
- Philippart, C.J., Van Bleijswijk, J.D., Kromkamp, J.C., Zuur, A.F., Herman, P.M., 2014. Reproductive phenology of coastal marine bivalves in a seasonal environment. Journal of Plankton Research fb073.
- Philippart, C.J.M., Mekkes, L., Buschbaum, C., Wegner, K.M., Laursen, K., 2017. Climate ecosystems. In: Wadden Quality Status Report 2017. Eds. Kloepper S. et al., Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.
- Pitois, Sophie G., Carolyn A. Graves, Hayden Close, Christopher Lynam, James Scott, Julian Tilbury, Jeroen van der Kooij, and Phil Culverhouse. 'A First Approach to Build and Test the Copepod Mean Size and Total Abundance (CMSTA) Ecological Indicator Using in-Situ Size Measurements from the Plankton Imager (PI)'. *Ecological Indicators* 123 (2021): 107307.

-
- Purcell, J.E., 2012. Jellyfish and ctenophore blooms coincide with human proliferations and environmental perturbations. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 4, 209–235.
- Simm, M., Kotta, J., Jänes, H., 2014. Mean weight and total biomass of zooplankton as a core indicator of biodiversity of the Marine Strategy Framework Directive: an example of the Gulf of Riga. *Estonian Journal of Ecology* 63.
- Soesbergen M., 2021. Mesozoöplankton in het Haringvliet 2019-2020 - monitoring van De Kier. Rijkswaterstaat CIV Hydrobiologisch Laboratorium Rapportnr BM 21.02.
- Uhlir, C., Zabrocki, M., Khodami, S., Peters, J., Renz, J., Martinez Arbizu, P. 2021. The use of molecular tools for monitoring non-indigenous species in coastal waters. In: Symposium Report of 15th International Scientific Wadden Sea Symposium. https://www.waddensea-worldheritage.org/sites/default/files/2022_ISWSS15_report.pdf
- van Walraven, L., Langenberg, V.T., Van der Veer, H.W., 2013. Seasonal occurrence of the invasive ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in the western Dutch Wadden Sea. *J. Sea Res.* 82, 86–92.
- Van Walraven, L., Langenberg, V.T., Dapper, R., Witte, J.I.J., Zuur, A.F., Van der Veer, H.W., 2015. Long-term patterns in 50 years of scyphomedusae catches in the western Dutch Wadden Sea in relation to climate change and eutrophication. *J. Plankton Res.* 37, 151–167.
- van Walraven, L., Daan, R., Langenberg, V.T., van der Veer, H.W., 2017. Species composition and predation pressure of the gelatinous zooplankton community in the western Dutch Wadden Sea before and after the invasion of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865. *Aquatic Invasions* 12, 5–21.
- van Walraven, L., Jager, Z., 2020. All Creatures Great and Small-Environmental Impact Study of Blue Energy, RED pilot Breezanddijk. Deliverables 2.4 & 2.5 of project OOB (Onderzoek Omgevingseffecten Blue Energy). NIOZ-rapport.
- Van der Veer, H.W., Oorthuysen, W., 1985. Abundance, growth and food demand of the scyphomedusa *Aurelia aurita* in the western Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 19, 38–44.
- Van der Veer, H.W., Oorthuysen, W., 1985. Abundance, growth and food demand of the scyphomedusa *Aurelia aurita* in the western Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 19, 38–44.
- Verwey, J., 1942. Die Periodizität im Auftreten und die aktiven und passiven Bewegungen der Quallen. *Arch. Néerl. Zool.* 6, 363–468.
- van der Veer, H.W., Bolle, L.J., Geffen, A.J., Witte, J.I., 2009. Variability in transport of fish eggs and larvae. IV. Interannual variability in larval stage duration of immigrating plaice in the Dutch Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series* 390, 213–223.
- van der Veer, H.W., Geffen, A.J., Witte, J.I., 2000. Exceptionally strong year classes in plaice *Pleuronectes platessa*: are they generated during the pelagic stage only, or also in the juvenile stage? *Marine Ecology Progress Series* 199, 255–262.
- WG-AS & Gittenberger, A. 2019. Trilateral Wadden Sea Management and Action Plan for Alien Species. Eds. Busch, J. A., Lüerßen, G., de Jong, F. Common Wadden Sea Secretariat (CWSS), Wilhelmshaven, Germany.
- Wiltshire, K.H., Kraberg, A., Bartsch, I., Boersma, M., Franke, H.-D., Freund, J., Gebühr, C., Gerdt, G., Stockmann, K., Wichels, A., 2010. Helgoland roads, North Sea: 45 years of change. *Estuaries and Coasts* 33, 295–310.

Verantwoording

Rapport C030/22

Projectnummer: 431.51001.88

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

Akkoord: Ingrid Y.M. Tulp
Onderzoeker

Handtekening:
Datum: 14-6-2022



Akkoord: Jakob Asjes
Manager Integratie

Handtekening:
Datum: 14-6-2022



Bijlage 1 Workshops en commentaren

Fase 1 en 2

Workshop deelnemers 26 januari 15:00-17:00 (Teams meeting):

Naam	Organisatie
Raven Cammenga	RWS Noord-Nederland
Rick Hoeksema	RWS Noord-Nederland
Anouk Goedknecht	RWS Noord-Nederland
Louis Peperzak	NIOZ Texel
Dick van Oevelen	NIOZ Yerseke
Lodewijk van Walraven	NIOZ Yerseke
Ingrid Tulp	WMR IJmuiden
Fokje Schaafsma	WMR Den Helder
Robbert Jak	WMR Den Helder

Commentaren op Fase 1 en 2 Concept rapportage:

Naam	Organisatie
Anouk Goedknecht	RWS Noord-Nederland
Lies van Nieuwerburgh	RWS Noord-Nederland
Louis Peperzak	NIOZ Texel

Fase 3 en 4

Workshop deelnemers 24 mei 9:00-10:30 (Teams meeting):

Naam	Organisatie
Raven Cammenga	RWS Noord-Nederland
Lies van Nieuwerburgh	RWS Noord-Nederland
Gerrit Vossebelt	RWS WVL (Water Verkeer en Leefomgeving)
Martin Soesbergen	RWS Hydrobiologisch laboratorium
René van Wezel	RWS CIV (Centrale Informatievoorziening)
Lodewijk van Walraven	NIOZ Yerseke
Robbert Jak	WMR Den Helder

Commentaren op Fase 3 en 4 Concept rapportage:

Naam	Organisatie
Anouk Goedknecht	RWS Noord-Nederland
Lies van Nieuwerburgh	RWS Noord-Nederland
Ingrid Tulp	WMR IJmuiden

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

Bezoekers adres:

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

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



Wageningen Marine Research is onderdeel van Wageningen University & Research. Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research en heeft als **missie**: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'