

Geïntegreerd meet- en onderzoeksplan voor Grevelingenmeer en Veerse Meer



Auteur(s)

Theo Prins

Sebastiaan Mestdagh

Arno Nolte

Geïntegreerd meet- en onderzoeksplan voor Grevelingenmeer en Veerse Meer

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	
Referenties	Referenties
Trefwoorden	Trefwoorden

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	12-12-2024
Projectnummer	11210350-004
Document ID	11210350-004-ZKS-0003
Pagina's	56
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Theo Prins Sebastiaan Mestdagh Arno Nolte	

Gebruik van deze tabel is voor de controle van de juiste uitvoering door Deltares van de opdracht. Ieder ander klantgebruik en externe verspreiding is niet toegestaan.

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord
1.0	Theo Prins Sebastiaan Mestdagh Arno Nolte	Maaïke Maarse	Myra van der Meulen

Samenvatting

Het Grevelingenmeer en het Veerse Meer zijn twee voormalige zee-armen in de ZW Delta die door de Deltawerken zijn veranderd in min of meer stagnante, zoute meren. Beide meren kennen grotendeels vergelijkbare problemen rond waterkwaliteit en ecologie, die voor een deel samenhangen met de fysische condities van de twee watersystemen. De waargenomen problemen zijn o.a. het optreden van zuurstofloosheid in de diepe delen van de waterkolom, achteruitgang van het bodemleven en het voorkomen van matten van zwavelbacteriën zoals *Beggiatoa* op de bodem in zowel de diepere delen als op relatief geringe waterdiepte. In het Veerse Meer is sterfte van vis en bodemdieren waargenomen in 2019 en 2020. Beide meren voldoen niet aan alle doelen die gesteld zijn vanuit de Kaderrichtlijn Water en Natura2000 en in meer algemene zin is het beeld dat het functioneren van het ecosysteem en van gebruiksfuncties zich negatief ontwikkelt.

In beide meren wordt monitoring en onderzoek uitgevoerd om te komen tot een beter begrip van het ecologisch functioneren van de watersystemen en het onderscheiden van oorzaken en effecten.

Dit rapport beschrijft de huidige inzichten in het ecologisch functioneren van de zoute meren en de optredende problemen rond waterkwaliteit. Op basis van dat inzicht en een overzicht van lopende monitoring en onderzoek is een inventarisatie gemaakt van kennisleemtes en onderzoeksvragen. Er worden voorstellen gedaan voor aanvullende analyses, onderzoek en aanpassingen in de monitoring om die kennisleemtes op te vullen.

Aanbevolen wordt om 1) voor analyses beter gebruik te maken van al beschikbare data en modellen, 2) de lopende monitoring meer af te stemmen en waar nodig met specifieke metingen uit te breiden, 3) te leren van onderzoek in andere watersystemen in Nederland en daarbuiten, 4) voor specifieke kennisleemtes nieuw onderzoek en metingen op te starten en 5) vragen voor meer fundamentele kennisontwikkeling uit te werken.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Achtergrond	8
1.2	Leeswijzer	9
2	De zoute meren in de ZW Delta	10
2.1	Na de Deltawerken	10
2.2	Belangrijkste kenmerken	11
3	Ecologie van het watersysteem en kennisvragen	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Het fysische systeem	13
3.3	De waterkolom onder de spronglaag	14
3.4	De waterkolom boven de spronglaag	15
3.5	Het bodemsysteem	16
3.6	Nadere uitwerking: bodemdiergemeenschap	17
3.7	Nadere uitwerking: benthisch-pelagisch voedselweb	18
3.8	Nadere uitwerking: vogels	19
3.9	Overzicht van kennisvragen	21
4	Huidige monitoring, onderzoek en modellering	22
4.1	Fysisch systeem - monitoring	22
4.2	Fysisch systeem - onderzoek	23
4.3	Waterkolom - monitoring	24
4.4	Waterbodem - monitoring	26
4.5	Waterbodem - onderzoek	27
4.6	Overige monitoring	28
4.7	Beschikbare modellen	28
5	Leemtes in data en kennis	30
5.1	Kennisleemtes in beeld	30
5.2	Verrijkte effectketens	30
5.2.1	Het fysische systeem	30
5.2.2	Waterkolom	31
5.2.3	Bodemdiergemeenschap	33
5.2.4	Benthisch-pelagisch voedselweb	34

6	Uitwerking kennisleemtes naar onderzoeksvragen	36
6.1	Inleiding	36
6.2	Samenvatting openstaande kennisvragen	36
7	Aanbevelingen voor een onderzoeksplan	41
7.1	Stratificatie waterkolom	41
7.1.1	Wat kan aanvullende data-analyse opleveren	41
7.1.2	Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek	41
7.1.3	Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren	41
7.1.4	Wat kan aanvullend onderzoek opleveren	41
7.2	Zuurstofcondities	41
7.2.1	Wat kan aanvullende data-analyse opleveren	41
7.2.2	Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek	42
7.2.3	Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren	42
7.2.4	Wat kan aanvullend onderzoek opleveren	42
7.3	H ₂ S	42
7.3.1	Wat kan aanvullende data-analyse opleveren	42
7.3.2	Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek	42
7.3.3	Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren	42
7.3.4	Wat kan aanvullend onderzoek opleveren	43
7.4	Waterbodem	43
7.4.1	Wat kan aanvullende data-analyse opleveren	43
7.4.2	Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek	43
7.4.3	Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren	44
7.4.4	Wat kan aanvullend onderzoek opleveren	44
7.5	Bodemdieren	44
7.5.1	Wat kan aanvullende data-analyse opleveren	44
7.5.2	Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek	44
7.5.3	Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren	45
7.5.4	Wat kan aanvullend onderzoek opleveren	45
7.6	Nutriëntenbelasting en primaire productie	45
7.6.1	Wat kan aanvullende data-analyse opleveren	45
7.6.2	Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek	45
7.6.3	Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren	46
7.6.4	Wat kan aanvullend onderzoek opleveren	46
7.7	Vissen	46
7.7.1	Wat kan aanvullende data-analyse opleveren	46
7.7.2	Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek	46
7.7.3	Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren	46
7.7.4	Wat kan aanvullend onderzoek opleveren	46
7.8	Vogels	46
7.8.1	Wat kan aanvullende data-analyse opleveren	46
7.8.2	Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek	47
7.8.3	Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren	47
7.8.4	Wat kan aanvullend onderzoek opleveren	47
7.9	Voedselweb	47
7.9.1	Wat kan aanvullende data-analyse opleveren	47
7.9.2	Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek	47

7.9.3	Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren	47
7.9.4	Wat kan aanvullend onderzoek opleveren	48
7.10	Niet-inheemse soorten	48
7.10.1	Wat kan aanvullende data-analyse opleveren	48
7.10.2	Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek	48
7.10.3	Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren	48
7.10.4	Wat kan aanvullend onderzoek opleveren	48
7.11	Vervuiling	48
7.11.1	Wat kan aanvullende data-analyse opleveren	48
7.11.2	Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek	48
7.11.3	Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren	48
7.11.4	Wat kan aanvullend onderzoek opleveren	48
7.12	Overige vragen	49
8	Conclusies en aanbevelingen	50
9	Referenties	53

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het Grevelingenmeer en het Veerse Meer zijn twee voormalige zee-armen in de ZW Delta die door de Deltawerken zijn veranderd in min of meer stagnante, zoute meren. Beide meren kennen grotendeels vergelijkbare problemen rond waterkwaliteit en ecologie (zie o.a. Wetsteyn 2011, Tangelder *et al.* 2019, Van Donk *et al.* 2020, Prins *et al.* 2023, Prins *et al.* 2024), die voor een deel samenhangen met de fysische condities van de twee watersystemen. De waargenomen problemen zijn o.a. het optreden van zuurstofloosheid in de diepe delen van de waterkolom, achteruitgang van het bodemleven en het voorkomen van matten van zwavelbacteriën zoals *Beggiatoa* op de bodem in zowel de diepere delen als op relatief geringe waterdiepte. In het Veerse Meer is sterfte van vis en bodemdieren waargenomen in 2019 en 2020. Beide meren voldoen niet aan alle doelen die gesteld zijn vanuit de Kaderrichtlijn Water en Natura2000 en in meer algemene zin is het beeld dat het functioneren van het ecosysteem en van gebruiksfuncties zich negatief ontwikkelt.

Voor het Grevelingenmeer is in 2023, in het kader van het project Getij Grevelingen, onderzoek naar de ecologische waterkwaliteit en de alternatieven voor verbetering afgerond. Voor het Veerse Meer is in 2020 door RWS Zee en Delta onderzoek gestart naar de oorzaak of oorzaken van de problemen in het Veerse Meer, om daaruitvolgend te komen tot effectieve, haalbare en klimaatrobuuste beheermaatregelen.

Beide zoute meren hebben een ecologische opgave waarbij de interactie tussen de 'zuurstofhuishouding in waterkolom en sediment' aan de ene kant en 'het bodemleven als belangrijke keten in het voedselweb' aan de andere kant centraal staat. Zowel voor Grevelingenmeer als Veerse Meer zijn op basis van metingen en modellering kennisleemtes bekend die voor het opstellen en afwegen van toekomstige opties opgelost moeten worden. Naast een grondiger begrip van het ecosysteemfunctioneren en het onderscheiden van oorzaken en effecten is kennis over haalbaarheid en effectiviteit van maatregelen relevant.

In 2024 is Rijkswaterstaat Zee en Delta gestart met het verkennen, bespreken en opzetten van een onderzoeksplan dat voor beide meren de gezamenlijke kennisleemtes en onderzoeksvragen moet bevatten en uitwerking geeft aan een geïntegreerd meet- en onderzoeksplan. Dit plan moet leiden tot een eenduidige en afgestemde vraagformulering en onderzoeksplan, waarbij de beschikbare en samenhangende data, modellen en kennis optimaal worden benut.

In het voorliggende rapport doen we een aanzet hoe ontbrekende kennis kan worden verkregen door doelgerichte en samenhangende meet- en monitoringsacties, data-analyses, modelonderzoek en systeemanalyses, vastgelegd in een geïntegreerd meet- en onderzoeksplan 'zoute meren'.

Op basis van de huidige inzichten in het ecologisch functioneren van de zoute meren en de optredende problemen rond waterkwaliteit en ecologie worden kennisvragen geformuleerd. Uit de al lopende monitoring en onderzoek volgt welke kennisleemtes er zijn. Er worden voorstellen gedaan voor aanvullende analyses en onderzoek en aanpassingen in de monitoring om die kennisleemtes op te vullen.

In het rapport worden systematisch de stappen doorlopen om, via het vaststellen van kennisleemtes en onderzoeksvragen te komen tot voorstellen voor aanvullende analyses en onderzoek als onderdelen van een meet- en onderzoeksplan, zoals ook schematisch weergegeven in Figuur 1-1. Dit is onderdeel van een adaptieve werkwijze, waarbij de resultaten van analyses en onderzoek kunnen leiden tot een bijstelling van het inzicht over

het functioneren van de systemen en van de kennisvragen die beantwoord moeten worden. Dit draagt ook bij aan een meer overkoepelend doel tot ontwikkeling van academische kennis van zoute meren met internationale betekenis en toepasbaarheid.

Als afbakening geldt dat dit rapport zich richt op de watersystemen van beide meren, d.w.z. de ecologische componenten en processen in het water zelf of direct samenhangend met het watersysteem. Het terrestrische ecosysteem dat geen of nauwelijks relatie heeft met het zoutwatersysteem wordt buiten beschouwing gelaten.

1.2 Leeswijzer

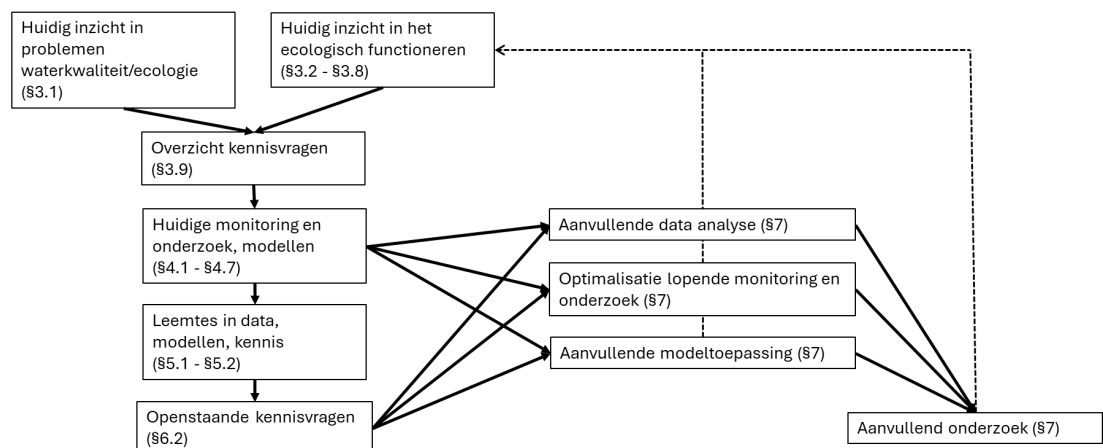
Hoofdstuk 2 geeft een algemene beschrijving van de belangrijkste kenmerken van beide meren.

In hoofdstuk 3 wordt allereerst een kort overzicht gegeven van de problemen rond waterkwaliteit en ecologie in de meren (§3.1). Vervolgens wordt een conceptueel beeld van het ecologisch functioneren van de meren gegeven dat visueel is samengevat in effectketens. De problemen rond waterkwaliteit en ecologie in combinatie met ons begrip van het ecologisch functioneren, leidt tot een samenvatting van de generieke kennisvragen in §3.9.

Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van de metingen die worden uitgevoerd in lopende monitoring en onderzoek en van de bijbehorende kennisvragen.

Op basis daarvan is in hoofdstuk 5 in kaart gebracht wat de huidige staat van databeschikbaarheid en toepasbaarheid van modellen is en waar leemtes in kennis bestaan. Dit overzicht, gecombineerd met de conceptuele modellen uit Hoofdstuk 3, wordt weergegeven in verrijkte effectketens die samenvatten wat we als belangrijke ecologische relaties zien en waar de leemtes zitten in databeschikbaarheid en kennis.

In Hoofdstuk 6 wordt de informatie uit de voorgaande hoofdstukken gecombineerd om te komen tot een uitwerking van de kennisvragen in §6.2. Vervolgens wordt in Hoofdstuk 7 ingegaan op mogelijkheden voor aanvullende data-analyses van reeds beschikbare data, voor optimalisatie van het bestaande meetprogramma, voor modeltoepassingen om de kennisvragen te beantwoorden en op de noodzaak van aanvullend onderzoek.



Figuur 1-1 Schematisch overzicht van de werkwijze zoals beschreven in §1.1 en de hoofdstukken waarin de verschillende stappen aan de orde komen.

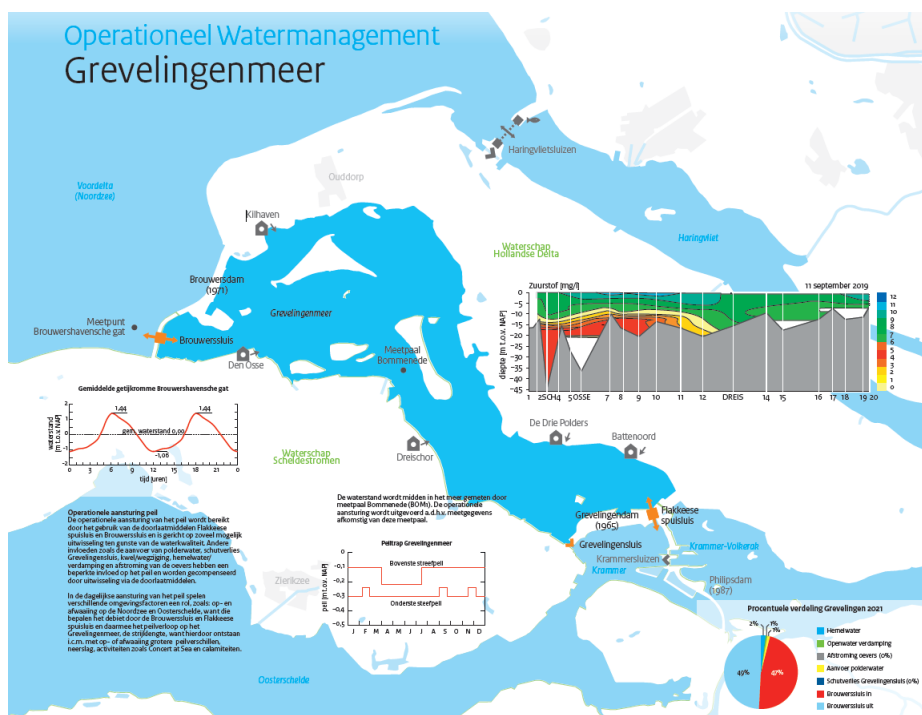
2 De zoute meren in de ZW Delta

2.1 Na de Deltawerken

Grevelingenmeer

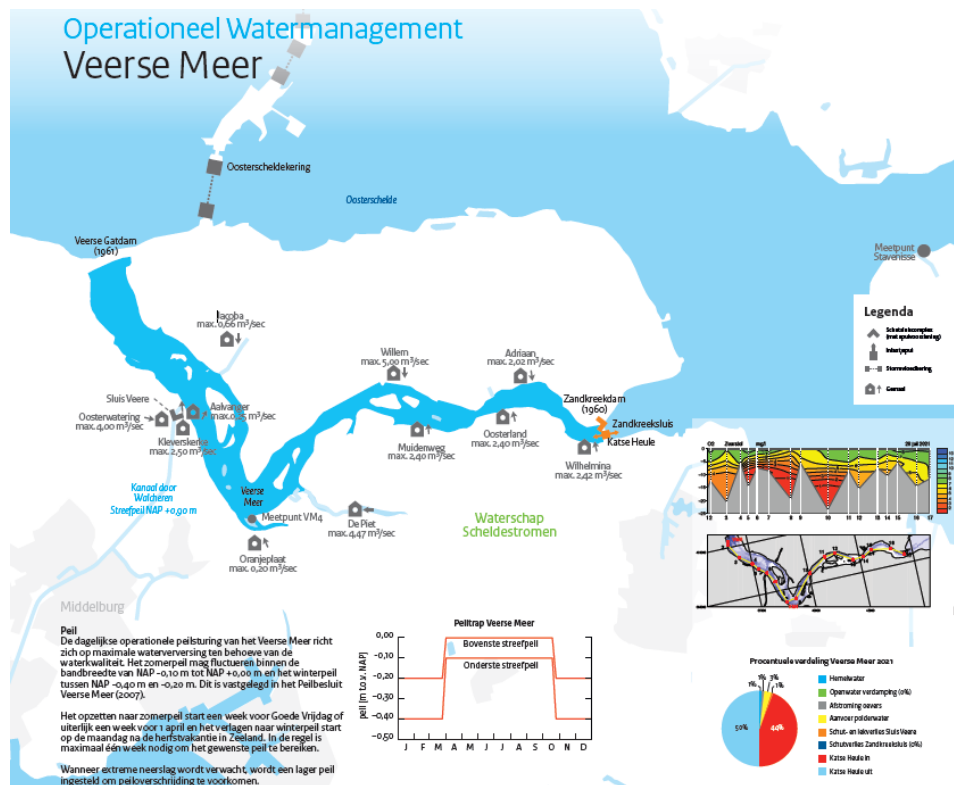
De Grevelingen is in 1965 aan de oostzijde afgesloten van Volkerak-Krammer-Zijpe door de Grevelingendam. Aan de westzijde is door de bouw van de Brouwersdam de Grevelingen sinds 1971 afgesloten van de Noordzee. In 1978 is een spuisluis in de Brouwersdam in gebruik genomen, om het zoutgehalte in het Grevelingenmeer op peil te houden. Sinds 2006 is de spuisluis jaarrond geopend.

In 1985 is de Flakkeese Spuisluis aangelegd als verbinding tussen Grevelingen en Oosterschelde. Deze verbinding werd in 1988 buiten gebruik gesteld. In de winter van 2016/2017 is de spuisluis in gebruik genomen maar in het voorjaar van 2018 gesloten. Vervolgens is de spuisluis sinds januari 2022 weer geopend om vers en zuurstofrijk water vanuit de Oosterschelde in te laten in het oostelijk deel van het Grevelingenmeer. Het waterpeil van het Grevelingenmeer fluctueert tussen NAP-10 cm en NAP-30 cm. Het middenpeil wordt zoveel mogelijk gehouden op NAP-20 cm met aanpassingen in het broedseizoen van kustbroedvogels.



Figuur 2-1 Grevelingenmeer. Bron:

<https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/188967/watersystemen-grevelingenmeer.pdf>



Figuur 2-2 Veerse Meer. Bron:

<https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/188989/watersystemen-veerse-meer.pdf>

Veerse Meer

Het Veerse Meer is ontstaan door aanleg van de Zandkreekdam aan de oostzijde in 1960 waardoor de verbinding met de Oosterschelde verdween, en door de Veerse Gatdam in het westen in 1961 waardoor de verbinding met de Noordzee verbroken werd. In 2004 is in de Zandkreekdam het doorlaatmiddel Katse Heule in gebruik genomen om de wateruitwisseling met de Oosterschelde te vergroten en daarmee de waterkwaliteit in het Veerse Meer te verbeteren. In 2007 is het peilbeheer aangepast, en fluctueert het zomerpeil tussen NAP en NAP-10 cm en het winterpeil tussen NAP-20 cm en NAP-40 cm.

2.2 Belangrijkste kenmerken

Een aantal basiskennmerken van de meren is samengevat in Tabel 2-1. Beide meren worden, als voormalige zee-armen, gekenmerkt door een groot oppervlak van relatief ondiep water (tot ca. NAP-5 m), doorsneden door diepe geulen. Het oppervlak ondiep water (minder dan 4-6 m diep) is ca. 50-60% van het totale wateroppervlak, terwijl de diepe delen een veel beperkter (10-20%) aandeel hebben.

Een belangrijk verschil is het ca. vijfmaal grotere oppervlak en volume van het Grevelingenmeer, vergeleken met het Veerse Meer. Op het Veerse Meer voeren 11 poldergemalen water af, op het Grevelingenmeer lozen 5 poldergemalen. Het verschil in zoetwaterbelasting en watervolume resulteert in lagere jaargemiddelde en veel lagere minimale zoutgehaltes in het Veerse Meer en hogere concentraties van stikstof en fosfaat. De hogere nutriëntenbelasting van het Veerse Meer resulteert in iets hogere concentraties van chlorofyl. Overigens zijn de chlorofylconcentraties in Grevelingen, Veerse Meer en ook Oosterschelde relatief laag in verhouding tot de nutriëntenconcentraties, in vergelijking met de Noordzeekustzone, waar bij vergelijkbare concentraties stikstof (en soms hogere troebelheid) tot tweemaal hogere chlorofylconcentraties worden gemeten. Dit is met een grote mate van zekerheid te verklaren door de grotere invloed van begrazing door schelpdieren in de zoute meren.

In beide meren wordt de bodemdierbiomassa gedomineerd door filtrerende bodemdieren (Mulder *et al.* 2019, Van der Jagt *et al.* 2022). De WOT Schelpdiersurvey, die zich richt op commercieel interessante schelpdieren, laat zien dat het Veerse Meer (ten opzichte van oppervlak en volume) een relatief hoge biomassa van deze soorten heeft (Troost *et al.* 2018, Van Zwol *et al.* 2019, Van der Pool *et al.* 2020, Troost *et al.* 2021, Troost *et al.* 2022, Troost *et al.* 2023). Daarnaast heeft het muiltje (*Crepidula fornicata*) in beide meren een groot aandeel in de biomassa van filtrerende bodemdieren. De schattingen van totale biomassa van bodemdieren in beide meren in de MWTL-metingen lijken minder te verschillen. In het Grevelingenmeer wordt de hoogste biomassa gevonden tussen 2 en 6 m diepte, terwijl in het Veerse Meer de hoogste biomassa wordt gevonden tussen 0 en 8 m diepte. In de diepere delen neemt de biomassa de laatste twintig jaar af in beide meren (Mulder *et al.* 2019, Van der Jagt *et al.* 2022).

Het Grevelingenmeer is aangewezen als Natura2000 gebied onder zowel de Vogelrichtlijn als de Habitatrichtlijn. Het Veerse Meer is aangewezen als Vogelrichtlijngebied.

Tabel 2-1 Overzicht van een aantal belangrijke kenmerken van Grevelingenmeer en Veerse Meer.

	Grevelingenmeer	Veerse Meer
Wateroppervlak (km²)	108	23
Volume (miljoen m³) bij waterpeil NAP 0m	575	114
Gemiddelde diepte (m)	5,4	4,8
Maximale diepte (m)	48	23
%oppervlak ondieper dan x m	Ruim 65% van het meer is ondiep water tot NAP -6 m diepte. De zone tussen NAP-6 m en NAP-15 m is circa 25% en de delen dieper dan 15 m circa 8% van het wateroppervlak.	Ruim 50% van het meer is ondiep water tot 4 m diepte. De zone tussen NAP-4m en NAP-8 m is circa 25% en de delen dieper dan 8 m ruim 20% van het wateroppervlak.
Uitwisseldebiet met Noordzee en Oosterschelde (m³/s, jaargemiddeld)	90	25
Polderwaterafvoer (m³/s, jaargemiddeld)	0,6-2,1	1,0-2,2
Saliniteit (psu, jaargemiddeld)²	30,2	27,7
Saliniteit (psu, min-max)²	27,9-32,6	20,7-34,8
Stikstof²		
Totaal stikstof in mg/l (jaargemiddeld)	0,53	0,77
Opgelost anorganisch stikstof in µM (wintergemiddeld)	32	84
Fosfaat²		
Totaal fosfaat in mg/l (jaargemiddeld)	0,07	0,15
Opgelost anorganisch fosfaat in µM (wintergemiddeld)	1,1	4,3
Chlorofyl in µg/l		
Gemiddelde mrt-sep²	5,2	6,3
Chlorofyl in µg/l		
Maximum mrt-sep²	25,0	37,0
Doorzicht in dm²	26	26
Schelpdierbiomassa³ in miljoen kg versgewicht	158	40

¹Waterbalans (digitale watersysteemrapportages)

²MWTL-metingen 2010-2023 voor MWTL-locaties in Grevelingen en Veerse Meer

³WOT Schelpdiersurvey, gemiddelde voor 2020-2022

3 Ecologie van het watersysteem en kennisvragen

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk geven we allereerst een generieke beschrijving van de relevante ecologische relaties en processen in de zoute meren. Dit wordt gedaan aan de hand van conceptuele modellen voor een aantal deelsystemen/aspecten. Deze conceptuele modellen zijn visueel weergegeven in effectketens die de belangrijkste onderlinge relaties tussen ecosysteemcomponenten, en de effecten van omgevingsfactoren weergeven. De beschrijvingen zijn mede gebaseerd op gepubliceerde rapporten over Grevelingenmeer en Veerse Meer (o.a. Craeymeersch & de Vries 2007, Wetsteyn 2011, Prins & Vergouwen 2015, Nolte & Lagendijk 2016, Tangelder *et al.* 2019, Van Donk *et al.* 2020, Nolte *et al.* 2021, Prins *et al.* 2023, Prins *et al.* 2024).

Op basis van die beschrijving is vervolgens een overzicht gemaakt van de meest relevante kennisvragen voor het ecologisch functioneren van de zoute meren.

In beide meren is het optreden van stratificatie als gevolg van verticale verschillen in zoutgehalte en/of temperatuur een karakteristiek kenmerk dat mogelijk doorwerkt op het ecologisch functioneren¹. In de volgende paragrafen wordt daarom onderscheid gemaakt tussen het fysische systeem, de ecologische processen in de waterkolom onder de spronglaag en in de waterkolom boven de spronglaag en de belangrijkste ecologische processen in de bodem. Voor een aantal specifieke onderwerpen, zoals het pelagische voedselweb en de bodemdiergemeenschap, is ook een meer gedetailleerde nadere uitwerking van de effectketens opgesteld.

Het doel van de beschrijving is niet om de ecologie van de meren in alle aspecten volledig te beschrijven en te doorgronden. De aandacht is vooral gericht op die processen en onderdelen van het ecosysteem, waarvan ingeschat wordt dat die een wezenlijke rol spelen bij de huidige problemen rond waterkwaliteit en ecologie, waarbij wettelijke doelen (KRW, Natura2000) niet gehaald worden en de meren niet functioneren als een stabiel en veerkrachtig ecosysteem.

3.2 Het fysische systeem

De fysische processen in Grevelingen en Veerse Meer worden in belangrijke mate beïnvloed door het feit dat beide meren bestaan uit grote ondiepe delen doorsneden door één of meer diepere geulen. Er is slechts een geringe, vooral windgedreven, waterbeweging met lage stroomsnelheden. Er is uitwisseling van water met aangrenzende watersystemen (Noordzee, Oosterschelde) maar dat debiet is relatief beperkt ten opzichte van het totale volume (Tabel 2-1).

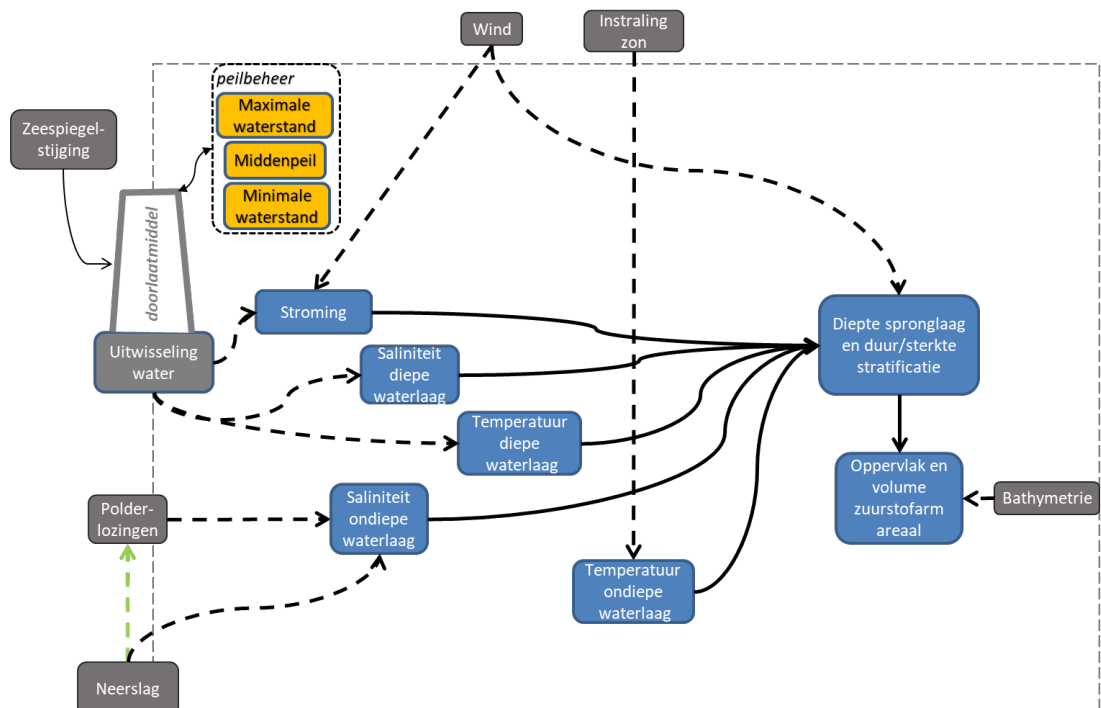
De effectketen die de belangrijkste fysische processen beschrijft is weergegeven in Figuur 3-1.

Het peilbeheer en de toegelaten peilfluctuaties in beide meren bepaalt in belangrijke mate het debiet van de uitwisseling dat mogelijk is. In het Grevelingenmeer is er uitwisseling aan de westzijde met de Noordzee via de Brouwerssluis en aan de oostzijde met de Oosterschelde

¹ Lange tijd is het voorkomen van stratificatie en daaruit voortkomende zuurstofloosheid als hoofdoorzaak ('root cause') van de ecologische problemen genoemd. Uit het uitgevoerde onderzoek in de Grevelingen is naar voren gekomen dat deze aanname nadere toetsing behoeft en dat er waarschijnlijk ook andere – al dan niet culminerende – oorzaken zijn. Deze constatering uit het Grevelingen onderzoek is een van de redenen voor dit onderzoeksplan Zoute Meren.

via de Flakkeese Spuisluis. In het Veerse Meer is er alleen aan de oostzijde uitwisseling met de Oosterschelde via de Katse Heule. Het zoutgehalte in de meren wordt bepaald door enerzijds de uitwisseling via de doorlaatmiddelen en anderzijds neerslag en polderwaterafvoer. Verschillen in saliniteit en de opwarming van de oppervlaktelaag leiden tot stratificatie. De verticale dichtheidsverschillen en de invloed van wind op stroming en waterstand zijn bepalend voor de sterkte en duur van de stratificatie en de diepte waarop de spronglaag voorkomt. De diepte van de spronglaag werkt door op het oppervlak van de bodem en het volume van de waterkolom dat potentieel zuurstofarm/zuurstofloos kan worden.

In zowel Grevelingenmeer als Veerse Meer leidt vooral temperatuurstratificatie door opwarming in lente en zomer tot gelaagdheid. Dicht bij de Brouwerssluis kan de inlaat van water uit de Voordelta bij een van het Grevelingenmeer afwijkend zoutgehalte, leiden tot zoutstratificatie in het Grevelingenmeer. In het Veerse Meer kan de afvoer van zoet/brak polderwater die vooral in najaar en winter plaatsvindt, in combinatie met de instroom van zouter water uit de Oosterschelde, leiden tot zoutstratificatie in die periode van het jaar.



Figuur 3-1 Effectketen voor het fysische systeem van zowel het Veerse Meer als Grevelingen. De blauwe blokken geven de meest relevante variabelen in het watersysteem weer, waarbij de pijlen de onderlinge relaties aangeven. Grijsse blokken en gebroken lijnen geven de invloed van externe variabelen weer.

3.3 De waterkolom onder de spronglaag

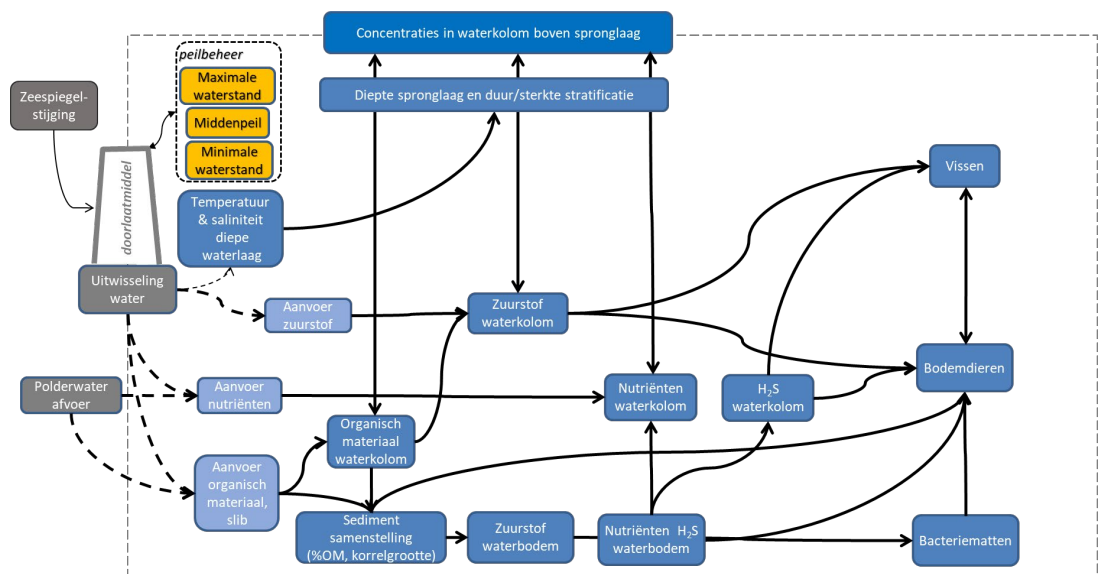
In beide meren treedt in voorjaar en zomer regelmatig stratificatie op. De spronglaag, die de bovenste gemengde waterlaag scheidt van de diepe waterlaag, bevindt zich meestal op een diepte tussen NAP-5m en NAP-10m in het Veerse Meer en tussen NAP-10m en NAP-20m in het Grevelingenmeer.

De gelaagdheid verhindert verticaal transport door de spronglaag van zuurstof en andere opgeloste stoffen, zoals nutriënten. Het conceptueel model (Figuur 3-2) laat een aantal processen zien (verticale aanvoer zuurstof, nutriënten) waarvan de intensiteit afhangt van de aan- of afwezigheid van gelaagdheid. Sedimentatie van organisch materiaal vanuit de bovenste waterlaag wordt waarschijnlijk ook enigszins geremd door de spronglaag. De uitwisseling via de doorlaatmiddelen in Brouwersdam, Grevelingendam en Zandkreekdham zorgt voor (horizontale) aanvoer van zuurstofrijk water en kan daarmee lokaal

zuurstofuitputting verminderen. De uitwisseling leidt ook tot aanvoer van organisch materiaal of slib vanuit Noordzee of Oosterschelde, wat in ieder geval in de nabijheid van het doorlaatmiddel effect heeft op de sedimentsamenstelling. Op de lange termijn zijn zeespiegelstijging en het peilbeheer van invloed op de mate van uitwisseling via de doorlaat. Afbraakprocessen in de waterbodem zorgen voor een zuurstofvraag, die o.a. resulteert in zuurstofloosheid en ophoping van waterstofsulfide (H₂S) in het sediment. Bij afwezigheid van verticaal transport als gevolg van stratificatie leidt de zuurstofvraag van het sediment tot sterk verlaagde zuurstofconcentraties in de diepe waterkolom. Wanneer de buffercapaciteit van het sediment onvoldoende is, kan er afgifte van waterstofsulfide vanuit het sediment naar de waterkolom optreden (Seitaj *et al.* 2015, Jørgensen *et al.* 2019).

De zuurstofconcentratie in het diepere deel van de waterkolom is de resultante van aanvoer (via doorlaat, horizontaal transport, verticale menging) en zuurstofverbruik door respiratie en afbraakprocessen in de waterkolom en vooral de waterbodem. Het zuurstofverbruik in de waterbodem wordt beïnvloed door de mate van aanvoer van organisch materiaal (o.a. door sedimentatie vanuit de bovenste waterlaag).

De zuurstofconcentraties in water en bodem hebben een belangrijke invloed op de leefomstandigheden van bodemdieren en vissen. De regelmatig (jaarlijks) terugkerende zuurstofarme periodes zorgen ervoor dat het bodemleven afsterft en onvoldoende tijd krijgt om zich volledig te herstellen na een zuurstofarme periode. De bodemdiergemeenschap wordt na rekolonisatie gedomineerd door opportunistische soorten (voornamelijk deposit feeders) en mobiele epifauna zoals krabben en garnalen en heeft een lage diversiteit. Na een zuurstofarme periode vindt juist wel snel kolonisatie door matvormende zwavelbacteriën (*Beggiatoa*) plaats. Mogelijk herstelt de bodemdiergemeenschap zich langzamer in een zuurstofloos en door *Beggiatoa* gedomineerd sediment en versterkt de verminderde bioturbatie en bio-irrigatie als gevolg van de afwezigheid van bodemdieren juist de groeiomstandigheden voor *Beggiatoa*. Mogelijk is er ook sprake van concurrentie om zuurstof tussen *Beggiatoa* en bodemdieren onder zuurstofarme condities.



Figuur 3-2 Effectketen voor de diepere waterlaag, die bij stratificatie onder de spronglaag ligt. De blauwe blokken geven de meest relevante variabelen in het watersysteem weer, waarbij de pijlen de onderlinge relaties aangeven. Grijs blokken en gebroken lijnen geven de invloed van externe variabelen weer.

3.4 De waterkolom boven de spronglaag

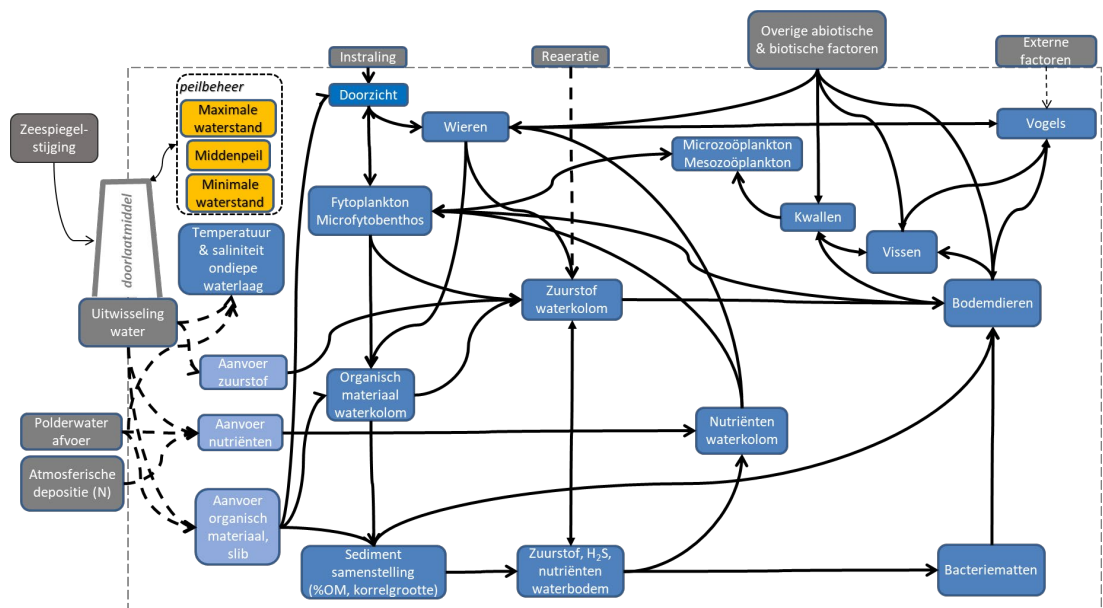
De waterkolom boven de spronglaag is de zuurstofrijke gemengde waterlaag, die zich deels boven de diepere delen van de meren bevindt en, bij stratificatie, door de spronglaag

gescheiden is van de diepere waterlagen beschreven in §3.3. Het gaat hier ook om de waterkolom die zich boven de ondiepere delen van de meren bevindt, waar de waterkolom niet gestratificeerd is en in direct contact staat met de waterbodem. In de waterkolom boven de spronglaag spelen deels andere processen dan in de waterkolom onder de spronglaag (Figuur 3-3).

Wanneer er sprake is van stratificatie, verhindert deze gelaagdheid het transport door de spronglaag waardoor nutriënten die uit het sediment vrijkomen, niet meer snel beschikbaar komen voor primaire productie in de oppervlaktelaag. Maar omdat een groot deel van de meren ondiep is, treedt dit alleen op in de diepere delen van de meren. Belangrijke andere bronnen van nutriënten zijn aanvoer via polderwater (dat vooral in het Veerse Meer een grote bijdrage heeft), de uitwisseling met Oosterschelde en Noordzee en atmosferische stikstofdepositie.

De primaire productie van fytoplankton, microfytobenthos en wieren wordt bepaald door de beschikbaarheid van nutriënten en licht. In beide meren lijkt vooral sprake te zijn van stikstoflimitatie, mogelijk voorafgegaan door kortdurende fosfaatlimitatie bij de voorjaarsbloei. Het doorzicht is in beide meren goed, zodat instraling de meest bepalende factor is voor licht als groeifactor in de ondiepere delen van de waterkolom.

De primaire productie is de basis voor het benthische en pelagische voedselweb en voor de vogelsoorten die foerageren in de meren. Voor de verschillende componenten van het voedselweb is nog een groot aantal andere factoren van belang, die niet volledig bekend zijn. Factoren die o.a. spelen zijn trofische interacties binnen het voedselweb, de rol van de doorlaten bij de uitwisseling van organismen (bijv. bodemdierlarven, vissen, introducties niet-inheemse soorten) en de invloed van processen buiten de meren. Dit laatste speelt waarschijnlijk vooral een belangrijke rol bij trends in vispopulaties en trekvogelpopulaties.



Figuur 3-3 Effectketen voor de ondiepe waterlaag, die bij stratificatie boven de spronglaag ligt. De blauwe blokken geven de meest relevante variabelen in het watersysteem weer, waarbij de pijlen de onderlinge relaties aangeven. Grijze blokken en gebroken lijnen geven de invloed van externe variabelen weer.

3.5 Het bodemsysteem

Van het bodemsysteem en de geochemische processen in het sediment is geen conceptueel model opgesteld. De uitwisseling tussen sediment en waterkolom is al verwerkt in de effectketens in §3.3 en §3.4. Er zijn weinig mogelijkheden om via beheermaatregelen in te grijpen in deze bodemprocessen.

3.6 Nadere uitwerking: bodemdiergemeenschap

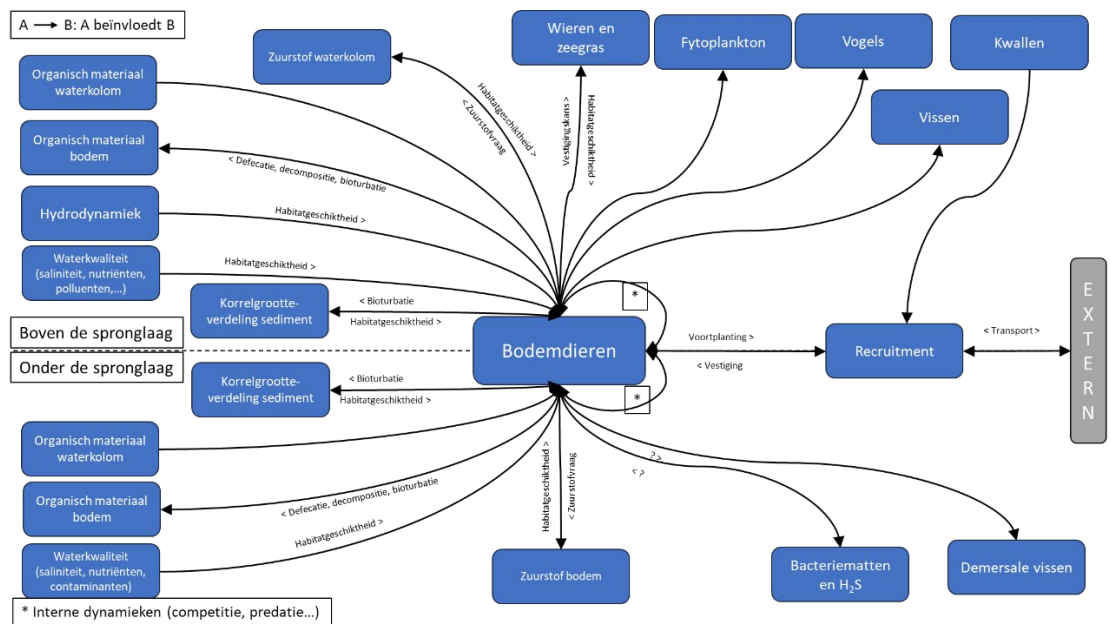
De bodemdiergemeenschap in de zoute meren is een belangrijk element in het ecosysteem en een belangrijk kwaliteitselement in de beoordeling van de staat van de systemen. Om die reden is ervoor gekozen om in meer detail een effectketen voor de bodemdiergemeenschap uit te werken (Figuur 3-4).

De habitatgeschiktheid voor bodemdieren wordt bepaald door verschillende factoren, die samenhangen met sedimentsamenstelling, hydrodynamische omstandigheden, fysisch-chemische waterkwaliteit (bijv. zuurstofconcentratie) en structuurkenmerken (bijv. aanwezigheid waterplanten, hard substraat). Mogelijk speelt ook het voorkomen van bacteriematten een rol. In het ondiepere deel van de meren waar de waterkolom niet gestratificeerd is, is de zuurstofconcentratie in de waterkolom niet van invloed op bodemdieren. In de diepere delen, onder de spronglaag, kan de zuurstofconcentratie in de waterkolom een grote invloed hebben op de habitatgeschiktheid.

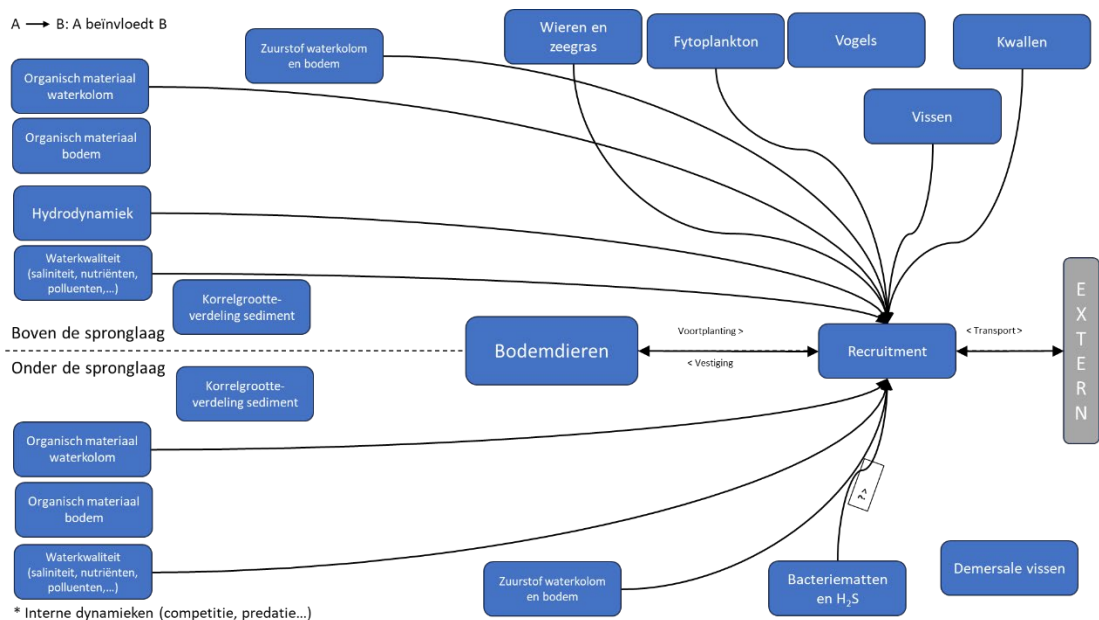
Het voedselaanbod voor bodemdieren bestaat uit fytoplankton, microfytobenthos en detritus als bron van organisch materiaal in waterkolom en bodem.

Predatie door vogels, vissen en onderlinge competitie en predatie door bodemdieren hebben effect op de samenstelling en structuur van de bodemdiergemeenschap.

Aanwas (recruitment) is specifiek uitgewerkt (Figuur 3-5). Bij de aanwas spelen voedselbeschikbaarheid, fysisch-chemische parameters (zoals zuurstof in de diepere delen onder de spronglaag) en predatie waarschijnlijk een grote rol, in combinatie met aanvoer van buiten het systeem.



Figuur 3-4 Effectketen voor de bodemdiergemeenschap. Pijlen zonder tekst geven een voedselrelatie aan.



Figuur 3-5 Effectketen voor de aanwas van de bodemdierengemeenschap. Pijlen zonder tekst geven een voedselrelatie aan.

3.7 Nadere uitwerking: benthisch-pelagisch voedselweb

De basis van het voedselweb is de primaire productie door microalgen (fytoplankton, fyto-benthos) en door wieren, als voedselbron voor hogere trofische niveaus.

Primaire productie door fytoplankton en detritus in de waterkolom zijn de voedselbron voor filtrerende bodemdieren ('suspension feeders') zoals schelpdieren, zakpijpen en sponzen.

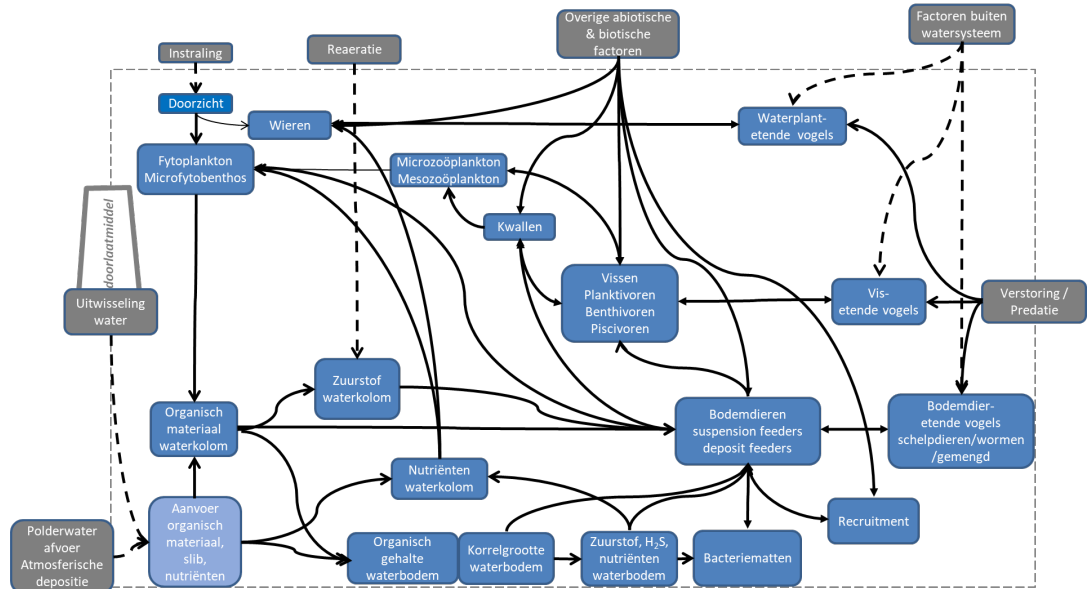
Bodemmetende bodemdieren ('deposit feeders' en 'surface deposit feeders') zijn afhankelijk van de flux van organisch materiaal dat naar de bodem zinkt en mogelijk deels ook van microfyto-benthos.

Bodemdieren zijn de voedselbron voor bodemdieretende vogels en vissen. Daarnaast bestaat een deel van de vissoorten uit planktoneters (bijvoorbeeld haring, sprot) en viseters. Bij de vogels zijn in aanvulling op de bodemdiereters ook nog waterplanteneters en viseters afhankelijk van het voedselaanbod in de meren. Voor een aantal vogelsoorten waarvoor instandhoudingsdoelen zijn vastgesteld, geldt dat die voornamelijk foerageren buiten het watersysteem van Grevelingenmeer of Veerse Meer en niet beïnvloed zullen worden door het waterbeheer; dit geldt bijvoorbeeld voor planteneters die op buitendijkse gronden of graslanden in de polders foerageren. Voor het behalen van de instandhoudingsdoelen zullen ingrepen in het watersysteem dus niet voor alle soorten effect hebben. Anderzijds fungeren delen van Grevelingenmeer en Veerse Meer ook als hoogwatervluchtplaats voor o.a. steltlopers uit de Oosterschelde (Hoekstein *et al.* 2024).

Zoöplankton is een belangrijke schakel in het voedselweb. Dat geldt zowel voor de permanent planktonische soorten (holoplankton) zoals bijvoorbeeld copepoden, als voor de meroplankton soorten die deels ook een benthische fase hebben. In die laatste groep zitten o.a. larven van schelpdieren, krabben en kreeften, en kwallen die een benthisch poliepstadium hebben. Kwallen spelen een rol als predatoren en kunnen een invloed hebben op de structuur van het pelagische voedselweb. Onduidelijk is of kwallen van belang zijn als voedselbron, bijvoorbeeld voor vis.

Interacties in het voedselweb en bottom-up versus top-down processen zijn van invloed op het aandeel van de verschillende soortgroepen in de zoute meren. Ook meer externe processen zoals predatie, verstoring of factoren ver buiten het watersysteem van de zoute meren spelen naar alle waarschijnlijkheid een belangrijke rol. In het geval van migrerende vogels en vissen kunnen factoren buiten de zoute meren, elders in de flyway of swimway, van veel groter belang zijn dan de condities in de zoute meren. Dit zal verschillen per soort.

Habitatkarakteristieken kunnen eveneens van invloed zijn op de structuur van het voedselweb. Zo vormen wieren en zeegras een habitat en schuilmogelijkheid en de aan- of afwezigheid kan daarmee van invloed zijn op de aantallen van bepaalde soortgroepen. In het Veerse Meer lijkt er bijvoorbeeld een relatie te zijn tussen het voorkomen van Japans bessenwier en van de kruiskwal *Gonionemus vertens* (Van Avesaath 2020). Ook zeegras kan belangrijk zijn, als primaire producent en voedselbron voor waterplantetende vogels en als habitat. Vanwege het feit dat er nu nauwelijks of geen zeegras voorkomt in de meren, is de rol van zeegras in Figuur 3-6 buiten beschouwing gelaten. Het is ook de vraag of de rol van zeegras in het ecosysteemfunctioneren anders zou zijn dan die van wieren.

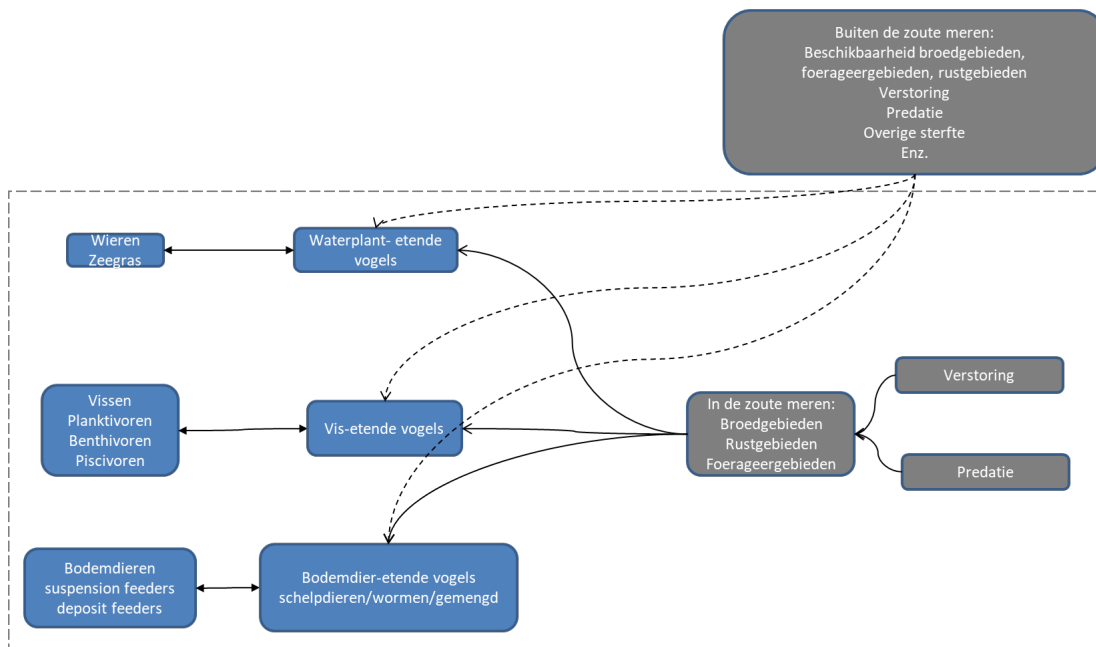


Figuur 3-6 Effectketen voor het mariene voedselweb in de zoute meren. De blauwe blokken geven de meest relevante variabelen in het watersysteem weer, waarbij de pijlen de onderlinge relaties aangeven. Grijsse blokken en gebroken lijnen geven de invloed van externe variabelen weer.

3.8 Nadere uitwerking: vogels

In de Natura 2000 beheerplannen (IenW 2016b; a) is voor een groot aantal vogelsoorten instandhoudingsdoelen vastgesteld, in totaal 38 in het Grevelingenmeer en 21 in het Veerse Meer. Met uitzondering van Kleine mantelmeeuw en Kuifeend zijn de beschermde soorten van het Veerse Meer ook in het Grevelingenmeer beschermd. Het gaat om een grote diversiteit aan soorten, waaronder ook soorten (bijvoorbeeld bruine kiekendief, goudplevier, verschillende ganzensoorten) die foerageren in de oevergebieden of omliggende weidegebieden en niet afhankelijk zijn van de waterkwaliteit en het ecologisch functioneren van de meren zelf. Voor doortrekkende en overwinterende soorten geldt ook dat veel factoren in de flyway bepalend kunnen zijn voor het al dan niet behalen van de instandhoudingsdoelen (Figuur 3-7).

Voor de meren zelf worden factoren als voedselaanbod en draagkracht, verstoring en predatie als belangrijke oorzaken voor het niet halen van de instandhoudingsdoelen van een aantal soorten genoemd (IenW 2016b; a, Heidinga *et al.* 2023a).



Figuur 3-7 Effectketen voor vogels. De blauwe blokken geven de meest relevante variabelen in het watersysteem weer, waarbij de pijlen de onderlinge relaties aangeven. Grijs blokken en gebroken lijnen geven de invloed van externe variabelen weer.

3.9 Overzicht van kennisvragen

Op basis van de effectketens uit de voorgaande paragrafen en de waterkwaliteits- en ecologische problemen in de meren, en als resultaat van een kennissessie met experts bij Rijkswaterstaat op 29 oktober 2024, is het volgende overzicht van onderwerpen opgesteld waarvoor nog kennis ontbreekt.

Probleem ecologie/waterkwaliteit	Kennisvraag
Stratificatie waterkolom	Wat is de duur, stabiliteit en ruimtelijke variatie van de stratificatie op de tijdschaal van dagen en welke omgevingsfactoren zijn hierop van invloed
Zuurstofcondities	Wat is de duur en ruimtelijke omvang van zuurstofarme/zuurstofloze periodes en welke omgevingsfactoren zijn hierop van invloed
H₂S	Wat is de frequentie en voorkomen van H ₂ S in de waterkolom en welke omgevingsfactoren zijn van invloed op het vrijkomen van H ₂ S uit de bodem.
Bodemdieren	Wat is de toestand en trend van de bodemdiergemeenschap en welke omgevingsfactoren zijn hierop van invloed
Vissen	Wat is de toestand en trend van de visgemeenschap en welke omgevingsfactoren zijn hierop van invloed (waaronder vrijkomen van H ₂ S)
Waterbodem	Wat is de toestand en trend in sedimentsamenstelling (korrelgrootte, aandeel slib, aandeel organisch materiaal) en welke omgevingsfactoren zijn hierop van invloed
Zuurstofvraag waterbodem	Hoe groot is de zuurstofvraag van de waterbodem en welke omgevingsfactoren zijn hierop van invloed
Bacteriematten	Wat is de toestand en trend van het voorkomen van bacteriematten, welke omgevingsfactoren zijn hierop van invloed en hoe hangt het voorkomen samen met het bodemleven?
Fytoplankton	Wat is de toestand en trend van het fytoplankton en welke omgevingsfactoren zijn hierop van invloed
Microfyto­benthos	Wat is de bijdrage van microfyto­benthos aan de primaire productie in de meren
Zeegras en wieren	Wat is de toestand en trend van het zeegras en de wierenpopulaties en welke omgevingsfactoren zijn hierop van invloed
Vogels	Wat is de toestand en trend van de vogelpopulaties en welke omgevingsfactoren zijn hierop van invloed
Voedselweb	Wat is het belang van zoöplankton (waaronder kwallen) in het pelagisch voedselweb
Niet-inheemse soorten / invasieve exoten	Wat is de invloed van (invasieve) exoten op het ecosysteem functioneren
Positie in ZW Delta	Wat is de rol van de zoute meren in het geheel van de ZW Delta (als leefgebied, rustgebied, doortrekgebied, enz.)

4 Huidige monitoring, onderzoek en modellering

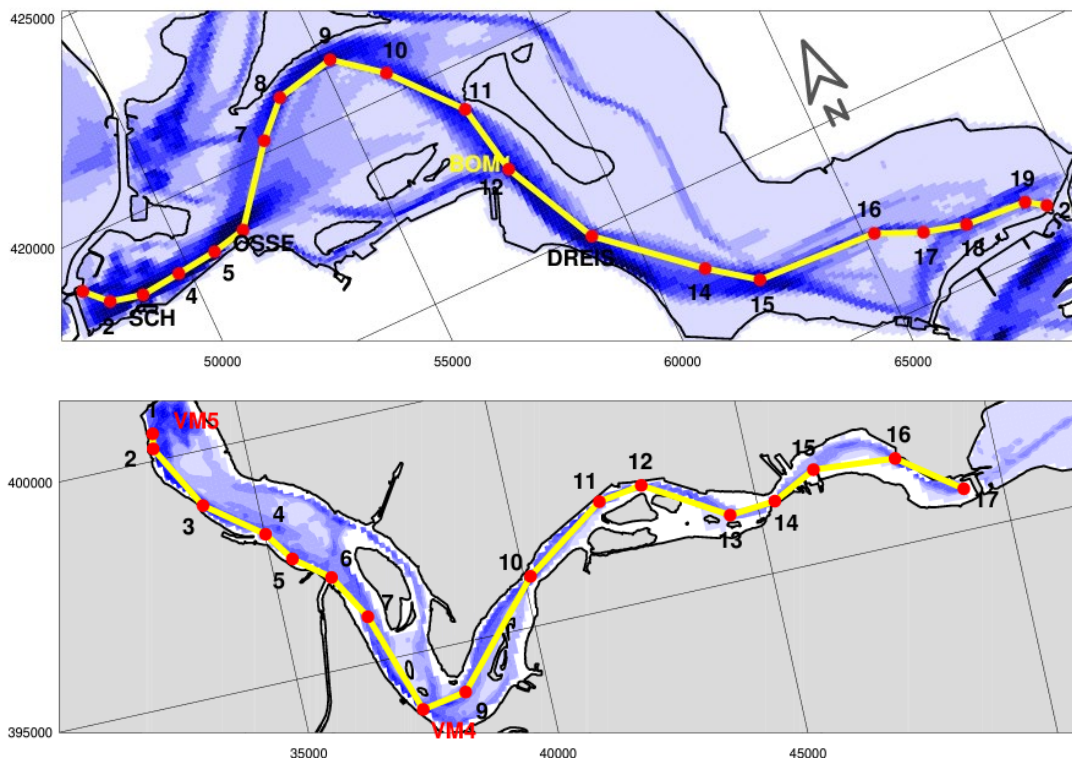
Hier gaan we in op de huidige monitoringactiviteiten in de meren, op onderzoek dat in de meren wordt uitgevoerd en op onderzoek dat via toepassing van modellen gebeurt. Onder monitoring verstaan we het systematisch uitvoeren van metingen op min of meer regelmatige basis, die vooral gericht zijn op het vaststellen van de toestand en het volgen van veranderingen in de tijd, zonder meer uitgebreide analyses naar de achterliggende oorzaken. Onder onderzoek verstaan we alle activiteiten die zich via experimenten of waarnemingen richten op het ontwikkelen van nieuwe kennis, begrijpen van oorzaken en effecten en toetsen van hypothesen.

4.1 Fysisch systeem - monitoring

Met behulp van meetpalen in het Veerse Meer (2 locaties: VM5 Schotsman en VM4 Oranjeplaat) en in het Grevelingenmeer (Bommenede) worden met een 10-minuten interval waterstanden gemeten en op twee dieptes, zoutgehalte en watertemperatuur. Deze meetreeks geeft voor die specifieke locaties informatie met een zeer hoge resolutie in de tijd. Ten behoeve van de waterbalans van het Veerse Meer wordt het debiet door de Katse Heule permanent gemeten. De lek- en schutverliezen van de sluis in het Kanaal door Walcheren en de Zandkreeksluis worden afgeleid uit de waterstandsgegevens. Voor het Grevelingenmeer wordt het debiet door de Brouwerssluis en Flakkeese spuisluis berekend uit waterstandregistraties en schuifhoogte. De afvoeren via de poldergemalen worden bepaald door de waterschappen.

Door Rijkswaterstaat worden periodiek metingen uitgevoerd, waarbij een traject wordt gevaren over het gehele meer. Op vaste locaties van dit traject wordt over de gehele waterdiepte, met stappen van circa 1 m, een aantal parameters gemeten, zoals chloride, temperatuur, zuurstof maar ook chlorofyl, troebelheid en pH. Deze zogenaamde TSO (Temperatuur, Saliniteit, O₂) metingen geven over de gehele lengte en diepte van het meer een beeld van een gemeten parameter². Daarbij moet opgemerkt worden dat de metingen worden uitgevoerd in de diepere geul van Grevelingenmeer en Veerse Meer (Figuur 4-1) en onbekend is hoe representatief de metingen zijn voor de ondiepere delen van de meren. Naast de TSO-metingen worden standaard MWTL-metingen uitgevoerd waarbij een groot aantal waterkwaliteitsparameters wordt gemeten. De MWTL-metingen worden uitgevoerd met een frequentie van 1-2 maal per maand, op 3 locaties in het Grevelingenmeer en 1 locatie in het Veerse Meer. Standaard worden MWTL-metingen uitgevoerd in de oppervlaktelaag, incidenteel worden ook metingen uitgevoerd in de spronglaag en in de waterkolom onder de spronglaag, op 1 m boven de bodem.

² <https://waterberichtgeving.rws.nl/owb/regio/regio-zeeuwse-wateren/zeeland-metingen/zeeland-metingen-tso>



Figuur 4-1 Traject en meetlocaties van de TSO-metingen in Grevelingenmeer (boven) en Veerse Meer (onder).

Tabel 4-1 Overzicht van onderzoeksvragen rond fysica waarop de huidige monitoring een antwoord tracht te bieden.

Onderzoeksvraag	Metingen	Methodiek	Tijdschaal	Ruimtelijke schaal
Wat zijn de veranderingen in waterpeil onder invloed van aanvoer en afvoer van water	Waterhoogte	2 meetpalen in Veerse Meer 3 meetpalen in Grevelingenmeer	Iedere 10 minuten	Representatief voor hele meer
Hoe groot is de aanvoer van water via doorlaatmiddel	Waterhoogte	Meetpalen aan binnen- en buitenzijde dam	Iedere 10 minuten	Representatief voor hele meer
Hoe groot is de aanvoer van water via poldergemalen	Debiet	Debietregistratie gemalen door waterschap	Dagelijks	Representatief voor hele meer
Hoe groot is de aanvoer van water via sluizen	Waterhoogte	Waterstandsverschillen	Dagelijks?	Representatief voor hele meer

4.2 Fysisch systeem - onderzoek

Recent is het PhD project StratiFEST (*Stratification, Circulation and Mixing in Enclosed Former Estuaries*; door TU Delft, Rijkswaterstaat en Deltares) gestart dat zich o.a. richt op Grevelingenmeer en Veerse Meer. De windgerelateerde variatie in stratificatie, circulatie en menging zal worden onderzocht en de rol die dit speelt in het transport van anoxisch diep water naar de ondiepere gebieden. Daarbij gaat het om effecten van windopzet, opwelling, downwelling, interne golven en dichtheidsgedreven stromingen, en hoe deze processen worden beïnvloed door de sterke bathymetrische variaties die typisch zijn

voor deze voormalige estuaria, zoals getijdengeulen en drempels. Ook veranderingen onder invloed van klimaatverandering zullen in beschouwing worden genomen. Uiteindelijk moet dit leiden tot een doorvertaling naar de kans van voorkomen van zuurstofloosheid op ondiepere delen, nu en in de toekomst, en een inschatting van de mogelijke gevolgen daarvan voor de ecologie.

Tabel 4-2 Overzicht van onderzoeksvragen rond fysica waarop lopend onderzoek een antwoord tracht te bieden.

Onderzoeksvraag	Metingen	Tijdschaal	Ruimtelijke schaal
Hoe wordt de ruimtelijke variatie van stratificatie, circulatie en spronglaaghoogte in afgesloten vroegere estuaria beïnvloed door de wind	Fysische parameters, spronglaagdiepte	Uren-dagen	Westelijk deel Veerse Meer (2024) Grevelingenmeer in 2025(?)
Welke rol speelt de windinvloed bij het transport van zuurstofloos water uit de diepere naar de minder diepe delen.	Fysische parameters, spronglaagdiepte	Uren-dagen	Westelijk deel Veerse Meer (2024) Grevelingenmeer in 2025(?)

4.3 Waterkolom - monitoring

Om de algemene toestand en trends in de meren te beschrijven, o.a. ten behoeve van rapportage voor de Kaderrichtlijn Water (KRW), vindt monitoring plaats van fysisch-chemische en biologische parameters. In het kader van MWTL wordt, zoals al genoemd in §4.1, een groot aantal waterkwaliteitsparameters gemeten met een frequentie van 2 tot 4 weken, op één locatie in het Veerse Meer en drie locaties in het Grevelingenmeer. In de metingen worden algemene fysisch-chemische parameters gemeten waaronder nutriënten en chlorofyl en specifieke verontreinigende stoffen en prioritare stoffen van de KRW. In de Grevelingen worden de zuurstofcondities nabij de Flakkeese spuisluis ook gemonitord door mossels uit te hangen op twee dieptes (Wijsman *et al.* 2023).

Daarnaast vindt ook biologische monitoring plaats. Fytoplankton wordt bemonsterd op de locatie Dreischor in het Grevelingen en Soelekerkepolder oost in het Veerse Meer, met een frequentie van 2 maal per maand in de periode april-september³. De kans bestaat dat kortdurende bloeien van fytoplankton met deze meetfrequentie gemist worden. Sinds kort wordt de primaire productie door fytoplankton gemeten in Grevelingen en Veerse Meer (Dijkman 2023).

Actieve monitoring van vissen (door middel van een boomkor) gebeurt in het Veerse Meer jaarlijks sinds 2016 in november. In het Grevelingenmeer is er actieve monitoring van vissen sinds 2008, om de twee tot vier jaar in het voorjaar (Van Rijssel *et al.* 2021, Van Rijssel *et al.* 2022). Deze monitoring levert data over de soortensamenstelling per ecologisch gilde en over de lengte-frequentieverdeling. In aanvulling daarop zijn aanlandgegevens uit de aalvisserij beschikbaar.

De biologische monitoring levert informatie over soortensamenstelling, aantallen, biomassa en/of omvang van een populatie. De rapportages over de monitoringresultaten leveren geen informatie over processen of analyse van trends en mogelijke oorzaken.

³ <https://waterinfo-extra.rws.nl/monitoring/biologie/fytoplankton/rapporten-fytoplankton-zout-water/>

Van een aantal elementen in het voedselweb is niet of nauwelijks gegevens aanwezig. Er is geen monitoring van micro- en mesozoöplankton.

Incidenteel is monitoring van kruiskwallen uitgevoerd in het Veerse Meer, vooral gericht op het voorkomen van overlast voor recreanten. Er is geen gerichte en regelmatige monitoring van andere kwallensoorten, waardoor er geen beeld is van het belang voor de ecologische toestand.

In het Veerse Meer zijn in een aantal jaren opnames gemaakt van wieren (soorten, bedekkingsgraad). Voor het Grevelingenmeer zijn geen gegevens beschikbaar. Wel komt vanuit waarnemingen naar voren dat met name oorkwallen massaal kunnen ontwikkelen in het voorjaar en de zomer, maar dit wordt niet nader gemonitord.

De introducties van niet-inheemse soorten zijn gemonitord in meerdere watersystemen, waaronder Veerse Meer en Grevelingenmeer, in opdracht van de NVWA (Gittenberger *et al.* 2023).

Gegevens m.b.t. de water- en nutriëntenbalans van de meren (polderwaterafvoer) zijn beschikbaar en opvraagbaar bij de waterschappen, waarbij opgemerkt wordt dat die gegevens incompleet zijn; niet voor alle gemalen zijn jaarrond data van alle parameters beschikbaar. Berekeningen ten behoeve van de waterbalans over de watervolumes die via de doorlaatmiddelen de meren in- en uitgaan worden uitgevoerd door RWS.

Tabel 4-3 Overzicht van onderzoeksvragen met betrekking tot de waterkolom waarop de huidige monitoring een antwoord tracht te bieden.

Onderzoeksvraag	Metingen		Tijdschaal	Ruimtelijke schaal
Wat is de waarde van fysisch-chemische parameters op verschillende dieptes van de waterkolom gedurende het jaar	Temperatuur, saliniteit, zuurstof; incidenteel fluorescentie, pH	TSO-metingen met CTD-sensor over verticaal op 17 (VM) en 20 (GM) locaties	2-wekelijks (zomerhalfjaar) maandelijks (winterhalfjaar)	In diepe geul Representativiteit voor ondiepe delen onbekend, verschilt per parameter
Wat zijn de concentraties H ₂ S op verschillende dieptes in de waterkolom gedurende het jaar	H ₂ S	Sensor over verticaal, gelijktijdig met TSO-metingen	Sinds 2024: 2-wekelijks (zomerhalfjaar) maandelijks (winterhalfjaar)	In diepe geul Representativiteit voor ondiepe delen onbekend
Wat is de toestand en meerjarige trend van fysisch-chemische en waterkwaliteit parameters	Temperatuur, pH, zuurstof, saliniteit, extinctie Zwevend stof, opgelost en particulier C, N, P, Si Contaminanten	Watermonsters 1 m onder oppervlak en incidenteel in spronglaag en 3 m boven bodem 1 locatie in VM, 3 locaties in GM	2-wekelijks (apr-okt) Maandelijks (nov-feb)	Indicatief voor seizoens- en meerjarige trends Representativiteit op kortere tijdschaal onbekend, verschilt per parameter
Wat is de groei en overleving van mosselen in de waterkolom nabij de Flakkeese spuisluis	Groei, overleving als indicator voor waterkwaliteit	Mossels uitgehangen op 2 locaties nabij bodem en bij wateroppervlak	2016-2017, 2022-2024	Grevelingen nabij Flakkeese spuisluis
Wat is de toestand en meerjarige trend van fytoplankton	Chlorofyl Dichtheid en soortensamenstelling	Watermonsters 1 m onder oppervlak 1 locatie in VM, 1 locatie in GM	2-wekelijks (apr-okt) Maandelijks (nov-feb), alleen chlorofyl	Indicatief voor seizoens- en meerjarige trends Representativiteit op kortere tijdschaal beperkt

Onderzoeksvraag	Metingen		Tijdschaal	Ruimtelijke schaal
Hoe groot is de fytoplankton primaire productie	Primaire productie met Fast Repetition Rate fluorometrie	Meting over oost-west traject, sinds 2020	Berekend per dag op basis van dagelijkse instraling en 2-wekelijkse extinctie en chlorofyl data	Totaalwaarde voor hele meer
Wat is de toestand en meerjarige trend in de visstand	Dichtheid, soortensamenstelling, lengte-frequentieverdeling Aanlandingen aalsoort	Actieve monitoring met boomkor, sinds 2016 in VM, sinds 2008 in GM Registratie aalsoort beroepsvisserij, sinds 2007 (VM) en 2010 (GM)	In najaar, jaarlijks (VM), iedere 3 jaar (GM) Jaarlijks	Ondiepe en diepe locaties, verspreid over de meren
Wat is de soortensamenstelling en omvang van de wierenpopulatie	Soortensamenstelling, bedekkingsgraad	15 locaties in VM	In VM jaarlijks tussen 2005-2014, daarna incidenteel	Indicatief voor bedekking in ondiepe delen (diepe delen niet relevant)
Wat is de verspreiding en abundantie van de Japanse kruiskwal op recreatielocaties	Aantallen per locatie	Bemonstering met schepnet	Periode mei-september Jaarlijks sinds 2017	Alleen indicatief voor bemonsterde locaties
Wat is de trend in de introducties van niet-inheemse soorten	Aantal introducties	Bemonstering van aangroei op uitgehangen plaatjes	3-maandelijks	Beide meren en andere watersystemen

4.4 Waterbodem - monitoring

De beschikbaarheid van gegevens over het sediment is beperkt. In het kader van de MWTL-bodemdierbemonstering wordt ook sedimentsamenstelling (o.a. percentages organisch materiaal en slib, korrelgrootteverdeling) bepaald, wat een belangrijke factor is bij het verklaren van de soortensamenstelling van bodemdieren.

Bodemdieren (macrozoöbenthos) worden bemonsterd op vaste meetlocaties in Grevelingen en Veerse Meer. De huidige MWTL-monitoring bemonstert bodemdieren met de boxcorer. Eerder (1990-2012) werden de ondiepe delen (<2 m) bemonsterd met een 'flushing sampler'. Sinds 2016 worden in het Veerse Meer alleen in het najaar bemonsteringen uitgevoerd, in eerdere jaren werd ook in het voorjaar bemonsterd. In het Grevelingenmeer is in 2018 en 2022 alleen in het najaar bemonsterd, in andere jaren in zowel voor- als najaar (Mulder *et al.* 2019, van der Jagt *et al.* 2024). De bemonstering heeft niet in alle jaren plaats gevonden⁴. Ook worden jaarlijks opnames gedaan van de bestanden van een aantal commerciële schelpdierbestanden en overige schelpdieren in het kader van de wettelijke onderzoekstaken Visserijonderzoek (Schelpdiersurvey)⁵.

⁴ [https://waterinfo-extra.rws.nl/monitoring/biologie/bodemdieren/rapporten-bodemdieren-zoute-kust-
overgangswateren/](https://waterinfo-extra.rws.nl/monitoring/biologie/bodemdieren/rapporten-bodemdieren-zoute-kust-overgangswateren/)

⁵ https://shiny.wur.nl/Schelpdiermonitor_Delta/

Gegevens over bodemdieren op hard substraat in het Grevelingenmeer zijn beschikbaar bij Stichting Anemoon die waarnemingen van duikers verzamelt en analyseert⁶. Stichting Zeeschelp doet monitoring van hard substraat gemeenschappen in het Veerse Meer⁷. Opnames van bacteriematten in het Grevelingenmeer zijn gemaakt in een aantal jaren in de periode 2010-2023. Ook in het Veerse Meer zijn in 2021-2023 opnames gemaakt van bacteriematten (Van Dongen & Olde Wolbers 2023; 2024). Deze onderzoeken geven een enigszins kwantitatief beeld van de ruimtelijke verspreiding en de trends in het voorkomen van bacteriematten.

Tabel 4-4 Overzicht van onderzoeksvragen met betrekking tot de waterbodem waarop de huidige monitoring een antwoord tracht te bieden.

Onderzoeksvraag	Metingen		Tijdschaal	Ruimtelijke schaal
Wat is de toestand en meerjarige trend in de sedimentsamenstelling	Korrelgrootteverdeling, organisch stofgehalte, slibgehalte	Boxcorer (diepe locatie) en steekbuis (ondiepe locaties) Meetpunten in oostelijk en westelijk deel van VM en GM	Eens per jaar/eens per 3 jaar	Ondiepe en diepe strata in oostelijke en westelijke delen van de meren
Wat is de toestand en meerjarige trend in de soortensamenstelling, abundantie en biomassa van bodemdieren	Bodemdierbemonstering	Boxcorer (diepe locatie) en steekbuis (ondiepe locaties) Meetpunten in oostelijk en westelijk deel van VM en GM	Eens per jaar/eens per 3 jaar	Ondiepe en diepe strata in oostelijke en westelijke delen van de meren
Hoe groot is het bestand aan (commerciële) schelpdiersoorten	WOT Schelpdiersurvey Soortensamenstelling, schelpengte, abundantie en biomassa	Steekbuis of kokkelschep, locaties verspreid over hele meer	Jaarlijks sinds 2017	Gebiedsdekkend
Wat zijn de veranderingen in soortensamenstelling van de hard substraat gemeenschap	Monitoringproject Onderwateroever - Stichting Anemoon Monitoring Stichting Zeeschelp	Waarnemingen duikers	Geen vaste frequentie	Grevelingenmeer Veerse Meer
In welke mate komen bacteriematten zichtbaar voor aan het bodemoppervlak	Bedekkingsgraad en voorkomen bodemfauna	Video-opname op 15 locaties (VM) en 53 locaties (GM)	Jaarlijks sinds 2021 (VM) en 2017 (GM)	Verspreid over meer (VM) en in omgeving Flakkeese Spuisluis (GM)

4.5 Waterbodem - onderzoek

In 2022 is in het Veerse Meer een meetcampagne uitgevoerd door onderzoekers van Universiteit Utrecht en Radboud Universiteit. In die meetcampagne is onderzoek gedaan aan de zuurstofvraag van het sediment, de rol van anaerobe afbraakprocessen en het vrijkomen van waterstofsulfide uit het sediment (Slomp & van Helmond in prep.). Deze meetcampagne geeft een eerste inzicht in de processen die van invloed zijn op de zuurstofvragende processen in de bodem van Veerse Meer en Grevelingenmeer.

⁶ <https://www.anemoon.org/>

⁷ <https://zeeschelp.weebly.com/mariene-ecologie.html>

Tabel 4-5 Overzicht van onderzoeksvragen met betrekking tot de waterbodem waarop lopend onderzoek een antwoord tracht te bieden.

Onderzoeksvraag	Metingen	Tijdschaal	Ruimtelijke schaal
Hoe groot is de zuurstofvraag van de waterbodem in het Veerse Meer	Zuurstofprofielen waterkolom en sediment, incubaties	Uren-dagen	Diepe en ondiepe locaties langs een oost-west transect in het Veerse Meer
Welke geochemische processen zijn van invloed op de zuurstofvraag van de waterbodem	Poriewater bemonstering	Uren-dagen	Diepe en ondiepe locaties langs een oost-west transect in het Veerse Meer
Komt er H ₂ S vrij uit de waterbodem	Metingen in waterkolom	Uren-dagen	Diepe en ondiepe locaties langs een oost-west transect in het Veerse Meer

4.6 Overige monitoring

Tellingen van watervogels en zeezoogdieren worden jaarlijks uitgevoerd⁸ in het Deltagebied. Ook worden tellingen uitgevoerd van kustbroedvogels⁹.

De biologische monitoring levert informatie over soortensamenstelling, aantallen, biomassa en/of omvang van een populatie. De rapportages over de monitoringresultaten leveren geen informatie over processen of analyse van trends en mogelijke oorzaken.

Tabel 4-6 Overzicht van onderzoeksvragen rond vogels en zeehonden waarop de huidige monitoring een antwoord tracht te bieden.

Onderzoeksvraag	Metingen		Tijdschaal	Ruimtelijke schaal
Aantallen en meerjarige trend in kustbroedvogels	Tellingen in broedkolonies		Jaarlijks	ZW Delta
Aantallen en meerjarige trends van watervogels	Aantallen en verspreiding per soort	Maandelijks vliegtuigtelling	Jaar	ZW Delta
Zeezoogdieren	Aantallen en verspreiding per soort	Maandelijks vliegtuigtelling	Jaar	ZW Delta

4.7 Beschikbare modellen

Er zijn gevalideerde 3D hydrodynamische modellen beschikbaar voor Grevelingen en Veerse Meer waarmee waterbeweging, saliniteit, temperatuur en dichtheid worden berekend (Groenenboom *et al.* 2021, Van der Kaaij & Kerkhoven 2021, Buckman *et al.* 2022, Van der

⁸ <https://open.rijkswaterstaat.nl/open-overheid/onderzoeksrapporten/@187542/watervogels-zeezoogdieren-zoute-delta/#highlight=zeezoogdieren%20en%20watervogels>

⁹ https://open.rijkswaterstaat.nl/open-overheid/onderzoeksrapporten/?search_in_field=text&zoeken=true&pager_page=0&zoeken_term=kustbroedvogels+deltagebied

Heijden & Nolte 2022). Daaraan gekoppeld worden in het 3D waterkwaliteitsmodel de volgende processen gesimuleerd:

- fytoplankton processen: primaire productie, respiratie en mortaliteit
- extinctie van licht
- afbraak van organisch materiaal in water en sediment
- nitrificatie en denitrificatie
- reaeratie
- sedimentatie, resuspensie en begraving van organisch materiaal

Het waterkwaliteitsmodel berekent de concentraties van nutriënten (nitraat, ammonium, orthofosfaat, silicaat), opgelost zuurstof, fytoplankton (diatomeeën, flagellaten, dinoflagellaten en *Phaeocystis*), en detritus in de waterkolom. In de bodem wordt uitsluitend de voorraad van organisch materiaal berekend (in g/m²), gedetailleerde bodemprocessen en poriewaterconcentraties worden niet gemodelleerd. De begrazing van detritus en algen door schelpdieren en zoöplankton en de bodem-water uitwisseling van nitraat, ammonium, fosfaat en zuurstof worden schematisch eenvoudig gemodelleerd.

Deze 3D modellen voor hydrodynamica en waterkwaliteit zijn met name ontwikkeld en gevalideerd voor de condities in het diepere water, in het bijzonder stratificatie. Voor de condities in het ondiepe water met een bodem tot enkele meters diep, zijn de modellen niet specifiek opgezet en vanwege gebrek aan data niet gevalideerd. In ondiep water is juist de uitwisseling tussen water en bodem van grotere invloed op de waterkwaliteit.

Voor de Grevelingen heeft WMR in het kader van het Getij Grevelingen onderzoek een model opgezet dat geschiktheidsindices uitrekent voor filterende bodemdieren en bodemetende bodemdieren (Wijsman *et al.* 2022b). Recent is een eerste validatie van dit model uitgevoerd (Wijsman & Hamer 2024).

5 Leemtes in data en kennis

5.1 Kennisleemtes in beeld

Met de effectketens uit het voorgaande hoofdstuk als uitgangspunt, wordt hier verder uitgewerkt in hoeverre we beschikken over voldoende data, in hoeverre modellen gebruikt kunnen worden voor betrouwbare voorspellingen en in welke mate we beschikken over voldoende kennis over de relevante processen om uitspraken te kunnen doen. Voor dat doel zijn de effectketens verder uitgewerkt tot verrijkte effectketens, waarbij op grond van een aantal criteria databeschikbaarheid, modellering en kennisbeschikbaarheid is aangegeven. Per variabele is met een kleurcodering in de verrijkte effectketens de beoordeling weergegeven van de databeschikbaarheid (Tabel 5-1) en stand van modellering (Tabel 5-2). De beschikbaarheid van wetenschappelijke kennis van de processen is weergegeven als pijlen tussen de variabelen in de verrijkte effectketens, eveneens met een kleurcodering zoals beschreven in Tabel 5-3.



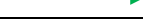
Tabel 5-1 De classificatie van de beschikbaarheid van data.

Classificatie data	omschrijving
D	Geen of zeer beperkt data beschikbaar
D	Data beschikbaar, maar onvoldoende ruimtelijke of temporele dekking
D	Goed

Tabel 5-2 De classificatie van de mogelijkheden voor toepassing van modellen om de werking van het systeem te beschrijven.

Classificatie model	omschrijving
M	Niet in huidige modelinstrumentarium
M	Niet of niet betrouwbaar voorspelbaar met huidige modelinstrumentarium
M	Goed voorspelbaar

Tabel 5-3 De classificatie van de beschikbaarheid van wetenschappelijke proceskennis.

Classificatie kennis	omschrijving
	Geen of weinig empirische kennis beschikbaar
	Enige empirische kennis beschikbaar, maar nog resterende kennisleemtes; alleen kwalitatieve voorspellingen mogelijk
	Voldoende wetenschappelijk inzicht voor kwantitatieve voorspellingen

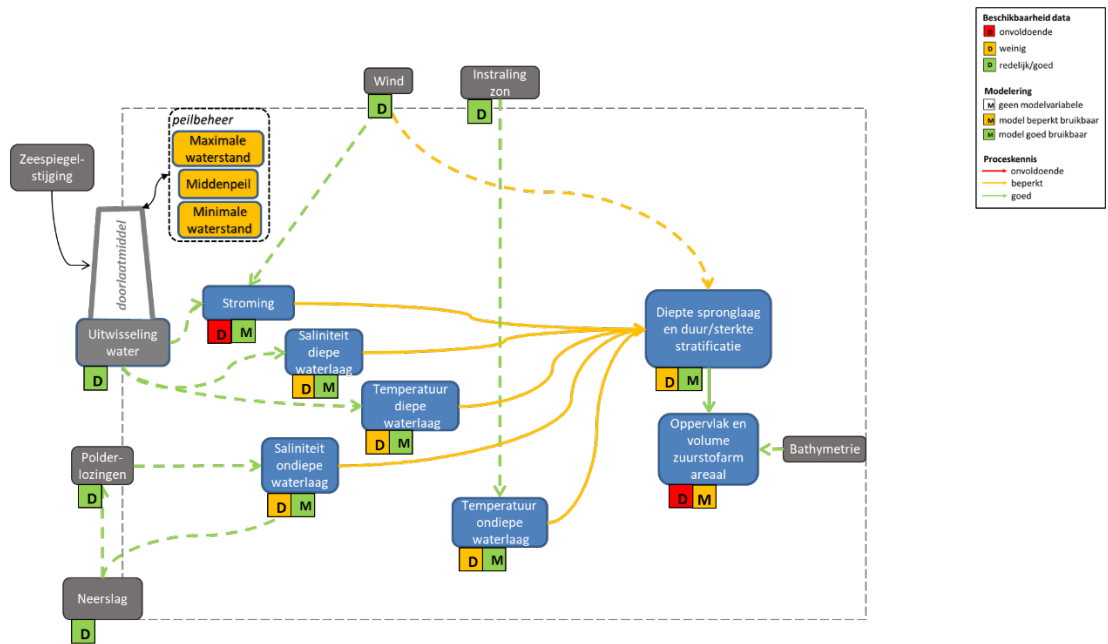
5.2 Verrijkte effectketens

5.2.1 Het fysische systeem

De fysische variabelen en processen zijn weergegeven in een verrijkte effectketen (Figuur 5-1). Data voor de meeste fysische variabelen zijn beschikbaar op een beperkte ruimtelijke en temporele schaal; in de meeste gevallen uit de TSO-metingen die langs een transect in de diepere delen van de meren worden gemeten met een frequentie van 1-2 maal per maand. Gegevens met een hogere meetfrequentie en voor de ondiepe delen van de meren

ontbreken, met uitzondering van enkele meetreeksen met meetboeien bij de Schotsman in het Veerse Meer.

De hydrodynamische modellen voor Grevelingenmeer en Veerse Meer zijn goed genoeg om de seizoensdynamiek en ruimtelijke patronen te voorspellen. Wel is uit de modeltoepassing in het Grevelingenmeer gebleken dat voorspelling van het oppervlak zuurstofarm areaal gevoelig is voor kleine veranderingen in de modelinstellingen, waardoor het zuurstofarm areaal in absolute zin onvoldoende betrouwbaar is; voor een relatieve vergelijking tussen varianten kan dit wel voldoende betrouwbaar gemodelleerd worden (Nolte *et al.* 2021). Kennisleemtes hebben vooral betrekking op de voorspelbaarheid van veranderingen in stratificatie op kortere tijdsintervallen (dagen) en de bijdrage van verschillende omgevingsfactoren aan die veranderingen. Uit de TSO-metingen blijkt dat de stratificatie (zowel in de grootte van het dichtheidsverschil over de spronglaag als in diepte van de spronglaag) kan veranderen in een periode van weken (d.w.z. tussen twee opeenvolgende metingen). Uit de metingen met de meetboeien komen aanwijzingen dat ook op kortere tijdschalen sterke veranderingen kunnen optreden in de verticale profielen van temperatuur, zuurstof en saliniteit. Het is nog onduidelijk welke factoren bijdragen aan die variatie.



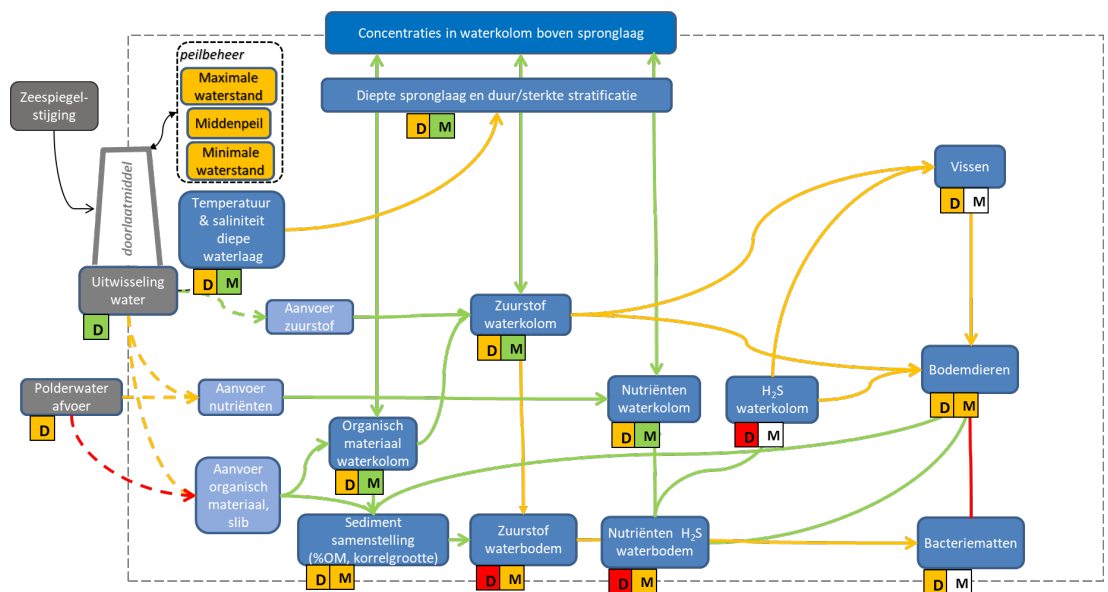
Figuur 5-1 Verrijkte effectketen voor het fysisch systeem. De beschikbaarheid van data (D) en modelkennis (M) is weergegeven met de kleurcodering zoals beschreven in Tabel 5-1 en Tabel 5-2. De processen zijn weergegeven met pijlen waarbij de kleurcodering van Tabel 5-3 gebruikt is om de stand van kennis aan te duiden. De blauwe blokken geven de meest relevante variabelen in het watersysteem weer, waarbij de pijlen de onderlinge relaties aangeven. Grijs blokken en gebroken lijnen geven de invloed van externe factoren weer.

5.2.2 Waterkolom

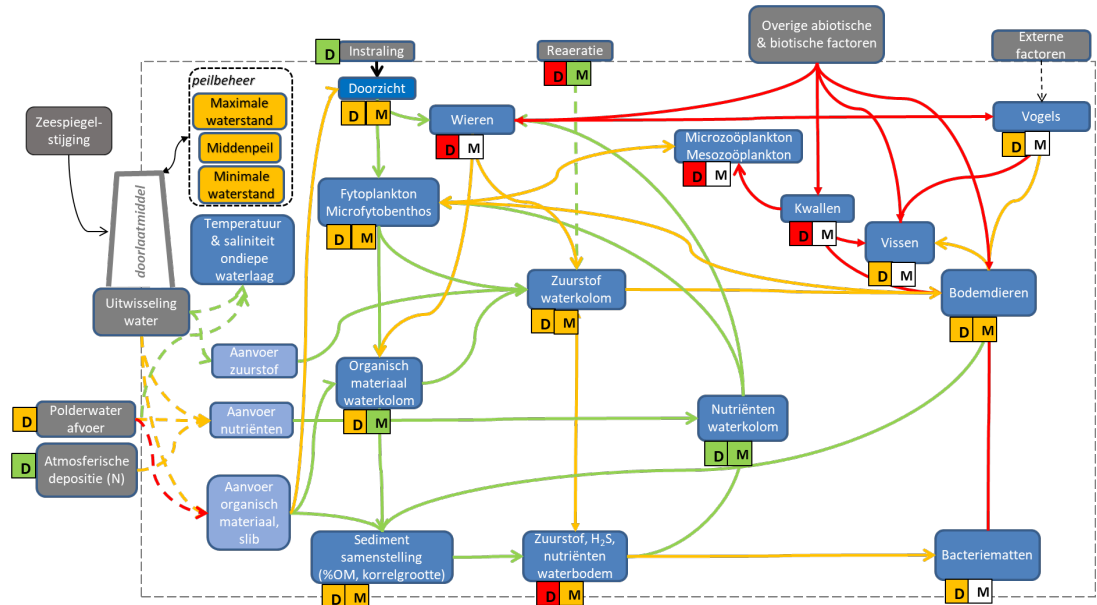
Voor de processen in de waterkolom, onder en boven de spronglaag, zijn de verrijkte effectketens weergegeven in Figuur 5-2 en Figuur 5-3.

Voor de waterlaag aan het oppervlak (boven de spronglaag) zijn meer gegevens beschikbaar over concentraties van nutriënten, zuurstof en chlorofyl dan voor de diepere waterlaag die onregelmatig bemonsterd wordt. Gegevens over H₂S in de waterkolom worden sinds 2024 gemeten tijdens de TSO metingen, in 2022 zijn eenmalig waarnemingen gedaan door Universiteit Utrecht/Radboud Universiteit. Het ontbreekt eveneens aan gegevens over concentraties van zuurstof, nutriënten en H₂S in het sediment. De kennis over de relevante

processen is voldoende om concentraties van nutriënten, zuurstof en chlorofyl redelijk accuraat te kunnen modelleren. Meer onzekerheid bestaat over de effecten van zuurstofconcentraties op bodemdieren en vissen, zowel onder de spronglaag als dicht bij het sediment boven de spronglaag. De doorwerking op de rest van het voedselweb kent ook veel onzekerheden, daar wordt verder op ingegaan in de volgende paragrafen. Gegevens over vrachten van organisch materiaal en nutriënten via polderwaterafvoer en uitwisseling via de doorlaatmiddelen zijn beschikbaar maar er zijn grote hiaten in deze data. Inschatting van de bijdrage van deze externe bronnen aan de flux van organisch materiaal naar de bodem, ten opzichte van de bijdrage van primaire productie, is daarom onzeker. De interactie tussen de waterkolom en de waterbodem en de processen in de waterbodem worden in kwalitatieve, theoretische zin goed begrepen, maar zowel data als geschikte modellen ontbreken om in kwantitatieve, praktische zin uitspraken te kunnen doen (Nolte *et al.* 2021).



Figuur 5-2 Verrijkte effectketen voor de waterkolom onder de spronglaag. Zie de legenda van Figuur 5-1 voor verdere uitleg van kleuren en symbolen.



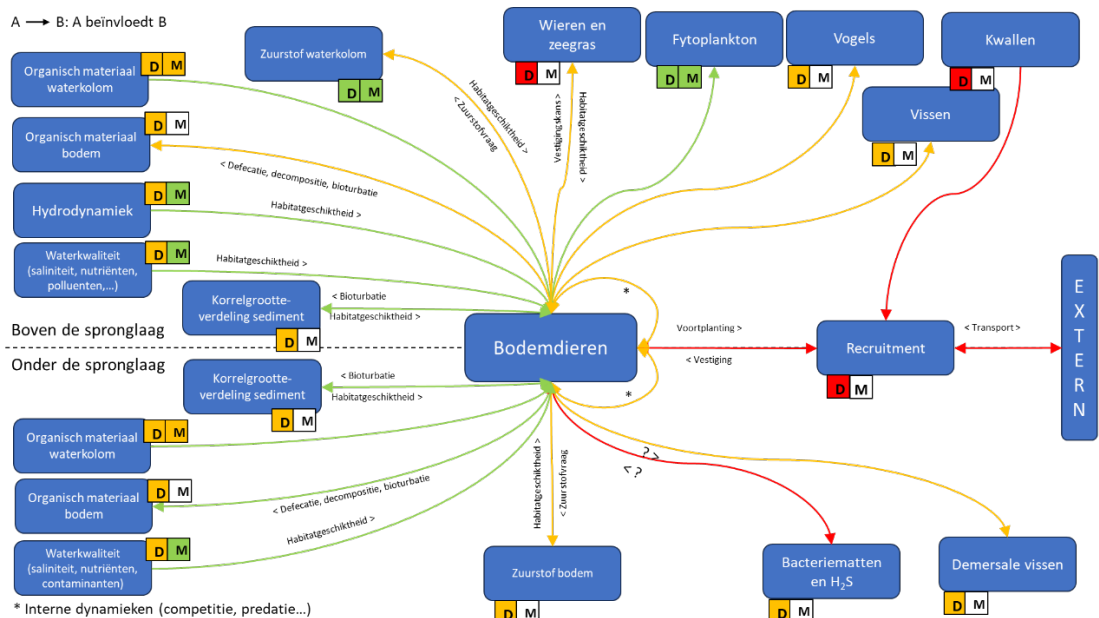
Figuur 5-3 Verrijkte effectketen voor de waterkolom boven de spronglaag. Zie de legenda van Figuur 5-1 voor verdere uitleg van kleuren en symbolen.

5.2.3 Bodemdiergemeenschap

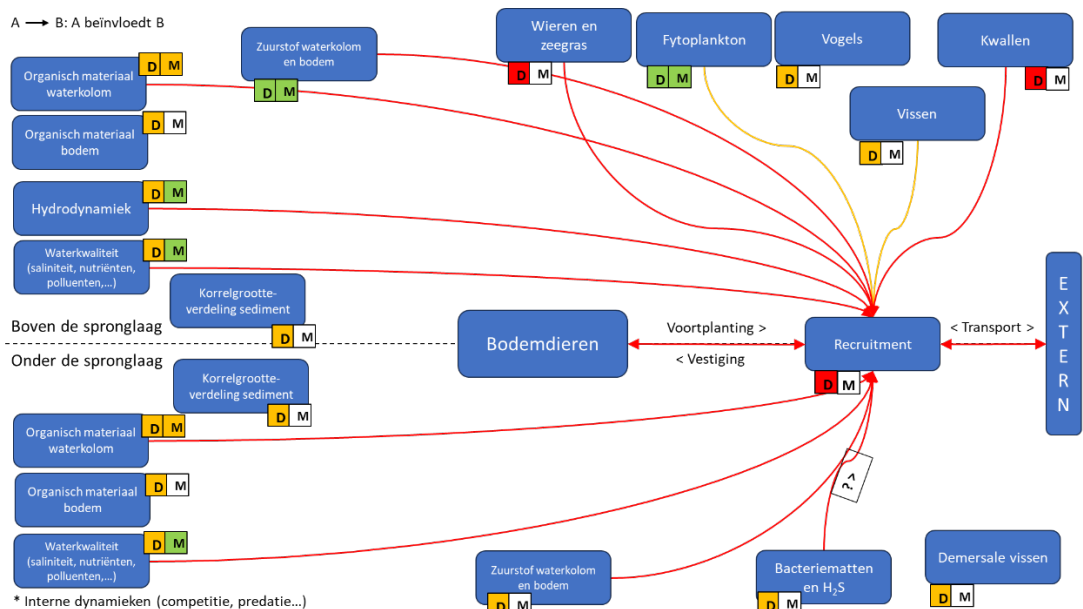
Data over de bodemdiergemeenschap (soortensamenstelling, aantallen, biomassa) zijn beschikbaar uit de MWTL-metingen, die echter niet jaarlijks zijn gedaan. Daarnaast is de bemonstering uitgevoerd door verschillende partijen, met als gevolg dat er wisselingen zijn geweest in de bemonsteringsmethodiek. Dit heeft effect op de gemeten soortenrijkdom en biodiversiteit (Wijsman *et al.* 2022a).

Er is op basis van uitgevoerd onderzoek in de meren en in andere watersystemen in het Deltagebied, Waddenzee en Noordzeekustzone, redelijk goede kennis over de effecten van sedimentsamenstelling, hydrodynamische en andere fysische factoren en zuurstof op soortensamenstelling en biomassa van de bodemdiergemeenschap. Over het effect van het voorkomen van zuurstofloosheid in het sediment en bacteriematten op de bodemdiergemeenschap is minder kennis beschikbaar. Ook over het effect van predatie (vogels, vissen) is onzekerheid (Figuur 5-4).

Recruitment en aanvoer van buiten de meren hebben waarschijnlijk een grote invloed op de samenstelling van de bodemdiergemeenschap. Dit wordt geïllustreerd door het aandeel van niet-inheemse soorten in de bodemdiergemeenschap. Over de bepalende factoren en processen ontbreekt het echter aan kennis.



Figuur 5-4 Verrijkte effectketen voor de bodemdiergemeenschap. Zie de legenda van Figuur 5-1 voor verdere uitleg van kleuren en symbolen.



Figuur 5-5 Verrijkte effectketen voor de aanwas van de bodemdiergemeenschap. Zie de legenda van Figuur 5-1 voor verdere uitleg van kleuren en symbolen.

5.2.4 Benthisch-pelagisch voedselweb

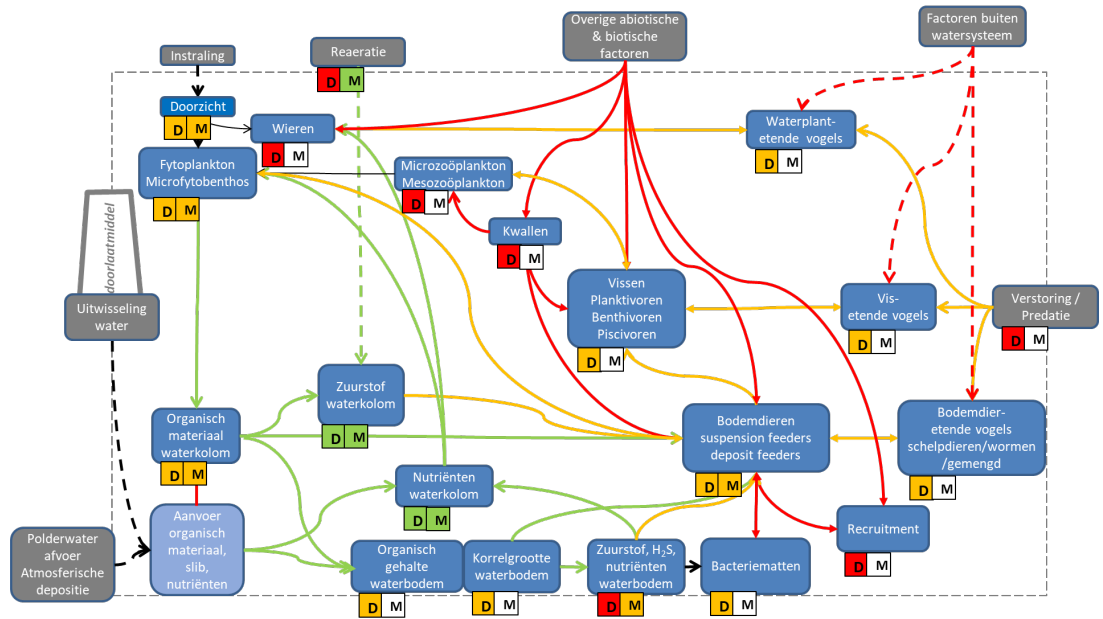
De verrijkte effectketen voor het benthisch-pelagische voedselweb is weergegeven in Figuur 5-6.

Voor het lagere voedselweb (nutriënten-fytoplankton) is de gegevensbeschikbaarheid redelijk, al is de frequentie van de MWTL-metingen te laag om kortstondige fytoplanktonbloeien in alle gevallen waar te nemen. Dit deel van het voedselweb, inclusief de effecten van filterende bodemdieren kan met redelijke nauwkeurigheid gemodelleerd worden. De kennis over de effecten van bodemdierbegrazing op fytoplankton is voldoende aanwezig, maar het ontbreekt aan voldoende betrouwbare data over de biomassa van filterende bodemdieren.

Voor het pelagische voedselweb van primaire en secundaire consumenten (zoöplankton inclusief kwallen, vissen) ontbreekt het aan goede data en kennis (met name over de invloed van kwallen).

Voor andere primaire producenten dan fytoplankton, zoals wieren, zeegras en microfytobenthos ontbreekt het aan data over biomassa waardoor een inschatting over de bijdrage aan de totale primaire productie onzeker is. Over microfytobenthos in de zoute meren is niets bekend, hoewel het grote oppervlak aan ondiepe bodem in de eufotische zone het waarschijnlijk maakt dat het potentieel van belang is.

Voor vogels zijn tellingen beschikbaar met informatie over soorten en voedselpreferentie. De invloed van externe factoren, zoals predatie en verstoring maar ook factoren ver buiten de meren is alleen kwalitatief bekend.



Figuur 5-6 Verrijkte effectketen voor het benthisch-pelagisch voedselweb. Zie de legenda van Figuur 5-1 voor verdere uitleg van kleuren en symbolen.

6 Uitwerking kennisleemtes naar onderzoeksvragen

6.1 Inleiding

Het overzicht van kennisvragen (§3.9) laat zien dat er een breed spectrum van kennisvragen aan de orde is. Het overzicht van de lopende monitoring en onderzoek met de bijbehorende onderzoeksvragen geeft aan dat er al veel monitoring en onderzoek loopt, er al veel data beschikbaar zijn en er ook al deels analyses zijn uitgevoerd die tot meer inzicht hebben geleid (zie onder meer Wetsteyn 2011, Prins & Vergouwen 2015, Nolte & Lagendijk 2016, Tangelder *et al.* 2019, Nolte *et al.* 2021, Wijsman *et al.* 2022b, Heidinga *et al.* 2023a, Heidinga *et al.* 2023b, Prins *et al.* 2023, Prins *et al.* 2024).

Tegelijkertijd is het ook zo dat veel van de monitoring die wordt uitgevoerd (o.a. in het kader van MWTL, WOT) sterk gericht is op alleen het beschrijven van de huidige toestand en trends, waarbij er weinig of geen analyses worden uitgevoerd die zich richten op het beter begrijpen van onderliggende processen en oorzaken. Juist omdat er vaak al veel data beschikbaar zijn, valt hier winst te halen.

6.2 Samenvatting openstaande kennisvragen

Tabel 6-1 geeft een overzicht van onderwerpen en openstaande kennisvragen. Op basis van deze kennisvragen worden in §7 aanbevelingen gedaan voor aanpassingen in de huidige monitoring en meetprogramma's, voor aanvullende analyses en modeltoepassingen en voor de formulering van aanvullend onderzoek.

Tabel 6-1 Overzicht van de openstaande kennisvragen.

Onderwerp	Algemene kennisvraag	Lopend onderzoek/metingen	Kennisleemte	Waarom relevant
Stratificatie waterkolom	Duur en stabiliteit van stratificatie op tijdschaal van dagen	<ul style="list-style-type: none"> • 2-wekelijkse TSO-metingen geven een beeld van de seizoensontwikkeling op een tijdschaal van weken • 3D modellen voor Grevelingenmeer en Veerse Meer reproduceren seizoensbeeld • In 2025 nieuwe validatie Veerse Meer model 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoe is de wisselwerking tussen zout- en temperatuurstratificatie? • Wat is de invloed van uitwisseling (VM: Katse Heule; GM: Brouwerssluis) op de stratificatie in het zomerhalfjaar? 	De duur en sterkte van de stratificatie is van invloed op de ontwikkeling van zuurstofuitputting in de diepere waterlaag
		<ul style="list-style-type: none"> • StratiFEst project gestart met onderzoek naar veranderingen in spronglaag en invloed van weer 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoe stabiel is de stratificatie over een periode van uren/dagen en welke factoren zijn hierop van invloed? 	
Zuurstofcondities	Duur en frequentie van zuurstofarme en zuurstofloze condities beneden én boven de spronglaag	<ul style="list-style-type: none"> • 2-wekelijkse TSO-metingen geven een beeld van de seizoensontwikkeling op verschillende dieptes in de diepere delen van de meren • Meetboeien op twee dieptes in het ondiepe deel van het Veerse Meer geven indicatie van de ontwikkeling in ondiep water 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoe representatief zijn de TSO-metingen voor de condities in de ondiepe delen? • Hoe frequent en langdurig zijn zuurstofarme (<4 mg/l) en zuurstofloze (<2 mg/l) periodes nabij de waterbodem; in de ondiepe delen waar bodemdieren voorkomen? 	De mate van zuurstofuitputting maar vooral ook de duur bepaalt de leefomstandigheden van bodemdieren/demersale vis
H ₂ S	Frequentie van voorkomen van H ₂ S in de waterkolom	<ul style="list-style-type: none"> • TSO-metingen in Veerse Meer gestart in 2024 • Onderzoek door Radboud Universiteit in 2022 	<ul style="list-style-type: none"> • Wat is de frequentie en duur van voorkomen van H₂S in de waterkolom? • Wat is effect van opmenging en doorbreken stratificatie • Welke andere factoren zijn van invloed op het vrijkomen van H₂S uit de waterbodem? 	H ₂ S is toxisch voor fauna
Waterbodem	Toestand en trend van de waterbodem (korrelgrootteverdeling, slibgehalte, organisch stofgehalte)	<ul style="list-style-type: none"> • MWTL-bemonstering (combinatie met bodemdieren bemonstering) geeft informatie over toestand en langjarige trends • + hard sub 	<ul style="list-style-type: none"> • Is er een verandering in de samenstelling van de waterbodem (% org.materiaal, slib, korrelgrootte)? • Wordt dit veroorzaakt door import of interne bronnen (bijv. herverdeling sediment, primaire productie)? • Zijn er verschillen tussen beide zoute meren en tussen verschillende deelgebieden van de meren? 	De sedimentsamenstelling is van invloed op de soortensamenstelling van de bodemdiergemeenschap. Toevoer van organisch materiaal kan leiden tot verhoogde zuurstofvraag van de waterbodem. De bronnen van organisch materiaal kunnen verschillen tussen VM en GM.

Onderwerp	Algemene kennisvraag	Lopend onderzoek/metingen	Kennisleemte	Waarom relevant
	Zuurstofvraag van de waterbodem	<ul style="list-style-type: none"> • Metingen in Veerse Meer door Universiteit Utrecht/Radboud Universiteit in 2022 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoe groot is de zuurstofvraag van de waterbodem? • Welke abiotische/biotische factoren zijn hierop van invloed? • Is er verschil tussen de meren en tussen deelgebieden in de meren? 	Bacteriematten zijn een symptoom van zuurstofloosheid in de bodem maar zijn mogelijk ook van invloed op de vestigingsmogelijkheden van bodemdieren. Er zijn anekdotische aanwijzingen voor toename van bacteriematten ook op ondiepere locaties.
	Toestand en trend van het voorkomen van bacteriematten (omvang, bedekkingsgraad)	<ul style="list-style-type: none"> • Opnames van voorkomen en verspreiding van bacteriematten in een aantal jaren in Grevelingenmeer en Veerse Meer door BuWa 	<ul style="list-style-type: none"> • Is er een uitbreiding in het voorkomen van bacteriematten op diepe en op ondiepe locaties? • Welke factoren spelen hierbij een rol? • Wat is de interactie tussen voorkomen van bacteriematten en de bodemdiergemeenschap? 	
Bodemdieren	Toestand en trend van de bodemdiergemeenschap en invloed van abiotische/biotische factoren	<ul style="list-style-type: none"> • MWTL-bemonstering van bodemdieren en WOT Schelpdiersurvey geven informatie over toestand en langjarige trends • Nadere analyse van MWTL-data door WMR in 2025 	<ul style="list-style-type: none"> • Zijn er veranderingen in de bodemdiergemeenschap en zo ja, wat is daarvan de oorzaak? • Welke abiotische (bijv. zuurstof, temperatuur, sedimentsamenstelling) en biotische (bijv. broedval, competitie met invasieve exoten) factoren kunnen dit verklaren? • Zijn er verschillen tussen beide zoute meren en tussen verschillende deelgebieden van de meren? • Is er een verandering in de functionele rol van bodemdieren? • Is er een verandering in het voedselaanbod voor vissen, vogels? 	De globale toestand en meerjarige trends in de bodemdiergemeenschap zijn beschreven in de MWTL- en WOT-rapportages, maar het ontbreekt aan een statistische analyse van causale factoren. Bodemdieren zijn van belang als biologisch kwaliteitselement (KRW) en als voedselbon voor vogels en vissen.
Nutriënten-belasting en primaire productie	Toestand en trend van nutriënten	<ul style="list-style-type: none"> • Stoffenbalans is beschikbaar • MWTL-monitoring geeft informatie over trends in nutriëntenconcentraties op tijdschaal van seizoenen/jaren • 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoe groot is het aandeel van antropogene bronnen (polders, atmosferische depositie, overige aanvoer) <p>In welke mate is nutriëntenbelasting van invloed op de primaire productie van fytoplankton en fyto benthos?</p>	Primaire productie wordt in belangrijke mate bepaald door nutriëntenbeschikbaarheid; bijdrage van verschillende bronnen verschilt tussen VM en GM
	Toestand en trend van fytoplankton	<ul style="list-style-type: none"> • MWTL-metingen Chlorofyl-a en fytoplankton samenstelling • Primaire productiemetingen van fytoplankton sinds 2020 	<ul style="list-style-type: none"> • Is er een trendmatige verandering in fytoplankton biomassa, soortensamenstelling en primaire productie? 	Fytoplankton is een basis van het voedselweb. Er is geen analyse van veranderingen in samenstelling. Het

Onderwerp	Algemene kennisvraag	Lopend onderzoek/metingen	Kennisleemte	Waarom relevant
			<ul style="list-style-type: none"> • Is er verschil tussen de meren? 	ontbreekt aan langere tijdreeksen van primaire productie
	Toestand en trend van microfytobenthos en van wieren en zeegras	<ul style="list-style-type: none"> • Opnames van omvang/bedekking wierenbestanden door BuWa • KRW-maatregelen voor introductie zeegras 	<ul style="list-style-type: none"> • Wat is de bijdrage van microfytobenthos aan de primaire productie? • Wat is de bijdrage van wieren aan de primaire productie? • Wat is het belang van wieren/zeegras als habitat? • Welke factoren zijn van invloed op de omvang en samenstelling van het wierenbestand? 	Microfytobenthos en wieren zijn potentieel een belangrijke voedselbron voor sommige soorten bodemdieren, vissen en vogels
Vissen	Toestand en trend van de visgemeenschap en invloed van abiotische/biotische factoren	<ul style="list-style-type: none"> • MWTL-bemonstering van vissen geeft informatie over toestand en langjarige trends • Vangstregistratie aal? 	<ul style="list-style-type: none"> • Treden er veranderingen op in de visgemeenschap, en zo ja, wat is de oorzaak? • Welke abiotische en biotische factoren binnen de meren kunnen dit verklaren? • Zijn er effecten van veranderingen in de visgemeenschap in Noordzee/Oosterschelde? • Zijn er verschillen tussen beide zoute meren en tussen verschillende deelgebieden van de meren? • Is er een verandering in het voedselaanbod voor vogels? 	De globale toestand en meerjarige trends zijn beschreven in de MWTL-rapportages. Het ontbreekt aan een statistische analyse van causale factoren, waarbij ook de vraag is of de beschikbaarheid van data voldoende is voor verdergaande analyse.
Vogels	Toestand en trend van de vogelpopulaties (aantallen, broedsucces); wordt voldaan aan instandhoudingsdoelen	<ul style="list-style-type: none"> • Jaarlijkse MTWL-tellingen geven informatie over toestand en langjarige trends 	<ul style="list-style-type: none"> • Wat is de oorzaak van de veranderingen in de vogelpopulaties in de meren? • Voor welke soorten spelen ontwikkelingen in de ecologie en waterkwaliteit in de meren zelf hierbij een belangrijke rol (bijv. viseters, bodemdiereters)? 	Beide meren hebben een belangrijke rol als rust-, broed- en leefgebied voor vogels en zijn aangewezen als speciale beschermingszone onder de Vogelrichtlijn.
Voedselweb	Graasdruk van bodemdieren (zacht/hard substraat) en zoöplankton op het fytoplankton	<ul style="list-style-type: none"> • MWTL-opnames bodemdieren, incidenteel bemonsteringen hard substraat 	<ul style="list-style-type: none"> • Wat is de invloed van filtrerende bodemdieren (schelpdieren, zakpijpen, enz.) op de concentraties van fytoplankton 	De fytoplanktonconcentraties in beide meren zijn relatief laag, waarschijnlijk door graasdruk van bodemdieren
	Ontwikkeling kwallenpopulaties	<ul style="list-style-type: none"> • Incidenteel monitoring van kwallen 	<ul style="list-style-type: none"> • Is er een toename van kwallenpopulaties (aantallen, soortensamenstelling) in de meren? • Welke factoren spelen hierbij een rol? 	Er zijn anekdotische aanwijzingen voor toename in aantallen kwallen. Als predator kunnen kwallen effecten hebben op zoöplankton, vislarven.

Onderwerp	Algemene kennisvraag	Lopend onderzoek/metingen	Kennisleemte	Waarom relevant
			<ul style="list-style-type: none"> • Wat is het effect op het voedselweb? 	
Niet-inheemse soorten	Wat is de invloed van invasieve exoten op het ecosysteem functioneren	<ul style="list-style-type: none"> • Waarnemingen van introducties door Gimaris 	<ul style="list-style-type: none"> • Welke invasieve exoten leiden tot verandering in het ecosysteem functioneren? 	Niet-inheemse soorten komen veel voor en hebben in sommige gevallen een mogelijke invloed op het ecosysteem functioneren (bijv. Japans bessenwier, Japanse oester, Filipijnse tapijtschelp, verschillende kwalensoorten).
Vervuiling	Invloed van contaminanten	<ul style="list-style-type: none"> • MWTL-metingen 	<ul style="list-style-type: none"> • Zijn normoverschrijdende stoffen van invloed op het ecologisch functioneren van het systeem? 	Een aantal alomtegenwoordige stoffen overschrijdt de KRW-normen.
Overig	Rol van meren in ZW Delta	-	<ul style="list-style-type: none"> • Wat is de rol van de meren in de ZW Delta, bijv. voor vismigratie, hoogwatervluchtplaats, kraamkamer? • In hoeverre zijn de huidige ecologische/waterkwaliteitsproblemen van invloed op die rol? 	Voor functioneren van de meren is het relevant ook te kijken naar de rol van de meren als onderdeel van de ZW Delta
	Klimaatverandering	-	<ul style="list-style-type: none"> • Wat is de invloed van klimaatverandering (o.a. stijging watertemperatuur, verandering in neerslag)? 	Op langere termijn kan klimaatverandering effect hebben op voorkomen van soorten en ecologische processen

7 Aanbevelingen voor een onderzoeksplan

In dit hoofdstuk geven we, rekening houdend met lopende monitoring en onderzoek beschreven in hoofdstuk 4 en de in de hoofdstuk 6 geformuleerde kennisvragen, aanbevelingen voor een onderzoeksplan. Per onderwerp behandelen we de mogelijkheden voor data-analyses, aanpassingen in lopende monitoring en onderzoek, modelanalyses of de noodzaak voor aanvullend onderzoek.

7.1 Stratificatie waterkolom

De stratificatie van de waterkolom is van invloed op de mengprocessen in de waterkolom. De TSO-metingen die worden uitgevoerd in de geulen in Veerse Meer en Grevelingenmeer geven een beeld van het seizoenspatroon in de verticale profielen van onder meer temperatuur, saliniteit en zuurstof.

7.1.1 Wat kan aanvullende data-analyse opleveren

Analyse van de verticale profielen van de TSO-metingen, met name dichtheid en zuurstof, geeft inzicht in de stabiliteit van de stratificatie, de diepte van de spronglaag en de effecten op zuurstof in de meren op een tijdschaal van weken/maanden. In delen van het Veerse Meer is er sprake van lagere zuurstofconcentraties in de zomer in de laatste jaren, ook boven of rond de spronglaag (Prins *et al.* 2024). Een analyse voor de Grevelingen en een vergelijking van de ontwikkelingen in beide meren kan helpen bij het beter begrijpen van achterliggende factoren, zoals hogere watertemperaturen, het vaker en langduriger optreden van hittegolven, veranderde windcondities en andere klimaat effecten.

7.1.2 Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek

Resultaten van het project StratiFEst kunnen inzichten opleveren voor monitoring en vervolgonderzoek..

7.1.3 Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren

De resultaten van het StratiFEst project kunnen gebruikt worden om te onderzoeken in hoeverre het huidige hydrodynamische en waterkwaliteitsmodel in staat is de variaties in stratificatie op kortere tijdschalen onder invloed van meteorologie (wind, zoninstraling, etc.) en/of waterbalans (polderlozingen, Kanaal door Walcheren, uitwisseling Katse Heule) te beschrijven. De in 2024 uitgevoerde metingen zijn voldoende om het beschikbare model te valideren; deze validatie zal in 2025 worden uitgevoerd in samenwerking tussen StratiFEst en Deltares. Mogelijk kan dit ook leiden tot verbeteringen in de modellering.

7.1.4 Wat kan aanvullend onderzoek opleveren

Het StratiFEst project gaat meer inzicht geven in de stabiliteit van de stratificatie op een tijdschaal van dagen/weeken, en in de effecten van wind. Dit kan helpen bij het beter begrijpen van de dynamiek in zuurstofconcentraties in de diepere delen. Onze aanbeveling is om eerst de resultaten van dit onderzoeksproject af te wachten.

7.2 Zuurstofcondities

7.2.1 Wat kan aanvullende data-analyse opleveren

De TSO-metingen geven inzicht in de seizoensontwikkeling in zuurstofconcentraties in de diepere delen van de meren. In het Veerse Meer is een meetboei ingezet op een ondiepe

locatie, wat meer inzicht geeft in de verticale profielen van o.a. zuurstof in de ondiepere delen van het meer. Analyse van deze data in combinatie met de TSO-meetdata kan gebruikt worden om meer inzicht te krijgen in de representativiteit van de TSO-data voor de waterkolom in de ondiepe delen van het Veerse Meer.

7.2.2 Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek

Metingen in de ondiepe delen van de meren, aanvullend op de huidige TSO-metingen, zijn nodig om meer inzicht te krijgen in het verloop van de zuurstofconcentraties in de ondiepe delen, en dan gaat het vooral om concentraties nabij de bodem die relevant zijn voor bodemdieren. Voor die metingen is vooral de zomer en het vroege najaar van belang, omdat dan de laagste zuurstofconcentraties te verwachten zijn. De metingen dienen relatief hoogfrequent (minimaal 1/uur) te zijn om de variabiliteit voldoende te meten en deze te kunnen verklaren. Dit is nu een belangrijke kennisleemte.

7.2.3 Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren

De verticale resolutie van de modellen is mogelijk onvoldoende om de zuurstofconcentraties bij de bodem in de ondiepe delen van de meren goed weer te geven. Maar een grotere beschikbaarheid van data van die zuurstofconcentraties is een eerste vereiste voor aanpassingen van de modellen. De in 2024 verzamelde data is voldoende voor een validatie van het beschikbare model. Deze validatie, die in 2025 uitgevoerd gaat worden in samenwerking tussen StratiFEst en Deltares, zal vaststellen in hoeverre de verticale resolutie en de wijze waarop de zuurstofprocessen in het model zijn opgenomen, in staat zijn om de gemeten dynamiek te reproduceren.

7.2.4 Wat kan aanvullend onderzoek opleveren

Het zuurstofverbruik van de bodem is één van de belangrijke drijvende factoren achter verlaagde zuurstofconcentraties bij de bodem. Zowel in Grevelingenmeer als Veerse Meer zijn metingen uitgevoerd van het zuurstofverbruik van de waterbodem (o.a. Seitaj *et al.* 2017, Slomp & van Helmond in prep.). Op dit moment is het nuttiger om meer inzicht te krijgen in de processen die van invloed zijn op de zuurstofvraag, zoals de aanvoer van organisch materiaal naar de bodem, dan aan het nauwkeuriger kwantificeren van de zuurstofvraag van het sediment waar al vrij veel data en kennis over beschikbaar zijn.

7.3 H₂S

7.3.1 Wat kan aanvullende data-analyse opleveren

In 2024 zijn metingen van H₂S in de waterkolom gestart in combinatie met de TSO-data. Pas als er voldoende en betrouwbare gegevens beschikbaar zijn (minimaal één volledig meetjaar) en er inzicht is in de frequentie van voorkomen van H₂S, kan besloten worden over nadere analyses.

7.3.2 Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek

Pas als er inzicht is in de eerste resultaten van de monitoring in het TSO-programma, is het zinvol om na te denken over eventuele aanpassingen en verbeteringen.

7.3.3 Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren

Op dit moment niet aan de orde. H₂S wordt in het beschikbare model niet gemodelleerd. De eerder genoemde modelvalidatie (in 2025) zal wel kennis leveren over de frequentie van menging van diep water met de oppervlaktelaag, wat indirect geïnterpreteerd kan worden naar het mogelijk voorkomen van H₂S in de oppervlaktelaag.

7.3.4 Wat kan aanvullend onderzoek opleveren

Mogelijk kan monitoring van de ophoping van H₂S in de bodem dienen als een 'early warning' voor het risico op vrijkomen van H₂S in de waterkolom en mogelijke vis- en bodemdiersterfte. Met daarbij de kanttekening dat het waarschijnlijk niet de concentratie van H₂S in de bodem is die bepalend is voor het vrijkomen in de waterkolom. Andere processen, zoals de invloed van wind(menging) zijn zeer waarschijnlijk hierbij van belang (§7.1). Als de resultaten van H₂S metingen in de waterkolom (TSO-metingen) daar aanleiding toe geven, zou verder onderzocht kunnen worden of meting van H₂S in de bodem nuttig is.

7.4 Waterbodem

7.4.1 Wat kan aanvullende data-analyse opleveren

Bij de MWTL-bemonstering van bodemdieren worden ook gegevens van sedimentsamenstelling verzameld. Analooq aan de analyse van de bodemdiergegevens (zie hieronder in §7.5) wordt aanbevolen een statistische analyse uit te voeren van de trends in sedimentsamenstelling om duidelijkheid te krijgen over het al dan niet optreden van veranderingen in sedimentsamenstelling (o.a. toetsing van de hypothese dat er een ophoping van organisch materiaal plaatsvindt) en over het voorkomen van ruimtelijke verschillen. Daarbij is ook de vraag aan de orde in hoeverre veranderingen in bemonstering- en analyse-methodiek het toelaten om trendmatige veranderingen vast te stellen.

De bronnen van het organisch materiaal dat bezinkt op de waterbodem kunnen beter gekwantificeerd worden. Een eerste schatting van de ordegrööte van het relatieve belang van de verschillende bronnen kan gemaakt worden op basis van gegevens van primaire productie (meetresultaten fytoplankton, schatting wierenproductie) en gegevens van de waterbalans (afvoer poldergemalen en debieten van doorlaten met een schatting van de concentraties particulier organisch materiaal). Deze schattingen van de concentraties kunnen worden afgeleid van MWTL-metingen als het gaat om de import via de doorlaatmiddelen, voor de poldergemalen moet nagegaan worden welke gegevens er beschikbaar zijn bij de twee waterschappen. Op basis van die eerste schatting kan besloten worden of verdere data-analyse of aanvullende monitoring (bijv. bij poldergemalen) nodig is.

De verspreiding van bacteriematten is deels in kaart gebracht in Veerse Meer en Grevelingenmeer. Het voorkomen van matten van *Beggiatoa* kan worden beschouwd als een over de tijd geïntegreerde indicator voor de kwaliteit van het bodemleven. Er is een vrij grote en onverklaarde variatie over de jaren en ook is de ruimtelijke variatie aanzienlijk (o.a. Van Dongen & Olde Wolbers 2023). Onderzocht zou moeten worden of het met de nu beschikbare dataset mogelijk is meer verbanden te leggen tussen voorkomen en omvang van bacteriematten en omgevingsfactoren. Hierbij kunnen gegevens van de 3D modellen over hydrodynamische en zuurstofcondities wellicht ook behulpzaam zijn om onderscheid te maken tussen gebieden met meer en minder risico op het voorkomen van bacteriematten.

7.4.2 Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek

Import van organisch materiaal via de Brouwerssluis is al eens gekwantificeerd op basis van troebelheidsmetingen. Er zijn ook aanbevelingen gedaan om de onzekerheid in die schatting te verminderen door verbeteringen in de metingen (Stronkhorst *et al.* 2021). We bevelen aan om, afhankelijk van de risico-inschatting in §7.4.1, te besluiten over aanvullende metingen met een verbeterde methode in zowel Grevelingenmeer (Brouwerssluis, Flakkeese Spuisluis) als Veerse Meer (Katse Heule).

7.4.3 **Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren**

Op dit moment geen prioriteit.

7.4.4 **Wat kan aanvullend onderzoek opleveren**

Op dit moment geen prioriteit.

7.5 **Bodemdieren**

7.5.1 **Wat kan aanvullende data-analyse opleveren**

In het kader van MWTL is in zowel Veerse Meer als Grevelingenmeer langjarig het bodemdierenbestand bemonsterd. Deze gegevens zijn gerapporteerd waarbij de algemene ontwikkelingen en trends op hoofdlijnen beschreven zijn. In die beschrijvingen zijn verschillende dieptestrata en deelgebieden van de meren (oost/west) onderscheiden. De middendelen van de meren worden niet bemonsterd. Een meer gedetailleerde analyse waarbij de invloed van omgevingsfactoren onderzocht is, ontbreekt tot nu toe, afgezien van een eerste analyse door Wijsman & Hamer (2024). Daar komt bij dat de methodiek van bemonsteren en analyseren in de loop van de jaren veranderd is (zie o.a. Van der Jagt *et al.* 2022, van der Jagt *et al.* 2024). Als gevolg daarvan is onzeker welke trends er zijn in de bodemdierengemeenschap en wat de verklarende factoren zijn.

We bevelen daarom aan om een uitgebreide statistische analyse te doen van de bodemdierdata van Veerse Meer en Grevelingenmeer, waarbij specifiek gekeken wordt naar de relatie met omgevingsvariabelen (bijv. diepte, sedimentsamenstelling, stroomsnelheid, zuurstofcondities, enz.). De vraag die daarbij allereerst beantwoord moet worden, is in hoeverre methodische veranderingen in de bemonstering en analyse van de bodemdiermonsters het vaststellen van trends en van effecten van omgevingsfactoren verhindert.

Bij de keuze van relevante omgevingsfactoren in de analyse kan gebruik worden gemaakt van beschikbare meetgegevens maar kunnen de 3D modellen voor Grevelingenmeer en Veerse Meer ook nuttige gegevens aanleveren.

Idealiter levert zo'n analyse een generiek beeld van de effecten van omgevingsfactoren op de bodemdiergemeenschap in de zoute meren. Het is echter niet uitgesloten dat er verschillen zijn tussen beide meren die niet verklaard kunnen worden uit omgevingsfactoren die in de analyses worden betrokken.

In de WOT Schelpdiersurvey worden alle dieren na determinatie ingedeeld in leeftijd- en/of lengteklassen. Onderzocht moet worden of deze data nu al de mogelijkheid bieden voor een analyse van leeftijdsopbouw en daarmee van het optreden van broedval of dat eerst een uitbreiding van het meetprogramma nodig zou zijn. Deze gegevens kunnen dienen als een belangrijke indicator voor de ontwikkelingen in het watersysteem, bijvoorbeeld inzicht in productie en overleving.

7.5.2 **Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek**

Tijdens de MWTL-bemonstering van bodemdieren worden geen andere metingen verricht die informatie zouden kunnen geven over de omstandigheden op de monsterlocatie. Voorafgaand aan de bemonsteringen zou een aantal fysisch-chemische parameters gemeten kunnen worden (temperatuur, saliniteit, zuurstof) nabij de bodem. Daarbij is het wel van belang te realiseren dat het slechts een momentopname betreft en daarom niet noodzakelijkerwijs representatief voor de lokale omstandigheden over een langere periode.

Om een visueel beeld te krijgen van de condities, zou inspectie met bijv. een dropcamsysteem zoals gebruikt wordt in monitoring van bacteriematten (zie Van Dongen & Olde Wolbers 2024) nuttig zijn.

7.5.3 **Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren**

Voor het Grevelingenmeer zijn potentiële geschiktheidsindices voor filtrerende en bodemetende bodemdieren ontwikkeld, die afgeleid worden van modelvariabelen. De indices lijken geschikt voor vergelijkende scenariostudies maar hebben nog een beperkte voorspellende waarde voor het voorkomen van bodemdieren (Wijsman & Hamer 2024). Dit zou mogelijk verbeterd kunnen worden en uitgebreid naar toepassing in het Veerse Meer. Om dit te kunnen uitvoeren zijn eerst de resultaten van de bovengenoemde statistische analyses (§7.5.1) nodig.

7.5.4 **Wat kan aanvullend onderzoek opleveren**

Prioriteit hebben de acties beschreven hierboven. Een resterende vraag is de interactie tussen bodemdieren en bacteriematten van *Beggiatoa*. Een logische eerste stap is het uitvoeren van literatuuronderzoek met aandacht voor andere, vergelijkbare, watersystemen.

7.6 **Nutriëntenbelasting en primaire productie**

7.6.1 **Wat kan aanvullende data-analyse opleveren**

Sinds 2021 wordt primaire productie gemeten in Veerse Meer en Grevelingenmeer (Dijkman 2023). Gegevens over nutriëntenbelasting, nutriëntenconcentraties en chlorofylconcentraties zijn over een lange reeks van data beschikbaar, maar laten geen duidelijke onderlinge correlaties zien. Als er over meerdere jaren primaire productie data beschikbaar komen, is het nuttig om een analyse te maken van de relaties tussen primaire productie en de factoren licht en nutriënten. Dit biedt een mogelijkheid om inschattingen te maken van meerjarige trends en validatie van de ecologische modellen.

7.6.2 **Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek**

In de MWTL-monitoring worden alleen incidenteel monsters genomen op meer dieptes dan het oppervlak. We bevelen aan om, tijdens stratificatie, standaard monsters te nemen op meerdere dieptes, in ieder geval oppervlak en nabij de bodem (onder de spronglaag) zodat er meer informatie beschikbaar komt die inzicht geeft in de hoeveelheid nutriënten in de gehele waterkolom en de teruglevering van nutriënten vanuit de bodem.

Er is beperkte informatie beschikbaar over omvang en biomassa van wieren. Jaarlijkse opnames van de wierenbestanden zijn nuttig om een betere kwantificering te kunnen maken van het belang van de wierenproductie, ten opzichte van fytoplanktonproductie, als primaire producent en bron van organisch materiaal (zie ook §7.4.1).

Bij de bestandsopnames van wieren zou ook gekeken moeten worden naar de functie van wierenbestanden als habitat voor fauna, zoals bijv. jonge vis of kwalen.

Microfytobenthos in de ondiepe delen van de meren die in de fotische zone liggen (het bovenste deel van de waterkolom met voldoende licht voor primaire productie) wordt op dit moment niet bemonsterd en evenmin zijn er geen metingen van primaire productie. In principe kan de bijdrage aan de totale primaire productie kwantitatief van belang zijn (Nienhuis & de Bree 1984). Wij adviseren om eerst een globale inschatting te maken van de relatieve bijdrage van microfytobenthos aan de totale primaire productie, indien mogelijk met de inzet van modellen. Op basis van die eerste schatting kan besloten worden of aanvullende monitoring prioriteit zou moeten hebben.

7.6.3 **Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren**

Onderzocht moet worden of het via modelinzet mogelijk is tot een eerste inschatting van het relatieve belang van primaire productie van wieren en microfytobenthos.

7.6.4 **Wat kan aanvullend onderzoek opleveren**

Op dit moment geen prioriteit.

7.7 **Vissen**

7.7.1 **Wat kan aanvullende data-analyse opleveren**

Analoog aan bodemdieren (zie §7.5.1), adviseren we om een uitgebreide statistische analyse te doen van de data van de visbemonsteringen van Veerse Meer en Grevelingenmeer, waarbij specifiek gekeken wordt naar de relatie met omgevingsvariabelen (bijv. diepte, sedimentsamenstelling, stroomsnelheid, zuurstofcondities, enz.). De vraag die daarbij allereerst beantwoord moet worden is in hoeverre het beperkte aantal jaren waarvoor data beschikbaar zijn, het vaststellen van trends en van effecten van omgevingsfactoren verhindert.

7.7.2 **Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek**

De huidige monitoring is gericht op bodemgebonden vis, trends en ontwikkelingen van pelagische vis worden niet gemonitord. Onbekend is hoe belangrijk die groep is en of het van belang is deze te gaan monitoren. Dit zou verder uitgewerkt moeten worden, ook op basis van de analyse van de visdata.

7.7.3 **Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren**

Voor vissen zijn er op dit moment geen modeltoepassingen beschikbaar. Mocht er behoefte ontstaan aan modeltoepassingen, dan adviseren we om eerst te kijken naar de modelontwikkeling die plaats vindt in het programma Monitoring en Onderzoek Natuurversterking en Soortenbescherming (MONS), dat zich richt op de veranderingen die in de Noordzee plaatsvinden.

7.7.4 **Wat kan aanvullend onderzoek opleveren**

Op dit moment geen prioriteit.

7.8 **Vogels**

7.8.1 **Wat kan aanvullende data-analyse opleveren**

Vogels worden al vele jaren gemonitord in de ZW Delta, en de resultaten van die monitoring worden jaarlijks gerapporteerd (zie Hoekstein *et al.* 2024 voor de laatste rapportage). In die rapportage worden trends van watervogels beschreven per bekken. In die rapporten worden al suggesties gedaan voor mogelijke oorzaken voor de waargenomen trends, zoals voedselaanbod, verstoring, predatie. Meer uitgebreide analyses van de oorzaken vallen echter buiten het kader van die rapportages.

In 2019 is al eens een meer uitgebreide analyse gedaan voor Grevelingen en Haringvliet, waarbij aanbevelingen zijn gedaan voor benodigde extra informatie en analyses (Arts *et al.* 2019). Ook in de evaluatie van de Natura 2000 beheerplannen worden suggesties voor mogelijke oorzaken gedaan (Heidinga *et al.* 2023a, Heidinga *et al.* 2023b).

Wij stellen voor om op basis van de beschikbare kennis en informatie uit de tellingen stapsgewijs te onderzoeken:

- Wat is de trend voor iedere soort, zijn de trends identiek in beide meren of zijn er verschillen?
- Kunnen verschillende biologische eigenschappen ('traits') van de soorten worden onderscheiden en zijn op traits-niveau trends aanwezig?
- Voor welke soorten is het aannemelijk dat factoren gerelateerd aan waterkwaliteit en ecologie in de meren een rol spelen?
- Welke hypothesen kunnen er geformuleerd worden over de oorzaken van de trends?
- Is het mogelijk om met bestaande gegevens (bijv. data uit bodemdier- of vismonitoring, informatie over verstoring, enz.) hypothesen te toetsen?
- Welke extra gegevens zijn er nodig om hypothese te toetsen?

Op basis van die analyse kunnen conclusies getrokken worden over oorzaken en over de noodzaak voor aanvullende monitoring en onderzoek.

7.8.2 Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek

Dit is deels afhankelijk van de conclusies uit §7.8.1. Wel kan al geconcludeerd worden dat inventarisatie en monitoring van menselijke verstoring onvoldoende is (Heidinga *et al.* 2023a, Heidinga *et al.* 2023b).

7.8.3 Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren

Op dit moment zijn er geen geschikte modellen beschikbaar.

7.8.4 Wat kan aanvullend onderzoek opleveren

Afhankelijk van de conclusies uit §7.8.1.

7.9 Voedselweb

7.9.1 Wat kan aanvullende data-analyse opleveren

Op dit moment zijn er onvoldoende data beschikbaar.

7.9.2 Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek

Met name voor het pelagisch voedselweb zijn er grote leemtes in data en kennis. Dit betreft zoöplankton (microzoöplankton, mesozoöplankton zoals copepoden, megazoöplankton zoals kwallen) en pelagische vissen, waarbij het niet alleen om dichtheden of biomassa gaat maar ook om voedselrelaties en de effecten op andere delen van het voedselweb. Kwallen (Japanse kruiskwal, oorkwallen, Amerikaanse kruiskwal) zijn daar mogelijk de belangrijkste leemte omdat de indruk bestaat dat er een toename is in dichtheden met potentieel effecten op het voedselweb, maar monitoring beperkt is. Het verdient daarom aanbeveling om monitoring van kwallen in beide meren op een structurele basis in te vullen.

In het MONS programma is gestart met de monitoring van zoöplankton in de Noordzee. We stellen voor na te gaan of de ontwikkelde technieken voor monitoring in de Noordzee ook nuttig zijn voor toepassingen in de zoute meren.

7.9.3 Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren

Modellering van het pelagisch voedselweb en voedselwebanalyses vereist een forse investering in kennis. Ook hier is het nuttig om te verkennen wat er aan kennis- en modelontwikkeling plaats vindt in het kader van het MONS programma.

Er is modelsoftware, zoals EcoPath, beschikbaar om het voedselweb te simuleren. Hoewel er voor het voedselweb als geheel onvoldoende data is, is er van meerdere trofische niveaus

wel een voldoende inschatting beschikbaar. Een voedselwebmodel kan goed ingezet worden om het gehele voedselweb te verkennen en de trofische niveaus waarvoor data ontbreekt of gelimiteerd is, qua bandbreedte en mogelijk belang in te schatten. Zo'n verkennend onderzoek onderbouwt de prioritering van inzet op aanvullende monitoring en/of verificatie van het gemodelleerde voedselweb. Daarom wordt aanbevolen zo'n modelmatige verkenning van het voedselweb uit te voeren.

7.9.4 Wat kan aanvullend onderzoek opleveren

Op dit moment geen prioriteit. De hierboven beschreven acties moeten eerst uitgevoerd worden.

7.10 Niet-inheemse soorten

7.10.1 Wat kan aanvullende data-analyse opleveren

In de ZW Delta komen veel niet-inheemse soorten¹⁰ voor. Het is echter onduidelijk of deze introducties alleen leiden tot soortenverschuivingen, of ook gevolgen hebben voor ecosysteemfuncties en tot structurele veranderingen in het voedselweb leiden (zie bijv. Glorius *et al.* (2023)). Het is nuttig om op basis van beschikbare data en literatuur van bijv. bodemdieren vast te stellen welke niet-inheemse soorten nu dominant zijn, welke functionele rol die hebben en welke potentieel hebben geleid tot structurele verschuivingen in functionele groepen.

7.10.2 Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek

Afhankelijk van de bevindingen onder §7.10.1.

7.10.3 Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren

Op dit moment zijn er geen geschikte modellen.

7.10.4 Wat kan aanvullend onderzoek opleveren

Afhankelijk van de bevindingen onder §7.10.1

7.11 Vervuiling

7.11.1 Wat kan aanvullende data-analyse opleveren

Er zijn overschrijdingen van de KRW-normen voor een aantal stoffen. Op basis van bestaande kennis zou nagegaan moeten worden in welke mate die overschrijdingen een risico vormen voor het ecologisch functioneren.

7.11.2 Welke verbeteringen zijn er mogelijk in de lopende monitoring en onderzoek

Op dit moment niet aan de orde.

7.11.3 Wat kunnen aanvullende modeltoepassingen opleveren

Op dit moment niet aan de orde.

7.11.4 Wat kan aanvullend onderzoek opleveren

Op dit moment niet aan de orde.

¹⁰ Een soort die niet van nature in Nederland voorkomt en door menselijk handelen in ons land terecht komt. Het gaat hierbij niet om soorten die elders in Europa inheems zijn en door klimaatsverandering oprukken naar Nederland.

7.12 Overige vragen

De vragen en mogelijke aanpak beschreven in de voorgaande paragrafen gaan vooral in op de huidige toestand van de meren zelf. Wat minder prioriteit heeft maar waar aandacht aan moet worden geschonken, is de rol van de zoute meren in de ZW Delta en als verbindingzone tussen de zee, estuaria en zoete/brakke wateren. In het verleden waren Grevelingen en Veerse Meer waarschijnlijk belangrijk als opgroeigebied voor juveniele mariene soorten, doortrekgebied voor diadrome vissoorten en leefgebied voor estuarien residente soorten. De meren fungeren nu vrijwel alleen als leefgebied voor estuarien residente soorten (Didderen *et al.* 2021). In hoeverre dat van invloed is op het ecologisch functioneren van de meren en huidige relaties in het voedselweb is de vraag. Vergelijkend literatuuronderzoek zou hier mogelijk meer inzicht kunnen geven.

De meren fungeren ook als rust- en leefgebied en hoogwatervluchtplaats voor vogels die geheel of grotendeels buiten de meren foerageren. In hoeverre die rol veranderd is als gevolg van de huidige ecologie en waterkwaliteit is ook lastig door onderzoek van de huidige condities vast te stellen.

Klimaatverandering zal op termijn leiden tot hogere watertemperaturen, veranderingen in neerslag, verzuring en zeespiegelstijging. Al deze factoren zullen een effect gaan hebben op de flora en fauna, de processen in de zoute meren en het beheer van de meren. Er is nog veel onzeker over wat die effecten zullen zijn. Van belang is wel die potentiële effecten mee te wegen in het onderzoek.

8 Conclusies en aanbevelingen

Er is een groot aantal kennisleemtes en onderzoeksvragen, maar er is ook al veel kennis en data beschikbaar. In dit hoofdstuk is uitgewerkt wat per onderwerp mogelijk is om verder te komen in ons begrip van het functioneren van de zoute meren. We stellen een prioritering in de aanpak voor, waarbij allereerst wordt ingezet op het beter gebruik maken van al beschikbare data en onderzoeksmiddelen zoals modellen en beperkte aanvullingen op lopende metingen. In aanvulling daarop moet nagegaan worden welke kennis en onderzoeksmethodes elders al beschikbaar is. Vervolgens kan gekeken worden wat er aan extra monitoring en onderzoek nodig zou zijn. Tot slot is het nuttig om een op de langere termijn gerichte onderzoeksagenda te hebben voor vragen die niet de hoogste prioriteit hebben of vragen om een grote en meer fundamenteel-wetenschappelijke onderzoeksinspanning.

Met de prioritering geven we aan welke stappen naar onze mening als op korte termijn uitgevoerd moeten worden en welke wat meer tijd hebben. De prioritering betekent niet dat een vervolgstap pas gezet kan worden als de vorige is afgerond.

Samengevat komen we tot de volgende prioritering:

1. Maak beter gebruik van bestaande data en modellen

Uit de lopende monitoring zijn data beschikbaar die, door meer gerichte analyses, nog veel kennis kunnen opleveren. Dit betreft data uit de monitoring van bodemdieren (MWTL en Schelpdiersurvey), vis, vogels, sedimentsamenstelling, H₂S, primaire productie. Een statistische analyse van de gegevens van sedimentsamenstelling, bodemdieren en vis, in samenhang met omgevingsfactoren kan meer duidelijkheid geven over trends, achterliggende factoren en verschillen tussen de meren. Dat levert meer inzicht over wat nu werkelijk optredende trendmatige veranderingen zijn en achterliggende factoren, op basis waarvan indien nodig hypothesen en vervolgonderzoek geformuleerd kunnen worden. We stellen voor om voorafgaand aan de analyses te bespreken wat de precieze onderzoeksvragen zijn. Het zou ook goed zijn om te onderzoeken welke mogelijkheden er zijn om samenhang te krijgen tussen de analyses van bodemdieren, vis en vogels en of het op basis van de beschikbare data al mogelijk is om dwarsverbanden te leggen.

Metingen in het TSO-programma van H₂S kunnen inzicht geven in het risico op vrijkomen van H₂S in de waterkolom. De primaire productiemetingen kunnen op termijn bruikbaar zijn om de relaties met sturende factoren beter vast te stellen en zijn nu al bruikbaar voor validatie van de ecologische modellen.

Door een gecombineerde toepassing van beschikbare data en de ecologische modellen voor beide meren is het mogelijk om voor verschillende onderzoeksvragen te komen tot een eerste inschatting van het belang van geïdentificeerde kennisleemtes. Dit geldt bijvoorbeeld voor de vraag over het belang van verschillende bronnen van organisch materiaal of de rol van verschillende groepen primaire producenten. Zo'n eerste inschatting kan gebruikt worden om te besluiten of en zo ja, welke aanvullende metingen nodig zijn (zoals bijvoorbeeld metingen van concentraties in uitgeslagen polderwater).

2. Doe aanvullende metingen als uitbreiding op de lopende monitoring en stem monitoring meer op elkaar af

De TSO-metingen leveren data over de verticale profielen in concentraties van o.a. zuurstof, voor de diepe geul in Veerse Meer en Grevelingenmeer. In aanvulling op die TSO-metingen zijn gelijktijdig metingen nodig van de zuurstofconcentraties nabij de bodem in de ondiepe delen van de meren, zodat er meer inzicht komt in de representativiteit van de TSO-metingen voor die ondiepe delen en voor de bodemfauna in die gebieden.

In het MWTL-programma worden waterkwaliteitsparameters (o.a. nutriënten) alleen gemeten aan het oppervlak. In het verleden werd tijdens stratificatie wel gemeten op meerdere dieptes (oppervlak, spronglaag, bodem). We bevelen aan om de methodiek aan te passen en tijdens stratificatie ook het water onder de spronglaag te bemonsteren.

Bij de monitoring van bacteriematten en bodemdieren moet overwogen worden of het mogelijk is aanvullende observaties te doen, bijvoorbeeld van fysisch-chemische parameters zoals zuurstof nabij de bodem of visueel van de toestand van de bodem. Dit levert weliswaar momentopnames op, maar kan uiteindelijk toch een waardevolle dataset opleveren. Dit kan nog versterkt worden door dit soort metingen en de TSO-metingen meer gelijktijdig uit te voeren.

De huidige monitoring in de zoute meren heeft niet altijd een vergelijkbare aanpak en meetfrequentie. Er valt winst te halen door monitoring meer op elkaar af te stemmen, door te kiezen voor een vergelijkbare aanpak in beide meren en door te kiezen voor zoveel mogelijk in hetzelfde jaar te monitoren. Een intensief meetjaar, waarbij zoveel mogelijk van de al lopende monitoring in één jaar wordt uitgevoerd, geeft meer kans op het met elkaar kunnen verbinden van waarnemingen.

3. Leer van onderzoek dat elders gebeurt

Het programma Monitoring en Onderzoek Natuurversterking en Soortenbescherming (MONS) is een uitgebreid monitoring en onderzoekprogramma gericht op de ecologie van de Noordzee¹¹. Delen van het werk dat in MONS gebeurt kunnen nuttig zijn voor toepassing op de zoute meren, zowel als het gaat om beter begrip van de ecologische relaties in zoute watersystemen als om ontwikkeling en toepassing van meettechnieken. Dit is vooral van toepassing op de vragen rond de basis van het voedselweb (fytoplankton/zoöplankton). Het MONS programma is in 2023 gestart en bezien moet worden op welke termijn dit tot informatie leidt die voor de zoute meren nuttig is.

Hoewel er voor de zoute meren Veerse Meer en Grevelingenmeer niet eenvoudig volledig vergelijkbare systemen te vinden zijn, zijn er wel systemen met deels vergelijkbare karakteristieken en problematiek. Dit geldt bijvoorbeeld voor estuaria langs de Deense kust, die veelal ondiep zijn en in de zomer gestratificeerd, waar zuurstofloosheid bij de bodem voorkomt, bodemdieren een belangrijke rol spelen en ook bacteriematten worden waargenomen (o.a. Limfjord). In het kader van de voorliggende rapportage was het niet mogelijk literatuuronderzoek te doen naar de situatie in Deense estuaria om te zien welke lessen er te trekken zijn uit de kennis van die systemen. Beschouw in deze vergelijking ook de (toepassing van de) KRW en Natura 2000 kaders in deze vergelijkbare systemen en de genomen maatregelen en effectiviteit ervan.

¹¹ <https://www.noordzeeoverleg.nl/mons-programma/default.aspx>

4. Zet extra monitoring in voor de belangrijkste kennisleemtes

Het pelagisch voedselweb in de zoute meren is nu een grote onbekende. De rol van mesozöoplankton als consument van primaire productie en schakel in het voedselweb naar hogere trofische niveaus is potentieel belangrijk. Het is echter ook niet uitgesloten dat dit lagere voedselweb wordt gedomineerd door benthische grazers (schelpdieren). Kwallen kunnen van grote invloed zijn als predator van plankton en vis, maar het ontbreekt aan data. Meer structurele monitoring van kwallen en zöoplankton (bij voorkeur gelijktijdig met de fytoplankton bemonstering) kan deze leemte in databeschikbaarheid oplossen. Er is ook nog wel aandacht nodig voor de vraag hoe, op basis van data over dichtheden of biomassa, het mogelijk zal zijn meer kwantitatief inzicht te krijgen in de processen van begrazing en predatie.

Behalve voor bodemgebonden vis, is er betrekkelijk weinig bekend over het belang van de meren voor andere groepen en voor diadrome vis. Voor een besluit over extra monitoring voor vis lijkt het verstandig eerst de resultaten van de analyse van de huidige visdata uit te voeren.

Verstoring als gevolg van recreatie lijkt voor in ieder geval een aantal vogelsoorten een relevante factor. Zoals geconcludeerd in de evaluatie van de Beheerplannen Natura 2000, ontbreekt het momenteel aan goede gegevens over de omvang van de verstoring. Het verdient aanbeveling om meer kwantitatieve informatie te verkrijgen over omvang van de verstoring, gericht op de vogelsoorten en periodes waarvoor dit van belang is.

5. Formuleer onderzoeksvragen voor meer fundamentele kennisontwikkeling

Er is nog een groot gebrek aan kennis over het functioneren van het voedselweb in de meren, terwijl dat wel van grote invloed is op de ecologische kwaliteit van de meren. Daarbij gaat het om vragen zoals bijvoorbeeld: wat is het effect van de zuurstofloze condities in de diepe geulen van de meren op dat voedselweb, wat is het effect van het ontbreken van een habitat als zeegras, wat is het effect van het grote aantal introducties van niet-inheemse soorten, wat is het effect van de beperkte soortenrijkdom van de vispopulatie. De lijst met dit soort meer fundamentele vragen is eenvoudig verder uit te breiden. Het gaat om vragen die veelal niet op korte termijn en met de nu beschikbare data en onderzoeken te beantwoorden zijn maar die uiteindelijk tot kennis kunnen leiden die nodig is voor het beheer van de meren. Het is daarom verstandig te gaan werken aan een agenda voor langer lopend wetenschappelijk onderzoek (bijv. via PhD-onderzoek). Daarbij moet ook het effect van klimaatverandering en mogelijke veranderingen in beheer meegenomen worden.

En, tot slot, dit rapport beschrijft een onderzoeksplan met voorstellen voor een opvolging via analyses, metingen en onderzoek. Voor de verdere invulling stellen we voor om expert sessies te organiseren waarin de detailuitwerking (formulering onderzoeksvragen, hypothesen, methodiek) nader uitgewerkt kan worden.

9 Referenties

- Arts, F.A., M.S.J. Hoekstein, J.W. Vergeer, A. van Kleunen & R. Noordhuis (2019). Negatieve trends watervogels Natura 2000 Haringvliet en Grevelingen. Vlissingen, Delta ProjectManagement, Rapportnr. 2019-01, pp
- Buckman, L., A. Nolte & L. van der Heijden (2022). Development of sixth generation model schematisation 3D D-HYDRO Veerse Meer. Model set-up, calibration and validation D-FLOW and D-Water Quality. Delft, Deltares, Rapport nr 11208079-000-ZKS-0005, 52 pp
- Craeymeersch, J.A.M. & I. de Vries (2007). Waterkwaliteit en ecologie Veerse Meer: het tij is gekeerd. Eerste evaluatie van de veranderingen na de ingebruikname van de 'Katse Heule'. Middelburg, Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee (RWS RIKZ), RIKZ/2007.008, 86 pp
- Didderen, K., W. Lengkeek, E.G.R. Bakker, J. Tummers & A. Gmelig Meyling (2021). Vis in de Grevelingen. Culemborg, Bureau Waardenburg, Rapportnr. 20-328, 77 pp
- Dijkman, N. (2023). Pelagische primaire productie Grevelingenmeer, Oosterschelde, Veerse Meer en Westerschelde. Primaire productie metingen met behulp van Fast Repetition Rate fluorometrie. Tussenrapportage resultaten 2020-2022 Rijkswaterstaat CIV Hydrobiologisch Laboratorium, 29 december 2023, 47 pp
- Gittenberger, A., M. Rensing, M. Faasse, L. van Walraven, S. Smolders, H. Keeler Perez & E. Gittenberger (2023). Non-Indigenous Species Dynamics in Time and Space within the Coastal Waters of The Netherlands. *Diversity* 15: 719, <https://www.mdpi.com/1424-2818/15/6/719>
- Glorius, S., M. van Asch & K. Troost (2023). Filipijnse tapijtscelp. Opkomst en concurrentiepositie in de zoute deltawateren. Wageningen Marine Research, factsheet 21 december 2023, 6 pp
- Groenenboom, J., L.H. van der Heijden, A.A. Markus & S.C. Laan (2021). Ontwikkeling zesde-generatie modelschematisatie D-HYDRO Grevelingen Modelbouw, kalibratie en validatie. Delft, Deltares, rapport nr 11205259-006-ZKS-0007, 228 pp
- Heidinga, D., A.C.P. Brekelmans, B. Schilt, F. Versloot & M. Marijt (2023a). Ecologische evaluatie Natura 2000 beheerplannen; Natura 2000 beheerplan Veerse Meer. Deventer, Witteveen+Bos, Rapport nr 128201/23-010.176, 100 pp
- Heidinga, D., A.C.P. Brekelmans, B. Schilt, A. Wolma & F. Versloot (2023b). Ecologische evaluatie Natura 2000 beheerplannen; Natura 2000 beheerplan GrevelingenVeerse Meer. Deventer, Witteveen+Bos, Rapport nr 128201/24-008.698, 172 pp
- Hoekstein, M.S.J., M. Sluijter, K.D. van Straalen & W. Janse (2024). Watervogels en zeehonden in de Zoute Delta in 2022/2023. Vlissingen, DeltaMilieu Projecten, rapportnummer BM 24.01, 158 pp
- lenW (2016a). Natura 2000 Beheerplan 2016-2022 Grevelingen. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, juni 2016, 82 pp
- lenW (2016b). Natura 2000 Beheerplan 2016-2022 Veerse Meer Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, juni 2016, 52 pp
- Jørgensen, B.B., A.J. Findlay & A. Pellerin (2019). The Biogeochemical Sulfur Cycle of Marine Sediments. *Frontiers in Microbiology* 10 DOI:10.3389/fmicb.2019.00849
- Mulder, I., V. Escaravage, M. Tangelder & T. Ysebaert (2019). Ontwikkelingen van het macrozoöbenthos in het Grevelingenmeer 1992-2016. Yerseke, Wageningen Marine Research rapport C021/19, rapport C021/19, 68 pp
- Nienhuis, P. & B.H.H. de Bree (1984). Carbon fixation and chlorophyll in bottom sediments of brackish Lake Grevelingen, The Netherlands. *Netherlands Journal of Sea Research* 18: 337–359 DOI:10.1016/0077-7579(84)90009-7
- Nolte, A., L. Buckman & M. Maarse (2021). Advies voor indicatoren ter beoordeling van de toekomstige ecologische waterkwaliteit van de Grevelingen. Delft, Deltares, Rapport nr 11206580-003-ZKS-0007, 65 pp

- Nolte, A.J. & O.G. Lagendijk (2016). Grevelingenmeer van Stagnant naar Beperkt Getij. Delft, Deltares, rapport nr 1230426-000-ZKS-0003, 48 pp
- Prins, T., A. Nolte, L. Buckman & W. Stolte (2023). Systeemanalyse Veerse Meer. Delft, Deltares, 11208079-000-ZKS-0009, 53 pp
- Prins, T., A. Nolte, S. Couvin Rodriguez, L. van der Heijden & L. Buckman (2024). Het ecologisch functioneren van het Veerse Meer 2005-2023. Delft, Deltares, rapport nr 11209251-000-ZKS-0012, 93 pp
- Prins, T.C. & S.A. Vergouwen, Eds. (2015). *Bekkenrapport Veerse Meer 2000-2014*. Delft, Deltares, 134 pp.
- Seitaj, D., R. Schauer, F. Sulu-Gambari, S. Hidalgo-Martinez, S.Y. Malkin, L.D. Burdorf, C.P. Slomp & F. Meysman (2015). Cable bacteria generate a firewall against euxinia in seasonally hypoxic basins. *PNAS*: 13278-13283 DOI:doi: 10.1073/pnas.1510152112
- Seitaj, D., F. Sulu-Gambari, L.D.W. Burdorf, A. Romero-Ramirez, O. Maire, S.Y. Malkin, C.P. Slomp & F.J.R. Meysman (2017). Sedimentary oxygen dynamics in a seasonally hypoxic basin. *Limnology and Oceanography* 62: 452-473 <https://doi.org/10.1002/lno.10434>
- Slomp, C.P. & N.A.G.M. van Helmond (in prep.). Zuurstofloosheid in het Veerse Meer en de rol van het sediment. Universiteit Utrecht, Radboud Universiteit, rapport in prep., pp
- Stronkhorst, J., W. Stolte & A. Nolte (2021). Import van organisch koolstof in het Grevelingenmeer vanuit de Voordelta. Delft, Deltares, 11203741-000-ZKS-0023, 39 pp
- Tangelder, M., T. Ysebaert, J. Wijsman, J. Janssen, I. Mulder, A. Nolte, W. Stolte, N. van Rooijen & L. van den Bogaart (2019). Ecologisch onderzoek Getij Grevelingen. Yerseke, Wageningen Marine Research, rapport C089/19, 230 pp
- Troost, K., E.B.M. Brummelhuis, M. van Asch & J. van Zwol (2018). Schelpdierbestanden in het Veerse meer en Grevelingenmeer in 2017. Centrum voor Visserijonderzoek (CVO), CVO rapport No. 17.015, 30 pp
- Troost, K., M. van Asch, E. Brummelhuis, D. van den Ende, Y. van Es, K.J. Perdon, J. van der Pool, C. van Zweeden & J. van Zwol (2021). Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2020. IJmuiden, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO), CVO rapport: 21.001, 96 pp
- Troost, K., M. van Asch, D. van den Ende, Y. van Es, K.J. Perdon, J. van der Pool, W. Suykerbuyk, C. van Zweeden & J. van Zwol (2022). Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2021. IJmuiden, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO), CVO rapport: 22.011, 92 pp
- Troost, K., M. van Asch, S. Cornelisse, S. Glorius, D. van den Ende, Y. van Es, M. Keur, K.J. Perdon, J. van der Pool, W. Suykerbuyk, C. van Zweeden & J. van Zwol (2023). Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2022. IJmuiden, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO), CVO rapport: 23.009, 98 pp
- Van Avesaath, P. (2020). Monitoring kruiskwallen Veerse Meer 2020. Rapportnummer: 64_317.1, 27 pp
- Van der Heijden, L. & A. Nolte (2022). Extra validatie zesde-generatie modelschematisatie D-HYDRO Grevelingen. Ingebruikname Flakkeese spuisluis in 2017. Delft, Deltares, rapport 11208051-002-ZKS-0003, 44 pp
- Van der Jagt, H.A., B. Achterkamp, M. Japink & D.B. Kruijt (2022). Macrozoöbenthos in het Veerse Meer 2021. Culemborg, Bureau Waardenburg, rapport 22-316, pp
- van der Jagt, H.A., O. Duijts, R. Middelveld, L.G.J.M. van Dongen & D.B. Kruijt (2024). Macrozoöbenthosbemonstering in de Zoute Rijkswateren 2022 Waterlichamen: Grevelingenmeer en Veerse Meer. Rapportnummer 23-496, 52 pp
- Van der Kaaij, T. & D. Kerkhoven (2021). Ontwikkeling zesde-generatie modelschematisatie 3D D-HYDRO Veerse Meer. Modelbouw en Toetsing. Delft, Deltares, 11206814-000-ZKS-0001, 136 pp
- Van der Pool, J., K. Troost, M. van Asch, C. van Zweeden, J. van Zwol & D. van den Ende (2020). Schelpdieren in het Veerse meer en Grevelingenmeer in 2019. IJmuiden, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO), CVO rapport Nr 19.023, 34 pp

- Van Dongen, U. & R. Olde Wolbers (2023). Verspreiding van witte bacteriematten en schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer. Culemborg, Bureau Waardenburg, 23-388, 57 pp
- Van Dongen, U. & R. Olde Wolbers (2024). Verspreiding van witte bacteriematten en schade aan het bodemleven in het Veerse Meer. Culemborg, Bureau Waardenburg, Notitie 11 januari 2024, 28 pp
- Van Donk, S., I. Tulp & M. Tangelder (2020). Ecologie van ondiepe oevers in zoute meren en baaien. Yerseke, Wageningen Marine Research, rapport C023/21, 43 pp
- Van Rijssel, J.C., O.A. van Keeken & J.J. de Leeuw (2021). Vismonitoring Rijkswateren t/m 2020. Deel 1: Toestand en trends. Wageningen, Wageningen Marine Research, Rapport nr C096/21, 450 pp
- Van Rijssel, J.C., O.A. van Keeken & J.J. de Leeuw (2022). Vismonitoring Rijkswateren t/m 2021. Deel I, Toestand en trends. IJmuiden, Wageningen Marine Research, rapport C085/22, 437 pp
- Van Zwol, J., K. Troost, E. Brummelhuis, D. van den Ende, J. van der Pool & M. van Asch (2019). Schelpdieren in het Veerse Meer en Grevelingenmeer in 2018. IJmuiden, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO), CVO rapport No. 19.012, 36 pp
- Wetsteyn, L.P.M.J. (2011). Grevelingenmeer: meer kwetsbaar? Een beschrijving van de ecologische ontwikkelingen voor de periode 1999 t/m 2008-2010 in vergelijking met de periode 1990 t/m 1998. Lelystad, RWS Waterdienst, 7 januari 2011, 163 pp
- Wijsman, J., J.v.d. Pool & W. Suykerbuyk (2023). Monitoring mosselgroei Flakkeese spuisluis. Yerseke, Wageningen Marine Research, rapport nr C081/23, 36 pp
- Wijsman, J. & A. Hamer (2024). Geschiktheid Grevelingenmeer voor filtrerende en bodemetende bodemdieren; Validatie geschiktheidskaarten aan de hand van MWTL gegevens. Yerseke, Wageningen Marine Research, Rapport nr C038/24, 29 pp
- Wijsman, J.W.M., J.A. Craeymeersch & P.M.J. Herman (2022a). Comparing grab and dredge sampling for shoreface benthos using ten years of monitoring data from the Sand Motor mega nourishment. *Journal of Sea Research* 188: 102259
<https://doi.org/10.1016/j.seares.2022.102259>
- Wijsman, J.W.M., M. Tangelder, A. Hamer, J.A.M. Janssen, N.M. Van Rooijen & M. Hoeksteen (2022b). Ecologische effecten veranderd peilbeheer Grevelingen. Yerseke, Wageingen Marine Research, rapport C066/22A, 138 pp

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